بررسی آزمایشگاهی امکان‌پذیری استفاده مجدد از پسماندهای ساختمانی در پروژه‌های عمرانی (مطالعه موردی: پسماندهای حصار کرج)

مائده خیرخواه [۱](دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه خوارزمی)

علی قنبری (استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵ تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۳۰

چکیده

نگاهی به آمارهای مربوط به تخریب ساختمان‌ها و آوارهای حاصل از آن در دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که مدیریت پسماندهای ساختمانی می‌تواند مشکلات زیست محیطی در شهرهای بزرگ چون تهران و کرج را کاهش دهد. نخاله‌های ساختمانی را می‌توان در بخش‌های مختلف ساختمان‌های عمرانی نظیر محوطه سازی در پارک‌ها، تسطیح شیب‌ها، تهیه بتن و نیز به عنوان مصالح پرکننده زهکشی و زیرسازی راه‌ها به کار برد. در این پژوهش سعی شده است با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی همچون آزمایش‌های دانه‌بندی، هیدرومتری، حدود اتربرگ، تراکم استاندارد، تراکم اصلاح شده، لس آنجلس، برش مستقیم، CBR، جذب آب، تطویل و تورق و همچنین آزمایش‌های صحرایی همچون آزمایش‌های دانسیته در محل، SPT و PLT نشان داده شود که پسماندهای ساختمانی و بخصوص نخاله ساختمانی منطقه حصارکرج، مقاومت کافی برای استفاده مجدد در صنعت ساخت را دارند. همچنین در این مطالعه به بررسی نقش افزودن خرده بتن و ژئوگرید به نخاله‌های ساختمانی و تاثیرات وجود آن‌ها در مقاومت برشی این مصالح پرداخته شده‌است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که امکان استفاده از نخاله‌های ساختمانی در ساخت بدنه راه برای جاده‌های فرعی با ترافیک کم و همچنین بستر راه‌های اصلی وجود دارد. علاوه بر این پس از تفکیک پسماندهای ساختمانی می‌توان از آنها به عنوان سنگدانه برای ساخت بتن، مصالح ساختمانی برای کف‌سازی‌ها، پوشش مدفن‌های زباله و هسته سدهای خاکی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: پسماندهای ساختمانی، حصار کرج، بازیافت، ژئوگرید، خرده بتن.

[۱] نویسنده مسئول kheirkhahmaedeh@gmail.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

حجم زیادی از نخاله‌های ساختمانی در اطراف شهرهای بزرگ مانند تهران و کرج وجود دارد که مشکلات زیست محیطی برای منطقه ایجاد کرده اند. نتایج حاصل از مطالعه بیگدلو و همکاران(۱۳۹۸) نشان داد که به طور متوسط روزانه ۵۹۷۳ تن (سالانه۲۱۸٦٤۱۰ تن) نخاله ساختمانی حاصل از ساخت و تخریب در کرج تولید می‌شود که حدود سه درصد از حجم کل نخاله ساختمانی کل کشور را شامل می‌شود. روش‌های مدیریت نخاله‌های ساختمانی شامل سه راهکار انباشت، دفن و بازیافت است. مهم‌ترین مشکلی که به دنبال استفاده از دو راهکار اول به وجود می‌آید مشکلات زیست محیطی این روش‌هاست. در روش بازیافت بدون آسیب رساندن به محیط زیست نخاله‌های ساختمانی مدیریت شده و امکان استفاده مجدد از آن‌ها فراهم می شود. Sormunen and Karki (2019)، Jin et al.(2017)، Vieira and Pereira (2015) به ترتیب در رابطه با استفاده از مصالح بازیافتی و نخاله ساختمانی در تولید کامپوزیت، آجر بنایی و مصالح پرکننده در شیروانی‌های مسلح و مواد پر کننده برای ساخت خاکریز در مطالعات خود تحقیق کرده‌اند.

در تحقیق حاضر سه نوع آزمایش صحرایی و هشت نوع آزمایش آزمایشگاهی انجام شده‌است. آزمایش‌های صحرایی شامل آزمایش دانسیته در محل (۲ مورد)، آزمایش بارگذاری صفحه (۲ مورد) و آزمایش نفوذ استاندارد (۱٤مورد) بوده‌است. همچنین آزمایش‌های آزمایشگاهی چون آزمایش دانه بندی همراه با هیدرومتری (۳٤ مورد الک و ۲۳ مورد هیدرومتری)، آزمایش حدود اتربرگ (۷ مورد)، آزمایش تراکم (۲ مورد اصلاح شده و ۲ مورداستاندارد)، آزمایش برش مستقیم (۹ مورد)، آزمایش CBR (۵ مورد)، و همچنین برای بررسی کردن امکان استفاده مصالح مورد مطالعه در تهیه بتن آزمایش‌های تطویل (۱ مورد)، تورق(۱ مورد)، جذب آب(۱ مورد) و لس‌آنجلس(٤ مورد) بر روی مصالح سنگدانه و مصالحی که امکان استفاده شدن در بتن را داشته‌اند صورت گرفته است.

انجام آزمایش‌های مربوطه به منظور بدست‌آوردن ترکیب نخاله‌ها، ظرفیت باربری، میزان نشست و متغیرهای مقاومت برشی مصالح، چون چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک، مدول عکس العمل بستر، چگالی خاک، تراکم نسبی خاک، مدول الاستیسیته و همچنین بررسی عمق لایه‌ها و یکنواختی لایه‌ها در منطقه حصار کرج صورت گرفته است. همچنین برای بررسی تاثیر خرده بتن و ژئوگرید در مقاومت برشی مصالح مورد مطالعه تعدادی آزمایش برش مستقیم با اضافه کردن ۱۰٪ خرده بتن به نمونه مورد مطالعه و چند آزمایش برش مستقیم با اضافه کردن یک لایه ژئوگرید دوسویه به نمونه انجام گرفته است.

اغلب مطالعات محققین قبلی (Tavakoli et al.(2020)و Ok et al.(2020)) توسط آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی نشان داده‌است که می‌توان از نخاله‌های ساختمانی در پروژه‌های عمرانی استفاده نمود. محققینی چون Leite et al.(2011) توسط نتیجه‌گیری از آزمایش سه محوری به این نتیجه رسیده‌اند که می‌توان از نخاله‌های ساختمانی در لایه زیراساس جاده‌ای با ترافیک کم استفاده نمود. همچنین Zhang et al. (2020) در مطالعه خود توسط آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی مانند PLT ، تراکم و... استفاده از نخاله ساختمانی برای ساخت بستر راهسازی در جاده‌های بزرگراه در چین را توصیه کرده است. هدف از تحقیق حاضر نیز بررسی امکان استفاده از پسماندهای ساختمانی در پروژه‌های عمرانی و ساخت و ساز است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، حصار کرج که محل انباشت نخاله ساختمانی است، می‌باشد. این منطقه در شرق استان البرز، مسیر ورود به جاده چالوس از سمت اتوبان تهران کرج واقع شده است. نخاله‌های ساختمانی دارای ناهمگنی جغرافیایی هستند و خصوصیات ژئوتکنیکی آن‌ها با تغییر محل آزمایش تغییر خواهد کرد با این حال انتخاب محل مورد نظر در مطالعه انجام شده به نحوی بوده‌است که به صورت متوسط بیانگر خصوصیات نخاله‌ها در منطقه می‌باشد (شکل۲). این منطقه به مدت ۳۰ سال تا سال ۱۳۹٤ محل دپوی نخاله ساختمانی بوده است تا اینکه در سال ۱۳۹٤ ظرفیت آن تکمیل می‌شود. به‌طور کلی دو دسته نخاله‌های ساختمانی در منطقه مورد مطالعه دپو شده‌است، دسته اول مربوط به بازه زمانی سال‌های ۱۳٦٤ الی ۱۳۹٤ می‌باشد که هم اکنون ۳٦ سال از عمر آن گذشته است و مصالح بر روی هم متراکم گردیده و دسته دوم مربوط به بازه زمانی ۱۵ سال گذشته می‌باشند که نخاله‌ها تنها به صورت تپه‌ها بر روی یکدیگر و در کنار جاده اصلی متشکل شده از نخاله‌های ساختمانی منطقه انباشته شده‌اند. لازم به ذکر است در استان البرز روزانه به طور تقریبی ۵ الی ۱۲ هزار تن نخاله ساختمانی تولید می‌شود که این عدد و نبود جایگاه مناسبی برای دپو و بازیافت نخاله ساختمانی در این استان از مسائلی است که باید به صورت جدی به آن پرداخته شود. با مطالعاتی ژئوتکنیکی که در پژوهش حاضر در این منطقه صورت گرفته است انواع نخاله ساختمانی اعم از خاک به صورت ریزدانه و درشت دانه مرغوب و تا حدودی مرغوب، بتن، آجر، شیشه، آسفالت، گچ و سایر نخاله غیر مرتبط دیگر چون پارچه، پلاستیک، ریشه گیاهان، چوب و کاغذ رویت شده است (شکل ۱).



