

## بررسی تاثیر مقاومت کششی بخش الیاف بر مقاومت برشی پسماند جامد شهری

نادر شریعتمداری<sup>۱</sup>، امیرحسین صادقیپور<sup>۲\*</sup>، امیرحسین کرم داد<sup>۱</sup>، فرشاد دگمه چی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۲ اسفند ۱۳۹۵  
بازنگری: ۲۵ خرداد ۱۳۹۶  
پذیرش: ۲۰ تیر ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۲۸ مرداد ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

مقاومت برشی  
زباله جامد شهری  
ژئوتکنیک زیست محیطی  
آزمایش سه محوری  
الیاف  
سالخورده

**چکیده:** تحقیق حاضر به منظور ارزیابی تاثیر مقاومت کششی قسمت الیاف بر مقاومت برشی پسماند جامد شهری برای زباله مرکز دفن کهریزک تهران انجام شده است. بررسی مقاومت برشی نمونه های پسماند از طریق آزمایش های سه محوری بزرگ مقیاس در حالت تحکیم شده زهکشی نشده بر روی نمونه بازسازی شده زباله های تازه و سالخورده (۹ ساله) در شرایط مرکز دفن، انجام گردید. تحلیل و مقایسه نتایج روی نمونه های بازسازی شده زباله با دانسیته ۱۱ کیلو نیوتن بر متر مکعب در حالت بدون الیاف و دارای ۱۲٪ وزنی الیاف پلاستیکی انجام گرفت. برای مطالعه الیاف از جنس های مختلف کیسه های پلاستیکی نازک با سه محدوده مقاومت کششی ۷، ۱۶ و ۲۱ مگاپاسکال استفاده گردید که به صورت ورقه های با ابعاد ۸\*۲/۵ سانتی متر با نمونه ها مخلوط گردید. نتایج نشان می دهد که بخش الیاف یکی از عوامل اصلی تامین کننده مقاومت برشی زباله بوده و با افزایش مقاومت کششی الیاف، مقاومت برشی توده افزایش می یابد، به طوری که با افزایش حدود ۲۰۰ درصدی مقاومت کششی بخش الیاف، تنش اضافی در نمونه ها تا بیش از ۱۰۰ درصد افزایش نشان می دهد. وجود الیاف پلاستیکی در نمونه ها باعث کاهش چسبندگی (C) و افزایش زاویه اصطکاک داخلی (Φ) نمونه ها شده و تاثیر آن در افزایش مقاومت برشی نمونه های سالخورده بیش تر از نمونه های تازه مشاهده می گردد. علاوه بر مقاومت کششی، خاصیت کشسانی و میزان تغییر شکل های قبل از گسیختگی بخش الیاف در رفتار توده زباله تاثیر گذار است.

### ۱- مقدمه

به علت توسعه مراکز دفن زباله در اطراف شهرها و مراکز جمعیتی در دهه های اخیر، بررسی رفتار مکانیکی زباله های جامد شهری به عنوان یکی از موضوعات قابل بحث در حوزه ژئوتکنیک زیست محیطی مطرح شده است. افزایش ظرفیت مراکز دفن به منظور گنجایش بیشتر زباله به علت محدودیت زمین، تغییر کاربری آنها پس از تکمیل ظرفیت، لزوم حفظ پایداری شیروانی ها در مراکز دفن فعال و طراحی مراکز دفن جدید از جمله عواملی است که ضرورت مطالعه رفتار مکانیکی زباله را ایجاد می نماید. ناهمگنی زباله به عنوان مصالح مرکب از اجزا مختلف باعث پیچیدگی رفتار آن شده و علاوه بر آن تغییر رفتار توده با گذشت زمان به علت تجزیه، بر این پیچیدگی افزوده است. وقوع موارد متعدد گسیختگی شیب مراکز دفن زباله در دو دهه اخیر که علاوه بر خسارات زیست محیطی، باعث بی خانمانی و کشته شدن صدها نفر شده [۱-۳] نشان می دهد که رفتار وابسته به زمان توده های زباله همچنان نیازمند تحقیق و مطالعه بیشتر است. همچنین بسیاری از مصالح موجود در زباله که همانند الیاف و امان های تسلیح کننده رفتار می کنند به مرور زمان تغییر مقاومت می دهند. به علت تفاوت بین مصالح تشکیل دهنده زباله در مناطق مختلف و در نتیجه تفاوت در رفتار مهندسی آن، انجام مطالعات بومی

و محلی در کشور بر روی رفتار زباله های شهری ضروری می باشد.

در این تحقیق، تاثیر مقاومت کششی بخش الیاف بر مقاومت برشی پسماند جامد شهری دفن شده در شرایط مرکز دفن کهریزک تهران مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات زیادی در زمینه مطالعه رفتار زباله جامد شهری تاکنون انجام شده است. شروع تحقیقات در زمینه زباله های جامد شهری از دهه ۷۰ و ۸۰ میلادی آغاز گردید که به عنوان نمونه می توان به مطالعات استول<sup>۱</sup> [۴] و لاندوا<sup>۲</sup> و همکاران [۵] اشاره کرد. ماچادو<sup>۳</sup> و همکاران [۶] برای پسماندهای جامد شهری مدل رفتاری ارائه کردند و پس از آن بسیاری از پارامترهای زباله مورد پژوهش قرار گرفت. بررسی نتایج بدست آمده از تحقیقات دیگر پژوهشگران گرچه می تواند 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، همواره باید از نتایج تحقیقات محلی استفاده نمود.

ماچادو و همکاران [۷] با انجام آزمون های سه محوری به روی نمونه های تازه در مرکز دفنی در برزیل، به بررسی تاثیر الیاف در مقاومت برشی زباله پرداختند. آنها الیاف را با چهار درصد وزنی صفر، ۶/۲۵، ۱۲/۵ و ۲۵

1 Stoll

2 Landva

3 Machado

\*نویسنده عهده دار مکاتبات: sadeghpour@kashanu.ac.ir

کششی بیشتر آنها در مقایسه با نمونه های ۲۱ ساله ذکر گردید. همچنین بررسی تاثیر زاویه جهت گیری الیاف بر رفتار مقاومت برشی توده زباله جامد شهری با مقادیر الیاف با درصد وزنی ۶٪ و ۱۲٪ در تحقیق دیگری توسط کریمپورفرد و همکاران [۹] مورد ارزیابی قرار گرفت.

