



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۳۹ تا ۴۶  
Vol. 46, No. 2, Winter 2014, pp. 39- 46



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)  
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)  
(AJSR - CEE)

## توسعه قائم مراکز دفن بهداشتی زباله با توجه به مقاومت ترکیبات موجود در آنها

نادر شریعتمداری<sup>۱\*</sup>، حمید رضا رازقی<sup>۲</sup>، احمد نایبی<sup>۳</sup>، محمد حسین حمزه بی طهران<sup>۴</sup>

- ۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۳- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۴- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

(دریافت ۱۳۹۰/۳/۲۳، پذیرش ۱۳۹۳/۱۱/۲۵)

### چکیده

مقاومت برشی زباله موجود در مراکز دفن با توجه به شرایط خاص آن امروزه یکی از موضوعات بسیار مهم بررسی پایداری آن مراکز است. تأثیرپذیری بسیار زیاد این مواد از دما و رطوبت با توجه به ترکیب اولیه آنها باعث شده است با گذر زمان این ترکیبات تغییرات زیادی را از لحاظ ظاهر متحمل شوند. این دگرگونی همگام با شرایط دفن از جمله مسائل تراکم اولیه و میزان افزودن خاک برای پوشش روزانه و ماهانه، ساختار اولیه زباله را تغییر داده و کفایت بررسی مواد اولیه زباله یا نمونه‌های بدست آمده قبل از دفن را به‌عنوان نمونه یا معرف نمونه‌های موجود در این مراکز را زیر سؤال می‌برد. در این مقاله با استفاده از نمونه‌های واقعی بدست آمده از مرکز دفن البرز واقع در شهر قم و با آزمایش مقاومت برشی با دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس و نمونه‌های با سن متفاوت و درصدهای خاک مختلف به بررسی مقاومت برشی بدست آمده از این مرکز دفن پرداخته و در راستای توسعه مرکز دفن پارامترهایی مانند افزایش پیش تحکیمی و افزایش درصد پلاستیک نیز بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده کاهش مقاومت برشی نمونه تحت اثر افزایش سن و درصد پلاستیک زباله بوده با تغییرات میزان خاک تا درصد بهینه‌ای مقاومت برشی افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد؛ افزایش پیش تحکیمی بدون افزایش انرژی تراکمی باعث سرعت بخشیدن در نحوه بسیج شدن مقاومت برشی نمونه و تغییر رفتار آن شد.

### کلمات کلیدی

مقاومت برشی، سن زباله، مرکز دفن، ترکیبات زباله، درصد خاک، میزان پلاستیک.

\* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email:shariatmadari@iust.ac.ir

## ۱- مقدمه

مساحت مورد نیاز بیست سال آینده این مرکز دفن ۸۰۰ هکتار می باشد. این مجموعه بارها با سیاست‌های متفاوتی دست به دفن زباله زده است؛ دفن اولیه زباله به صورت سطحی بوده که بعدها با توجه به افزایش تولید زباله و نیاز به استفاده از زمین به دفن ترانشه ای تبدیل شده است.

از مزیت‌های نمونه برداری از این مرکز دفن مشخص بودن سن نمونه ها به صورت دقیق می باشد. در این مرکز سال دفن نمونه ها، نوع زباله دفن شده و حجم آن بر روی تابلوهایی نوشته و روی خود ترانشه نصب شده است.

## ۲-۲- نحوه نمونه گیری

نمونه‌گیری از زباله‌ها به گونه‌ای بوده که معرف مناسبی از کل زباله‌ها باشد. برای توسعه مرکز دفن باید از زباله‌هایی استفاده کرد که به عنوان بستر برای توسعه مرکز دفن استفاده می‌شوند. به همین منظور نمونه‌ها به دلیل دفن سطحی پس از برداشت پوشش نهایی که ضخامتی بین ۳۰ تا ۱۵۰ سانتی متر داشت، تهیه شد. برای شناخت ترکیبات اولیه این نمونه‌ها از نتایج ارائه شده توسط مشاور توسعه مرکز دفن که تفکیک فیزیکی زباله‌های دفن شده را در طی فصل‌های متفاوت مورد بررسی قرار داده بود؛ استفاده شده است (جدول ۱). برای بررسی درصد خاک از نمونه‌های تازه دفن شده استفاده شده است. این نمونه‌ها قبل از اجرای پوشش روزانه و نهایی، نمونه برداری شده اند. دیگر مشخصات نمونه‌ها از جمله درصد پلاستیک، سن و رطوبت به صورت جداگانه در جدول ۲ آمده است. درصد پلاستیک و رطوبت اعلام شده در این جدول به صورت وزنی می‌باشد. علامت اختصاری F برای زباله‌های تازه O برای زباله‌های یک ساله E برای زباله‌های هشت ساله و S برای زباله‌های هفده ساله می‌باشد.

از دیگر مشخصات موجود در این جدول مقادیر وزن مخصوص خشک و تر می‌باشد. این مقادیر درست قبل از انجام آزمایش (برش) بدست آمده اند.

