

چکیده:

رشد قابل توجه جمعیت و اقتصاد در طول سالیان گذشته و افزایش رفاه نسبی و گسترش تکنولوژی در جوامع بشری، منجر به افزایش سریع و چشم گیر زباله های جامد شهری گردیده است. پایداری توده زباله نقش مهمی در روند دفن و مدیریت زباله در مدفن ها دارد چرا که ناپایداری توده زباله در مدفن ها منجر به انتشار آلاینده و کاهش شاخص های استاندارد بهداشت جهانی می گردد.

لغزش های صورت گرفته در پایین دست محل دفن زباله ها می تواند نشان دهنده تاثیر شیرابه های ناشی از تراکم زباله ها بر پارامترهای مکانیکی خاک باشد.

برای تعیین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و طبقه بندی خاک در اعماق مختلف، گمانه زنی و آزمایش هایی بر روی نمونه های اخذ شده از محل دفن زباله شهرستان تنکابن انجام گردید. به منظور مطالعه اثر شیرابه روی پارامترهای مکانیکی خاک، آزمایش برش مستقیم در شرایط اشباع با غلظت های مختلف شیرابه زباله صورت پذیرفت. آنالیز پایداری شیروانی محل مذکور با استفاده از نرم افزار اسلاید انجام گردید.

نتایج حاصله بیانگر تاثیر شیرابه های زباله بر خواص مقاومتی خاک مدفن بوده است، به گونه ای که اشباع نمونه ها با صد درصد شیرابه منجر به کاهش ۸/۶ درصدی چسبندگی و کاهش ۲۱/۸ درصدی اصطکاک داخلی نسبت به آب خالص و همچنین کاهش ۲۴ درصدی ضریب اطمینان پایداری شیب خواهد شد.

کلمات کلیدی: شیرابه زباله، آزمایش برش مستقیم، پارامترهای مکانیکی خاک، پایداری شیروانی خاکی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
الف	چکیده
	فصل اول: دیاچه
۱	۱-۱- کلیات
۱	۲-۱- ضرورت انجام پژوهش
۲	۳-۱- اهداف پژوهش
۳	۴-۱- ساختار پژوهش
	فصل دوم: مروری بر متون فنی
۴	۱-۲- دیاچه
۴	۲-۲- پژوهش های آزمایشگاهی
۲۶	۳-۲- روشهای تحلیل پایداری سطوح شیبدار، انواع شکست
۲۸	۱-۳-۲- شکست صفحه ای
۲۸	۱-۱-۳-۲- بررسی امکان رخ دادن شکست صفحه ای
۲۹	۲-۱-۳-۲- تحلیل شکست صفحه ای به روش تعادل حدی
۳۲	۲-۳-۲- شکست گوه ای
۳۲	۱-۲-۳-۲- شرایط وقوع شکست گوه ای
۳۳	۲-۲-۳-۲- تحلیل شکست گوه ای بروش تعادل حدی
۳۴	۳-۳-۲- شکست دایروی
۳۴	۱-۳-۳-۲- شرایط وقوع شکست دایروی
۳۵	۲-۳-۳-۲- تحلیل شکست دایروی بروش تعادل حدی
۳۵	۳-۳-۳-۲- محاسبه ضریب ایمنی برای شکست دایره ای
	فصل سوم: مطالعات آزمایشگاهی و عددی تاثیر شیرابه زباله بر رفتار مکانیکی خاک
۴۹	۱-۳- دیاچه
۴۹	۲-۳- وضعیت زمین شناسی، عملیات صحرائی و آزمایشگاهی
۴۹	۱-۲-۳- وضعیت زمین شناسی منطقه طرح و مشخصات کلی پروژه
۵۰	۲-۲-۳- عملیات صحرائی
۵۱	۱-۲-۲-۳- نمونه برداری
۵۲	۲-۲-۲-۳- سطح آب زیرزمینی
۵۲	۳-۲-۳- عملیات آزمایشگاهی

۵۳	۳-۲-۱- تعیین وزن مخصوص، درصد رطوبت خاک
۵۳	۳-۲-۲- آزمایش دانه بندی
۵۳	۳-۲-۳- آزمایش حد روانی و خمیری
۵۳	۳-۲-۴- طبقه بندی خاکها
۵۴	۳-۲-۵- آزمایش برش مستقیم
۵۴	۳-۲-۵-۱- موارد کاربرد آزمایش برش مستقیم
۵۵	۳-۲-۵-۲- معیار گسیختگی موهر- کولمب
۵۶	۳-۲-۵-۳- روش انجام آزمایش برش مستقیم
۵۷	۳-۲-۶- نتایج آنالیز شیرابه زباله
۵۹	۳-۳- مبانی و مشخصات نرم افزار Slide
۶۰	۳-۳-۱- آب زیرزمینی
۶۳	۳-۳-۲- تحلیل آماری، تحلیل حساسیت
۶۳	۳-۳-۳- انواع مرز
۶۵	۳-۳-۴- سطوح لغزش، مشخصات مصالح
۷۰	۳-۴- الگو سازی شیروانی خاکی
۷۲	۳-۵- تحلیل شبه استاتیکی
۷۶	۳-۶- مدلسازی شیروانی محل دفن زباله تنکابن

فصل چهارم : نتایج تحلیل ها

۸۱	۴-۱- دیباچه
۸۱	۴-۲- نتایج آزمایش های آزمایشگاهی
۸۱	۴-۲-۱- نتایج آزمایش تعیین درصد رطوبت، وزن مخصوص، چگالی و نسبت تخلخل
۸۳	۴-۲-۲- نتایج آزمایش دانه بندی، حدود اتربرگ و طبقه بندی خاک
۹۱	۴-۲-۳- نتایج آزمایش برش مستقیم
۹۷	۴-۲-۴- مقایسه نتایج آزمایش برش مستقیم
۹۷	۴-۳- تحلیل های عددی، مدل سازی شیروانی محل دفن زباله موردنظر

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۱۰۶	۵-۱- دیباچه
۱۰۶	۵-۲- خلاصه نتایج آزمایشات و تحلیل ها
۱۰۷	۵-۳- پیشنهاد برای پژوهش های بعدی