بررسی کلی تحقیقات انجام گرفته در زمینه پسماند جامد شهری نشان می دهد که به بحث مربوط به تاثیر الیاف در مقاومت توده پسماند شهری و عوامل مختلف تاثیر گذار بر آن، نظیر نوع الیاف، سن و پوسیدگی الیاف و همچنین میزان تنش کششی قابل تحمل در الیاف کمتر پرداخته شده و با توجه به تاثیر قابل توجه بخش الیاف در تامین مقاومت توده پسماند شهری، نیاز به بررسی بیشتر این عامل مشاهده می شود. در این تحقیق سعی شده تاثیر مقاومت کششی الیاف در مقاومت برشی توده پسماند شهری مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار نمونه های تازه و سالخورده زباله در حالت اولیه و پس از افزودن الیاف با مقاومت کششی مختلف از طریق انجام آزمون های آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

## ۲- توصیف مرکز دفن

مرکز دفن زباله کهریزک، با مساحت ۱۲۰۰ هکتار در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب کلان شهر تهران و همچنین در جنوب شهر فعلی کهریزک واقع شده است. این محل در ابتدای جاده قدیم تهران- قم و اراضی آراد کوه واقع شده و در حال حاضر به نام مجتمع پردازش و دفع زباله آراد کوه، زیر نظر سازمان مدیریت پسماند، وابسته به شهرداری تهران فعالیت می کند. دفن زباله تهران از اوایل دهه ۱۳۵۰ شمسی به صورت پراکنده در این مرکز دفن انجام شده و از سال ۱۳۵۵ تمامی زباله تولیدی تهران و شهرک های اطراف در این محل دفن می شود [۱۰]. براساس اطلاعات روزانه ثبت شده مرکز دفن کهریزک و با توجه به توزین تمامی کامیون های حمل زباله در ابتدای ورود به مرکز دفن، به طور متوسط زباله تولیدی شهر تهران حدود ۷۵۰۰ تن در روز برآورد می گردد. در حال حاضر با توسعه سیاست های کلان در زمینه مدیریت پسماند، بخش قابل توجهی از این زباله بازیافت می شود.

## ۳- نمونه گیری از پسماند

نمونه های تازه از محل دیو زباله های ورودی و نمونه های سالخورده با سن ۹ سال از طریق حفاری در مرکز دفن تهیه گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه برای انجام آزمایشات پایه و ژئوتکنیکی آماده سازی شد. برای نمونه گیری از هر یک از محل های نمونه های زباله تازه و سالخورده، تعداد ۱۵ نمونه با وزن تقریبی ۳۰ الی ۴۰ کیلوگرم تهیه گردید. نمونه گیری از زباله های تازه، پس از اختلاط کامل زباله های تخلیه شده از کامیون های مختلف و در چندین نوبت تهیه گردید. در جدول ۱ و شکل ۱ مختصات و عکس هوایی و محل های نمونه گیری زباله های تازه و سالخورده در مرکز دفن کهریزک ارائه شده است. اجزا، تشکیل دهنده نمونه های زباله تازه و سالخورده در این مرکز دفن و ارزیابی روند تغییرات ترکیبات با پیشرفت سن

درصد با زباله مخلوط نمودند و آزمون های سه محوری در حالت های زهکشی شده و زهکشی نشده انجام دادند. آنها بیان کردند که مواد و محتوی الیاف در پسماند جامد شهری نقش مهمی را در رفتار مکانیکی آن ایفا می کند و همچنین افزودند که نتایج بطور واضح نشان می دهند که با افزایش محتوای الیاف، مقاومت برشی پسماند جامد شهری افزایش می یابد. آنها همچنین به بررسی عوامل تاثیر گذار بر نتایج آزمون های زهکشی شده و زهکشی نشده و دلایل و عوامل ایجاد کننده اختلاف در پارامترهای کل و موثر حاصل از آزمایشات مذکور پرداختند و بیان نمودند که پایداری نمونه های زباله در تنش های موثر صفر که ناشی از افزایش فشار آب حفره ای تا نزدیکی تنش های همه جانبه در آزمایش های سه محوری زهکشی نشده می باشد، به علت افزایش اصطکاک بوجود آمده تحت تنش های همه جانبه بوده و پایداری نمونه ها در سطوح بالای کرنش محوری نمی تواند ناشی از مقادیر بالای فاکتور چسبندگی باشد. آنها همچنین رابطه ۳ را با توجه به رابطه ارائه شده توسط اسکمپتون<sup>۱</sup> (۱۹۶۱) که در خصوص ارتباط بین اجزا تنش و فشار آب حفره ای بود، معرفی نمودند:

$$\sigma' = \sigma - u_w \quad \text{ترزاقی (1936)} \quad (1)$$

$$\sigma' = \sigma - (1 - C_s/C) * u_w \quad \text{اسکمپتون (1961)} \quad (2)$$

$$\sigma' = \sigma - A * u_w \quad \text{ماچادو و همکاران (2010)} \quad (3)$$

آنها بیان کردند که در موادی مانند زباله که به جای نقاط تماس، سطوح تماس داریم می بایست جهت محاسبه ی تنش های موثر، بجای استفاده از روابط مرسوم در خاک ها که توسط ترزاقی (۱۹۳۶) ارائه شده، میزان مشارکت فشار آب حفره ای را در نظر بگیریم که در رابطه ارائه شده توسط ماچادو و همکاران [۷]، A فاکتور کاهنده سطح مشارکت فشار آب حفره ای در سطح تنش موثر می باشد و C و C<sub>s</sub> بترتیب تراکم پذیری کل نمونه و تراکم پذیری ذرات نمونه است و همچنین  $\sigma$  و  $\sigma'$  و  $u_w$  بترتیب تنش کل، تنش موثر و فشار آب حفره ای ناشی از فرآیند برش می باشد. کاملاً واضح است که عامل کنترل کننده فاکتور A، تراکم پذیری کل نمونه و ذرات تشکیل دهنده آن بوده و با افزایش میزان تراکم پذیری، این فاکتور نیز افزایش می یابد، که سبب کاهش نقش فشار آب حفره ای در میزان تنش موثر در شرایط زهکشی نشده می گردد.

شریعتمداری و همکاران [۸] در تحقیقات خود بر روی زباله های تازه، ۵، ۱۴، ۲۱ و ۳۱ ساله با استفاده از آزمایشهای سه محوری بزرگ مقیاس بیان کردند که سهم بخش الیاف در نمونه های مورد مطالعه به ترتیب معادل ۱۷، ۳۲، ۳۴، ۳۱ درصد بوده و نمونه های ۵ ساله دارای بیشترین سطح مقاومت برشی و نمونه های تازه دارای کمترین میزان مقاومت برشی هستند. بالاتر بودن مقاومت برشی نمونه های ۵ ساله علاوه بر درصد الیاف، به علت مقاومت

1 Skempton

منصوری [۱۲] با احداث دو مرکز دفن بهداشتی و آزمایشی هر کدام با ظرفیت ۴۵۰۰ تن در مجتمع پردازش و دفن آراد کوه، واقع در کهریزک به بررسی نشست مراکز دفن وارزیایی تاثیر بازچرخش شیرابه و روند تغییرات آن تا زمان دو سال بعد از دفن پرداخت. نمونه‌های سالخورده این تحقیق از طریق حفاری در موقعیت این مرکز دفن آزمایشی تهیه گردید. بر اساس مستندات موجود، دفن زباله در این مرکز دفن آزمایشی در تابستان و پاییز سال ۱۳۸۵ انجام شده است. زباله های دفن شده در این محل در زمان نمونه گیری در سال ۱۳۹۴، دارای سن حدود ۹ سال بودند. محل تهیه نمونه های زباله تازه و موقعیت حفاری برای تهیه نمونه های سالخورده در شکل ۲ نشان داده شده است.

#### ۴- روش تحقیق

در این تحقیق، مطالعات انجام شده برای بررسی میزان تاثیر مقاومت کششی الیاف بر روی مقاومت برشی زباله‌های جامد شهری روی زباله‌های تازه و سالخورده در مرکز دفن کهریزک تهران انجام گردید. پس از انتقال نمونه ها مطالعات آزمایشگاهی در مرکز تحقیقات ژئوتکنیک دانشگاه علم و صنعت ایران انجام گرفت.

