[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]

تأثیر رزین پلی‌یورتان A بر مقاومت برشی خاک گچی

طاهره رحیمی[۱] و سید حبیب موسوی جهرمی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۳۰)

چکیده

لزوم کاهش هزینه ساخت سازه‌های خاکی با توجه به محدودیت در بودجه و سرعت اجرای کار، مهندسین را بر آن می‌دارد که جهت جلوگیری از جابه‌جایی حجم زیاد خاک، از مصالح محلی، حداکثر استفاده را بنمایند. به‌طورکلی تغییر عملکرد خاک به‌منظور اصلاح کاربرد مهندسی خاک، تثبیت خاک نامیده می‌شود. تثبیت خاک به روش‌های مکانیکی، الکتریکی، حرارتی، شیمیایی و غیره امکان‌پذیر می‌باشد. خاک گچی از جمله خاک‌هایی است که استفاده از آن در امور عمرانی و به‌ویژه سازه‌های در مجاورت آب، نیازمند تثبیت می‌باشد. هدف از این مطالعه استفاده از روش تثبیت شیمیایی با افزودن ماستیک پلی‌یورتان A جهت بهبود مقاومت برشی خاک گچی می‌باشد. بدین‌منظور نمونه خاک موردنظر از ۳کیلومتری شمال‌غربی شهرستان رامهرمز، واقع در استان خوزستان تهیه گردید. آزمایش‌ها با نمونه‌های خاک حاوی ۰٪، ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪و۷٪ ماده افزودنی مذکور و با رطوبت اپتیمم به‌دست آمده از آزمایش پروکتور استاندارد، متراکم شده و در نهایت تحت آزمایش برش مستقیم با سرعت برشی ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند. پس از استخراج پارامترهای چسبندگی خاک، با تحلیل نتایج مشخص گردید که مناسب‌ترین نسبت اختلاط ماده افزودنی ماستیک پلی‌یورتان A، ۵٪ می‌باشد.

کلمات کلیدی: خاک گچی، ماستیک پلی‌یورتان A، مقاومت برشی، رطوبت اپتیمم

۱. گروه مهندسی عمران دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: habib@musavi.info

مقدمه

تشکیلات گچی عموماً در مناطقی یافت می‌شوند که دارای اقلیم گرم و خشک هستند و میزان بارندگی سالیانه در آنها کمتر از ۳۰ اینچ است. در نظر گرفتن راهکارهای ساخت سازه‌ها در خاک‌های مسئله‌دار موجب پیشگیری از بوجود آمدن خسارات احتمالی و نیز ترمیم و یا تثبیت سازه‌های موجود ساخته شده بر روی این‌گونه خاک‌ها خواهد شد. دیاموند بعد از انجام مطالعات در مورد خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های رسی بهسازی شده به‌این نتیجه رسید که می‌توان از این خاک‌ها برای زیرسازی باند فرودگاه‌ها، ساخت سدهای خاکی و همچنین در نقاطی از سازه‌های آبی که امکان فرسایش وجود دارد استفاده کند (۶). کامن و نونتانن مطالعاتی بر روی بهسازی خاک و تأثیر آن بر مسائل احداث سازه‌ها انجام دادند و به‌این نتیجه رسیدند که بهسازی خاک تا حد قابل قبولی از هزینه احداث سازه‌ها می‌کاهد (۷). الاخرس و همکارانش مطالعاتی در مورد تأثیر دو نوع فیبر طبیعی و مصنوعی بر روی خواص تورمی خاک‌های رسی انجام داد و به این نتیجه رسید که افزودن هر دو نوع فیبر موجب کاهش پتانسیل تورمی خاک‌های رسی می‌گردد (۵). ژنگ و سالیس خاک‌های گچی هر چه بیشتر در معرض رطوبت قرار بگیرند مقاومت و پایداری آنها کمتر می شود (۱۱). ایلماز پس از انجام مطالعاتی در مورد پایداری خاک‌های رسی متورم شونده به‌این نتیجه رسید که گچ می‌تواند تأثیر بسزایی بر پایداری این نوع خاک‌ها داشته باشد (۱۰). قضاوی و همکاران بر روی پارامترهای مقاومت برشی مخلوط ماسه- کائولینیت مسلح شده با توزیع تصادفی فایبرهای پلی اتیلن (PEF) تحقیقاتی انجام دادند. نتایج آزمایشات برش مستقیم آنها نشان داد که پارامترهای مقاومت برشی مخلوط ماسه- کائولینیت با افزایش درصد الیاف، افزایش می‌یابند (۴). هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر ماده شیمیایی ماستیک پلی‌یورتان A بر خصوصیات مقاومت برشی خاک گچی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق از مایع ماستیک پلی‌یورتان A به‌منظور بررسی اثر آن بر بهبود خواص مقاومتی خاک گچی، استفاده شد. پلی‌یورتان نام عمومی پلیمرهایی است که دارای پیوند یورتانی می‌باشند. پیوند یورتانی از طریق واکنش افزایشی بین یک گروه ایزوسیانات و یک ترکیب دارای هیدروژن فعال مثل گروه هیدروکسیل تشکیل شده است. ماستیک پلی‌یورتان A، چسبندگی فوق‌العاده بالا به انواع مصالح مخصوصاً بتن و فلز دارد. این ماده پلیمری در برابر عوامل محیطی و تابش نور خورشید مقاوم و دارای استحکام فرسایشی زیادی بوده و همچنین غیرسمی و بدون انقباض نیز می‌باشد (شکل ۱).