۱۰۸	فهرست مراجع
-----	-------------

۱۱۳	چکیده انگلیسی
-----	---------------

فهرست اشکال و نمودارها

- شکل (۱-۲): نمایی از خاکریز مدفن و خروج شیرابه ۶
- شکل (۲-۲): بررسی اثر شیرابه بر روی خاک از طریق آزمایش برش مستقیم ۷
- شکل (۳-۲): مقایسه اثر شیرابه و آب روی پارامترهای مقاومت برشی ۸
- شکل (۴-۲): مقطع عرضی هندسه توده لغزشی و محل گمانه‌ها ۱۰
- شکل (۵-۲): منحنی تغییرات تنش برشی را بر حسب جابجایی برشی برای خاک محلی قهوه‌ای و زباله جامد شهری ۱۰
- شکل (۶-۲): مقطع اصلی مدفن سوژو و محل گمانه‌ها در چین ۱۱
- شکل (۷-۲): نتایج آزمایش تنش - کرنش برای فشارهای همه‌جانبه ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال ۱۲
- شکل (۸-۲): نتایج تحلیل پایداری شیب مدفن سوژو ۱۴
- شکل (۹-۲): تغییرات نشانه خمیری خاک با درصد شیرابه ۱۶
- شکل (۱۰-۲): تغییرات چسبندگی با درصد شیرابه ۱۹
- شکل (۱۱-۲): تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با درصد شیرابه ۲۰
- شکل (۱۲-۲): تغییرات PH با درصد شیرابه ۲۰
- شکل (۱۳-۲): پلان مدفن منطقه باوان و محل گمانه‌ها ۲۱
- شکل (۱۴-۲): توزیع خط فریاتیکی اندازه‌گیری شده در مدفن منطقه باوان ۲۲
- شکل (۱۵-۲): تغییرات درصد رطوبت نمونه‌های زباله با عمق ۲۳
- شکل (۱۶-۲): نتایج تحلیل پایداری شیب مدفن منطقه باوان ۲۴
- شکل (۱۷-۲): هندسه شکست صفحه‌ای در حالیکه ترک کششی وجود دارد ۲۸
- شکل (۱۸-۲): اعمال نیروی آب به بلوک در حالت وجود ترک کششی ۳۱
- شکل (۱۹-۲): اعمال نیروی آب به بلوک در حالت بدون ترک ۳۲
- شکل (۲۰-۲): تصویری از زاویه حاصل از خط تقاطع دو صفحه ناپیوستگی نسبت به افق ۳۳
- شکل (۲۱-۲): تحلیل پایداری با استفاده از روش قطعه (سطح لغزش آزمایشی) ۳۷
- شکل (۲۲-۲): نیروهای مؤثر بر قطعه m ۳۸
- شکل (۲۳-۲): تحلیل پایداری به کمک روش معمولی قطعه برای خاک لایه بندی شده ۳۹
- شکل (۲۴-۲): چند ضلعی نیروها در روش بیشاپ ۴۰
- شکل (۲۵-۲): هندسه شیب و سطح گسیختگی در روش جانبو ۴۶
- شکل (۲۶-۲): نمودار ضریب تصحیح f. ۴۷
- شکل (۱-۳) موقعیت محل گمانه‌ها ۵۱
- شکل (۲-۳) نمونه‌های خاک اخذ شده ۵۲

- ۵۶ شکل (۳-۳) پوش گسیختگی در معیار مور
- ۵۷ شکل (۴-۳) نمونه شیرابه
- ۷۸ شکل (۵-۳) توپوگرافی کمپوست تنکابن
- ۷۸ شکل (۶-۳) مقطع عرضی سایت کمپوست تنکابن
- ۷۹ شکل (۷-۳) مرحله اول مدلسازی یا همان معرفی مرزهای خارجی
- ۷۹ شکل (۸-۳) شمایی از مدل ساخته شده توسط مرزهای خارجی
- ۸۰ شکل (۹-۳) اختصاص مصالح به اجزای بدنه مدل
- ۸۰ شکل (۱۰-۳) انجام مرحله تحلیل بر روی شیروانی توسط نرم افزار Slide
- ۸۵ شکل (۱-۴) منحنی دانه بندی خاک گمانه ۲ در عمق ۴/۵ متر
- ۸۶ شکل (۲-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۱ برای عمق ۱-۱/۵ متری
- ۸۷ شکل (۳-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۲ برای عمق ۲-۲/۵ متری
- ۸۷ شکل (۴-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۲ برای عمق ۶-۱۰ متری
- ۸۸ شکل (۵-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۲ برای عمق ۱۲/۵-۱۵ متری
- ۸۸ شکل (۶-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۲ برای عمق ۱۷/۵-۲۰ متری
- ۸۹ شکل (۷-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۳ برای عمق ۱۲/۵ متری
- ۸۹ شکل (۸-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۲ برای عمق ۲-۲/۵ متری و اشباع با شیرابه
- ۹۰ شکل (۹-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۲ برای عمق ۱۲-۱۵/۵ متری و اشباع با شیرابه
- ۹۰ شکل (۱۰-۴) نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای نمونه از گمانه ۲ برای عمق ۱۷/۵-۲۰ متری و اشباع با شیرابه
- ۹۲ شکل (۱۱-۴) نمودار تنش برشی-تغییر شکل افقی درحالت اشباع با آب خالص
- ۹۲ شکل (۱۲-۴) نمودار مقاومت برشی-تنش نرمال درحالت اشباع با آب خالص
- ۹۳ شکل (۱۳-۴) نمودار تنش برشی-تغییر شکل افقی درحالت اشباع با شیرابه ۲۰٪
- ۹۳ شکل (۱۴-۴) نمودار مقاومت برشی-تنش نرمال درحالت اشباع با شیرابه ۲۰٪
- ۹۴ شکل (۱۵-۴) نمودار تنش برشی-تغییر شکل افقی درحالت اشباع با شیرابه ۵۰٪
- ۹۴ شکل (۱۶-۴) نمودار مقاومت برشی-تنش نرمال درحالت اشباع با شیرابه ۵۰٪
- ۹۵ شکل (۱۷-۴) نمودار تنش برشی-تغییر شکل افقی درحالت اشباع با شیرابه ۸۰٪
- ۹۵ شکل (۱۸-۴) نمودار مقاومت برشی-تنش نرمال درحالت اشباع با شیرابه ۸۰٪
- ۹۶ شکل (۱۹-۴) نمودار تنش برشی-تغییر شکل افقی درحالت اشباع با شیرابه ۱۰۰٪
- ۹۶ شکل (۲۰-۴) نمودار مقاومت برشی-تنش نرمال درحالت اشباع با شیرابه ۱۰۰٪
- ۹۷ شکل (۲۱-۴) مقایسه نمودار مقاومت برشی-تنش نرمال با غلظتهای مختلف شیرابه
- ۱۰۰ شکل (۲۲-۴) مدلسازی شیروانی با سربارهای وارده
- ۱۰۱ شکل (۲۳-۴) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با آب خالص بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله

- شکل (۴-۲۴) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با آب خالص با در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۱
- شکل (۴-۲۵) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۲۰٪ بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۲
- شکل (۴-۲۶) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۲۰٪ با در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۲
- شکل (۴-۲۷) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۵۰٪ بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۳
- شکل (۴-۲۸) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۵۰٪ با در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۳
- شکل (۴-۲۹) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۸۰٪ بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۴
- شکل (۴-۳۰) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۸۰٪ با در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۴
- شکل (۴-۳۱) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۱۰۰٪ بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۵
- شکل (۴-۳۲) تحلیل پایداری شیروانی در حالت اشباع با شیرابه ۱۰۰٪ با در نظر گرفتن نیروی زلزله ۱۰۵

فهرست جداول

۷	جدول (۱-۲) مقایسه اثر شیرابه و آب بر روی پارامترهای مقاومت برشی
۱۴	جدول (۲-۲) پارامترهای بکار رفته در تحلیل پایداری شیب همراه با نتایج
۱۶	جدول (۳-۲) ویژگی های شیمیایی نمونه های خاک لیتریتیك
۱۷	جدول (۴-۲) تغییرات حد مایع، نشانه خمیری، حد انقباض و درصد رس را با درصد شیرابه
۱۸	جدول (۵-۲) پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده بر حسب درصد شیرابه
۲۱	جدول (۶-۲) کیفیت اندازه گیری شده شیرابه
۲۳	جدول (۷-۲) پارامترهای بکار رفته در تحلیل پایداری شیب بهمراه نتایج آنها
۲۵	جدول (۸-۲) تغییرات حدود اتربرگ خاک بواسطه ترکیب با اسیدها
۲۷	جدول (۹-۲) مشخصات روشهای تعادل حدی برای تحلیل پایداری شیب
۵۲	جدول (۱-۳) نوع آزمایشهای انجام گرفته در آزمایشگاه
۵۸	جدول (۲-۳) نتایج آنالیز شیرابه زباله شهر تنکابن
۷۳	جدول (۳-۳) مقادیر ضریب لرزه ای برای سدها در آئین نامه سال ۱۹۷۶ ژاپن
۷۵	جدول (۴-۳) مقادیر ضریب لرزه ای نواحی چهارگانه خطر زلزله در آمریکا
۷۵	جدول (۵-۳) مقادیر حداقل ضریب اطمینان برای تحلیل شبه استاتیکی
۷۶	جدول (۶-۳) ضریب اهمیت شیب یا خاکریز پیشنهادی توسط موسسه کانپور
۷۶	جدول (۷-۳) مقادیر فاکتور تشدید منطقه ای در هندوستان
۷۸	جدول (۸-۳) پارامترهای مورد استفاده در تحلیل شیروانی
۸۲	جدول (۱-۴) درصد رطوبت، وزن مخصوص، چگالی و نسبت تخلخل نمونه های گمانه ۱
۸۲	جدول (۲-۴) درصد رطوبت، وزن مخصوص، چگالی و نسبت تخلخل نمونه های گمانه ۲
۸۳	جدول (۳-۴) درصد رطوبت، وزن مخصوص، چگالی و نسبت تخلخل نمونه های گمانه ۳
۸۴	جدول (۴-۴) محاسبات طبقه بندی خاک گمانه ۱ به روش یونیفاید
۸۴	جدول (۵-۴) محاسبات طبقه بندی خاک گمانه ۲ به روش یونیفاید
۸۵	جدول (۶-۴) محاسبات طبقه بندی خاک گمانه ۳ به روش یونیفاید
۹۱	جدول (۷-۴) سربارهای بکار رفته در آزمایش برش مستقیم
۹۱	جدول (۸-۴) پارامترهای مقاومتی خاک حاصل از آزمایشات برش مستقیم
۹۸	جدول (۹-۴) پارامترهای مورد استفاده در تحلیل شیروانی
۹۹	جدول (۱۰-۴) نتایج حاصل از تحلیل پایداری شیروانی به روش تعادل حدی

۱-۱- کلیات

رشد قابل توجه جمعیت، شکوفایی اقتصاد در سالیان اخیر، افزایش رفاه نسبی و گسترش تکنولوژی در جوامع بشری منجر به افزایش سریع و چشم گیر زباله‌های جامد شهری^۱ گردیده است. مدیریت موثر چنین معضلی تنها زمانی ممکن خواهد شد که مشکلات مربوط به دفع زباله‌ها را به درستی درک کنیم. در غیر این صورت به دلیل مشکلات جدی زیست محیطی، سلامت انسان‌ها به خطر خواهد افتاد.

هنوز هم دفن زباله، به عنوان یک روش رایج دفع زباله، به دلیل عملکرد مناسب و صرفه اقتصادی آن، به طور گسترده در کشورهای جهان مورداستفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال حدود ۳۰۹۱ مکان دفن زباله در ایالات متحده آمریکا و همچنین ۴۱۹ مکان دفع زباله در کشور چین وجود دارد که ۸۲ درصد آن مدفن، ۴ درصد کمپوست‌سازی و ۱۴ درصد به صورت زباله‌سوزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و پیش‌بینی می‌گردد که دفن کردن، مهم‌ترین روش دفع زباله در آینده باقی بماند [۱].