با توجه به نیاز به تجهیزات تخصصی برای بررسی الیاف مورد مطالعه، مطالعات پایه و آزمایشات کشش الیاف در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و زیر نظر کارشناسان آن مرکز انجام گردید. نمونه های زباله شهری برای آزمایشات با درصدهای مختلفی از الیاف با مقاومت کششی متفاوت مخلوط گردیده و آزمایشات سه محوری قطر بزرگ روی نمونه ها انجام گردید. کلیه آزمون های آزمایشگاهی بر اساس دستورالعمل مربوط به آن آزمایش از مجموع استانداردهای (ASTM(D4767 ، D638) انجام شده است.

پسماند جامد شهری در مطالعات شریعتمداری و همکاران [۱۱] مورد بررسی قرار گرفته است.

#### جدول ۱: مختصات محل های نمونه گیری زباله های تازه و سالخورده

Table 1. Coordinates of fresh and senile waste sampling sites

Z (m)	Y (mN)	X (mE)	موقعیت نمونه گیری
۱۰۲۶	۳۹۲۴۶۷۸	۵۲۹۴۸۶	نمونه های تازه
۱۰۹۲	۳۹۲۲۵۹۱	۵۲۹۴۹۲	نمونه های سالخورده



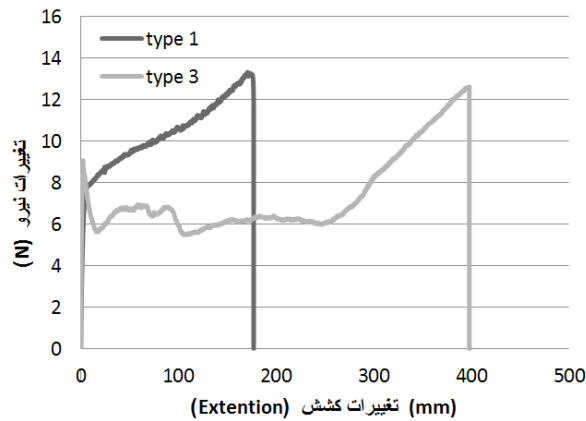
شکل ۱: محل های نمونه گیری زباله های تازه و سالخورده در مرکز دفن

Fig. 1. Sampling sites for fresh and aged waste at the burial center



شکل ۲: (راست) موقعیت دیو و محل تهیه نمونه های زباله تازه (چپ) حفاری در محل مرکز دفن آزمایشی برای تهیه نمونه سالخورده

Fig. 2. (Right) Depo position and location of fresh (left) waste drilling samples at the site of a burial test center for the preparation of elderly samples



شکل ۳: (راست) نمونه الیاف پلاستیکی در آزمون کشش (چپ) منحنی های نیرو تغییر شکل الیاف

Fig. 3. (Right) Plastic fiber sample in tensile test (left) Force - deformation curves of fibers

#### ۴-۱- تعیین خصوصیات الیاف

جهت اندازه گیری تاثیر الیاف در پسماند جامد شهری، از الیاف پلاستیکی معمول که در ساخت انواع کیسه های پلاستیکی موجود در بازار بکار می روند، استفاده شد. این انتخاب از جهت نزدیک بودن این مواد، به اجزای تشکیل دهنده زباله واقعی و همچنین نزدیک بودن نرخ تنش و کرنش ماکزیمم این الیاف به تنش و کرنش معمول اعمالی به نمونه های زباله و به نوعی بمنظور بسیج شدن مقاومت آنها انجام گردید. مقدار مقاومت کششی سه گروه الیاف پلاستیکی مورد استفاده، توسط آزمایشگاه الیاف در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران با استفاده از دستگاه تست مقاومت کششی الیاف تعیین و اعلام گردید. نمونه الیاف مورد استفاده در دستگاه کشش الیاف و نتایج بدست آمده از دو مورد آزمایشات الیاف در شکل ۳ نشان داده شده است.

از مجموع الیاف مورد مطالعه، سه گروه با مقاومت کششی ۷ Mpa، ۱۶ Mpa، ۲۱ Mpa جهت استفاده در این تحقیق انتخاب گردید. همچنین مدول الاستیسیته این سه گروه الیاف به ترتیب برابر ۱۰/۳۵، ۸/۸۳ و ۲۸/۳ مگاپاسکال و مقدار متوسط افزایش طول قبل از گسیختگی نمونه ها نیز به ترتیب برابر ۲۷۹، ۱۹۳ و ۴۲ درصد تعیین گردید. برای رعایت اختصار در ارائه نتایج و نمودارها، نمونه های زباله تازه بدون افزودن الیاف و با وجود ۱۲ درصد وزنی از الیاف با مقاومت های کششی ۷، ۱۶ و ۲۱ مگاپاسکال به ترتیب با علامت F3, F2, F1, F0 و نمونه های سالخورده با شرایط مشابه با علامت T0, T1, T2, T3 نشان داده شده است.

به منظور بررسی تاثیر مقاومت کششی الیاف بر رفتار نمونه های زباله، مقدار الیاف پلاستیکی در نمونه ها با درصد وزنی ۱۲٪، و در قطعاتی با ابعاد ۸\*۲/۵ سانتی متر تهیه گردید. این درصد وزنی با توجه به مقادیر متوسط و بهینه براساس نتایج مطالعات قبلی تاثیر الیاف در مطالعات ماچادو و همکاران، جعفری و اسدی [۷، ۱۳، ۱۴] تعیین گردید.

#### ۴-۲- بازسازی نمونه و انجام آزمایشات سه محوری

انجام آزمایشات سه محوری بزرگ مقیاس (قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلی متر) برای نمونه های بازسازی شده و در شرایط CU بر روی نمونه اشباع برنامه ریزی گردید. مقدار عدد اسکمپتون (B) حداقل برای تمامی نمونه ها معادل ۰/۹۵ در نظر گرفته شد و برای ایجاد این شرایط جریان آب حدود ۳ ساعت در نمونه ها برقرار گردید. بعد از اشباع، نمونه ها حداقل به مدت ۱۵ ساعت در شرایط تحکیم قرار گرفت به طوری که نرخ تغییرات آب خروجی نمونه بسیار ناچیز اندازه گیری گردید. بارگذاری به روش کنترل جابجایی و با نرخ جابجایی ۰/۶ میلی متر در دقیقه، معادل ۰/۲۲ درصد در دقیقه، انجام گردید. این نرخ بارگذاری شده بر اساس معادلات پیشنهادی توسط هد تعیین گردیده و در تحقیقات محققین دیگر از جمله شریعتمداری و همکاران نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۸، ۱۵]. مرحله بارگذاری نمونه ها تا کرنش حداقل ۳۰٪ ادامه یافت. انتخاب نوع آزمایش سه محوری در این تحقیق (تحکیم شده-زهکشی نشده) با توجه به مرور ادبیات فنی موضوع و همچنین شرایط دفن زباله در لندفیل مورد مطالعه انجام گردید.