شکل۱- محل دپوی پسماندهای ساختمانی منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۲- موقعیت جغرافیایی دپوی نخاله‌های ساختمانی و نقاط استخراج نمونه در منطقه حصار کرج

۳- آزمایش‌های صحرایی

به منظور بدست آوردن خصوصیات فیزیکی و در محل مصالح، بررسی ظرفیت باربری، بررسی ضخامت لایه‌ها و ارزیابی میزان تراکم آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی نظیر بارگذاری صفحه، SPT و دانسیته در محل انجام شده است (جدول ۱ و ۲). خلاصه نتایج آزمایش‌های صحرایی انجام شده در این مطالعه به شرح جدول۳ است. برای انجام آزمایش بارگذاری صفحه از دو صفحه هم مرکز با قطرهای ۲۰ و۳۰ سانتی متری و برای اعمال فشار جک از محور کامیون با وزن ۱٤ تن استفاده شده است. این بارگذاری در ٦ مرحله تا بار ۱۲ تن انجام گرفته است (شکل۳). به طور کلی دو آزمایش بارگذاری صفحه در منطقه مورد مطالعه انجام شده است (شکل‌های ٤ و ٥)، سعی بر این بوده است که این آزمایش در محیطی صورت گیرد که خاک در حالت سست‌تر از سایر نقاط دیگر منطقه باشد و همچنین در جایگاهی که تردد زیاد ماشین‌های سنگین برای تخلیه نخاله در گذشته بودند نباشد.

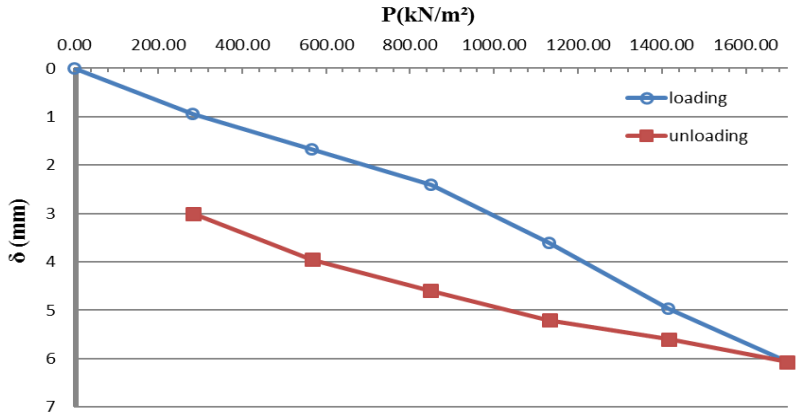
جدول۱- آزمایش‌های صحرایی

نام آزمایش	تعداد آزمایش	آیین نامه مربوطه	موارد تکمیلی
PLT(Plate load test)	۲	ASTM-D1194	این آزمایش در محلی که دارای خاک سست‌تر از جاده اصلی تردد می‌باشد یعنی در سایت F و E انجام شده‌است.
SPT	۱۴	ASTM-1586	٦ تست در گمانه ۲۵ متری واقع در سایت A و ۸ تست در گمانه ۳۰ متری واقع در سایت B انجام شده است.
دانسیته در محل	۲	ASTM D1556-07	این آزمایش در سایت C و D انجام شده‌است.

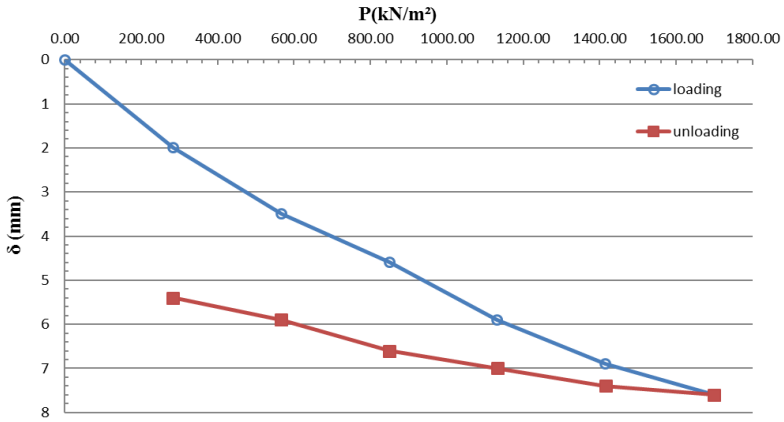
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۳- محل استقرار کامیون برای اعمال بار و آماده سازی محل قرار گیری سه عدد گیج اندازه گیری نشست



شکل ٤- نتایج آزمایش بارگذاری صفحه اول



شکل ٥- نتایج آزمایش بارگذاری صفحه دوم

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

جدول۲- تعیین ضریب واکنش بستر برای پی مربعی و مستطیلی بر اساس آزمایش‌های صحرایی

شماره آزمایش	PLT 1	PLT 2
مدول عکس العمل بستر بر حسب kN/m^3 (k)	352388	184621
مدول عکس العمل بستر برای پی مربعی به عرض ۱ متر kN/m^3	148884	78002
مدول عکس العمل بستر برای پی مستطیلی به عرض ۱ متر و طول ۲ متر kN/m^3	124070	65002
ظرفیت باربری پی مربعی به عرض ۱متر توسط مدول عکس العمل بستر و نشست ۲/۵ سانتیمتر kN/m^2	3722	1950
ظرفیت باربری پی مستطیلی به عرض ۱ متر و طول ۲ متر توسط مدول عکس العمل بستر و نشست ۲/۵ سانتیمتر kN/m^2	3101	1625

در منطقه مورد مطالعه دو گمانه، به عمق ۲۵ و ۳۰ متر حفاری شده و نمونه‌هایی از هر عمق استخراج شده است (شکل ٦). همچنین در این پژوهش دو آزمایش دانسیته در محل یکی بر روی تپه‌های متراکم نشده و دیگری در پای تپه‌ها که تا حدودی مصالح بر اثر تردد متراکم شده‌اند انجام شده‌است. خلاصه نتایج این آزمایش در جدول (۳) ارائه شده است.



شکل٦- عملیات حفاری در منطقه مورد مطالعه

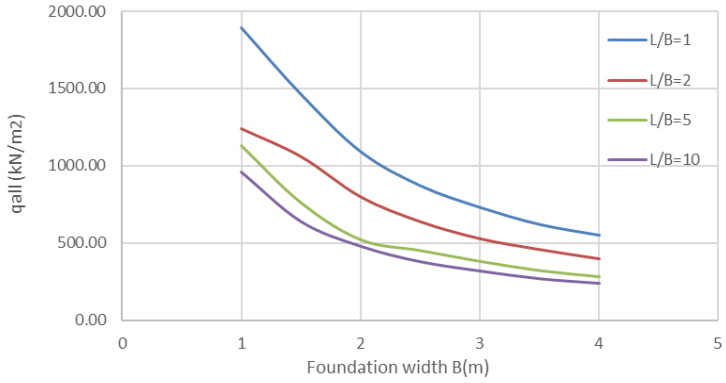
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

جدول۳- خصوصیات ژئوتکنیکی حاصل از آزمایش‌های صحرایی نخاله‌های ساختمانی مورد مطالعه

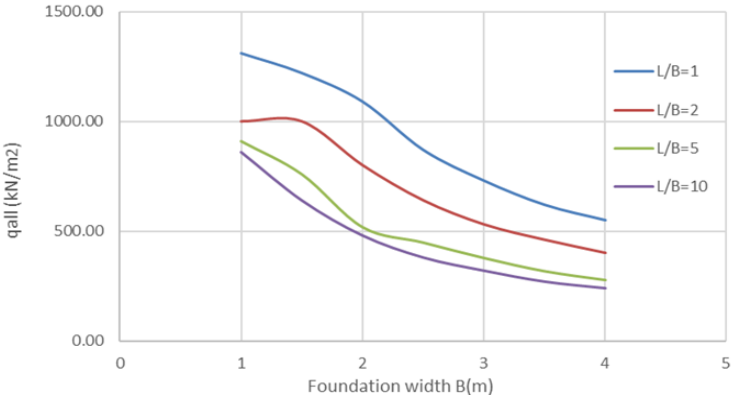
نام آزمایش	خروجی آزمایش	توضیحات
PLT-1	$E=75518\ kN/m^2$	انجام شده بر محیط متراکم و پرتردد
	$k=352388\ kN/m^3$	
PLT- 2	$E=39565\ kN/m^2$	انجام شده بر محیط کم تردد
	$k=184621\ kN/m^3$	
SPT	$N_{SPT} > 50$	برای عمق ٤ متر به پایین $N_{SPT} > 50$ است. تخمین Dr بر اساس مطالعه Coduto(2002) تخمین ϕ بر اساس مطالعه De Mello(1971)
	$N_{60} > 32$	
	$Dr = 85 - 100$	
	$\phi = 40 - 50$	
دانسیته در محل ۱	$\gamma_t = 14.96$	انجام شده برروی تپه تشکیل شده از انباشته شدن نمونه‌های دستی
	$\gamma_d = 14.36$	
	۷۰= درصد تراکم	
دانسیته در محل ۲	$\gamma_t = 16.93$	انجام شده برروی سطح زمین تشکیل شده از نمونه‌های متراکم
	$\gamma_d = 16.09$	
	۷۷ = درصد تراکم	

ظرفیت باربری پی با عمق مدفون یک متر که این خاک می‌تواند تحمل کند طبق رابطه هانسن به شرح شکل ۷ است. ظرفیت باربری یادشده برای کمترین مقدار چسبندگی و کمترین دانسیته نسبی بدست آمده است. برای ظرفیت باربری خاک مورد مطالعه با کمترین میزان زاویه اصطکاک داخلی و کمترین میزان دانسیته نسبی شکل ۸ ارائه شده‌است. بررسی‌های صحرایی در قالب این تحقیق نشان می‌دهد که به دلیل روی هم انباشته شدن حجم زیادی از پسماندهای ساختمانی و تردد ماشین‌های سنگین در آن مصالح متراکم شده اند. بنابراین با افزایش مدول الاستیسته، مدول عکس العمل بستر و ظرفیت باربری مواجه هستند. این موضوع در نتایج آزمایش SPT نیز مشهود می‌باشد که نخاله ساختمانی انباشته شده در محل از عمق ٤ متر به پایین عدد اس پی تی بالایی را به خود اختصاص داده‌اند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۷- ظرفیت باربری پی (Df=1m) برروی پسماند سختمانی منطقه مورد مطالعه با لحاظ کمترین چسبندگی