۱-۲- ضرورت انجام پژوهش

پایداری توده زباله نقش مهمی در روند دفن و مدیریت زباله در مدفن‌ها دارد چرا که ناپایداری توده زباله در مدفن‌ها منجر به کاهش شاخص استانداردهای بهداشت شهری و همچنین باعث انتشار آلاینده‌هایی می‌شود که در نهایت می‌تواند منجر به مشکلات بسیار خطرناکی گردد.

موارد متعددی از گسیختگی و لغزش در شیروانی‌های شامل زباله گزارش گردیده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مدفن شهر کوزن^۲ در فیلیپین، مدفن بانگوگ^۳ در اندونزی [۱]، مدفن پایتاس^۴ در فیلیپین که

۱ -Municipal Solid Waste

۲ -Quezon

۳ - Bandung Hui- Zhi Ma

۴ -Paytas

منجر به کشته شدن حداقل ۲۷۸ نفر گردید [۲]، مدفن واقع در شمال سینسیناتی^۱ اوهایو در آمریکا با حجم ۱/۲ میلیون مترمکعب از زباله که یکی از بزرگ‌ترین لغزش‌های شیروانی زباله در جهان محسوب می‌گردد، اشاره نمود که منجر به خرابی زیرساخت‌ها، آلودگی شدید محیط زیست گردیده است [۳]. لغزش‌های صورت گرفته در پایین دست محل دفن زباله‌ها می‌تواند نشان‌دهنده تاثیر شیرابه ناشی از تراکم زباله‌ها بر پارامترهای مکانیکی خاک باشد.

از آنجایی که تاکنون حجم مطالعات انجام شده در زمینه تاثیر شیرابه‌های محل دفن زباله بر پارامترهای مکانیکی خاک، بسیار محدود است و با توجه به اهمیت بسیار بالای ارزیابی پایداری مدفن‌ها به لحاظ کاربردی و زیست محیطی، انجام این پژوهش بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۳- اهداف پژوهش

هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر شیرابه‌های محل دفن زباله بر پارامترهای مکانیکی خاک و در نهایت ارزیابی پایداری شیروانی محل دفن زباله است.

جهت نیل به این هدف تاثیر شیرابه زباله روی خاک پایین دست محل دفن زباله شهری منطقه دوهزار تنکابن مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های آزمایشگاهی جهت تعیین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و طبقه‌بندی خاک در اعماق مختلف و همچنین تعیین بافت تحت‌الارضی روی نمونه‌های اخذ شده از گمانه‌های حفر شده در سایت مورد نظر انجام شده است. به منظور مطالعه اثر شیرابه روی خاک آزمایش برش مستقیم در حالت‌های اشباع با آب و اشباع با غلظت‌های مختلف شیرابه زباله انجام گردید تا تاثیر شیرابه زباله بر پارامترهای مکانیکی خاک به دقت بررسی گردد. پس از تعیین پارامترهای مکانیکی خاک در حالت‌های یاد شده، به منظور ارزیابی پایداری شیروانی‌های خاکی مدفن زباله از نرم‌افزار اسلاید^۲ و با

۱- Cincinnati

۲- Slide

فرض برقراری شرایط کرنش مسطح جهت الگوسازی و بررسی عددی استفاده می‌گردد. در تحلیل‌ها از الگوی رفتاری الاستوپلاستیک موهر-کولمب استفاده گردید.

۱-۴- ساختار پژوهش

مروری بر متون فنی موجود در رابطه با مدفن‌های زباله و همچنین مبانی تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی، در فصل دوم این پژوهش ارائه می‌گردد. در فصل سوم پس از بیان کلیاتی از روش انجام آزمایش‌ها و مبانی نرم‌افزار اسلاید، نحوه الگوسازی شیروانی خاکی و همین‌طور انتخاب پارامترها و داده‌های ورودی و نحوه انجام محاسبات شرح داده می‌شود. در فصل چهارم نتایج آزمایش‌ها و تحلیل پایداری شیب به روش عددی ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. و در نهایت در فصل پنجم به جمع‌بندی نتایج تحلیل‌ها پرداخته و پیشنهاداتی در این زمینه برای پروژه‌های آتی ارائه خواهد شد.

۲-۱- دیباچه

به دلیل رفتار پیچیده و جنبه‌های ناشناخته زباله‌های جامد شهری، طراحی مراکز دفن زباله تبدیل به چالش جدیدی برای مهندسين ژئوتکنیک و محیط زیست گردیده است. رفتار توده زباله عامل تعیین کننده پایداری ساختار مدفن‌های مهندسی است. تغییر شکل‌های بزرگ مقیاس می‌تواند منجر به پارگی و آسیب رساندن به ژئوممبرین‌ها و دیگر پوشش‌های لایه‌های محافظ نظیر ژئوتکستایل‌ها و زهکش‌های ژئوکامپوزیتی گردد. در چنین شرایطی وقوع مشکلات و فجایع زیست محیطی امری اجتناب‌ناپذیر است.

بیشتر تحقیقات روی زباله مدفن‌ها در زمینه مقاومت برشی زباله‌های جامد شهری صورت گرفته است که در آن به بررسی ترکیبات و خواص مکانیکی زباله‌ها پرداخته شد. تحقیقات بسیار کمی وجود دارند که به بررسی مقاومت برشی خاک‌های اشباع با شیرابه می‌پردازد. از این رو در این فصل سعی بر آن است به مروری بر متون فنی معتبر در این زمینه پرداخته شود. همچنین در بخش دوم این فصل به مبانی تحلیل پایداری شیب می‌پردازیم.