به منظور آماده سازی نمونه ها و با توجه به ابعاد نمونه در آزمایش سه محوری لازم بود که قطعات بزرگ نمونه ها خرد شوند؛ بنابراین پس از اختلاط کامل، نمونه ها به طوری خرد شدند که حداکثر اندازه ذرات کمتر از ۳۰ میلی متر باشد. همچنین با توجه به مقادیر دانسیته محلی اندازه گیری شده و به منظور ایجاد شرایط یکسان برای مقایسه، بازسازی تمامی نمونه های آزمایشگاهی با دانسیته ۱۱ کیلو نیوتن بر متر مکعب انجام گردید. برای بازسازی نمونه ها از قالب استوانه ای فلزی مخصوص به همراه جک هیدرولیکی اعمال فشار جهت تراکم استفاده گردید. ابتدا با توجه به حجم نمونه و دانسیته موردنظر، وزن معینی از نمونه های آماده شده جدا گردید؛ سپس نمونه در سه لایه مساوی داخل قالب ریخته شده و هر لایه تا حصول به ارتفاع مشخص فشرده گردید. در انتهای مرحله بازسازی و به منظور تثبیت شکل و حصول دانسیته مورد نظر، نمونه زیر بار جک هیدرولیکی مخصوص



درصد کاهش یافته اما افزایش فشار آب حفره‌ای تا پایان آزمایش ادامه دارد و در کرنش‌های حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد به مقدار ثابتی نزدیک شده و در پایان مرحله بارگذاری تا حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد فشار همه جانبه موثر آزمایش افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه دیگر اینکه در تمامی منحنی‌های فشار آب حفره‌ای تقریباً روند تغییرات و افزایش فشار آب حفره‌ای با توجه به تفاوت در سن نمونه‌ها و همچنین تفاوت در الیاف به صورت مشابهی می‌باشد و با یک نمو و شیب تقریباً مشابه افزایش پیدا می‌کند و تقریباً همگی در نهایت به مقدار ثابتی نزدیک می‌شود. بنابراین می‌توان استنباط کرد که دامنه تغییرات رفتار فشار آب حفره‌ای در نمونه‌های با سن متفاوت و همچنین میزان و نوع الیاف متفاوت تغییر چندانی نمی‌کند.

در مورد ارزیابی کلی رفتار تنش-کرنش نمونه‌ها مشاهده می‌شود که استفاده از الیاف با مقاومت‌های کششی مختلف باعث ایجاد تفاوت در مقاومت نمونه‌ها و افزایش تنش‌های اضافی شده است. در هر دو پسماند تازه و سالخورده، با اضافه نمودن الیاف با مقاومت کششی متفاوت در نمونه‌ها ( $T_1$  تا  $T_3$  و  $F_1$  تا  $F_3$ ) میزان تنش اضافی در منحنی‌ها افزایش یافته به طوری که برای نمونه‌های با الیاف با مقاومت کششی ۲۱ Mpa، ۱۶ Mpa و ۷ و نمونه‌های بدون افزودن الیاف، به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان تنش اضافی در تمامی تنش‌های همه جانبه مشاهده می‌شود. نکته‌ی قابل توجه دیگر این است که روند افزایش تنش در نمونه‌های ( $T_1$ ،  $T_2$ ) و ( $F_1$ ،  $F_2$ ) تقریباً مشابه هم است و همانطور که دیده می‌شود حتی منحنی مربوط به آن‌ها در یک نقطه همدیگر را قطع کرده اند؛ این مسئله را می‌توان به شباهت جنس الیاف از نظر زبری و میزان اصطکاک آن‌ها با سایر اجزا نمونه نسبت داد. لازم به ذکر است که بر اساس نتایج آزمایشات الیاف، مقدار مدول الاستیسیته الیاف نوع اول و دوم تقریباً به هم نزدیک است، بر این اساس به نظر می‌رسد با وجود اختلاف در میزان تنش گسیختگی در این دونوع از الیاف، رفتاری مشابهی در کرنش‌های نسبی یکسان مشاهده می‌شود؛ علاوه بر آن، این موضوع می‌تواند ناشی از رفتار مشابه الیاف نوع اول و دوم در کرنش‌های نسبی یکسان و میزان بسیج شدگی مقاومت کششی آنها باشد. دو مورد حائز اهمیت دیگر در مورد محدوده تغییرات میزان تنش در منحنی‌ها این است که با افزایش تنش همه جانبه محدوده تنش اضافی وارده بیشتر می‌شود؛ این مسئله را می‌توان ناشی از تاثیر بخش الیاف دانست که در تنش‌های همه جانبه بزرگتر به دلیل قفل و بست بیشتر اجزا و درگیر شدن الیاف با توده زباله، رفتار کلی توده عمدتاً تحت تاثیر بخش الیاف قرار می‌گیرد. نکته دوم اینکه با مقایسه منحنی‌های مربوط به نمونه‌های تازه و سالخورده مشاهده می‌شود که با افزایش سن نیز میزان و محدوده تغییرات تنش اضافی وارده به نمونه افزایش محسوس‌تری نشان می‌دهد؛ این موضوع می‌تواند ناشی از تغییر نوع دانه‌بندی و یکنواخت و همگن شدن آن و در نتیجه افزایش اصطکاک و قفل و بست ذرات باشد.

تراکم قرار گرفت و با توجه به حالت تورم پذیری، نمونه‌ها تا حدود یک ساعت در قالب تحت فشار زیر جک قرارداده شدند. تجهیزات سه محوری مورد استفاده در تحقیق در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: اجزای دستگاه سه محوری استفاده شده در این تحقیق

Fig. 4. The components of the three-axis device used in this research

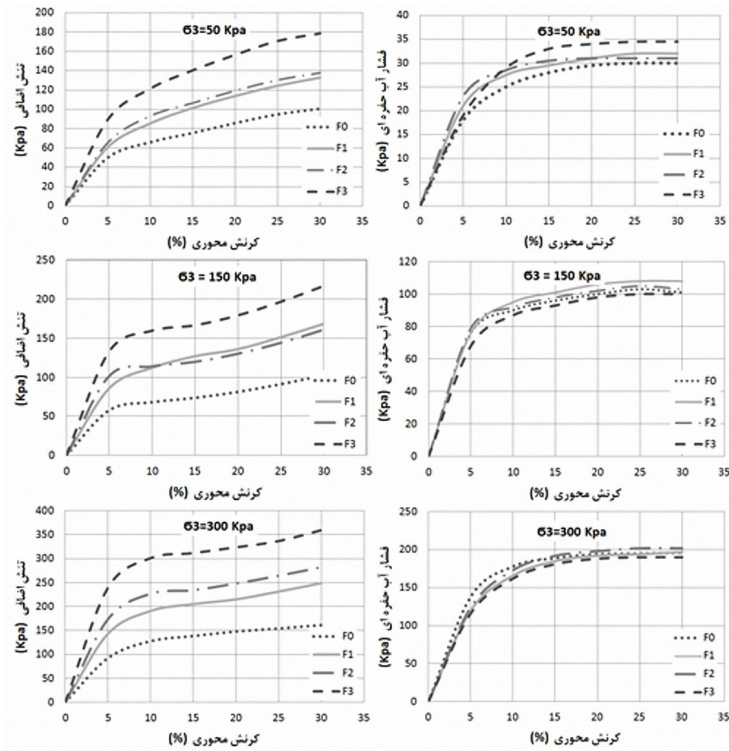
## ۵- نتایج و تفسیر

### رفتار تنش - کرنش و فشار آب حفره‌ای

نتایج آزمایشات سه محوری برای نمونه‌های تازه و سالخورده در تنش‌های همه جانبه ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. با بررسی منحنی‌های تنش-کرنش و فشار آب حفره‌ای در نمونه‌های مورد بررسی موارد قابل بحث به این شرح است:

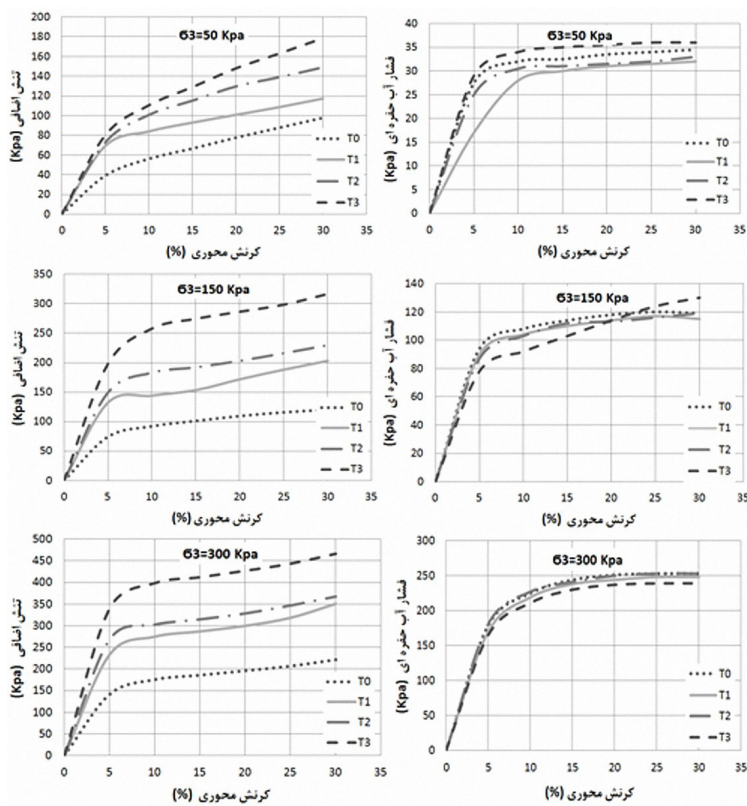
در نمونه‌های MSW همانند خاک با افزایش تنش همه جانبه، سطح تنش‌های اضافی در زمان بارگذاری افزایش می‌یابد. نکته مشترک دیگر در بررسی رفتار نمونه‌ها این است که با افزایش کرنش، تنش اضافی به طور پیوسته افزایش می‌یابد بدون آنکه در منحنی آن‌ها نقطه حداکثر مشخصی مشاهده شود و به این ترتیب می‌توان خصوصیات مقاومت برشی زباله را تابع سطح کرنش‌ها دانست. ماچادو و همکاران [۷] بیان کردند که عدم وقوع نقطه پیک در منحنی تنش-کرنش و همچنین تقعر رو به بالای منحنی‌ها، ناشی از عمل تسلیم است که توسط الیاف ایجاد می‌شود. افزایش سطح تنش‌ها با افزایش تغییر شکل نسبی و عدم وجود نقطه پیک در نمودارهای تنش - کرنش نمونه‌های MSW به عنوان رفتار کلی توده زباله توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است [۸، ۱۶-۱۸].

تقریباً در تمامی نمودارهای تنش-کرنش، شیب منحنی افزایش بار تا کرنش حدود ۵ درصد مقدار بیشتری نسبت به کرنش‌های بزرگتر دارد و پس از آن منحنی با شیب ملایم تری تا کرنش حدود ۱۵ درصد ادامه می‌یابد؛ در ادامه با افزایش دوباره در شیب به صورت یک روند ثابت افزایش بار و رفتار کرنش - سخت شوندگی مشاهده می‌شود و به نظر می‌رسد این امر ناشی از درگیر شدن الیاف و بسیج شدن مقاومت آنها با افزایش کرنش‌ها باشد. همچنین شیب منحنی فشار آب حفره‌ای بعد از کرنش‌های ۵ تا ۷



شکل ۵: نمودارهای تنش-کرنش و تغییرات فشار آب حفره ای نمونه های زباله تازه

Fig. 5. Stress-strain diagrams and cavity water pressure changes of fresh waste samples



شکل ۶: نمودارهای تنش-کرنش و تغییرات فشار آب حفره ای نمونه های زباله سالخورده

Fig. 6. Stress-strain diagrams and cavity water pressure changes of aged waste samples

با افزودن الیاف مختلف، سطح تنش اضافی در نمونه ها افزایش یافته که این روند در ابتدا و انتها دارای شیب بیشتر و در میانه دارای شیب ملایم می باشد؛ به عبارت دیگر اختلاف سطح تنش اضافی برای نمونه هایی که بدون افزودن الیاف ساخته شدند و نمونه های مخلوط شده با الیاف با مقاومت کششی ۷ مگا پاسکال و همچنین برای نمونه های ساخته شده با الیاف با مقاومت کششی ۱۶ تا ۲۱ مگاپاسکال دارای افزایش محسوس بوده، اما اختلاف سطح تنش برای نمونه های ساخته شده با الیاف ۷ تا ۱۶ مگا پاسکال یک روند افزایشی کمتری نشان می دهد. دلیل این امر می تواند ناشی از تفاوت در جنس الیاف و میزان اصطکاک و قفل و بست آنها در سایر اجزا و به طور کلی تفاوت در رفتار مکانیکی الیاف باشد. بنابراین افزایش مقاومت برشی توده پسماند جامد شهری ناشی از الیاف متفاوت، علاوه بر میزان مقاومت کششی الیاف، به عوامل دیگری از جمله جنس الیاف و میزان قفل و بست و اصطکاک سطحی آنها با سایر اجزای توده زباله بستگی دارد. بنابراین به منظور بررسی تاثیر الیاف در رفتار توده زباله، لازم است همه پارامترهای موثر در رفتار الیاف مورد بررسی قرار گیرد.

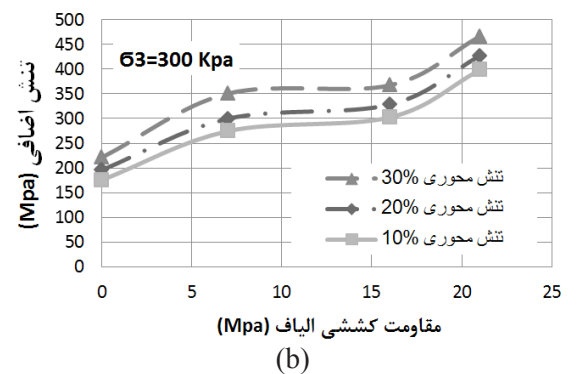
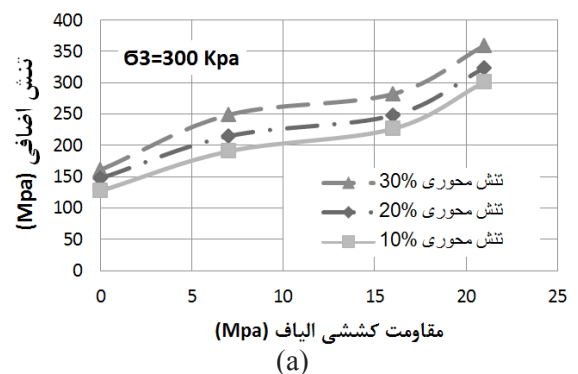
نکته بعدی در بررسی منحنی های شکل ۷ این است که میزان تنش های اضافی در همه الیاف مورد مطالعه با افزایش کرنش، افزایش پیدا می کند. به عبارت دیگر، منحنی نمودار مربوط به کرنش ۳۰٪ میزان تنش اضافی بیشتری را نسبت به منحنی نمودار کرنش ۲۰٪ و ۱۰٪ نشان می دهد؛ به نظر می رسد این امر ناشی از پر رنگ شدن نقش الیاف در کرنش های بالاتر به دلیل افزایش درگیری مواد و الیاف موجود در توده زباله با افزایش تغییر شکل ها باشد.