## ۲-۳- دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس

دستگاه مورد استفاده با ابعاد مقطع ۳۰۰ میلی‌متر × ۳۰۰ میلی‌متر و با ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد که توانایی وارد آوردن بار برشی ۱۰۰ کیلو نیوتن هم زمان با وارد آوردن بار قائم ۵۰ کیلونیوتن بر مقطع را دارد. دو LVDT قائم و افقی در اثر تغییر مکان اعمالی توسط موتور الکتریکی که با نرخ ثابتی بین ۰/۰۰۱ تا ۱۹ میلی‌متر بر دقیقه برای ثبت تغییر شکل‌های بوجود آمده در زمان انجام آزمایش عمل می‌نمایند. نیروی برشی اندازه گیری شده بوسیله ثبت کننده‌های تغییر نیروی برشی که

با افزایش جمعیت مناطق شهری و تغییر الگوی مصرف در جوامع بشری، نرخ تولید زباله نیز افزایش می‌یابد، مدیریت پسماند امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل روبروی سیاستگذاران گسترش شهرها است. راه حل‌های موجود جهت کاهش تولید زباله، نیاز به دفن را مرتفع نساخته و همواره نیاز به محل مناسب برای دفن بهداشتی از اولویت‌های موجود برای دفع زباله‌های موجود بوده است. گسترش مراکز دفن موجود یکی از اولین و بهترین ایده‌های مطرح در زمینه توسعه مراکز دفن بوده بنابراین طراحی و تحلیل این مراکز و مهم‌تر از آن بررسی رفتار مکانیکی زباله‌های جامد شهری موجود اهمیت زیادی دارد.

دفن پسماند بر روی زباله‌های قدیمی ریخته شده در مرکز دفن که در افزایش حجم زباله‌های قابل دفع اثر بسزایی داشته و از اشغال بی رویه زمین جلوگیری می‌نماید، معمول‌ترین اقدام برای توسعه یک مرکز دفن قدیمی می‌باشد. این افزایش، طراحان مراکز دفن را با مکانیک زباله مواجه ساخته که ماهیت بسیار پیچیده ای دارد. بررسی خصوصیات مکانیکی زباله هر مرکز دفن توانایی پیش بینی رفتار زباله را برای آن مرکز تقویت می‌کند.

تحقیقات بسیار زیادی در زمینه رفتارشناسی زباله تاکنون انجام شده است. اولین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه متعلق به ستول (۱۹۷۱)<sup>۱</sup> و بعد از آن لاندوا و همکاران (۱۹۸۶)<sup>۲</sup> می‌باشد، که پس از این محققین دامنه بررسی‌های موجود در این زمینه بسیار توسعه یافت. اولین مدل ساختاری در این زمینه توسط ماجادو و همکاران (۲۰۰۲)<sup>۳</sup> معرفی شد و پس از آن بسیاری از پارامترهای زباله مورد پژوهش قرار گرفت. بررسی نتایج بدست آمده از تحقیقات دیگر پژوهشگران گرچه می‌تواند در موارد بسیار زیادی راه گشا باشد اما با توجه به وابستگی شدید ترکیبات اولیه زباله به الگوی مصرف هر جامعه و تغییرات این ترکیبات با زمان در اثر شرایط محیطی خاص آن مکان و شرایط دفن، همواره باید از تحقیقات موجود برای بررسی مراکز دفن محلی استفاده نمود. در زمینه پژوهش‌های محلی محققینی همچون شریعتمداری و همکاران (۲۰۰۹)<sup>۴</sup> و کریم‌پور فرد و همکاران (۲۰۱۰)<sup>۵</sup> نتایج مفیدی را ارائه نموده اند.

## ۲-۲- مواد، دستگاه و روش انجام آزمایش

## ۲-۱- محل اخذ نمونه‌ها

محل اخذ نمونه‌ها مرکز دفن البرز قم می‌باشد. این مرکز دفن در سال ۱۳۶۴ برای دفن بهداشتی پسماندهای شهری و عفونی (بیمارستانی) شروع به کار نمود. مساحت تحت پوشش این مجموعه ۱۴۲ هکتار بوده که با توجه به افزایش دفن سطحی و ترانشه ای رو به توسعه می‌باشد. پیش بینی مشاور برای

به صورت الکتریکی به یک دستگاه رایانه وصل هستند، ثبت می‌شود.

جدول (۱): تحلیل فیزیکی زباله شهر قم، میانگین سالیانه و به ترتیب و فصل (مشاور)

فصل	مواد (وزن)	مهره آل	PET	کاغذ و مقوا	پلاستیک	شیشه	سنگ	فلز	سایر	مجموعه	فصل
بهار	۶۳/۵	۰/۷۶	۳/۷۵	۶/۷	۲/۸	۰/۹۵	۷/۷	۱/۴	۰/۴۵	۱/۱	۹/۱
تابستان	۷۲	۰/۸۵	۳/۴	۶/۷	۲/۱	۰/۸	۶/۸	۰/۱۵	۰/۸	۱/۶۱	۴/۷۵
پاییز	۶۶/۵	۰/۶۶	۳/۲۵	۷	۲/۶	۳/۲۵	۴/۱۵	۱/۹۵	۱/۵	۲	۷/۱۵
زمستان	۶۴/۷	۰/۵	۶/۹۵	۱۰/۴	۲	۱/۱	۲/۱	۴/۱	۰/۷۷	۳/۴۵	۴/۱
میانگین سالیانه	۶۶/۸	۰/۷	۱	۷/۷	۲/۳	۱/۶	۵/۲	۲	۰/۸۸	۲/۱	۶/۳