۲-۲- پژوهش‌های آزمایشگاهی

شیرابه مایعات خطرناک و آلوده‌ای بوده که در مدفن‌های زباله در اثر فعل و انفعالات میکروبی و زباله‌های جامد شهری و رطوبت به وجود می‌آیند [۴]. میزان شیرابه تولید شده به طور گسترده‌ای از مکانی به مکان دیگر و در یک مکان هم در زمان‌های مختلف متغیر است. عواملی که به این تغییر پذیری کمک می‌کنند عبارتند از: شرایط آب و هوایی، توپوگرافی محل دفن، گیاهان و خاک پوششی و هیدرولوژی محل دفن. فرآیندهای بیوشیمیایی و رطوبت زباله‌های تازه دفن شده تأثیر زیادی بر بیلان

آبی محل دفن زباله دارند. میزان رطوبت زباله‌ها را می‌توان در حدود ۲۰ تا ۷۰ درصد وزن آن‌ها در نظر گرفت. باید در نظر داشت که قسمت اعظم رطوبت زباله در آن باقی می‌ماند [۵,۶].

نخستین تلاش‌ها در ارتباط با تعیین ویژگی‌های مکانیکی زباله‌های جامد شهری توسط استال^۱ (۱۹۷۱) صورت گرفت [۱۴]. پس از ایشان این تحقیقات به وسیله افرادی از قبیل لندوا و کلارک^۲ (۱۹۸۶ و ۱۹۹۰) [۱۵,۱۶]، جسبرگرو ککل^۳ (۱۹۹۳) [۱۷]، گبر و والرو^۴ (۱۹۹۵) [۱۸]، گریسولا و همکاران^۵ (۱۹۹۵) [۱۹]، کلس^۶ (۱۹۹۵) [۲۰]، گریسولا و ناپالنی^۷ (۱۹۹۶) [۲۱]، و غیره ادامه پیدا کرد.

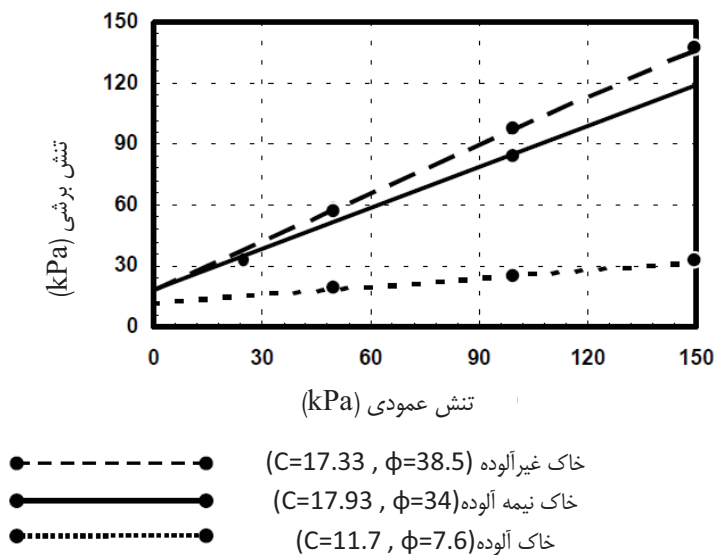
عبدی و همکاران در سال ۱۳۸۰، به مطالعه اثر شیرابه بر رفتار خاک جداره محل دفن پسماندهای شهر تهران (طرح فوکوکا^۸) پرداختند. محور اصلی مقاله ایشان بررسی اثر شیرابه بر روی پارامترهای مقاومت مکانیکی خاک و همچنین تفاوت آن با آب، با استفاده از نتایج آزمایش‌های برش مستقیم و سه‌محوری است. در این تحقیق جهت بررسی اثر شیرابه روی خاک در زمان‌های مختلف، نمونه‌گیری از خاک جداره مدفن را به سه دسته تقسیم‌بندی شد که عبارتند از خاک غیرآلوده، خاک نیمه‌آلوده و خاک کاملاً آلوده. خاک غیرآلوده همان خاکی است که تاکنون شیرابه به آن نرسیده است، خاک نیمه‌آلوده خاکی است که شیرابه به آن رسیده و آن را کاملاً مرطوب کرده است. خاک کاملاً آلوده نیز به خاکی گفته شد که از شیرابه اشباع شده و طی مدت زمان زیادی که شیرابه روی آن اثر گذاشته، به صورت یک خاک سیاه‌رنگ و لجنی درآمده است. این سه خاک می‌توانند به نحوی بیانگر اثر شیرابه روی خاک در زمان‌های مختلف باشند [۷].

۱- Stoll
 ۲- Landva & Clark
 ۳- Jessberger & Kockel
 ۴- Gabr & Valero
 ۵- Grisolia et al
 ۶- Kölsch
 ۷- Grisolia & Napoleoni
 ۸- Fukuoka

نتیجه‌ای که از آزمایش‌های برشی مستقیم به دست آمد نشان داد که با نفوذ شیرابه به داخل خاک و مرطوب شدن خاک پارامترهای مقاومت برشی نیز تغییر میکند. آن‌ها نشان دادند که مقدار چسبندگی نسبت به اصطکاک تغییرات چندانی نداشته و فقط به اندازه‌ی چند کیلوپاسکال تغییرات نشان می‌دهد. ولی تغییرات عمده مربوط به زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌باشد و مشاهده می‌شود که این پارامتر با تماس شیرابه با خاک و مرطوب شدن خاک در اثر شیرابه، به اندازه‌ی چند درجه کاهش می‌یابد ولی پس از گذشت زمان و تبدیل شدن خاک به صورت یک خاک سست و لجنی، مقدار اختلاف زاویه اصطکاک به بیش از ۳۰ درجه می‌رسد که این به معنای تهدید جدی پایداری محل دفن می‌باشد. شکل (۱-۲) نمونه‌ای از لغزش‌های موضعی در اثر خروج شیرابه از جداره خاکریز مدفن را نشان می‌دهد. یکی از دلایل اصلی این امر عدم وجود امکان زهکشی آسان در خاک آلوده می‌باشد. همچنین شکل (۲-۲) نتایج آزمایش برش مستقیم روی خاک را نشان می‌دهد [۷].