شکل۸- ظرفیت باربری پی (Df=1m) برروی پسماند سختمانی منطقه مورد مطالعه با لحاظ کمترین زاویه اصطکاک داخلی

٤- آزمایش‌های آزمایشگاهی

مشخصات آزمایش‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر در جدول (٤) و خلاصه نتایج حاصل از آنها در جدول (٥) ارائه شده است. همچنین ترکیب نخاله‌های ساختمانی مورد مطالعه در شکل‌های ۱۰ ، ۱۱ و۱۲ بر اساس آزمایش دانه‌بندی و مطابق با استاندارد نامبرده شده در جدول٤ ارائه شده است. بر این اساس، خاک و فیلر بیشترین درصد را به خود اختصاص داده‌اند و شیشه، پلاستیک،گچ، کاشی و سرامیک کمترین درصد را دارند. متراکم شدن مصالح در منطقه مورد مطالعه طی ۳۰ سال گذشته و تردد تقریبی ۳۰۰ کامیون حمل بار روزانه از محل مورد مطالعه برای تخلیه ۵۰۰۰ هزارتن باعث شده‌است که مصالحی چون شیشه، گچ و کاشی و سرامیک توانایی مقاومت در برابر بار تحمیلی را نداشته باشند و زیر بار سنگین خرد شوند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

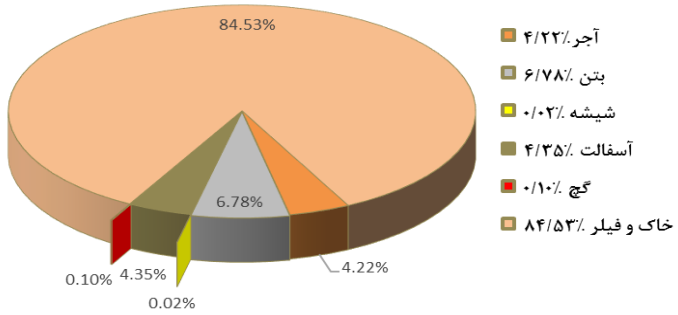
جدول ٤- آزمایش‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر

موارد تکمیلی	آیین‌نامه مربوطه	تعداد آزمایش	نام آزمایش
با توجه به دو گمانه با عمق‌های ۲۵ متر و ۳۰ متر ۱٦ آزمایش دانه بندی برای گمانه با عمق ۲۵ متری و ۱۸ آزمایش دانه بندی برای گمانه با عمق ۳۰ متری صورت گرفته است.	ASTM D: 422-87	۳٤	دانه بندی
این آزمایش‌ها برروی نمونه‌های استخراج شده از گمانه‌ها نجام شده است	ASTM D: 421-58	۲۳	هیدرومتری
	ASTM D: 4318-87	۷	حدوداتربرگ
۱مرتبه بر روی نمونه‌های سطحی و ۱ مرتبه بر روی نمونه‌های استخراج شده از گمانه انجام شده‌است.	AASHTO T99	۲	تراکم استاندارد
	AASHTO T180	۲	تراکم اصلاح شده
این آزمایش بر روی نمونه‌های سطحی واقع در سایت H، I، G، C و D انجام شده‌است.	ASTM-D3080-11	۹	برش مستقیم
این آزمایش بر روی نمونه‌های سطحی واقع در سایت H، Iو G انجام شده‌است.	ASTM D1883-07 استاندارد ملی ایران ۱۱۵۹	۵	CBR
این آزمایش بر روی نمونه‌های سطحی واقع در سایت H و I انجام شده‌است.	ASTM C131/C131M استاندارد ملی ایران ٤٤٨	٤	لس آنجلس
این آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های سطحی واقع در سایت D انجام شده‌است.	استاندارد B.S. 812	۱	تطویل و تورق
	ASTM C127	۱	جذب آب درشت‌دانه

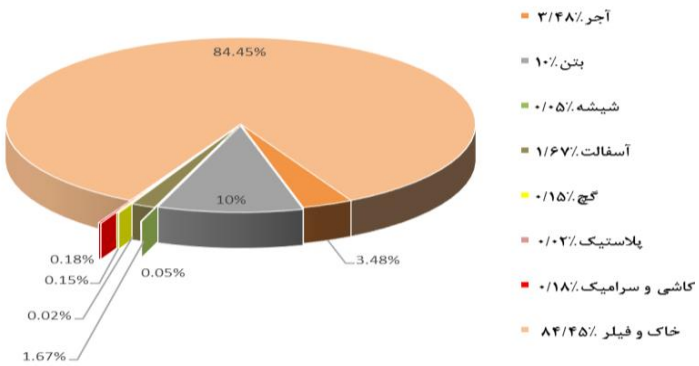


شکل۹- نمونه‌ای از مصالح مورد مطالعه قبل و بعد از آزمایش لس‌آنجلس

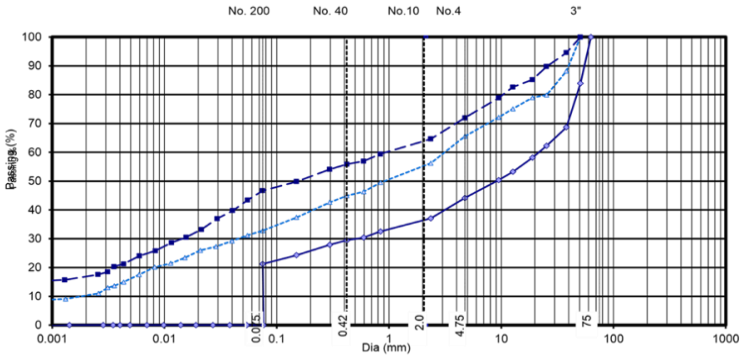
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱۰- ترکیب نخاله‌های ساختمانی گمانه اول به تفکیک



شکل ۱۱- ترکیب نخاله‌های ساختمانی گمانه دوم به تفکیک



	Clay or Silt (%)	Fine	Medium	Coarse	Gravel (%)	Cobble (%)
		Sand (%)				
◇	21.24	22.91			55.85	-
▲	32.79	32.75			34.46	-
■	46.65	25.31			28.04	-

Symbol	BH No.	Depth(m)	U.S.C.S.	LL	PI	Cc	Cu	D100 mm	D60 mm	D30 mm	D10 mm	NO
◇	BH-1	1.0	GC	24	8	-	-	63	21.868	0.521	0.008	1
▲	BH-1	2.0	GC	24	8	-	-	50.8	3.328	0.045	0.001	2
■	BH-1	3.0	GC-GM	23	6	-	-	50.8	1.008	0.014	-	3

شکل ۱۲- منحنی دانه‌بندی عمق‌های ۱ تا ۳ متر گمانه اول

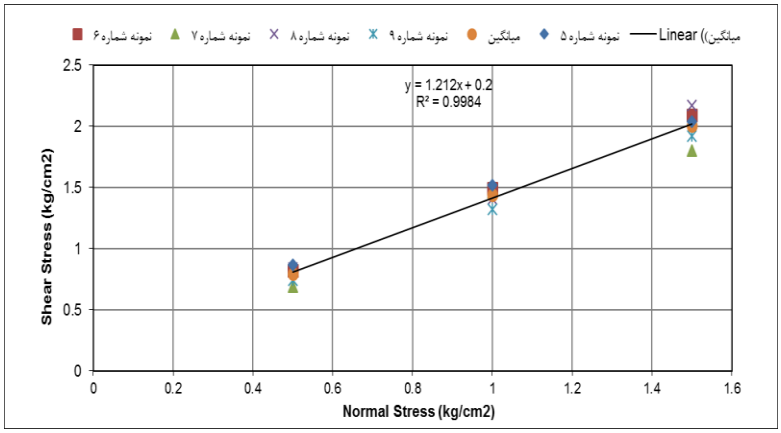
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

برای انجام آزمایش برش مستقیم دو دسته مصالح مورد آزمایش قرار گرفته است و تمامی شرایط مصالح متناسب با خصوصیات در محل مصالح می‌باشد.

۱) نخاله‌های ساختمانی مورد مطالعه با ضایعات کم (کمتر از ۵ درصد ضایعات): در این مصالح ضایعات به مقدار خیلی کم موجود بوده و تنها دست خوردگی و غیریکنواختی در مصالح دیده شده است. میانگین نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی ۵ نمونه حاوی ضایعات کم در شکل ۱۳ و شکل ۱٤ مشهود است.

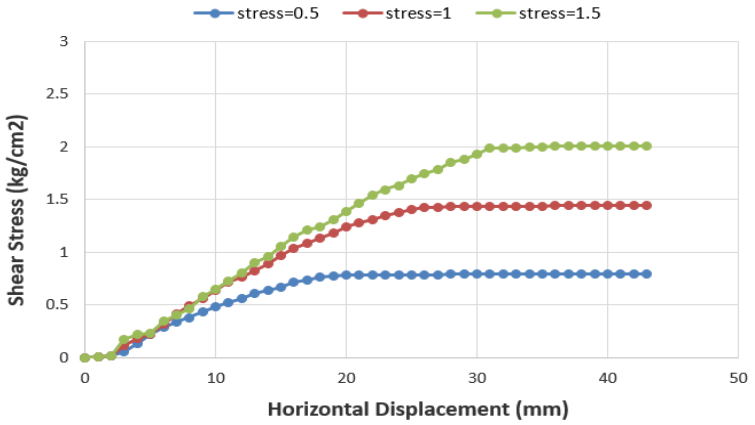
۲) نخاله‌های ساختمانی مورد مطالعه با ضایعات زیاد (به طور تقریبی ۲۵ تا ۳۵ درصد ضایعات): در این مصالح ضایعاتی چون لاستیک، کاشی، سرامیک، شیشه، بتن و آجر بوده‌اند. میانگین نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی ٤ نمونه حاوی ضایعات زیاد در شکل ۱۵ و شکل ۱٦مشهود است.