خاک گچی مورد استفاده در این تحقیق از ۳ کیلومتری شمال‌غربی رامهرمز به‌طول جغرافیایی ″۵۵ ′۱۸ °۳۱ و عرض جغرافیایی ″۰۱ ′۳۶ °۴۹، واقع در استان خوزستان جمع‌آوری شده است (شکل ۲).

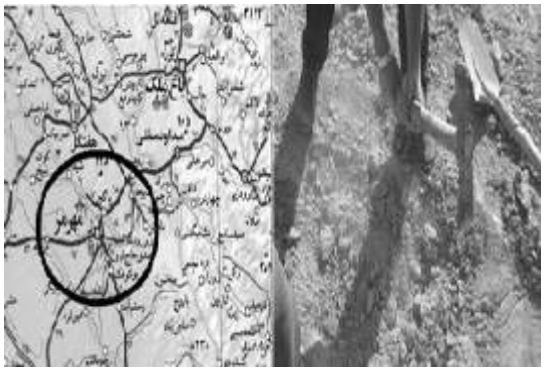
این خاک طبق سیستم رده‌بندی متحد، لای با خاصیت خمیری کم (ML) و رده‌بندی آن در سیستم آشتو به A-4(0) می‌باشد. به‌منظور رسیدن به اهداف این تحقیق، آزمایشات در سه بخش مجزا که شرح هر یک در ادامه آمده، انجام شده است:

۱. آزمایشات ژئوتکنیکی
۲. آزمایشات هیدرولیکی
۳. آزمایشات آنالیز شیمیایی خاک

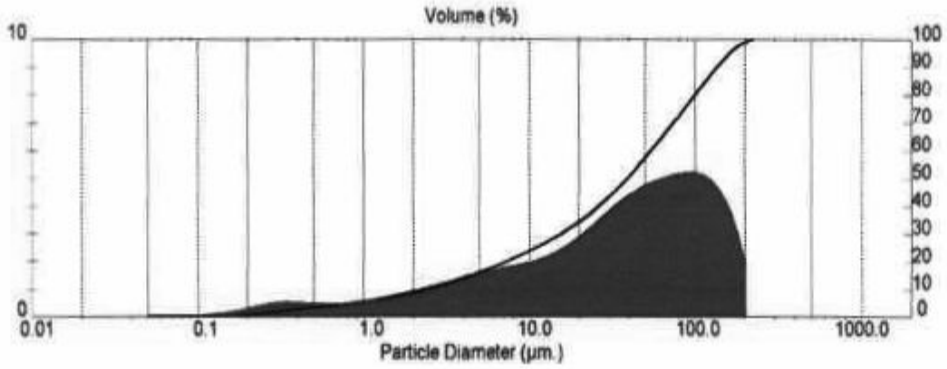
لازم به‌ذکر است که تمامی آزمایشات، پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان افزودن مواد شیمیایی مورد استفاده به خاک، انجام شد تا فرصت لازم برای انجام واکنش‌های لازم بین خاک و مواد افزودنی مهیا باشد. در این تحقیق ماده ماستیک پلی یورتان A در نسبت های ۱، ۲، ۳، ۵ و ۷ درصد به حجم مشخصی از خاک اضافه گردید. همچنین از خاک مورد مطالعه بدون افزودن ماده مورد نظر، به عنوان شاهد استفاده شد. جهت بررسی تأثیر ماستیک پلی یورتان A بر خاک مذکور، بر روی تیمارهای این تحقیق آزمایش های حدود آتربرگ طبق استاندارد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]