جدول (۲): مشخصات نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق

علامت اختصاری	سن نمونه (سال)	چگالی خشک متوسط (kg/cm <sup>3</sup> )	چگالی تر متوسط (kg/cm <sup>3</sup> )	رطوبت (%)	درصد پلاستیک
S	۱۷	۷/۵۹	۹/۱۵	۲۰/۵۴	۱۹/۳۶
E	۸	۷/۴۲	۱۲/۰۵	۶۲/۳۸	۱۵/۳۳
O	۱	۶/۵۷	۱۶/۴۱	۱۴۹/۸۵	۵/۶۰
F	تازه‌ی البرز	۸/۰۳	۱۴	۷۴/۲۴	۵/۴۸

## ۲-۴- نحوه انجام آزمایش

برای آماده سازی نمونه‌ها باید برای هم‌خوانی ابعاد ترکیبات نمونه با ابعاد جعبه دستگاه ترکیباتی که دارای بعد بزرگتر از ۵ سانتی متر هستند (یک ششم بعد مقطع دستگاه) بوسیله کاتر ریزتر شوند؛ در غیر این صورت احتمال دارد ترکیباتی مانند پلاستیک غشایی ایجاد شده و باعث عملکرد گروهی یک سری از ترکیبات داخل غشا نموده و با تغییر زاویه کلاهدک بر نتایج آزمایش اثر بگذارند. برای نمونه سازی سعی شده است از انرژی تراکم یکسان برای نمونه‌ها در طول آزمایش استفاده شود. در این زمینه از روش پیشنهادی زکاس (۲۰۰۵)<sup>۶</sup> استفاده شده است. وی پیشنهاد داد که نمونه‌ها در سه لایه که هر کدام با چکشی به وزن ۱۰۰ نیوتن که از ارتفاع ۰/۸ متر رها می‌شود برای رسیدن به انرژی تراکم یکسان یا وزن مخصوص موردنظر کوبیده شود. نمونه‌های مورد آزمایش که با درصدهای متفاوت خاک (۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد) مورد آزمایش قرار گرفته‌اند نیز به صورت وزنی با خاک موجود در محل مخلوط شده و به روش فوق در جعبه برش برای آزمایش آماده سازی می‌شوند. بعد از این مرحله نمونه‌ها تحت سربارهای مختلف ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال به مدت ۲۴ ساعت تحکیم می‌شوند؛ این زمان به صورتی انتخاب شده است که نشست‌های کلاهدک جعبه برش پس از بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای ناچیز باشد. در این حالت نمونه آماده برش خوردن در شرایط رطوبت طبیعی خود می‌باشد.

گفتنی است درصد رطوبت بدست آمده در جدول ۲ از خشک نمودن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه بدست آمده است. نرخ تغییر مکان مورد استفاده در این آزمایش‌ها ۰/۸ میلی متر بر دقیقه بوده که بوسیله زکاس (۲۰۰۵) نیز پیشنهاد شده است. آزمایش‌های انجام شده کرنش-کنترل بوده و با رسیدن به تغییر مکانی نزدیک به ۱۵ درصد اندازه طولی دستگاه (۴۵ میلی متر)، پایان آزمایش اعلام می‌شود. تغییر مکانهای هدف مورد استفاده در کارهای دیگر محققین در زمینه آزمایش‌های برش مستقیم بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بعد دستگاه در راستای برش می‌باشد. سیجل و همکاران (۱۹۹۰)<sup>۷</sup> مقدار ۱۰٪، گبر و والرئو (۱۹۹۵)<sup>۸</sup> نیز مقدار ۱۰٪ را برای مقدار حداکثر تنش برشی و مقدار ۲۰٪ تغییر مکان را برای گزارش دادن زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی حداکثر انتخاب کردند. در کارهای انجام شده در ایران نیز جعفری کلاریجانی-ح (۱۳۸۹) و کرامتی-م (۱۳۸۹) مقدار ۱۵٪ تغییر مکان نیمه جعبه برش را برای گزارش مقدار حداکثر تنش برشی و پارامترهای آن انتخاب نمودند.

بیش از ۸۰ آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس بر مبنای روش فوق آماده سازی و اجرا شد.