برای مقایسه تنش نمونه ها در مقادیر کرنش های مختلف، براساس نتایج کلیه آزمایشات انجام شده مقدار تنش های اصلی کوچکتر در برابر تنش اضافی برای سه سطح کرنش ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ در شکل ۸ نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می شود با افزایش کرنش ها میزان تنش های اضافی و همچنین فاصله تنش حدافل و حداکثر افزایش می یابد.

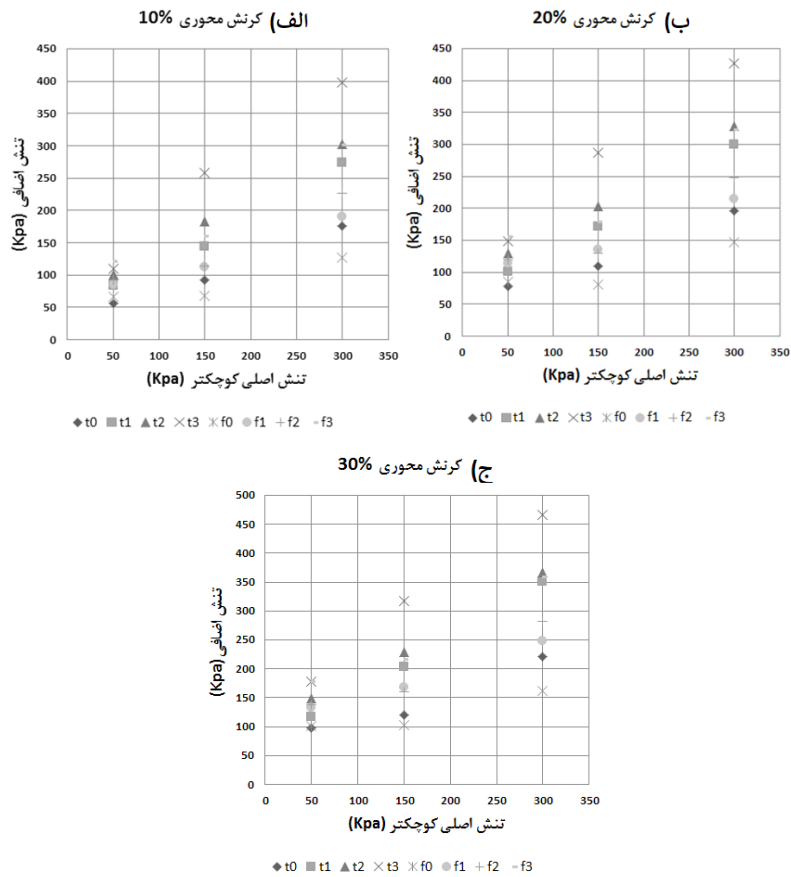
بنابراین به نظر می رسد که اختلاف بین رفتار نمونه ها در تنش های همه جانبه بزرگتر و با افزایش سطح کرنش ها افزایش یافته و در سطوح بالاتر کرنش، مقاومت برشی بیشتری مشاهده می شود؛ این امر می تواند به علت تاثیر بخش الیاف در تامین مقاومت برشی توده پسماند بوده و با افزایش تنش همه جانبه و همچنین افزایش سطح کرنش ها نقش این بخش پررنگ تر می گردد. ماچادو و همکاران [۷] نیز در تحقیقات خود ذکر کرد که با افزایش تغییر شکل ها (سطح کرنش ها) طی فرآیند بارگذاری و شکست، نقش بخش الیاف به عنوان المان های مسلح کننده توده بیشتر شده و به علت درگیر شدن در توده زباله باعث افزایش ظرفیت باربری کلی می شود.

موقعیت نسبی نمودارهای تنش-کرنش نمونه ها در شکل های ۵ و ۶ نشان می دهد که در تمامی تنش های همه جانبه، منحنی نمونه هایی که الیاف با مقاومت کششی ۲۱ Mpa مخلوط شده اند در بالاترین مکان نسبت به سایر منحنی ها و سپس به ترتیب منحنی نمونه های مخلوط شده با الیاف با کشش ۱۶ Mpa و ۷ Mpa و در نهایت منحنی نمونه های خام بدون افزودن الیاف در پایین ترین مکان نسبت به سایر منحنی ها قرار گرفته اند. بنابراین نمونه های فاقد الیاف کمترین و نمونه های  $T_3$  و  $F_3$  بالاترین سطح تنش را به خود اختصاص می دهند که این امر ناشی از تاثیر الیاف موجود در نمونه است. شریعتمداری و همکاران ذکر کردند که بخش الیاف به عنوان المان مسلح کننده توده زباله بوده و قسمت عمده آن متشکل از انواع پلاستیک ها و کمتر از یک سوم آن را انواع پارچه و چرم تشکیل می دهد [۸] با توجه به موقعیت نمودارهای  $T_3$  و  $F_3$  نسبت به نمودارهای  $T_0$  و  $F_0$  می توان استدلال نمود که میزان کشش الیاف تاثیر مستقیم بر مقاومت برشی توده پسماند جامد شهری دارد.

نمودارهای نتایج تنش اضافی در برابر مقاومت کششی الیاف در چهارسطح کرنش ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در شکل ۷ نشان داده شده است. این نمودارها مربوط به آزمایش در شرایط تنش همه جانبه ۳۰۰ Kpa بوده و با بررسی منحنی ها نکات زیر برداشت می شود:



شکل ۷: تنش اضافی در مقابل مقاومت برشی الیاف، شکل a مربوط به نمونه های تازه، شکل b مربوط به نمونه های سالخورده  
Fig. 7. Excessive stress versus shear strength of the fibers, Fig. A for fresh specimens, Fig. B for elderly samples



شکل ۸: تنش‌های اصلی کوچکتر در برابر تنش اضافی برای سه سطح کرنش (الف) ۱۰٪، (ب) ۲۰٪ و (ج) ۳۰٪.

Fig. 8. the lower principal stresses against the additional stresses for the three levels of strain a) 10% b) 20% and c) 30%

جدول ۲: پارامترهای مقاومت برشی نمونه های سالخورده ( ۹ ساله )

Table 2. Shear strength parameters of elderly samples (9 years old)

شماره آزمایش	مقاومت کششی الیاف (مگاپاسکال)	چسبندگی (کیلو پاسکال)			زاویه اصطکاک داخلی (درجه)		
		کل	موثر (ترزاقی)	موثر (ماچادو)	کل	موثر (ترزاقی)	موثر (ماچادو)
T <sub>0</sub>	۰	۲۱/۶	۱۰/۷	۲۷/۹	۱۱/۹	۳۱/۴	۱۷/۸
T <sub>1</sub>	۷	۱۸/۹	۶	۲۳/۳	۱۶	۴۴/۲	۱۴/۸
T <sub>2</sub>	۱۶	۱۲	۴	۲۲/۸	۱۶/۶	۴۵/۵	۲۴/۹
T <sub>3</sub>	۲۱	۹/۳	۲/۶	۱۴/۶	۲۱/۲	۴۶/۱	۲۹/۵