شکل ۱. ماستیک پلی‌یورتان A



شکل ۲. محل تهیه نمونه



شکل ۳. منحنی دانه‌بندی خاک مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات دانه بندی خاک

رس	سیلت	ماسه ریز	شن
٪ ۸/۵	٪ ۵۹/۷	٪ ۳۱/۸	٪ ۰

ASTM-D-۴۲۳، تراکم پروکتور استاندارد مطابق با استاندارد ASTM-D-698 و برش مستقیم طبق استاندارد ASTM-D-2080 به‌عمل آمد.

ابتدا آزمایش‌های اولیه برای تعیین مشخصات ژئوتکنیکی خاک مورد مطالعه، بر روی آن انجام شده است. خاک مورد مطالعه ریزدانه بوده و آزمایش دانه بندی به وسیله مستر سایزر صورت پذیرفته است. دستگاه Master Sizer پیشرفته‌ترین دستگاه دانه‌بندی ذرات به روش لیزری می‌باشد که قادر است در فاصله زمانی بسیار کوتاه و با حجم نمونه بسیار کمی دانه‌بندی ذرات خاک را به‌صورت خشک و تر و با دقت بالا اندازه‌گیری نماید. این دستگاه مجهز به دستگاه پردازش داده‌ها بوده که قادر است پس از دانه‌بندی، توسط کامپیوتر و نرم‌افزار مربوطه منحنی دانه‌بندی را تهیه نماید. منحنی دانه‌بندی به‌دست آمده از خاک مورد مطالعه و مشخصات آن، در شکل ۳ و جدول ۱ آمده است.

به‌طورکلی، مقدار گچ خاک‌ها بین صفر تا ۹۷ درصد متغیر می‌باشد. پس از انجام آزمایش، مشخص شد که خاک مورد مطالعه حاوی ۵۹٪ گچ می‌باشد.

نتایج و بحث

حد روانی و حد خمیری خاک مورد مطالعه به‌ترتیب با توجه به ASTMD ۴۲۳ و ASTMD ۴۲۴، ۳۴/۹ و ۳۲/۸ به‌دست

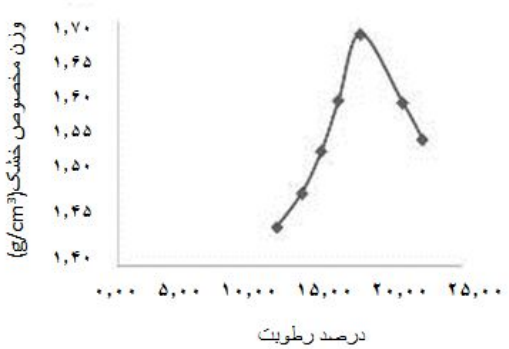
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]

جدول ۲. مشخصات فیزیکی خاک

طبقه‌بندی USCS	GS	PI	PL	LL
ML	۲/۵	۲/۱	۳۲/۸	۳۴/۹

جدول ۳. تغییرات حدود اتربرگ با افزودن ماستیک پلی‌یورتان A

درصد ماده افزودنی حدود اتربرگ A	٪۰	٪۱	٪۲	٪۳	٪۵	٪۷
LL	۳۴/۹	۳۱/۴	۳۶/۳	۲۲/۸	۳۳/۱	۳۱/۴
PL	۳۲/۸	۲۸/۷	۳۲/۸	۲۰/۲	۲۷/۹	۲۶/۱
PI	۲/۱	۲/۷	۳/۴	۲/۶	۵/۳	۵/۴