## ۳- نتیجه آزمایش‌ها

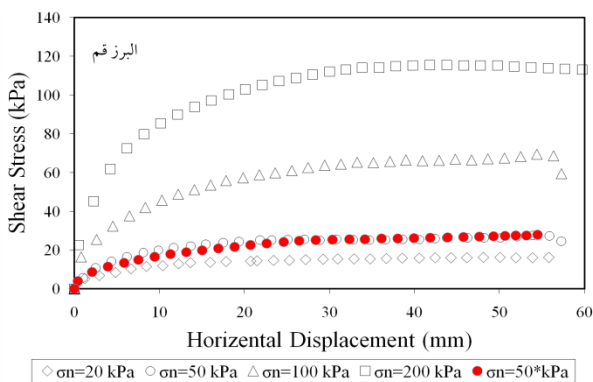
### ۳-۱- نتایج آزمایش‌های مرجع

آزمایش‌های مرجع، آزمایش‌هایی اولیه‌ای بر مبنای تنش

نمونه را در سه لایه با چکشی به وزن ۱۰۰ نیوتن که از ارتفاع ۸۰ سانتی متری بر لایه ها فرود می آید متراکم می شود (نایی و همکاران (۲۰۱۱)<sup>۱۲</sup> و زکاس (۲۰۰۵)). در این روش با انرژی تراکمی یکسان این نمونه ها ساخته می شوند. البته گفتنی است که ترکیبات اولیه این نمونه ها به دلیل میزان مطلوبی نمونه که از مرکز دفن البرز بدست آمده بود (بیش از ۲۰۰ کیلو گرم برای هر مورد آزمایش) ساختار ترکیبی اولیه یکسانی را بدست می داد و خواننده محترم پژوهش فوق هیچ گاه نباید این برداشت غلط را بنمایند که دو نمونه با سن یکسان از دو مرکز دفن متفاوت (که موضوع بحث این مقاله نیز نمی باشد) و با روش یکسان نمونه برداری و نمونه سازی به نتایج یکسان منجر می شوند.

برداشت نهایی از این نمودارها رفتار هیپربولیکی در بسیج شدن مقاومت برشی این ماده در دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس می باشد.

در شکل (۱) هیچ گونه اثری از تسلیح زباله توسط فیبرهای موجود در زباله که به صورت کلی پلاستیک ها می باشند، دیده نمی شود. پدیده به کار نیوفتادن فیبر در تمامی آزمایش های انجام شده با دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس که به صورت استاندارد تحکیم یافته اند دیده می شود؛ در مدل چهار مرحله ای ارائه شده توسط کلچ.اف (۱۹۹۵)<sup>۱۵</sup> که در شکل (۲) مشاهده می شود اگر در نمونه، فیبر ها به کار بیافتند پس از به کار افتادن آنها در نمودار دارای یک مقدار بیشینه برای مقاومت برشی می باشد و پس از گسیختگی فیبر، از مقاومت برشی نمونه کاسته خواهد شد.



شکل (۱): تغییرات تنش برشی با افزایش تنش قائم در آزمایش های مرجع در برابر تغییر مکان افقی (نمونه تازه مرکز دفن البرز).

قائم اعمالی بر روی نمونه تازه مرکز دفن البرز می باشد. تنش های قائم ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال برای تحکیم و اعمال در زمان اجراء، برای آزمایش های مرجع انتخاب شده اند. مقادیر معمول تنش قائم در ادبیات فنی در بازه بین ۱۰ تا ۲۰۰ کیلو پاسکال قرار دارد. در آزمایش های مرجع تکرار پذیری هر دسته آزمایش با انجام مجدد آن کنترل شده است.

آزمایش های مرجع دارای مشخصات زیر هستند: نمونه های زباله تازه بدست آمده از مرکز دفن البرز قم نرخ برش استفاده شده ۰/۸ میلی متر بر دقیقه تحکیم نمونه با همان تنش قائم زمان برش به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفته است.

آزمایش ها کرنش-کنترل بوده و تغییر مکان افقی لازم ۱۵ درصد حد نهایی تغییر شکل می باشد.

نتایج این آزمایش ها برای اهداف ذیل بکار رفته است:

- اثر تنش های قائم اعمالی بر نمونه ها
- اثر تغییر مکان افقی بر نمونه ها
- ارزیابی امکان تکرار پذیری چک شود
- نحوه رفتار برشی نمونه ها

شکل (۱) خروجی آزمایش های مرجع است. در این شکل یکی از نمودارهای تکرار پذیری برای وضوح بیشتر با نقطه های توپر آورده شده است (در نمودارها ارائه شده  $\sigma_n$  یا تنش قائم به صورت  $\sigma_n$  نشان داده شده است).

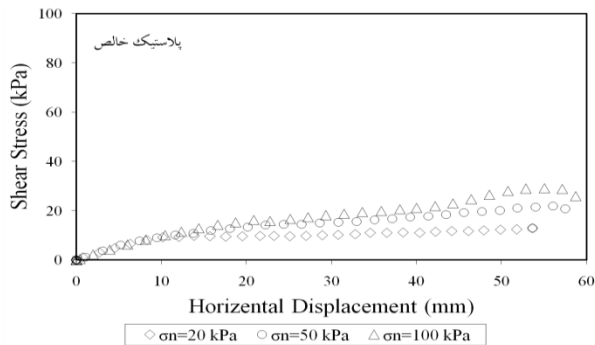
برداشت اول از نمودار فوق آن است که تنش برشی با افزایش تنش قائم افزایش می یابد، این نتیجه گیری با کارهای ماهر و دلانماره (۲۰۰۳)<sup>۹</sup>، کریم پور فرد (۲۰۰۹)<sup>۲</sup>، شریعتمداری و همکاران (۲۰۱۰)<sup>۱۰</sup>، زکاس (۲۰۰۵)<sup>۱۱</sup> و لانگر (۲۰۰۵)<sup>۱۲</sup> همخوانی دارد. این پدیده نشان دهنده طبیعت اصطکاکی زباله می باشد که با افزایش تنش قائم درگیری بین ذرات زباله افزایش یافته و مقاومت بالاتری را از خود نشان می دهند. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود تأثیر این عامل بر مقاومت برشی به صورت خطی نیست.