شکل (۱-۲): نمایی از خاکریز مدفن و خروج شیرابه



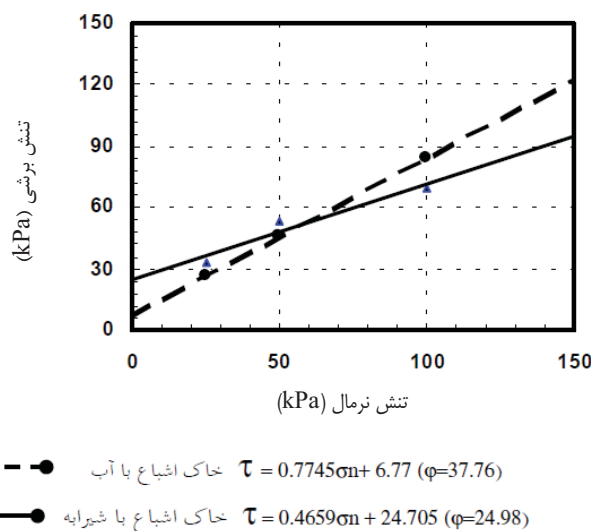
شکل (۲-۲): بررسی اثر شیرابه بر روی خاک از طریق آزمایش برش مستقیم

رفتار مقاومتی خاک با استفاده از آب و شیرابه، در هر دو آزمایش برش مستقیم و سه محوری یک نتیجه کلی را می‌دهد و آن این‌که در مورد خاک آغشته به شیرابه نسبت به آب، چسبندگی بیشتر و زاویه اصطکاک داخلی کمتری را نشان می‌دهد که در حالت آزمایش برش مستقیم این اختلاف‌ها اندکی بیشتر است، از نتایج آزمایش سه محوری نیز ملاحظه می‌شود که مطلب فوق در حالت تنش‌های موثر نیز صادق است. جدول (۱-۲) پارامترهای کل و موثر مربوط به تنش برشی خاک را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ملاحظه می‌گردد که زاویه اصطکاک خاک تحت اثر شیرابه در هر دو حالت تنش‌های کل و موثر در حدود ۴ الی ۶ درجه نسبت به آب کمتر است [۷].

جدول (۱-۲): مقایسه‌ی اثر شیرابه و آب بر روی پارامترهای مقاومت برشی

تنش کل		تنش مؤثر		نمونه
زاویه اصطکاک (درجه)	چسبندگی (کیلو پاسکال)	زاویه اصطکاک (درجه)	چسبندگی (کیلو پاسکال)	
۱۹/۳	۲۴	۲۷	۱۴	اشباع با شیرابه
۲۴/۷۰	۱۲	۳۰/۹۶	۷	اشباع با آب

شکل (۲-۳) نتایج نهایی تحقیقات ایشان را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که وجود شیرابه در خاک باعث افزایش چسبندگی در خاک و از طرف دیگر باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌گردد. همان‌طور که از شکل پیداست مقدار چسبندگی از ۶/۷۷ کیلوپاسکال برای خاک آغشته به آب به عدد ۲۴/۷۱ کیلوپاسکال برای خاک آغشته به شیرابه رسیده و از طرفی مقدار زاویه اصطکاک از ۳۷/۷۶ درجه به ۲۴/۹۸ درجه کاهش یافته است [۷].



شکل (۲-۳): مقایسه‌ی اثر شیرابه و آب روی پارامترهای مقاومت برشی

عوامل زیادی می‌توانند منجر به وقوع ناپایداری در توده زباله گردند که در این میان متأسفانه سطح بالای

شیرابه یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار است [۱].

کونروسونگک در سال ۲۰۰۰، ده مورد از مدفن‌های ناپایداری را در آمریکا مورد بررسی قرار دادند و

چنین نتیجه گرفتند که سطح بالای شیرابه و یا وجود مقدار بیش از حد آب در توده زباله دلایل اصلی

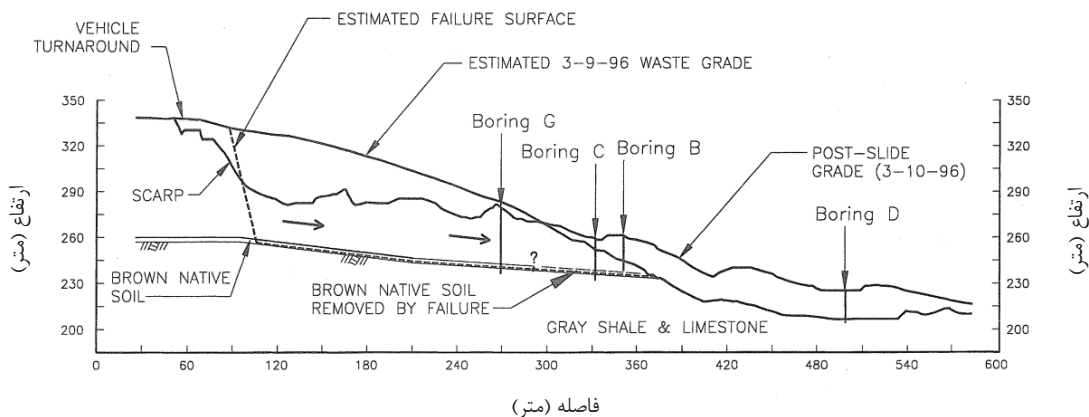
ناپایداری زباله است [۸].

در مناطق با شرایط آب و هوایی مرطوب و پرباران این وضعیت تشدید می‌گردد. به‌عنوان مثال در مناطق مرطوب جنوب چین تراوش آب باران در توده زباله به‌دلیل فقدان امکانات لازم جهت زهکشی و دور نگه‌داشتن آب باران، منجر به افزایش سطح شیرابه گشته و در نتیجه مقاومت برشی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است که منجر به ناپایداری مدفن گردید. همچنین در برخی از شهرها در مناطق مرطوب جنوب چین مانند چینگ^۱ و هانگزو^۲، افزایش سطح شیرابه پس از بارندگی‌های شدید منجر به لغزش در مدفن گردیده است [۹].