میانگین نتایج حاصل از آزمایش برش مستقیم نشان می‌دهد که چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در مصالح مورد مطالعه با ضایعات زیاد در مقایسه با مصالح مورد مطالعه با ضایعات کم میزان کمتری را به خود اختصاص داده‌اند و جابجایی در نقطه پیک در نخاله‌های ساختمانی همراه با ضایعات زیاد مقدار کمتری است.

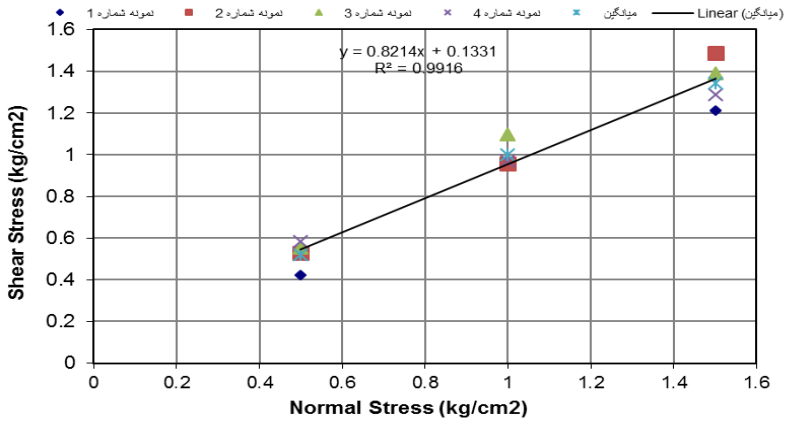


شکل۱۳- خط موهر کولمب بر اساس میانگین نتایج آزمایش برش مستقیم نمونه‌های برداشته شده از تپه‌های انباشته از نخاله‌های ساختمانی همراه با ضایعات کم

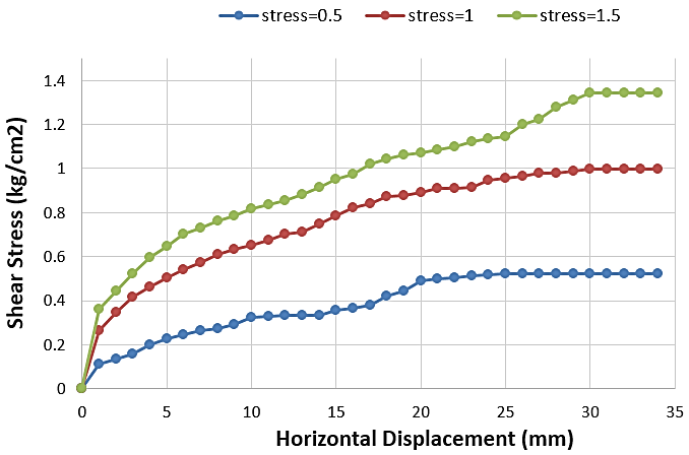
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۱٤- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی میانگین نمونه شماره ۵، ٦، ۷، ۸ و ۹ همراه با ضایعات کم



شکل۱۵- پوش گسیختگی موهرکولمب میانگین نمونه شماره ۳،۲،۱ و ٤ همراه با ضایعات زیاد



شکل۱٦- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی میانگین نمونه شماره ۳،۲،۱ و ٤ همراه با ضایعات زیاد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۵- خصوصیات ژئوتکنیکی حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی نخله‌های ساختمانی مورد مطالعه

نام آزمایش	خروجی آزمایش	توضیحات
دانه‌بندی	Soil type = ML/SM/GM/GC/SW-SM	طبق طبقه بندی خاک مورد مطالعه اکثریت درشت دانه و به تعداد کمی در رده ML بوده‌اند.
حدود اتربرگ	PI = 6 – 9 PI $_{Ave}$ = 7.5 LL $_{Ave}$ = 25 PL $_{Ave}$ = 17.42	نوع خاک موردمطالعه اکثریت از نوع درشت‌دانه می‌باشد و اکثریت فاقد نشانه خمیری بوده‌اند و تنها هفت مورد دارای نشانه خمیری بوده‌اند.
آزمایش برش مستقیم ۳۰*۳۰	ϕ= 35 - 44 ϕ $_{Ave}$ = 40	نمونه‌های برداشته شده از تپه‌های انباشته از نخاله‌های ساختمانی همراه با ضایعات فراوان (نمونه شماره ۱ الی ٤)
	c = 3 – 25 kN/m^2 c $_{Ave}$ = 13.5 kN/m^2	
آزمایش برش مستقیم ۳۰*۳۰	ϕ= 48 - 53 ϕ $_{Ave}$ = 50	نمونه‌های برداشته شده از تپه‌های انباشته از نخاله‌های ساختمانی همراه با ضایعات کم(نمونه شماره ۵ الی ۹)
	c = 14 – 31 kN/m^2 c $_{Ave}$ = 20.2 kN/m^2	
تراکم استاندارد	γ_{dmax} = 19.7 kN/m^3	انجام شده برروی نمونه خاک‌های انباشته شده در تپه‌های با ارتفاع کم موجود در اطراف منطقه مورد مطالعه
	ω = 9.85%	
تراکم اصلاح شده	γ_{dmax} = 20.6 kN/m^3	
	ω = 9.95%	
تراکم استاندارد	γ_{dmax} = 20.4 kN/m^3	انجام شده بر روی نمونه‌های استخراج شده از گمانه ماشینی از عمق‌های مختلف.
	ω = 10.36%	
تراکم اصلاح شده	γ_{dmax} = 20.9 kN/m^3	
	ω = 9.22%	
CBR	CBR $_{Ave}$ (10 bump) = 13	انجام شده برروی نمونه خاک‌های انباشته شده در تپه‌های با ارتفاع کم موجود در اطراف منطقه مورد مطالعه. کمترین مقدار متعلق به نمونه خاک متراکم شده در سه لایه و ۱۰ ضربه است (CBR = 3). بیشترین مقدار متعلق به نمونه خاک متراکم شده در پنج لایه و ٥٦ ضربه است (CBR = 79).
	CBR $_{Ave}$ (25 bump) = 24.6	
	CBR $_{Ave}$ (56 bump) = 26.6	
لس آنجلس	درصد سائیدگی = ۲٦/۳۲ – ۳٤/۷۲ ٪ میانگین درصد سائیدگی = ۲۹/۹٦ ٪	انجام شده بر روی سنگدانه‌های موجود در تپه‌های کنار مسیر اصلی
تطویل و تورق	درصد تورق = ۳۱/۵۵٪ درصد تطویل = ۱٤/۱۹٪	نمونه‌های برداشته شده از تپه‌های انباشته از نخاله‌های ساختمانی همراه با پسماند
جذب آب درشت دانه	درصد جذب آب = ۳/۸۷٪	نمونه‌های برداشته شده از تپه‌های انباشته از نخاله‌های ساختمانی همراه با پسماند

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

۵- بهسازی نخاله‌های ساختمانی با وجود ژئوگرید و اضافه کردن خرده بتن

مطابق شکل ۱۷ برای بررسی تاثیر وجود ژئوگرید و خرده بتن بر مقاومت برشی مصالح تشکیل شده از نخاله‌های ساختمانی چندین آزمایش برش مستقیم در این مطالعه انجام گرفته‌است که در ادامه به آن پرداخته شده‌است. نتایج این آزمایش‌ها در جدول (٦) به طور خلاصه ارائه شده است. لایه ژئوگرید در این مصالح نزدیک مرز برش قرار گرفته است. مقاومت کششی ژئوگرید ۸۰ کیلونیوتن بر متر و فاصله چشمه‌های آن از یکدیگر ۳ سانتی متر است. میانگین پوش گسیختگی هر سه نمونه همراه با وجود ژئوگرید و بدون ژئوگرید در شکل‌های ۱۸ تا ۲۱ ارائه شده‌است. نتایج نشان می دهد که تغییرمکان نقطه پیک در هر سه حالت تنش (۰/۵، ۱، ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در حالتی مسلح‌شده با ژئوگرید بطور تقریبی ٦ میلی‌متر بیشتر از مصالح بدون ژئوگرید است.