برداشت دیگری که از این نمودار می شود افزایش مقاومت برشی با افزایش تغییر مکان افقی است.

این رفتار با تحقیقات انجام گرفته توسط گبر و والرئو (۱۹۹۵)<sup>۱۱</sup>، پلکی و همکاران (۲۰۰۱)<sup>۱۱</sup>، شریعتمداری و همکاران (۲۰۱۰)<sup>۱۰</sup>، حسین (۲۰۰۲)<sup>۱۲</sup>، کریم پور فرد (۲۰۰۹)<sup>۲</sup> و گبر و همکاران (۲۰۰۷)<sup>۱۳</sup> همخوانی دارد.

همانگونه که در شکل (۱) دیده می شود تکرار پذیری خوبی در این آزمایش ها حاصل شده است. دلیل این تکرار پذیری روش آماده سازی یکسان نمونه ها می باشد به این صورت که

ملاحظه می‌باشد مقاومت بسیار کم این مواد است؛ در نتیجه با توجه به افزایش سن، افزایش مواد شبه خاکی که مقاومت کمتری نسبت به ماده اولیه زباله دارند (کاواونجیان، ای جی ار (۱۹۹۹)<sup>۱۶</sup>) و همچنین با افزایش پلاستیک مقاومت ماده اولیه، کاهش خواهد یافت.



شکل (۴): تغییرات تنش برشی با افزایش تنش قائم در آزمایش بر روی پلاستیک در برابر تغییر مکان افقی.

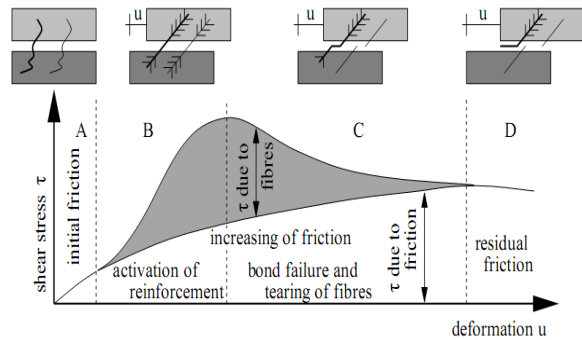
### ۳-۳- نتایج آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های با سن

#### متفاوت

در شکل (۵) نتایج آزمایش‌ها با سنین مختلف از تازه، یک ساله، هشت ساله و هفده ساله با نرخ برش ۰/۸ میلی‌متر بر دقیقه و با تنش قائم ۱۰۰ کیلو پاسکال نشان داده شده است. به طور کلی از نمودارها این چنین برداشت می‌شود که با افزایش سن تا یک سال مقاومت برشی نمونه‌ها افزایش یافته و بعد از آن با کاهش مقاومت مواجه هستیم.

افزایش مقاومت برشی در اثر افزایش سن در سنین کم در کارهای شریعتمداری و همکاران (۲۰۱۰) و ردی و همکاران (۲۰۰۹) (a, b) دیده شده است. در این زمان اندک تغییر شکل‌ها در راستای به وجود آوردن جسمی با ساختار پر فعالیت نموده و مقاومت برشی بالاتری را برای نمونه‌ها به وجود می‌آورد؛ اگرچه محققینی که با دستگاه برش مستقیم شاهد افزایش مقاومت با گذر زمان بوده‌اند به دلیل روش خاص این دستگاه در شرکت ندادن فیبرها در بسیج نمودن مقاومت برشی نتوانستند دلیلی برای این افزایش گفتند اما ظاهراً تغییرات شیمیایی در این پدیده می‌تواند مؤثر باشد.

با افزایش سن زباله‌های جامد شهری، ساختار اصلی زباله به دلیل تجزیه مواد آلی، افزایش مواد شبه خاک و افزایش الیاف (به خصوص پلاستیک) که تحت تأثیر محیط‌های شیمیایی موجود در زباله میزان مقاومت و نیز شکل پذیری شان کم شده است؛ تغییر می‌کند. تغییر این اسکلت بندی ساختار ضعیفی را تشکیل می‌دهد. در نتیجه با افزایش سن با کاهش مقاومت برشی زباله روبرو هستیم.

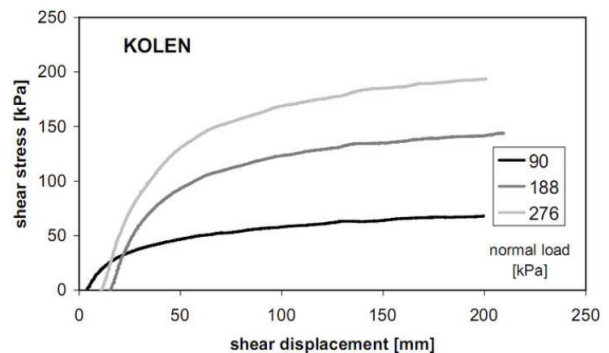


شکل (۲): مدل پیشنهادی Kolsch برای عملکرد فیبرها در زباله. Kolsch, F. (1995)

نبود تسلیح در دستگاه برش مستقیم گول پیکر با ابعاد ۱/۸×۱×۱ متر در کارهای کلچ‌اف (۲۰۰۹) دیده شده است (شکل ۳). آنچه از روش برش در این حالت دیده می‌شود به دلیل روش آماده سازی به صورت لایه‌های افقی، فیبر در این حالت عمل ننموده و اندرکنش پلاستیک - خمیره زباله نیز به دلیل درصد کم آن قابل صرف نظر است.