اید^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۰، به بررسی گسیختگی شیب حاصل از زباله‌های جامد شهری در مدفن شهر سینسیناتی^۴ اوهایو^۵ که در سال ۱۹۹۶ به‌وقوع پیوست پرداختند. این گسیختگی بزرگ‌ترین مورد گزارش شده در نوع خود تا آن زمان محسوب می‌شد. دفع زباله در این مدفن از حدود سال ۱۹۴۵ آغاز گردید و در نهم مارچ ۱۹۹۶ لغزشی با جابجایی جانبی و قائم به‌ترتیب در حدود ۲۷۵ و ۶۱ متر در این مدفن به‌وقوع پیوست.

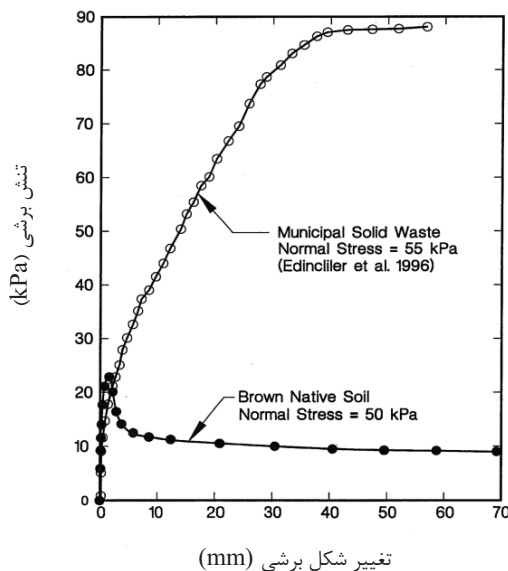
ایشان جهت انجام مطالعات صحرایی ۱۳ گمانه شامل ۷ گمانه در مدفن موجود و ۶ گمانه در توده لغزشی موجود در مناطق با گسترش جانبی حفاری نمودند. شکل (۲-۴) مقطع عرضی هندسه توده لغزشی و محل گمانه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود توده زباله روی یک لایه خاک محلی قهوه‌ای^۶ ضعیف به ضخامت ۲ تا ۵ متر قرار دارد که این لایه نیز روی شیست خاکستری و سنگ آهک قرار دارد. همچنین در این شکل سطح گسیختگی تخمینی مشاهده می‌گردد که از لایه ضعیف خاک محلی قهوه‌ای عبور می‌کند [۳].

۱- Chongqing
 ۲- Hangzhou
 ۳- Eid
 ۴- Cincinnati
 ۵- Ohio
 ۶- Brown native soil



شکل (۲-۴): مقطع عرضی هندسه توده لغزشی و محل گمانه‌ها

در شکل (۲-۵) منحنی تغییرات تنش برشی را بر حسب جابجایی برشی برای خاک محلی قهوه‌ای در تنش نرمال ۵۰ کیلوپاسکال و زباله جامد شهری در تنش نرمال ۵۵ کیلوپاسکال می‌بینیم. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود پیک مقاومت برشی خاک محلی قهوه‌ای در جابجایی‌های ۲ تا ۳ میلی‌متر بسیج می‌شود و پس از آن مقاومت برشی کاهش می‌یابد.

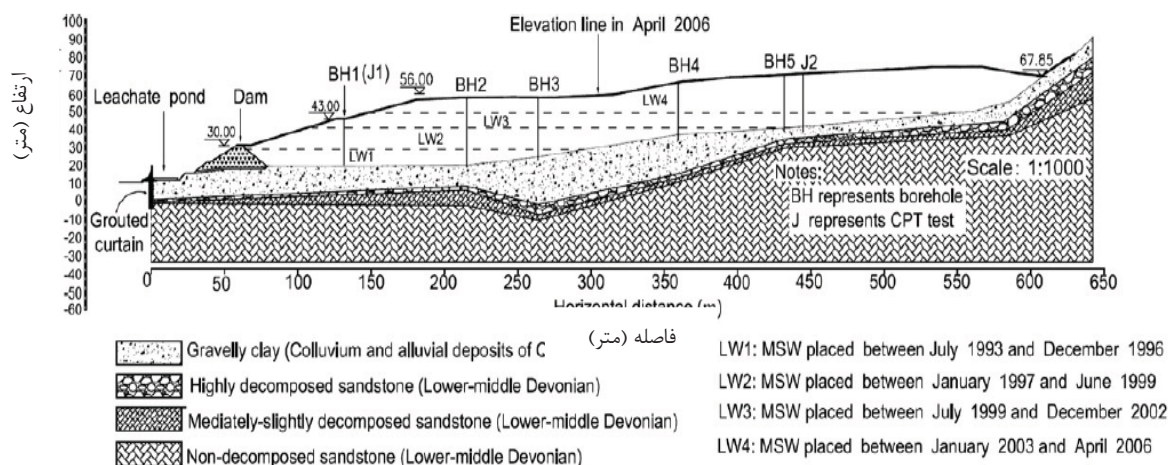


شکل (۲-۵): منحنی تغییرات تنش برشی بر حسب جابجایی برشی برای خاک محلی قهوه‌ای و زباله جامد شهری

پیک مقاومت برشی زباله‌های جامد به مقدار ۸۹ کیلوپاسکال در جابجایی برشی معادل ۴۰ میلی‌متر اتفاق می‌افتد و پس از آن در گستره نسبتاً وسیعی از تغییر شکل‌ها ثابت باقی می‌ماند. بنابراین گسیختگی ابتدا

می‌تواند در خاک محلی قهوه‌ای در حالی رخ دهد که تنها بخش کوچکی از مقاومت برشی زباله‌ها بسیج شده‌اند. پس از وقوع گسیختگی در خاک محلی قهوه‌ای، پیک مقاومت در زباله‌ها درحالی‌که مقاومت برشی خاک محلی قهوه‌ای به مقدار قابل توجهی کاهش یافت، بسیج می‌گردد. بنابراین در نظر گرفتن پیک مقاومت برشی برای خاک محلی قهوه‌ای یا زباله محافظه کارانه نیست [۳،۱۰].