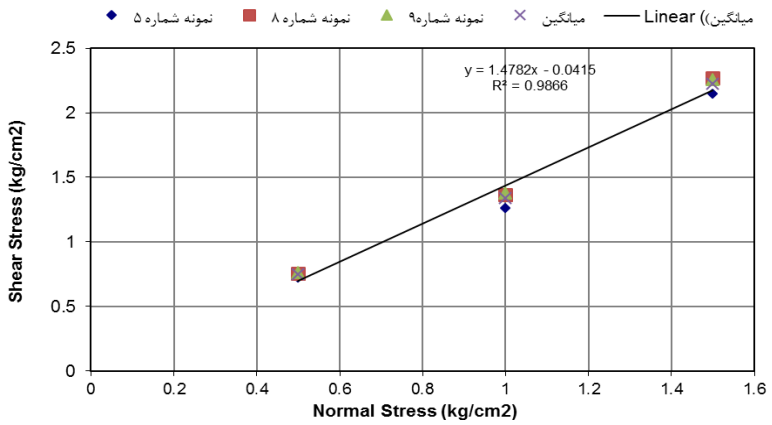
جدول٦- نتایج تاثیر وجود ژئوگرید در پسماندهای ساختمانی

نتایج	با وجود ژئوگرید	بدون ژئوگرید	شماره نمونه
با حضور ژئوگرید چسبندگی کاهش، زاویه اصطکاک داخلی افزایش یافته‌است.	$c = 0$	$c = 31\ kN/m^2$	نمونه شماره پنج آزمایش برش مستقیم
	$\phi = 55$	$\phi = 49$	
	$c = 0$	$c = 14\ kN/m^2$	نمونه شماره هشت آزمایش برش مستقیم
	$\phi = 57$	$\phi = 53$	
	$c = 0$	$c = 15\ kN/m^2$	نمونه شماره نه آزمایش برش مستقیم
	$\phi = 56$	$\phi = 50$	

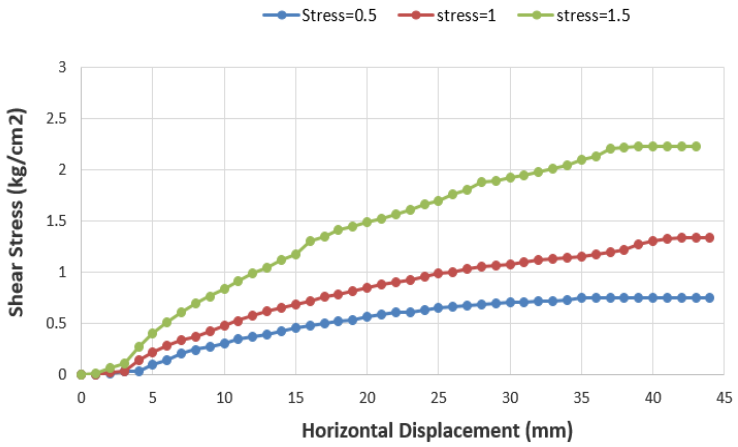


شکل ۱۷- استفاده از ژئوگرید دوسویه بر روی پسماندهای ساختمانی و قرار گرفتن آن در نزدیکی مرز برش

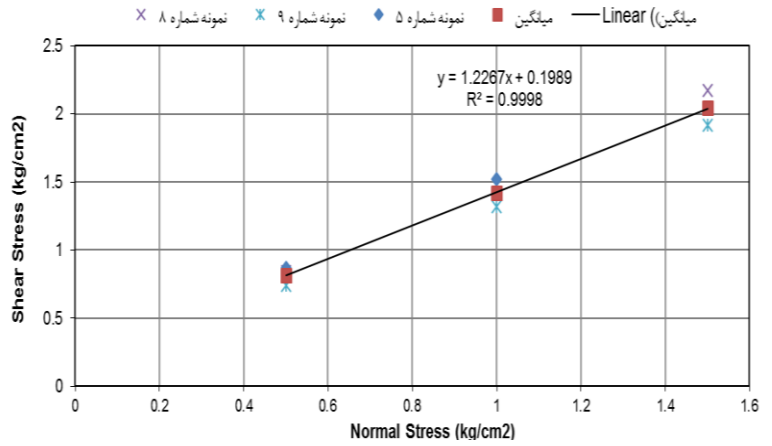
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱۸- پوش گسیختگی موهرکولمب میانگین نمونه شماره ۵، ۸ و ۹ همراه با ژئوگرید

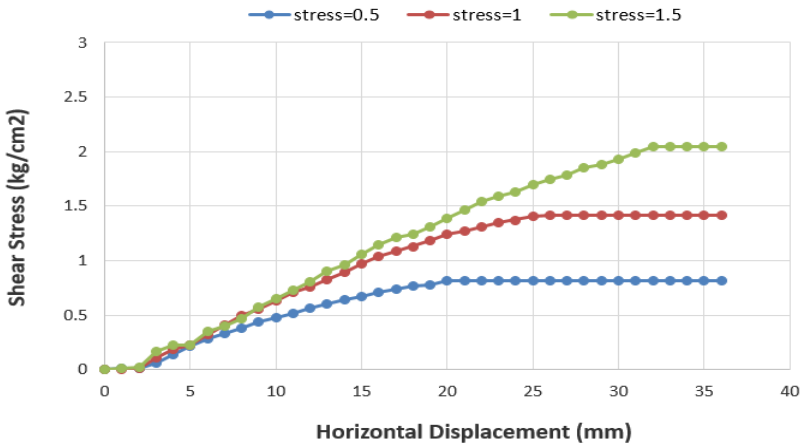


شکل۱۹- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی میانگین نمونه شماره ۵، ۸ و۹ همراه با ژئوگرید



شکل۲۰- پوش گسیختگی موهرکولمب میانگین نمونه شماره ۵، ۸ و ۹ بدون ژئوگرید

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۲۱- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی میانگین نمونه شماره ۵، ۸ و۹ بدون ژئوگرید

برای بررسی تاثیر وجود خرده بتن در مقاومت برشی خاک، بر روی ۲ نمونه آزمایش برش مستقیم در حالت با و بدون وجود خرده بتن انجام شده‌است (شکل ۲۲). نتایج حاصله در شکل‌های ۲۳ الی ۲۹ و جدول ۷ خلاصه گردیده‌است. طبق نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد حداقل باید ۱۵٪ خرده بتن به پسماند ساختمانی اضافه شود تا زاویه اصطکاک داخلی را به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار دهد، اما برای افزایش چسبندگی وجود ۱۰٪ خرده بتن نیز تاثیر خود را بر روی نمونه خواهد گذاشت، که برای بیشتر شدن این تاثیر می‌توان میزان خرده بتن را تا ۲۰ درصد افزایش داد. از نتایج بدست آمده همچنین می‌توان اظهار نمود که در نمونه شماره یک و دو، تغییر مکان در نقطه پیک با افزایش خرده بتن کاهش یافته‌است. بطوریکه در نمونه شماره یک با ۱۰٪ و ۲۰٪ خرده بتن به‌طور میانگین به ترتیب ٤/٦ و ۷/۳ میلی‌متر و در نمونه شماره دو نیز با ۱۰٪ خرده بتن به‌طور میانگین ۸/٦ میلی‌متر کاهش در تغییرمکان نقطه پیک مشاهده شده‌است.

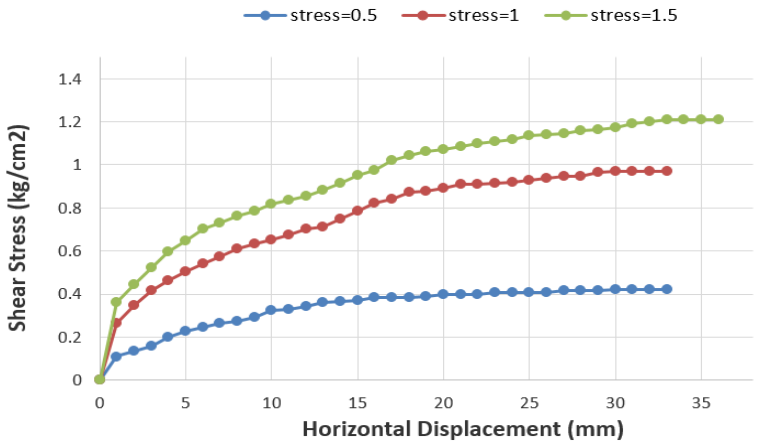
جدول۷- تاثیر اضافه کردن ۱۰٪ خرده بتن به پسماندهای ساختمانی

شماره نمونه	بدون وجود خرده بتن	با وجود ۱۰٪ خرده بتن	با وجود ۲۰٪ خرده بتن	نتایج
نمونه شماره یک آزمایش برش مستقیم	$c = 8\ kN/m^2$	$c = 17\ kN/m^2$	$c = 23$	با حضور خرده بتن چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی افزایش یافته‌اند.
	$\phi = 38$	$\phi = 38$	$\phi = 44$	
نمونه شماره دو آزمایش برش مستقیم	$c = 3\ kN/m^2$	$c = 7\ kN/m^2$	–	
	$\phi = 44$	$\phi = 47$	–	

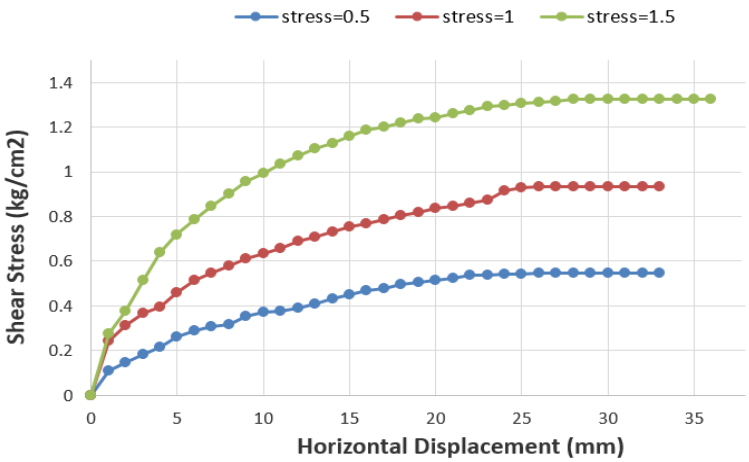
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۲۲- اضافه کردن ۱۰٪ خرده بتن به پسماند ساختمانی