### ۳-۲- نتایج آزمایش بر روی پلاستیک خالص

نتایج آزمایش بر روی پلاستیک خالص در نتایج تحقیقات برخی از محققین مانند گبر و همکاران (۲۰۰۷) آمده است. این محققین عنوان نموده‌اند از آنجایی که بیش‌تر مصالح تشکیل دهنده زباله فاز نهایی پلاستیک می‌باشد باید به بررسی رفتار این ماده پرداخت. شکل (۴) نمودار رفتار پلاستیک خالص موجود در مرکز دفن البرز قم می‌باشد؛ در این نمودار رفتار برشی پلاستیک خالص تحت اثر سه سربار قائم ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلو پاسکال نشان داده شده است.



شکل (۳): نتایج آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس بر روی زباله‌های تازه. Kolsch, F. (2009)

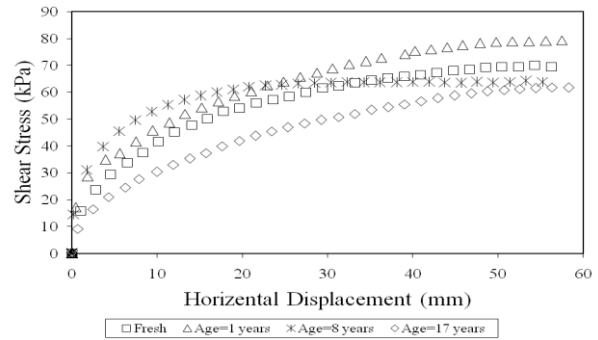
به دلیل محدودیت ارتفاع جعبه برش و نشست‌های انجام شده استفاده از سربار ۲۰۰ کیلو پاسکال امکان پذیر نشد. همان‌طور که دیده می‌شود پلاستیک خالص نسبت به ماده خمیری زباله، به افزایش تنش قائم واکنش چندانی از خود نشان نمی‌دهد و رفتار اصطکاکی ندارد. برداشت دیگری که به وضوح قابل

با توجه به نتایج حاصل شده دیده می‌شود که با افزایش میزان خاک تا ۲۰ درصد مقاومت افزایش یافته و بعد از آن مقاومت برشی خاک دچار کاهش می‌شود. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که با افزودن خاک به نمونه‌های زباله، مقاومت خاک به طور حتم دچار تغییر می‌شود ولی این تغییر تا درصد خاصی از خاک، مقاومت را افزایش داده و از حدی به بعد تأثیر آن در جهت عکس بوده و کاهش مقاومت را نتیجه می‌دهد. علت این امر را می‌توان اینگونه توجیه نمود که با افزودن شدن خاک ابتدا در درصد‌های پایین خاک نقش اصطکاکی ایفا نموده و بین ذرات خاک و ذرات زباله با ترکیب بهینه ای از خاک اصطکاک مناسبی برقرار است ولی وقتی درصد خاک بالا می‌رود بار مقاومت برشی بیشتر بر خاک رس مورد استفاده قرار گرفته و باعث می‌شود که از مقدار مقاومت حاصله کاسته شود.

### ۳-۵- نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های با پیش تحکیمی متفاوت

از آنجا که توسعه مراکز دفن بر روی زباله‌های کهنه مستلزم ساخت بستری مناسب و شناخت کافی از زباله‌هایی است که قبلاً دفن شده‌اند به این منظور در این پژوهش از آنجایی که در مرکز دفن البرز زباله‌های قدیمی اغلب در سطح وسیع و با عمق کم بر روی هم قرار گرفته‌اند نمونه‌های یک ساله تحت آزمایش‌های پیش تحکیمی قرار گرفته‌اند. نمودار شکل (۶) حاصل بارگذاری به مدت ۴۸ ساعت به ترتیب با بارهای قائم ۲۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰ کیلو پاسکال می‌باشد که پس از این، برای مدتی که نشست‌ها و اتساع‌ها تثبیت شد آزمایش با بار قائم ۱۰۰ کیلو پاسکال شروع می‌شود (تمام آزمایش‌ها با نرخ برش ۰/۸ میلی متر بر دقیقه انجام شده است).

همان طور که دیده می‌شود با افزایش مقدار پیش تحکیمی تنش برشی بسیج شده زودتر به مقدار بیشینه خود رسیده که این مقدار به میزان پیش تحکیمی وابسته می‌باشد. از این نمودارها می‌توان دریافت که وزن مخصوص خشک بر مقاومت برشی تأثیر دارد. اما مطمئناً ترکیبات اولیه زباله و تغییر آنها با زمان تأثیر واضح تری در مقاومت برشی داشته‌اند.