شکل ۴. منحنی تراکم به‌دست آمده از آزمایش پروکتور استاندارد برروی خاک مورد مطالعه

آمده‌اند. بنابراین دامنه خمیری ۲/۱ به‌دست می‌آید و طبقه‌بندی خاک مطابق USCS، ML خواهد بود. این مشخصات در جدول۲ آمده است. چگالی دانه‌های جامد خاک (G_S) با توجه به ASTMD ۸۵۴، ۲/۵۳ به‌دست آمده است.

تغییرات حدود آتربرگ خاک مورد مطالعه، با افزودن ماده موردنظر به‌شرح جدول ۳ می‌باشد.

افزودن ماستیک پلی‌یورتان A تأثیر چشمگیری بر روی حدود اتربرگ و نشانه خمیری خاک نداشته است.

در این رابطه، نتایج حاصل از تحقیق سهرابی (۳) در بررسی اثر پلی‌یورتانA بر روی خاک‌های رمبنده نشان می‌دهد که افزودن این ماده به خاک تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در حد روانی به‌وجود نیاورده است اما حد خمیری را تا حدودی کاهش داده است (۳).

برای تعیین درصد رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک خاک با توجه به ASTM D ۶۹۸، آزمایش پروکتور استاندارد انجام شده است (۱). همان‌طورکه در شکل ۴ نشان داده شده است، میزان درصد رطوبت بهینه ۱۷/۷٪ و حداکثر دانسیته خشک خاک ۱۶۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمده است.

به‌منظور تعیین میزان رطوبت بهینه و دانسیته خشک حداکثر خاک موردنظر در درصدهای مختلف اختلاط ماستیک پلی‌یورتان A (۱، ۲، ۳، ۵ و۷ درصد)، با انجام آزمایش پروکتور استاندارد طبق ASTM D ۶۹۸، نتایج موجود در جدول ۴ حاصل گردیده است.

همان‌گونه که از نتایج جدول شماره ۴ برمی‌آید با افزایش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]

جدول ۴. نتایج آزمایش‌های پرکتور استاندارد در درصدهای مختلف ماستیک پلی‌یورتان A

میزان رطوبت بهینه(٪)	دانسیته خشک حداکثر(kg/m^3)	میزان ماستیک پلی‌یورتان A (٪)
۱۷/۷	۱۶۸۰	۰
۱۵/۴	۱۶۵۰	۱
۱۴/۶	۱۶۷۰	۲
۱۳/۶	۱۶۸۰	۳
۱۲/۵	۱۷۳۰	۵
۱۰/۲	۱۷۵۰	۷

جدول۵. نتایج آزمایش‌های برش مستقیم در درصدهای اختلاط مختلف

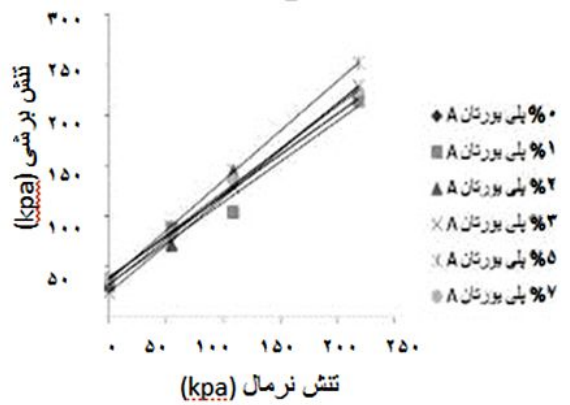
درصد اختلاط(٪)	(چسبندگی)C،(KN/m^2)	(زاویه اصطکاک داخلی)φ (درجه)
۰	۳۹/۹	۳۹/۱
۱	۳۲/۹	۳۹/۰
۲	۳۲/۴	۴۲/۱
۳	۲۴/۷	۴۳/۳
۵	۳۶/۵	۴۴/۸
۷	۳۸/۲	۴۰/۷