تونی^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۷، به بررسی ویژگی‌های مقاومت برشی زباله‌های جامد شهری مدفن سوژو^۲ در کشور چین پرداختند. این مدفن که از سال ۱۹۹۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد برای حجم زباله شهری معادل ۴/۷ میلیون مترمکعب و برای مدت حدود ۱۵ سال سرویس‌دهی در نظر گرفته شد. شکل (۶-۲) مقطع اصلی این مدفن را در سال ۲۰۰۶ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود بستر این مدفن هیچ‌گونه پوشش مهندسی ناتراوایی ندارد [۲].

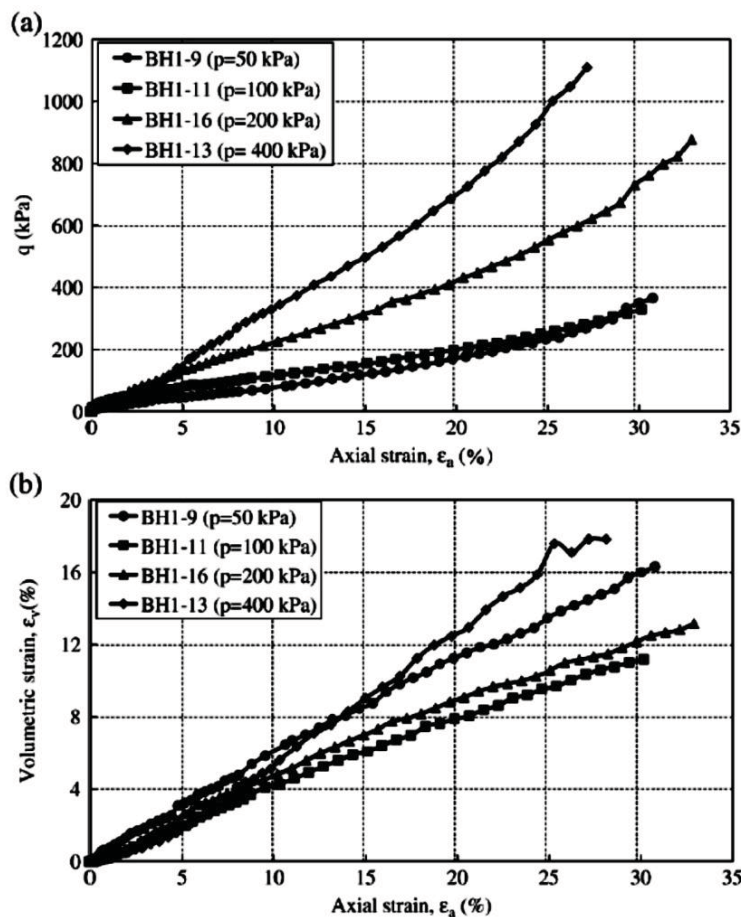


شکل (۶-۲): مقطع اصلی مدفن سوژو و محل گمانه‌ها در چین

۱- Tony
۲- Suzhou

همچنین جهت محدود نمودن حرکت روبه پایین دست شیرابه، یک پرده نفوذناپذیر در زیر دیوار نگهدار شیرابه زباله در نظر گرفته شده است که تا سنگ بستر ادامه دارد و تشکیل یک سیستم ناتراوی بسته برای شیرابه زباله را می‌دهد [۲].

ایشان جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی پنج گمانه با عمق‌های ۲۵ تا ۳۸ متر حفر نمودند. ایشان آزمایش‌های سه‌محوری فشاری در شرایط تحکیم‌یافته و زهکشی شده روی نمونه‌ها انجام دادند تا مقاومت برشی نمونه‌های زباله‌های جامد شهری را بررسی کنند. در شکل (۷-۲) نتایج آزمایش تنش- کرنش برای فشارهای همه‌جانبه ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال ارائه شده است [۲].



شکل (۷-۲): نتایج آزمایش تنش- کرنش برای فشارهای همه‌جانبه ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال

همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود نمونه‌ها رفتار کرنش- سختی از خود نشان می‌دهند.

تنش انحرافی در هر نمودار به طور پیوسته با کرنش محوری افزایش می‌یابد بدون این که به یک مقدار مجانب برسد. در شکل (b ۷-۲) دیده می‌شود کلیه نمونه‌ها در حین برش رفتار انقباضی از خود نشان می‌دهد. این رفتار تنش - کرنش زباله‌های شهری بطور کلی با نتایج مطالعات دیگر محققان هم‌خوانی دارد [۲].

شکل (۲-۸) مقطع مدفن را جهت بررسی پایداری شیب نشان می‌دهد. سطح شیرابه در مدفن بر اساس اندازه‌گیری صحرایی فشارمفدی ترسیم شده است. بر اساس اندازه‌گیری‌های به عمل آمده وزن مخصوص ثابتی معادل ۱۱ کیلونیوتن بر مترمکعب برای تمام لایه‌های زباله در نظر گرفته شد. فرض شد سطح لغزش بحرانی از سد سنگریزه‌ای و لایه رس شن‌دار کف مدفن به دلیل مقاومت برشی زیاد آن‌ها عبور نمی‌کند. سطح لغزش دایره‌ای فرض گردید و از روش ساده شده بیشاپ که بر مبنای روش تعادل حدی عمل می‌کند جهت محاسبه ضریب اطمینان استفاده گردید [۲].

سه سری پارامتر مقاومت برشی جهت تحلیل پایداری شیب همان‌طور که در جدول (۲-۲) دیده می‌شود استفاده شد. در سری اول وابستگی پارامترهای مقاومت برشی به سن زباله‌های دفن شده در نظر گرفته شد. در سری دوم پارامترهای مقاومت برشی توصیه شده توسط دیکسون و جونز^۱ (۲۰۰۵) استفاده شد [۱۱] و برای سری سوم پوش مقاومت برشی توصیه شده به وسیله کاوازانجیان^۲ (۲۰۰۱) جهت تحلیل پایداری شیب استفاده شد [۱۲]. در شکل (۲-۸) سطوح لغزش بحرانی به دست آمده به همراه کمینه ضرایب اطمینان متناظر نشان داده شده است.

۱- Dixon & Jones
۲- Kavazanjian