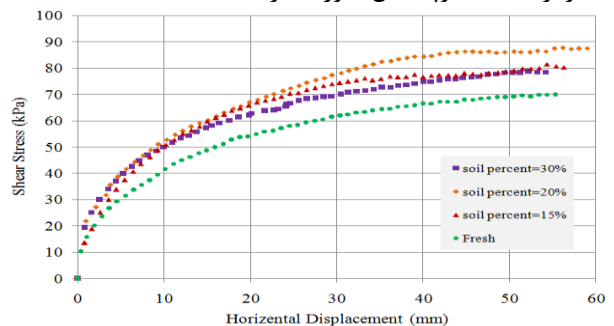


شکل (۵): تغییرات تنش برشی با افزایش سن نمونه‌ها در برابر تغییر مکان افقی (تنش قائم ۱۰۰ کیلو پاسکال).

### ۳-۴- نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های با درصد خاک متفاوت

در اغلب مراکز دفن به صورت روزانه پس از دفن زباله‌ها بر روی آنها معمولاً به ازای هر ۶۰ سانتیمتر زباله‌ی کوبیده شده حدود ۱۵ سانتیمتر خاک با عنوان پوشش روزانه<sup>۱۸</sup> روی آن قرار می‌دهند. قرار دادن این پوشش روزانه به منظور جلوگیری از انتشار بوی نامطبوع زباله‌ها و جمع شدن حشرات موزی و پرندگان و برخی حیوانات اطراف مرکز دفن می‌باشد.

قابل انتظار نیست که در تمامی نقاط مرکز دفن، این نسبت‌ها دقیقاً اجرا شود. ولی مطلب مهم در این میان آن است که این درصد‌های خاک که به عنوان پوشش روزانه به زباله افزوده می‌شوند بر خواص مهندسی زباله از جمله مقاومت برشی، تراکم پذیری، وزن مخصوص و میزان تخلخل آن تأثیر بسزایی دارد. در این سری از آزمایش‌ها با توجه به متغیر بودن میزان خاک مخلوط شده در مراکز دفن درصد‌های ۱۵، ۲۰ و ۳۰ از خاک مورد استفاده برای ترکیب کردن با زباله به صورت وزنی در نظر گرفته شد و با نمونه‌ی زباله‌ی بدون خاک مقایسه شد، گفتنی است که آزمایش‌ها با نرخ برش ۰/۸ میلی‌متر بر دقیقه و با سربار ۱۰۰ کیلو پاسکال صورت گرفت.



شکل (۶): تغییرات تنش برشی با افزایش درصد خاک در برابر تغییر مکان افقی برای تنش قائم ۱۰۰ کیلو پاسکال (برای درصد‌های خاک ۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪ و ۳۰٪).

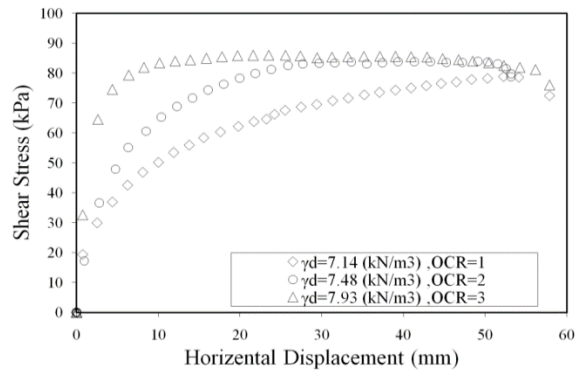
بررسی نمونه دفن شده قدیمی بستر مورد نظر، برای طراحی بسیار مهم می‌باشد.

افزایش درصد خاک با توجه به اندرکنش‌های صورت گرفته باعث کاهش یا افزایش مقاومت برشی شده پس بررسی این تأثیر در توسعه مراکز دفن راهبردی اساسی می‌باشد.

بررسی ترکیبات اولیه و نهایی از جمله موادی با مقاومت پایین همچون پلاستیک‌ها در پایداری مراکز دفن اهمیت بسزایی دارند.

افزایش پیش تحکیمی، مقاومت زباله‌های قدیمی را افزایش چندانی نخواهد داد اما چگونگی بسیج شدن، مقاومت این مواد را تغییر داده به این دلیل می‌توان از اثرات آن در توسعه مراکز دفن چشم پوشی نمود.

بررسی نحوه گسیختگی در مراکز دفن می‌تواند در ابزارگذاری و انتخاب روشهای مناسب برای آزمایش مواد موجود کمک شایانی نماید. نحوه تأثیر فیبر و مواد دیگر تابعی از نوع گسیختگی خواهند بود.



شکل (۷): نمودار تنش برشی در برابر تغییر مکان افقی برای نمونه یک ساله.

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

توسعه مراکز دفن بهداشتی زباله نیازمند شناخت و تحلیل شرایط موجود می‌باشد. از آزمایش‌های صورت گرفته دیده می‌شود که همواره تحلیل و طراحی ترانشه‌های مرکز دفن نیازمند یک سری آزمایش‌های هدفمند با برخی پارامترهای ثابت و متغیر می‌باشد. از جمله مواردی که باید در توسعه مراکز دفن مورد توجه قرار گیرد؛ اندازه تغییر عوامل با گذر زمان (سن)، ترکیبات اولیه، درصد خاک و مقدار پلاستیک می‌باشد.