درصد ماستیک پلی‌یورتان A، دانسیته خشک حداکثر خاک افزایش می‌یابد. علت این امر منسجم شدن ذرات خاک در اثر افزودن ماده موردنظر می‌باشد. از طرفی، با افزودن ماستیک پلی‌یورتان A، رطوبت اپتیمم خاک کاهش می‌یابد که علت آن عدم تمایل جذب آب توسط این ماده می‌باشد. درنتیجه همان‌طور که در جدول شماره ۴ آمده است در حالتی که درصد ماده اضافه شده به بیشترین مقدار یعنی ۷٪ می‌رسد، شاهد بیشترین تراکم و بالعکس در مقدار ۱٪ شاهد کمترین میزان تراکم در میان نمونه‌های این تحقیق هستیم. کومار و همکارانش، پس از بررسی تأثیر فیبرهای پلی‌استر بر روی خصوصیات تراکم و مقاومتی خاک های متورم شونده گچی، به این نتیجه رسیدند که با افزایش این ماده در هر نسبت اختلاط خاک، رطوبت اپتیمم افزایش و وزن واحد حجم خشک ماکزیمم کاهش می‌یابد (۸).

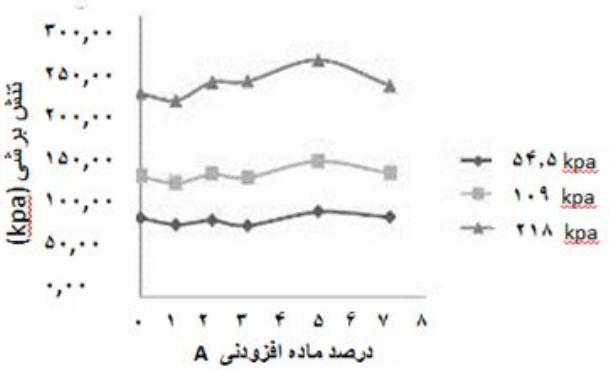
آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM D ۲۰۸۰ انجام شده است. ابتدا نمونه‌ها را در قالبی با ابعاد ۲۰×۶۰×۶۰ میلی‌متر و با دانسیته خشک حداکثر و رطوبت بهینه به‌دست آمده از آزمایش پروکتور استاندارد تهیه نموده و آن را تحت سربارهای ۵۴/۵ ، ۱۰۹و ۲۱۸ کیلو پاسکال قرار دادیم. سرعت دستگاه ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب گردید و نمونه‌ها در کمتر از ۸ دقیقه برش خوردند. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۵ آمده است. نتایج بررسی‌های لیو و همکارانش(پس از استفاده از یک نوع پلیمر شیمی آلی (STW) برای پایداری خاک سطحی شیب های رسی نشان داد افزودن STW (پلیمر استر اتیلن استیک) موجب افزایش مقاومت برشی و مقاومت فرسایشی خاک رسی می‌شود (۹).

آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های مختلف از یک نوع خاک با درصد ماده افزودنی مشخص، با تنش‌های قائم مختلف

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]



شکل ۵. نمودار مقایسه‌ای تغییرات تنش برشی حداکثر در برابر تنش نرمال



شکل ۶. نمودار مقایسه‌ای تغییرات تنش برشی با افزودن ماستیک پلی‌یورتان A تحت سربارهای مختلف

تکرار گردید. تنش‌های قائم و مقادیر نظیر تنش برشی حداکثر به‌دست آمده، بر روی نموداری در مقابل یکدیگر ترسیم شده و پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) به‌دست آمدند.

تنش‌های قائم و مقادیر نظیر تنش برشی حداکثر به‌دست آمده، مطابق نمودار شکل ۵ به‌صورت مقایسه ای در مقابل یکدیگر ترسیم شده و از مقایسه پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) به‌دست آمده چنین برمی‌آید که کمترین چسبندگی در نسبت اختلاط ۳٪ و بیشترین زاویه اصطکاک در نسبت اختلاط ۵٪ حاصل گردیده است.