جدول ۳: پارامترهای مقاومت برشی نمونه های تازه

Table 3. Shear strength parameters of fresh samples

شماره آزمایش	مقاومت کششی الیاف (مگاپاسکال)	چسبندگی (کیلو پاسکال)			زاویه اصطکاک داخلی (درجه)		
		کل	موثر (ترزاقی)	موثر (ماچادو)	کل	موثر (ترزاقی)	موثر (ماچادو)
F <sub>0</sub>	۰	۳۰/۶	۱۸	۳۹/۱	۱۰/۲	۱۵/۱	۱۳/۶
F <sub>1</sub>	۷	۲۷/۵	۱۶/۲	۳۲/۵	۱۱/۹	۲۰/۸	۱۵/۴
F <sub>2</sub>	۱۶	۲۴/۲	۱۳/۵	۳۱/۲	۱۶/۲	۲۴/۸	۲۰/۱
F <sub>3</sub>	۲۱	۱۹/۷	۱۱/۱	۲۷/۳	۱۹/۲	۲۷/۲	۲۳/۶

### روند تغییر پارامترهای مقاومت برشی

گذاشته و میزان این پارامتر به تدریج کاهش می یابد و می توان یکی از دلایل این امر را وجود الیاف فاقد چسبندگی با نمونه ها دانست؛ علاوه بر آن، خاصیت کشسانی (تغییر شکل قبل از گسیختگی) این الیاف با افزایش مقاومت کششی کاهش می یابد. بنابراین چنین استنباط می شود که با افزایش تنش کششی الیاف، نقش آنها در تامین مقاومت برشی و بالا بردن زاویه اصطکاک داخلی موثر نمونه ها، افزایش داشته یا به عبارت دیگر بسیج شدن الیاف جهت تامین مقاومت برشی نمونه ها با تاثیر بیشتری رخ داده است.

نکته دیگر اختلاف میان پارامترهای موثر و کل در حالت نمونه های تازه و سالخورده می باشد. بر اساس نتایج جداول ۲ و ۳، بین مقادیر پارامترهای کل و موثر در نمونه های تازه و سالخورده اختلافی وجود دارد که ناشی از افزایش فشار آب حفره ای در مرحله برش است؛ همچنین این اختلاف در پارامتر زاویه اصطکاک داخلی بیشتر مشخص است و مقدار اختلاف در نتایج زاویه اصطکاک کل و موثر در نمونه های سالخورده بیشتر از نمونه های تازه است.

مشاهده کلی رفتار مصالح نشان می دهد که با افزایش سن پسماند جامد شهری، تراکم پذیری توده زباله افزایش می یابد که این موضوع به دلیل کاهش مواد تراکم پذیر مانند مواد آلی و ریز شدن ذرات و دانه بندی است که سبب افزایش میزان درگیری و قفل شدگی اجزا و کاهش فضاهای خالی بین ذرات می گردد. بنابراین می توان اختلاف میان مقادیر پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده در این تحقیق را ناشی از نقش فشار آب حفره ای و عوامل مختلف تاثیر گذار در آن مانند عامل تراکم پذیری دانست.

همچنین میزان اختلاف نتایج پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی تنش کل با تنش موثر به روش ماچادو کم تر از میزان اختلاف پارامترها به روش ترزاقی است. به نظر می رسد که احتمالاً روش پیشنهادی ماچادو و همکاران [۷] در مورد تعیین پارامترهای موثر پسماند جامد شهری به واقعیت نزدیک تر بوده و بهتر است برای محاسبه میزان تنش موثر در موادی که دارای سطح تماس به جای نقاط تماس می باشند، میزان فاکتور کاهنده سطح فشار آب حفره ای در نظر گرفته شود.

برای تعیین نقطه گسیختگی در نمودارهای تنش- کرنش برای نمونه های زباله معیارهای مختلفی توسط محققان پیشنهاد شده و به نظر می رسد که اتفاق نظر جامعی درباره این موضوع وجود ندارد. در مطالعات رفتار مقاومت برشی انجام شده توسط تعداد زیادی از محققین از کرنش ۱۵٪ برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی زباله استفاده شده است [۸، ۱۴، ۱۹-۲۲]، شریعتمداری و همکاران [۸] اظهار داشتند که به علت استفاده از پوشش خاک در لایه نهایی روی لندفیل ها و تماس آن با لایه های زباله، ایجاد تغییر شکل بیش از ۱۵٪ در لایه زباله می تواند باعث ایجاد ترک، گسیختگی و از کار افتادن لایه پوشش خاک شده و از این جهت این میزان کرنش حد بالای تغییر شکل قابل قبول در عملکرد لندفیل ها محسوب می گردد. در این تحقیق با توجه به اندازه گیری افزایش تنش ها تا مرز کرنش های ۳۰٪ و عدم وقوع نقطه پیک در نمودارهای تنش - کرنش، کرنش ۱۵٪ برای تنش نظیر نقطه گسیختگی در محاسبه پارامترهای مقاومت برشی در نظر گرفته شده است.

در جدول های ۲ و ۳ بر اساس نتایج آزمایشهای سه محوری پارامترهای مقاومت برشی نمونه ها بر اساس پوش موهر کولمب برای نمونه های تازه و سالخورده ارائه شده است. با توجه به اینکه فشار آب حفره ای در حین آزمایش اندازه گیری گردید، تعیین پارامترها برای تنش کل و تنش موثر در حالت های به دست آمده از روش ترزاقی (۱۹۳۶) و جهت مقایسه از روش ماچادو و همکاران [۷] محاسبه گردید و مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی برای هر یک از نمونه ها ارائه شده است.

به طوری که مشاهده می شود زاویه اصطکاک داخلی موثر با افزودن الیاف با کشش های مختلف افزایش پیدا می کند و مقدار این افزایش در نمونه های سالخورده بیشتر از نمونه های تازه است. به نظر می رسد دلایل این موضوع ریز و همگن شدن دانه بندی و افزایش میزان قفل و بست و اصطکاک مواد در روند سالخوردگی و همچنین کاهش مواد آلی است که باعث کاهش لغزش اجزا و افزایش اصطکاک مواد می شود. در مورد پارامتر چسبندگی موثر، افزودن الیاف با کشش های مختلف در نمونه ها تاثیر عکس

## ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور بررسی نقش الیاف بر پارامترهای مقاومت برشی پسماندهای جامد شهری تازه و سالخورده، دو نمونه زباله شهری تازه و ۹ ساله از مرکز دفن کهریزک تهران مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور نمونه ها با یک درصد مشخص از سه نوع الیاف با مقاومت کششی مختلف، مخلوط شده و آزمایشات سه محوری قطر بزرگ بر روی نمونه های بازسازی شده انجام گردید. جمع بندی نتایج این تحقیق به شرح زیر است:

با بررسی رفتار تنش- کرنش نمونه ها در آزمایش سه محوری، می توان رفتار کرنش سخت شوندهگی را مشاهده نمود که به نظر می رسد این امر بدلیل درگیر شدن الیاف و بسیج شدن مقاومت آنها با افزایش کرنش ها ایجاد می شود.

با افزایش تنش همه جانبه، مقدار تنش اضافی وارده بیشتر می شود که این موضوع می تواند به دلیل درگیری بیشتر ذرات در تنش های بالاتر و علاوه بر آن تاثیر مضاعف بخش الیاف باشد که در تنش های همه جانبه بزرگتر به دلیل چفت و بست بیشتر اجزا و درگیر شدن الیاف با توده زباله، رفتار کلی توده عمدتاً تحت تاثیر این بخش قرار می گیرد.