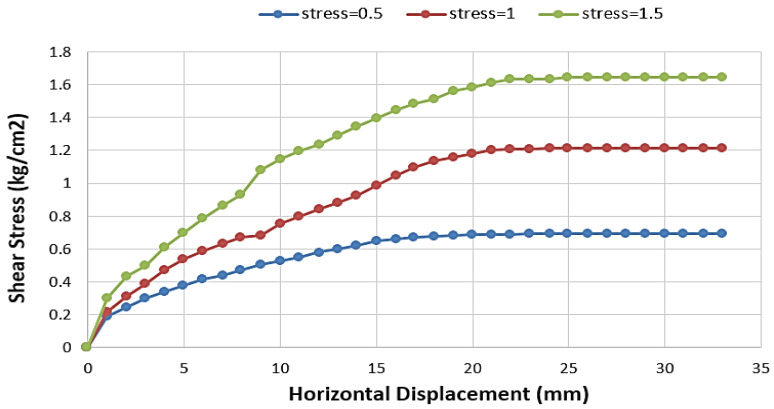


شکل۲۳- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی نمونه شماره یک بدون خرده بتن

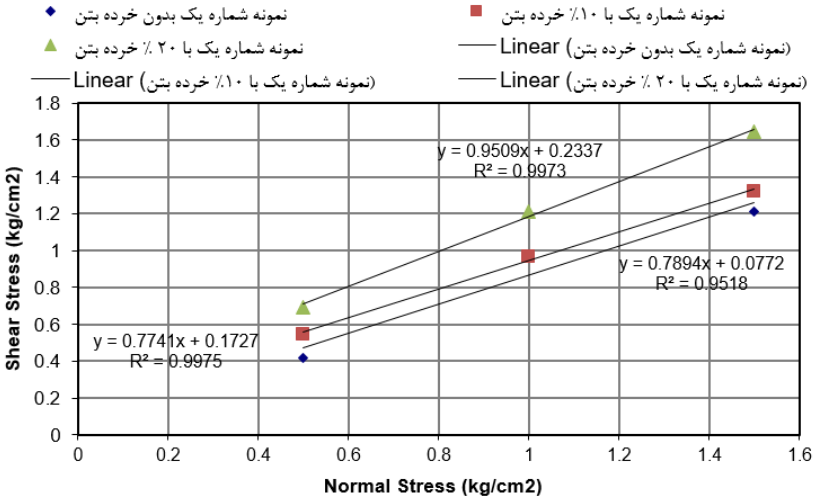


شکل۲٤- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی نمونه شماره یک همراه با ۱۰٪ خرده بتن

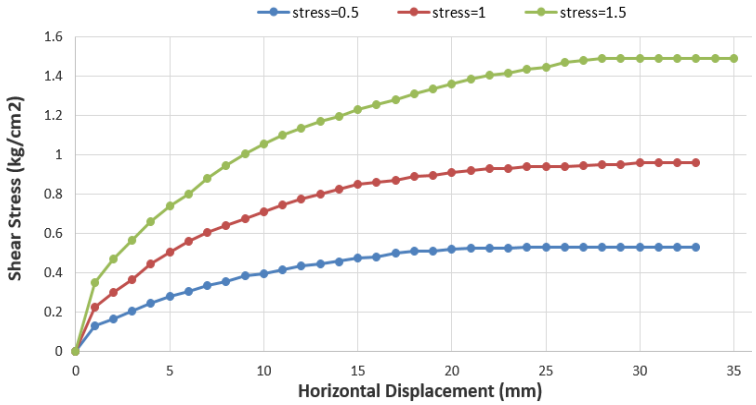
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۲۵- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی نمونه شماره یک همراه با ۲۰٪ خرده بتن

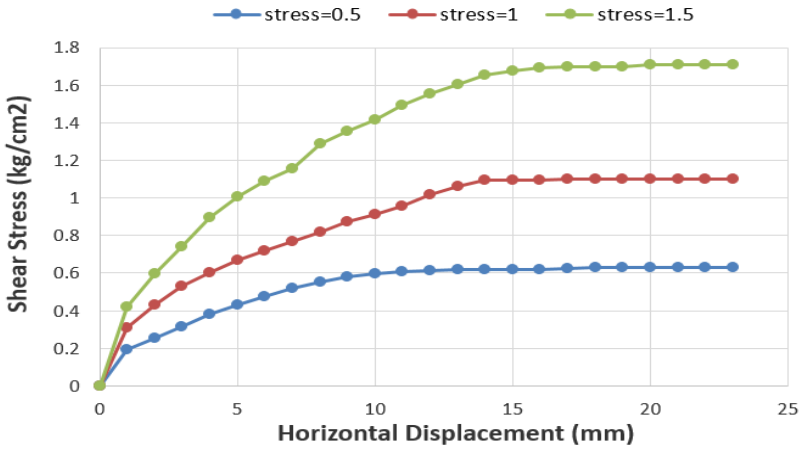


شکل۲۶- پوش گسیختگی موهرکولمب نمونه شماره یک با و بدون حضور خرده بتن

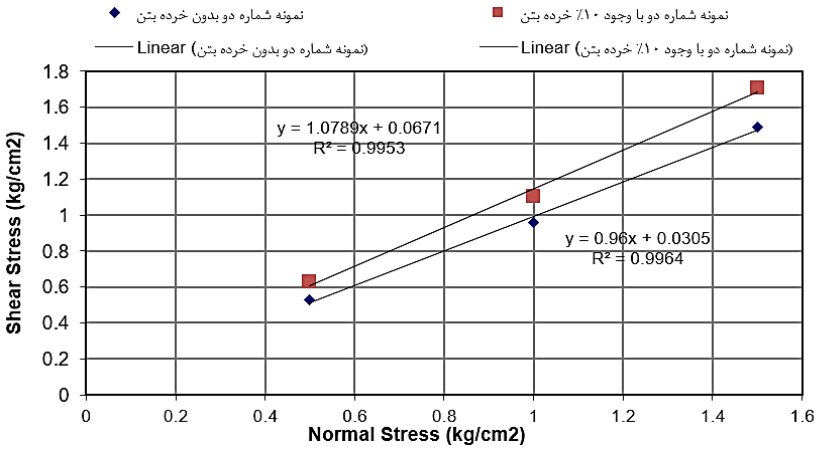


شکل۲۷- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی نمونه شماره دو بدون وجود خرده بتن

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۲۸- نمودار جابجایی برحسب تنش برشی نمونه شماره دو با وجود ۱۰٪ خرده بتن



شکل۲۹- پوش گسیختگی موهرکولمب نمونه شماره دو با و بدون حضور خرده بتن

٦- بررسی امکان به‌کارگیری دوریزهای مطالعه شده در پروژه‌های عمرانی

در این قسمت به استناد نتایج بدست آمده از آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده بر روی نخاله‌های ساختمانی منطقه مورد مطالعه، کاربرد این مصالح در عرصه ساخت بررسی می‌شود.

- **امکان به‌کارگیری دوریزهای مطالعه شده در راهسازی**

میزان تراکم پسماندها برابر ۷۷ درصد بدست آمده است. مطابق مشخصات فنی عمومی راه‌های اصلی، کمترین درصد تراکم قابل قبول ۸۷ درصد می‌باشد و این یعنی عدد بدست آمده پایین‌تر از عدد ذکر شده در نشریه ۱۰۱ می‌باشد. با این حال درصد تراکم در محدوده مناسبی برای خاک ریزدانه به منظور استفاده در راه فرعی درجه دو است و برای کلیه قشرهای پایین‌تر از ۳۰ سانتیمتر بستر روسازی کاربرد خواهد داشت.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

در این پژوهش عدد CBR بدست آمده برای مصالح مورد مطالعه در بازه ۳ تا ۷۹ می‌باشد که بطور میانگین برای ۱۰ ضربه تقریبا ۱۳، برای ۲۵ ضربه تقریبا ۲۵ و برای ٥٦ ضربه تقریبا ۲۷ بدست آمده است. طبق نشریه ۲۳٤ (آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران) می‌توان نتیجه گرفت که در بعضی از مناطق محل مورد مطالعه خاک دارای مقاومت کم می‌باشد (CBR=3 الی CBR=30)، اما با بهسازی آن‌ها توسط تراکم سطحی یا تراکم با غلتک شرایط بهتری پیدا خواهند کرد و می‌توان از آن‌ها در خاک بستر استفاده کرد، همچنین این مصالح در دیگر مناطق محل مورد مطالعه دارای مرغوبیت بیشتر هستند که می‌توان در لایه‌زیراساس (حداقل CBR=30) استفاده کرد. مصالح مورد مطالعه برای ساخت لایه اساس (حداقل CBR=80) توصیه نمی‌شود.

- **امکان به‌کارگیری دوریزهای مطالعه شده به عنوان مصالح ساختمانی**

نتایج آزمایش لس آنجلس بر روی ٤ نمونه مختلف در جدول ۱۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱۲ که براساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان حداکثر درصد سایندگی و یا حداکثر مقدار کاهش وزن سنگدانه در آزمایش لس‌آنجلس سنگدانه‌ها را ۵۰ درصد در نظر گرفته است و با توجه به اینکه حداکثر درصد سایندگی در این ٤ نمونه ۳٤/۷۲ درصد است، می‌توان نتیجه گرفت که مصالح آزمایش شده از مرغوبیت خوبی برخوردار هستند و می‌توان از این مصالح در تهیه بتن برای ساخت ساختمان، دیوارهای حائل و سدهای بتنی استفاده کرد.