تنش برشی، عامل اصلی شکست خاک می‌باشد. شکست برشی، موقعی در نقطه‌ای از توده خاک اتفاق می‌افتد که تنش برشی از مقاومت برشی خاک در آن نقطه بیشتر گردد. از آنجا که براساس نظریه کولمب مقاومت برشی تابع تنش عمودی است، می‌توان گفت که شکست برشی موقعی در نقطه‌ای از توده خاک شروع می‌شود که در روی یکی از صفحاتی که از آن نقطه می‌گذرد ترکیب تنش عمودی و برشی به یک حد بحرانی رسیده باشد (۲).

$$\tau=c+\sigma\tan\varphi \quad [1]$$: قانون کولمب

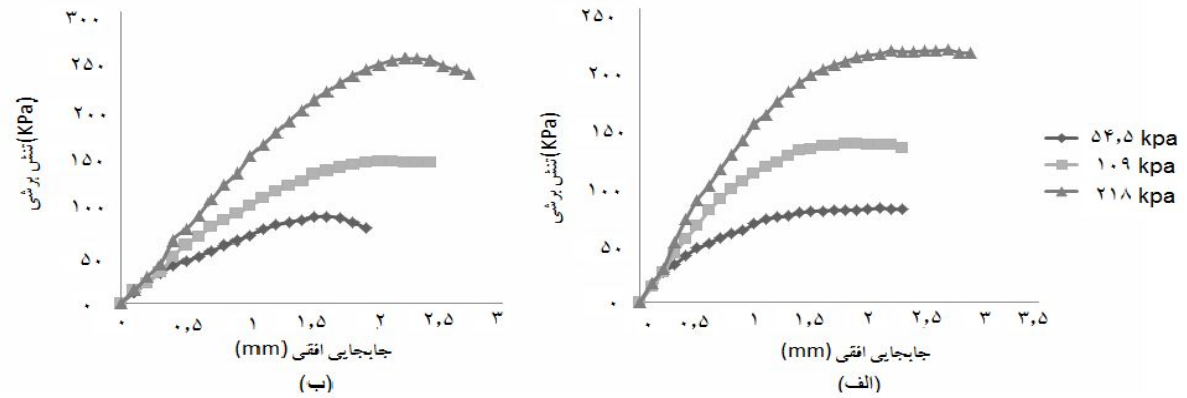
با توجه به رابط کولمب، با داشتن C و φ حاصل از آزمایش و همچنین سربارهای ۵۴/۵ ، ۱۰۹و ۲۱۸ کیلو پاسکال، گراف مقایسه‌ای شکل ۶ به‌دست می‌آید.

با توجه به نمودار شکل ۶، بهترین نسبت اختلاط برای ماستیک پلی‌یورتان A، ۵٪ حاصل گردید. بنابراین مقاومت برشی خاک گچی مورد مطالعه با افزایش ۵٪ پلی‌یورتان A، به ماکزیمم مقدار خود رسیده و پس از آن کاهش می‌یابد که علت را می‌توان به، اثر این ماده بر کاهش جذب آب توسط خاک نسبت داد. در آزمایش برش مستقیم، تنش برشی به سرعت افزایش یافته تا به حداکثر خود می‌رسد. سپس با افزایش جابه‌جایی افقی، تنش برشی به‌مقدار پسماند رسیده که حتی برای جابه‌جایی‌های برشی بیشتر از این مقدار ثابت باقی خواهد ماند. در تنش برشی پسماند چسبندگی به صفر خواهد رسید. این امر بدان سبب می‌باشد که در تنش برشی پسماند نمونه کاملاً برش خورده است و دیگر اصطکاکی بین ذرات خاک وجود ندارد.

در شکل ۷ نمودارهای تنش برشی در مقابل جابه‌جایی افقی، تحت سربارهای مختلف، برای خاک شاهد و خاک تثبیت شده با ۵٪ ماستیک پلی‌یورتان A، آورده شده است.