آزمایش‌ها نشان می‌دهد

با افزایش سن، مقاومت برشی نمونه کاهش می‌یابد بنابراین

#### ۵- مراجع

and Geoenvironmental engineering, 133(4): pp.478- 484, 2007.

[۵] Karimpour-Fard, M., Machado, S. L., Shariatmadari, N. and Noorzad, A., "Alaboratory study on the MSW mechanical behavior in triaxial apparatus", Submitted to Journal of Waste Management, Elsevier series, 2010.

[۶] Kavazanjian, E. Jr., "Seismic design of solid waste containment facilities", Proceedings of the Eighth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, June, pp. 51- 89, 1999.

[۷] Kölsch, F., "Material values for some mechanical properties of domestic waste", Proc. of the 5th International Landfill Symposium in Sardinia, pp. 711- 729, 1995.

[۸] Kölsch, F., "Shear strength of waste", Third International Workshop, Hydro-Physico-Mechanics of Landfills, Braunschweig, Germany, pp. 10 - 13 March, 2009.

[۱] جعفری کلاریجانی ح، "آرزیابی اثر درصد الیاف و راستای جهتگیری الیاف در پارامترهای مقاومت برشی پسماندهای شهری به کمک آزمایش‌های برش مستقیم (مطالعه موردی: مرکز دفن کهریزک)"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت تهران، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹.

[۲] کرامتی م، "بررسی اثر افزایش سن زباله‌های جامد شهری در پارامترهای مقاومت برشی آن (مطالعه موردی: مرکز دفن کهریزک)"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹.

[۳] Gabr, M.A. and Valero, S.N., "Geotechnical properties of municipal solid waste", Geotechnical Testing Journal, Vol. 18, pp. 241- 254, 1995.

[۴] Gabr, M. A., Hossain, M. S. and Barlaz, M. A., "Shear strength parameters of municipal solid waste with leachate recirculation", Journal of Geotechnical



strength of municipal solid waste under short-term leachate recirculation operations. *Waste Management & Research*, 27(6), pp. 578– 587, 2009.

Shariatmadari, N., Machado, S. L., Noorzad, A., and Karimpour-Fard, M. [۱۴], "Municipal solid waste effective stress analysis", *Waste Management*, 29(12), pp. 2918- 2930, 2009.

Stoll, O.W. [۱۵], "Mechanical properties of milled refuse", ASCE National Water Resources Engineering Meeting, Phoenix, Arizona, pp. 11- 15, 1971.

Zekkos, D. P. [۱۶], "Evaluation of static and dynamic properties of municipal solid waste", A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Geotechnical Engineering— University of California, Berkeley, 2005.

Zekkos, D., Athanasopoulos, G. A., Bray, J. D., Theodoratos, A., and Grizi, A. [۱۷], "Large-scale direct shear testing of municipal solid waste", *Waste Management Journal*, 30 pp. 1544– 1555, 2010.

Landva, A.O., Clark, J. I., Weisner, W.R. [۹] and Burwash, W.J. , "Geotechnical engineering and refuse landfill, 6th National Conference on waste management in Canada, Vancouver, British Columbia", pp. 1986.

Machado, S.L , Carvalho, M.F. and Vilar, [۱۰] O.M. , "Constitutive model for municipal solid waste. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*", Vol. 128, No. 11, pp. 940- 951, 2002.

Nayebi, A, Shariatmadari, N, Hamzeie [۱۱] Tehrani, M. H Oskouie , P. and Karimpour Fard, M; International Conference on Advances in Geotechnical Engineering. pp. 7- 9 NOVember PERTH, Australia, 2011.

Reddy, K. R., Hettiarachchi, H., Parakalla, [۱۲] N. S., Gangathulasi, J., and Bogner, J.E., a , "Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill", USA. *Waste Management*, 29(2), pp. 952– 959, 2009.

Reddy, K. R., Gangathulasi, J., Parakalla, [۱۳] N. S., Hettiarachchi, H., Bogner, J. E. and Lagier, T. , "Compressibility and shear

#### ۶- زیر نویس ها

- <sup>۱</sup> Stoll  
<sup>۲</sup> Landva et al  
<sup>۳</sup> Machado et al  
<sup>۴</sup> Shariatmadari et al  
<sup>۵</sup> Karimpour-Fard et al.  
<sup>۶</sup> Zekkos  
<sup>۷</sup> Siegel et al.  
<sup>۸</sup> Gabr and Valero  
<sup>۹</sup> Mahler & De Lamare Netto  
<sup>۱۰</sup> Langer  
<sup>۱۱</sup> Pelky et al.  
<sup>۱۲</sup> Hossain  
<sup>۱۳</sup> Gabr et al.  
<sup>۱۴</sup> Nayebi et al.  
<sup>۱۵</sup> Kolsch .F  
<sup>۱۶</sup> Kavazanjian, E.Jr.  
<sup>۱۷</sup> Reddy et al.  
<sup>۱۸</sup> Daily Cover