جدول۱۱- خلاصه نتایج آزمایش لس‌آنجلس بر روی ٤ نمونه مورد مطالعه

شماره نمونه	1	2	3	4
درصد سایندگی	32.2	26.32	34.72	26.63

جدول۱۲- برخی از مشخصات الزامی سنگدانه‌های مصرفی در بتن (مطابق با جدول ۹-۱۰-۱۵مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و نشریه ۲۳٤)

شرح	نوع سنگدانه	حداکثر مقدار مجاز	حداقل مقدار مجاز	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
میزان کاهش وزن در آزمایش لس آنجلس (درصد)	شن	۵۰	-	٤٤۸

در این پژوهش برای مصالح مورد مطالعه درصد تورق ۳۱/۵۵ و درصد تطویل ۱٤/۱۹بدست آمده است با توجه به حداکثر میزان مجاز دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت مصرفی در بتن مطابق با جدول ۹-۱۰-۱٤ مقررات ملی ساختمان ایران و جدول ۱۳ می‌توان از این آزمایش نیز نتیجه گرفت که مصالح مورد مطالعه از مرغوبیت خوبی برخوردار هستند و میزان دانه‌های سوزنی و پولکی آن‌ها در حد مجاز می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

جدول۱۳- حداکثر میزان وجود دانه‌های پولکی و سوزنی در مخلوط آسفالتی و مخلوط بتنی بر اساس آیین نامه بتن ایران

حداکثر وزنی مجاز (درصد)	نوع سنگدانه (از نظر شکل)	
۳۰	سنگدانه‌های مانده روی الک ۶۳ میلیمتر	دانه‌های پولکی
۳۵	سنگدانه‌هایی با حداکثر قطر ۶۳ یا ۵۰ میلیمتر	دانه‌های سوزنی
۴۰	سنگدانه‌هایی با حداکثر قطر ۲۵/۳۸ یا ۱۹میلیمتر	
۴۵	سنگدانه‌هایی با حداکثر قطر ۱۲/۵ یا ۹/۵ میلیمتر	

- امکان به‌کارگیری پسماندهای مطالعه شده به عنوان پوشش‌های خاکی مدفن‌های زباله

مشخصات مورد نیاز برای پوشش‌های خاکی مورد استفاده در مدفن‌های مهندسی - بهداشتی مطابق جدول ۱۴ است. با توجه به مصالح معرفی شده در جدول ۱۴ مصالح مورد مطالعه در این پژوهش برای پوشش‌های خاکی مناسب می‌باشند.

جدول۱۴- موارد استفاده پوشش‌های خاکی در مدفن‌های مهندسی و بهداشتی (پاک، ۱۳۹۷)

پوشش‌های خاکی	مواد درشت‌دانه (شن و ماسه)	• پوشش روزانه • لایه‌های زهکش • لایه‌های جداکننده و محافظ
	مواد ریزدانه (رس و لای)	• لایه‌های غیرقابل نفوذ در کف، جداره و روکش نهایی مدفن

- امکان به‌کارگیری دوریزهای مطالعه شده در ساخت اجزای سدهای خاکی و آب بندها

در صورت لزوم می‌توان از این مصالح در تهیه اجزای مختلف سد استفاده کرد. هسته سدهای خاکی وظیفه آب‌بندی را به عهده دارد. مصالح مناسب برای هسته سد باید درصد دانه‌های عبوری از الک شماره ۲۰۰ حداقل ۱۵٪ باشد، شاخص خمیری خاک بهتر است بین ۱۰ تا ۲۰ باشد و مصالح ریزدانه در برابر واگرایی مقاوم باشند. در میان سه شرط بالا شرط اول یک شرط کلیدی و غیرقابل صرف‌نظر است. مصالح GC بهترین گزینه برای ساخت هسته سد هستند. زیرا علاوه بر سه شرط بالا، مقاومت برشی قابل توجهی هم دارد. پس از آن خاک‌هایی با طبقه بندی GM-GC، CL، SC و SM-SC نیز از وضعیت مناسبی برای استفاده در هسته سد برخوردار هستند (قنبری، ۱۳۹۳). مصالح مورد مطالعه شرط اول را دارا می‌باشند اما برای شرط دوم که شاخص خمیری کمتری دارند منبع ذکر شده توصیه کرده‌است که اگر عرض هسته ضخیم‌تر از حالت عادی درنظر گرفته‌شود و فیلترهای اطراف هسته با دقت بالاتر طراحی شود می‌توان از خاک با شاخص خمیری کمتر نیز در ساخت هسته سد استفاده کرد. این مصالح برای دیگر اجزای سدهای خاکی مناسب نمی‌باشند. برای استفاده از مصالح موجود در هسته سدهای خاکی لازم است کنترل‌های متعددی صورت پذیرد در این تحقیق صرفا کنترل مربوط به دانه‌بندی صورت پذیرفته است، بدیهی است در صورتیکه این مصالح با هدف احداث سد خاکی به کار گرفته شود لازم است دهها آزمایش دیگر از جمله آزمایش واگرایی انجام گیرد. در تحقیق حاضر انجام آزمایش واگرایی توسط pinhole انجام نشده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

۷- مقایسه خصوصیات نخاله‌های ساختمانی کرج با دوریزهای مطالعه شده توسط سایر محققین

محققین گذشته نیز در پی پاسخ به این سوال بودند که آیا می‌توان از پسماندهای ساختمانی برای مصالح پروژه‌های عمرانی استفاده نمود یا خیر. در جدول ۱۵ مقایسه درصد ضایعات موجود در نخاله‌های ساختمانی مطالعه شده توسط محققین قبل و مطالعه حاضر نشان داده شده است.

جدول۱۵- مقایسه درصد ضایعات موجود در نخاله‌های ساختمانی مطالعه شده توسط محققین قبل با مطالعه حاضر

محققین	درصد (٪) ضایعات موجود در نخاله‌های ساختمانی										
	آجر و بلوک	بتن و سنگدانه	مصالح بنایی و ملات	چوب	مصالح فلزی	پلاستیک	شیشه و سرامیک	آسفالت یا قیر	خاک	گچ	کاغذ و پشم سنگ و ...
Cristelo et al. (2016)		87					1.2	0.5	10.8		0.1
Sormunen and Karki (2019)		12		22	0	31	13			12	11
Islam et al.(2019)	21	60	9	3	7	3	1.3				
Umar et al.(2020)	8	36		49	4.5	0.13	0.35				
Ok et al.(2020)	10.53	36.33		0.38			0.11		52.65		
Tavakoli et al.(2020)	10	35		2		2	6		45		
مطالعه حاضر	3.85	8.39		0.23				3.01	84.49	0.125	

اغلب مطالعات محققین قبلی (Tavakoli et al.(2020)، Ok et al.(2020) و Zhang et al. (2020)) نشان داده‌است که می‌توان از نخاله‌های ساختمانی در پروژه‌های عمرانی استفاده نمود. همچنین Islam et al.(2019) و Umar et al.(2020) به ترتیب در کشور بنگلادش و مالزی طبق مطالعات انجام شده خود در زمینه مدیریت پسماندهای ساختمانی به این نتیجه رسیده‌اند که مدیریت صحیح نخاله‌های ساختمانی و بازیافت آن‌ها می‌تواند کاهش قابل‌توجه انتشارCO_2 ، کاهش مصرف انرژی منابع طبیعی و کاهش حجم مدفن زباله را به دنبال داشته باشند. تحقیق حاضر نیز بنابر آنچه که در مطالب بالا اشاره گردید موید همین مسئله می‌باشد.

محققینی چون Leite et al.(2011) بر مبنای نتایج آزمایش سه محوری به این نتیجه رسیده‌اند که می‌توان از نخاله‌های ساختمانی در لایه زیراساس جاده‌ای با ترافیک کم استفاده نمود. همچنین Zhang et al. (2020) در مطالعه خود توسط آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی مانند PLT ، تراکم و... استفاده از نخاله ساختمانی برای ساخت بستر راهسازی در جاده‌های بزرگراه در چین را به دلیل داشتن تغییرشکل کمتر نسبت به خاک طبیعی توصیه کرده است. در مطالعه حاضر نیز با توجه به نتایج آزمایش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

CBR و آزمایش PLT، SPT و سایش لس آنجلس طبق نشریه ۲۳٤ (آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران) می‌توان نتیجه گرفت که این مصالح به عنوان بستر راه ولایه زیر اساس برای جاده‌های با ترافیک کم در همان محل مورد مطالعه مناسب هستند و همچنین می‌توان از این مصالح در پروژه‌های راهسازی سایر مناطق دیگر استفاده کرد.

Cristelo et al. (2016) در مطالعه خود در رابطه با مسلح سازی نخاله‌های ساختمانی توسط ژئوسنتتیک پرداخته‌است و نتیجه‌گیری کرده است که وجود لایه ژئوسنتتیک باعث افزایش ظرفیت باربری نخاله‌های ساختمانی می‌شود. در این مطالعه عنوان شده است اگرچه سختی مصالح افزایش نیافته است ولی مسلح کننده توانسته روند کاهش سختی را به حداقل برساند. همچنین Tavakoli et al.(2020) در مطالعه خود به بررسی تقویت نخاله‌های ساختمانی با ژئوسل پرداخته اند. در این مطالعه عنوان شده‌است که تقویت نخاله‌های ساختمانی با ژئوسل رفتار این مصالح را به مصالح طبیعی نزدیک می‌کند و می‌توان از این مصالح در لایه‌های فرعی جاده به عنوان جایگزینی برای مصالح طبیعی استفاده کرد. در مطالعه حاضر نیز بر روی سه نمونه از نخاله‌های ساختمانی تقویت شده با ژئوگرید آزمایش برش مستقیم انجام شده‌است که نتایج حاکی از آن است که مصالح مسلح شده با ژئوگرید در مقایسه با مصالح بدون ژئوگرید دارای چسبندگی کمتر و زاویه اصطکاک داخلی بیشتری هستند.