از مقایسه گراف‌های متناظر (الف) و (ب) در شکل ۷، مشاهده می‌شود که با افزودن ۵٪ ماستیک پلی‌یورتان A، تنش برشی در سربار ۵۴/۵ کیلوپاسکال ۸٪ افزایش ، در سربار ۱۰۹ کیلوپاسکال ۱۳٪ افزایش و در سربار ۲۱۸ کیلوپاسکال ۷٪

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]



شکل ۷. الف) نمودار مقایسه‌ای تغییرات تنش برشی در برابر جابه‌جایی افقی بر روی خاک شاهد، ب) نمودار مقایسه‌ای تغییرات تنش برشی در برابر جابه‌جایی افقی بر روی خاک با درصد بهینه اختلاط (۵٪)

افزایش یافته است. بنابراین در نسبت اختلاط ۵٪ مقاومت برشی حداکثر (در لحظه گسیختگی) در هر سه سربار افزایش یافته است.

مقاومت برشی کمتری که بعد از نقطه گسیختگی به‌وجود می‌آید و به مقاومت برشی نهایی (تنش پسماند) موسوم است، با افزودن ۵٪ از ماده مذکور در سربار ۵۴/۵ کیلو پاسکال ۱/۳٪ افزایش، در سربار ۱۰۹ کیلوپاسکال ۸/۳٪ افزایش و در سربار ۲۱۸ کیلوپاسکال ۱۰/۳٪ افزایش یافته است. بنابراین با افزودن ۵٪ ماستیک پلی‌یورتان A به خاک گچی مورد مطالعه، پیوند مولکولی قویتری بین ذرات خاک نسبت به خاک شاهد ایجاد شده و این امر موجب افزایش چسبندگی بین ذرات و در نتیجه افزایش تنش گسیختگی و تنش پسماند شده است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر پلی‌یورتان A بر روی خاک گچی انجام شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می توان گفت:

۱. تأثیر ماستیک پلی‌یورتان A بر روی حدود اتربرگ بسیار ناچیز بود.

۲. با توجه به آزمایش تراکم در نسبت اختلاط ۱٪، کمترین میزان دانسیته خشک حداکثر به‌دست آمد.

۳. با توجه به آزمایش برش مستقیم در نسبت اختلاط ۵٪، بیشترین تنش برشی حداکثر حاصل گردید.

منابع مورد استفاده

۱. ابن جلال ر. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۷۰. *اصول نظری و عملی مکانیک خاک*. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۷۳۰ صفحه.

۲. براجا. ام. داس. *اصول مهندسی ژئوتکنیک- جلد اول- مکانیک خاک*. ترجمه شاپور طاحونی. ۱۳۸۶. ۸۳۱ صفحه.

۳. سهرابی، س. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر مواد پلیمری بر خصوصیات مکانیکی خاکهای رمبنده بکار رفته در دایکها و سواحل رودخانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهیدچمران اهواز.

۴. قضاوی، م.، ا. طباطبایی. و ا. پاشازاده. ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر فایبرهای پلی اتیلن بر روی مقاومت برشی مخلوط ماسه سست با خاک‌های رسی. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد.

5. Al-Akhras, N. M., M. F. Attom, K. M. Al-Akhras and A. I. H. Malkawi. 2008. Influence of fibers on swelling properties of clayey soil. J. Geosynthetics International. 15(4): 304-309.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]

6. Diamond, S. 1975. Soil stabilization for erosion control. JHRPL.36-5OH. Final Rep. JHRPL. 75-20. purdue and Indinia state Highway commission.
7. Kamon, M. and S. Nontanandh. 1991. Combining industrial wastes with lime for soil stabilization. J. Geotech.Engrg. 117(1): 1-117.
8. Kumar, A., B. S. Walia and A. Bajaj. 2007. Influence of Fly-Ash, Lime and Polyester Fibers on Compaction and Strenght Properties of Expansive Soil. J. of Materials in Civil Eng. 19(3): 242-248.
9. Liu, J., B. Shi, H. Jiang, H. Huang, G. Wang and T. Kamai. 2010. Research on the stabilization treatment of clay slope topsoil by organic polymer soil stabilizer. J. Eng. Geology.
10. Yilmaz, I. and B. Civelekoglu. 2009. Gypsum: An additive for stabilization of swelling clay soils. Applied Clay Science. 44: 166-172.
11. Zhang, L. and R. Solis. 2008. Fly-Ash-stabilized gypsiferous soil as an embankment material. Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.74.13.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.74.13]