با افزایش تغییر شکل ها، نقش بخش الیاف به عنوان المان های مسلح کننده توده پر رنگ شده و این بخش به علت درگیر شدن در توده زباله باعث افزایش ظرفیت باربری کلی می شود.

مقاومت کششی الیاف تاثیر مستقیم بر روی میزان مقاومت برشی توده پسماند جامد شهری دارد. علاوه بر آن خاصیت کشسانی الیاف نیز در نتایج مقاومت برشی توده زباله تاثیر گذار است.

مقایسه نتایج پارامترهای مقاومتی نشان می دهد که وجود الیاف در توده زباله باعث کاهش چسبندگی کل و افزایش زاویه اصطکاک داخلی توده زباله می شود و تاثیر افزایش مقاومت کششی الیاف موجود در زباله به صورت افزایش زاویه اصطکاک داخلی مصالح در آزمایشات ظاهر می شود.

زاویه اصطکاک داخلی موثر با افزودن الیاف افزایش پیدا می کند و مقدار افزایش در نمونه های سالخورده بیشتر از نمونه های تازه است. این موضوع می تواند به دلیل ریزتر و همگن شدن دانه بندی و افزایش میزان قفل و بست و اصطکاک مواد در فرآیند سالخوردگی و همچنین کاهش مواد آلی باشد. همچنین افزودن الیاف در نمونه ها باعث کاهش پارامتر چسبندگی موثر می شود که به علت عدم چسبندگی سطح الیاف با توده زباله است.

## ۷- فهرست علائم

A : فاکتور کاهنده سطح مشارکت فشار آب حفره ای در سطح تنش موثر

C : تراکم پذیری کل نمونه

C<sub>s</sub> : تراکم پذیری ذرات نمونه

F<sub>0</sub> : نمونه تازه بدون افزودن الیاف خارجی

F<sub>1</sub> : نمونه تازه با افزودن الیاف با کشش میانگین ۷ Mpa

F<sub>2</sub> : نمونه تازه با افزودن الیاف با کشش میانگین ۱۶ Mpa

F<sub>3</sub> : نمونه تازه با افزودن الیاف با کشش میانگین ۲۱ Mpa

T<sub>0</sub> : نمونه سالخورده (۹ ساله) بدون افزودن الیاف خارجی

T<sub>1</sub> : نمونه سالخورده با افزودن الیاف با کشش میانگین ۷ Mpa

T<sub>2</sub> : نمونه سالخورده با افزودن الیاف با کشش میانگین ۱۶ Mpa

T<sub>3</sub> : نمونه سالخورده با افزودن الیاف با کشش میانگین ۲۱ Mpa

u<sub>w</sub> : فشار آب حفره ای ناشی از فرآیند برش

σ : تنش کل

σ'<sup>۳</sup> : تنش موثر

Municipal Solid Waste : MSW

## مراجع

- [1] N.H. Jafari, T.D. Stark, S.J.I.I.J.o.G.C.H. Merry, The July 10 2000 Payatas landfill slope failure, 2(3) (2013) 208-228 (in persian).
- [2] G. Blight, A.J.G. Fourie, G. Engineering, Catastrophe revisited—disastrous flow failures of mine and municipal solid waste, 23(3) (2005) 219-248.
- [3] S.M. Merry, E. Kavazanjian Jr, W.U.J.J.o.P.o.c.F. Fritz, Reconnaissance of the July 10, 2000, Payatas landfill failure, 19(2) (2005) 100-107.
- [4] O. Stoll, Mechanical properties of milled refuse, in: Proceedings of the ASCE National Water Resources Engineering Meeting, Phoenix, Ariz, 1971, pp. 11-15.
- [5] A. Landva, J. Clark, W. Weisner, W. Burwash, Geotechnical engineering and refuse landfills, in: Proceedings of the 6th National Conference on Waste Management in Canada, Vancouver, BC, 1984, pp. 1-37.
- [6] S.L. Machado, M.F. Carvalho, O.M.J.J.o.G. Vilar, G. Engineering, Constitutive model for municipal solid waste, 128(11) (2002) 940-951.
- [7] S.L. Machado, M. Karimpour-Fard, N. Shariatmadari, M.F. Carvalho, J.C.J.W.m. do Nascimento, Evaluation of the geotechnical properties of MSW in two Brazilian landfills, 30(12) (2010) 2579-2591.
- [8] N. Shariatmadari, A. Sadeghpour, F.J.I.J.C.E. Razaghian, Effects of aging on shear strength behavior of municipal solid waste, 12(3) (2014) 226-237. (in persian).
- [9] M.K. Fard, N. Shariatmadari, M. Keramati, H.J.J.I.J.C.E. Kalarijani, An experimental investigation on the mechanical behavior of MSW, 12(4) (2014) 292-303.
- [10] <http://pasmand.tehran.ir/Default.aspx?tabid=41>, in, (accessed september, 2016).
- [11] N. Shariatmadari, A. Sadeghpour, M.J.I.J.C.E. Mokhtari, Aging effect on physical properties of municipal solid waste at the Kahrizak Landfill, Iran, 13 (2015) 126-136.

- [17] J.C.F. Nascimento, Mechanical Behavior of Municipal Solid Waste, University of Sao Paulo, Sao Carlos, SP, Brazil 2007.
- [18] O.M. Vilar, M.J.J.o.T. Carvalhod, Evaluation, Mechanical properties of municipal solid waste, 32(6) (2004) 438-449.
- [19] M. Gabr, S.J.G.T.J. Valero, Geotechnical properties of municipal solid waste, 18(2) (1995) 241-251.
- [20] B. Caicedo, L. Yamin, E. Giraldo, O. Coronado, N. Soler, Geomechanical properties of municipal solid waste in Dona Juana sanitary landfill, in: Proceedings of the fourth international congress on environmental geotechnics, Brazil, 2002, pp. 177-182.
- [21] S.J.H.G.S. Feng, Static and dynamic strength properties of municipal solid waste and stability analyses of landfill, (2005).
- [22] K.R. Reddy, H. Hettiarachchi, J. Gangathulasi, J.E.J.W.m. Bogner, Geotechnical properties of municipal solid waste at different phases of biodegradation, 31(11) (2011) 2275-2286.
- [12] A. Mansouri, Field Scale MSW Settlement Evaluation in Warm and Dry Region, Iran University of Science and Technology, 2009(in persisn).
- [13] S.H. Jafari Kelarijani, Evaluation the Effect of Orientation and content of Fibrous Material on Shear Strenght Parameters of MSW with DST (Case Study: Kahrizak Landfill)(Iran University of Science and Technology, 2010(in persisn).
- [14] M. Asadi, Use of Hyperbolic modeling in simulation of DST results in MSW, Iran University of Science and Technology, 2012(in persisn).
- [15] K.H. Head, R. Epps, Manual of soil laboratory testing, Pentech Press London, 1980.
- [16] M. Grisolia, Q. Napoleoni, P. Sirini, G.J.J.R.M.T. Tancredi, Geotechnical behavior of sanitary landfill based on laboratory and in situ tests, 20(4) (1992) 197-203.

Please cite this article using:

N. Shariatmadari, A. H. Sadeghpour, A. H. Karamdad, F. Dogmehchi, Evaluation of Fibers Effect on the Shear Strength of Municipal Solid Waste, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(3) (2018) 433-444.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12575.5232