برای بررسی تاثیر وجود خرده بتن در مقاومت برشی نخاله‌های ساختمانی مورد مطالعه، بر روی نمونه‌هایی آزمایش برش مستقیم در حالت با و بدون وجود خرده بتن انجام شده‌است. طبق نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد حداقل باید ۱۵٪ وزن کل مصالح مورد مطالعه، خرده بتن به پسماند ساختمانی اضافه شود تا زاویه اصطکاک داخلی را به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار دهد، اما برای افزایش چسبندگی وجود ۱۰٪ خرده بتن نیز تاثیر خود را بر روی نمونه خواهد گذاشت.

۸- نتیجه گیری

به منظور بررسی امکان به‌کارگیری پسماندهای ساختمانی در پروژه‌های ساخت و ساز، آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی متعددی انجام گردید. نتایج بدست‌آمده حاکی از آن است که پسماندهای ساختمانی می‌توانند در چرخه ساخت‌وساز به کارگرفته شوند و بر این اساس نقش موثری در کاهش هزینه و بهبود شرایط زیست محیطی داشته باشند. برخی از نخاله‌های ساختمانی دپو شده در منطقه حصار کرج دارای مقاومت کافی و مناسب برای استفاده مستقیم در پروژه‌های عمرانی را دارند، اما برای برخی دیگر که از مقاومت کمتری برخوردار هستند می‌توان با تسلیح توسط ژئوسنتتیک‌ها به نتیجه بهتری دست یافت. همچنین در صورت ترکیب خرده بتن با نخاله‌های ساختمانی شرایط آن‌ها برای استفاده در راهسازی و همچنین مواردی که نیاز به باربری بالایی وجود دارد، مهیا می‌شود. به طوریکه در این مطالعه با اضافه کردن حداقل ۱۵ درصد خرده بتن به پسماندهای موجود باعث شد که مقاومت چسبندگی تا دو برابر و زاویه اصطکاک داخلی تا ۸ درجه افزایش یابد.

پسماندهای ساختمانی موجود در حصار کرج قابلیت به‌کارگیری مستقیم در ساخت جاده‌های فرعی با ترافیک کم را دارند. علاوه بر این به عنوان مصالح بستر جاده‌های اصلی، مصالح کف‌سازی ساختمان‌ها، پوشش‌های خاکی مدفن‌های زباله، ساخت هسته

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

سدهای خاکی و همچنین به عنوان پی ساختمان شرایط لازم را دارند. اما باید خاطر نشان کرد که لازم است، مطالعات لازم در رابطه با اثر اشباع شدن این مصالح بر مقاومت آن‌ها در ادامه انجام شود زیرا ممکن است اشباع کامل این مصالح باعث تضعیف مقاومت آن‌ها شود. همچنین بررسی اثر ناهمگنی نخاله‌های ساختمانی موضوع پژوهش حاضر نبوده است بنابراین توصیه می‌شود این موضوع در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد زیرا ناهمگنی ممکن است باعث نشست نامتقارن گردد. خاک‌های مشکل‌آفرین یا خاک‌های مسئله‌دار در نخاله‌های ساختمانی اغلب شامل خاک‌های واگرا و رمبنده (فروریزشی)، انحلال پذیر و تورم پذیر می‌باشند. بررسی شواهد کانی‌های رسی منطقه نشان می‌دهد که خاک‌های تورم پذیر، واگرا و فروریزشی در میان نخاله‌های ساختمانی دیده نشده‌است با این حال در ارتباط با خاک‌های انحلال‌پذیر نیز لازم است تحقیقات بیشتری صورت پذیرد.

لازم به ذکر است به طور کلی بدیهی است اگر لازم باشد این مصالح به منظور استفاده در راهسازی یا ساختمان سازی یا سدسازی به کار گرفته شود لازم است آزمایش‌های تکمیلی که در طراحی سازه‌های یاد شده مورد نظر است نیز انجام شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

منابع

۱- بیگدلو، سعیده، موسوی، حسن، معین‌الدینی، مظاهر، (۱۳۹۸)، "بررسی مقدار و ترکیب نخاله‌های ساختمانی کلانشهر کرج"، پژوهش و فناوری محیط زیست، دوره چهارم، شماره٦، صفحه ۲۱-۳۰

۲- پاک، علی، (۱۳۹۷)، "ژئوتکنیک زیست محیطی"، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

۳- قنبری، امیرمحمد، خاصی، مهدی، (۱۳۹٦)، "بازیافت نخاله‌های ساختمانی در ایران و جهان، روش‌ها و چشم‌اندازها"، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران.

٤- قنبری، علی، (۱۳۹۳)، "اصول مهندسی سدهای خاکی"، انتشارات دانشگاه خوارزمی.

۵- محمدی، علی، عادلی، مهدی، (۱۳۹۵)، "بررسی روش‌های بازیافت پسماندهای ساختمانی از نخاله‌ها، در ساخت و ساز مجدد در شهرستان مسجد سلیمان"، کنفرانس بین المللی نوآوری در علوم و تکنولوژی.

6-Cristelo, Nuno, Castorina Silva Vieira, and Maria De Lurdes Lopes. 2016. “Geotechnical and Geoenvironmental Assessment of Recycled Construction and Demolition Waste for Road Embankments.” *Procedia Engineering* 143(Ictg):51–58. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.007.

7- Clayton, C. I. R., Matthews, M. C. and Simons, N. E.(1997), Site Investigation, second edition, Department of Civil Engineering, Surrey university.

8- Coduto , D.P.(2002) "Geotechnical Engineering –Principles and Practices", Prentice-Hall.

9- De Mello, V.F.B. (1971) ‘The standard penetration test’, *Proc. 4th PanAmerican Conf. Soil Mech. and Found. Eng.*, San Juan, Puerto Rico, Volume 1, pp. 1-86.

10-Islam, Rashidul, Tasnia Hassan Nazifa, Adhi Yuniarto, A. S. M. Shanawaz Uddin, Salmiati Salmiati, and Shamsuddin Shahid. 2019. “An Empirical Study of Construction and Demolition Waste Generation and Implication of Recycling.” *Waste Management* 95:10–21. doi: 10.1016/j.wasman.2019.05.049.

11-Jin, Ruoyu, Bo Li, Tongyu Zhou, Dariusz Wanatowski, and Poorang Piroozfar. 2017. “An Empirical Study of Perceptions towards Construction and Demolition Waste Recycling and Reuse in China.” *Resources, Conservation and Recycling* 126(April):86–98. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.07.034.

12- Leite, Fabiana Da Conceião, Rosângela Dos Santos Motta, Kamilla L. Vasconcelos, and Liedi Bernucci. 2011. “Laboratory Evaluation of Recycled Construction and Demolition Waste for Pavements.” *Construction and Building Materials* 25(6):2972–79. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.105.

13-Mohammadinia, Alireza, Arul Arulrajah, Hamed Haghighi, and Suksun Horpibulsuk. 2017. “Effect of Lime Stabilization on the Mechanical and Micro-Scale Properties of Recycled Demolition Materials.” *Sustainable Cities and Society* 30:58–65. doi: 10.1016//j.scs. .2017. .01.004.

14-Ok, Bahadir, Talha Sarici, Tugrul Talaslioglu, and Abdulazim Yildiz. 2020. “Geotechnical Properties

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]

of Recycled Construction and Demolition Materials for Filling Applications." *Transportation Geotechnics* 24(June):100380. doi: 10.1016/j.trgeo.2020.100380.

15- Oycshols, F and Kofoworola, S. 2009 , H.Gheewala Estimation of waste generation and management in Thailand. Waste management pages 731-738.

16-Roque, A. J., I. M. Martins, A. C. Freire, J. M. Neves, and M. L. Antunes. 2016. "Assessment of Environmental Hazardous of Construction and Demolition Recycled Materials (C&DRM) from Laboratory and Field Leaching Tests Application in Road Pavement Layers." *Procedia Engineering* 143(Ictg):204–11. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.026.

17-Silva, R. V., J. de Brito, and R. K. Dhir. 2019. "Use of Recycled Aggregates Arising from Construction and Demolition Waste in New Construction Applications." *Journal of Cleaner Production* 236:117629. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117629.

18- Skempton, A.W. (1986) 'Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation', Géotechnique, 36 (3), 425—447.

19- Sormunen, Petri, and Timo Kärki. 2019. "Recycled Construction and Demolition Waste as a Possible

Source of Materials for Composite Manufacturing." *Journal of Building Engineering* 24(March):100742.

doi: 10.1016/j.jobe.2019.100742.

20- Tavakoli Mehrjardi, Gholamhosein, Alireza Azizi, Amanj Haji-Azizi, and Gholamreza Asdollafardi. 2020. "Evaluating and Improving the Construction and Demolition Waste Technical Properties to Use in Road Construction." *Transportation Geotechnics* 23(September 2019):100349. doi: 10.1016/j.trgeo.2020.100349.

21- Umar, Usman Aminu, Nasir Shafiq, and Farah Amira Ahmad. 2020. "A Case Study on the Effective Implementation of the Reuse and Recycling of Construction & Demolition Waste Management Practices in Malaysia." *Ain Shams Engineering Journal* (xxxx). doi: 10.1016/j.asej.2020.07.005.

22- Vieira, Castorina Silva, and Paulo M. Pereira. 2015. "Use of Recycled Construction and Demolition Materials in Geotechnical Applications: A Review." *Resources, Conservation and Recycling* 103:192–204. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.07.023.

23- Zhang, Junhui, Fan Gu, and Yuqing Zhang. 2019. "Use of Building-Related Construction and Demolition Wastes in Highway Embankment: Laboratory and Field Evaluations." *Journal of Cleaner Production* 230:1051–60. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.182.

24-Zhang, Junhui, Le Ding, Feng Li, and Junhui Peng. 2020. "Recycled Aggregates from Construction and Demolition Wastes as Alternative Filling Materials for Highway Subgrades in China." *Journal of Cleaner Production* 255:120223. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120223.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-31]