

## طراحی ژئوتکنیکی لندفیل و راهکارهای احداث آنها در خاک‌های مختلف

### مقاله علمی - پژوهشی

واحد قیاسی\*، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
پریسا مولائی تاری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: V.ghiasi@malayeru.ac

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲

صفحه ۳۰۲-۲۸۱

### چکیده

هدف از انجام این تحقیق، بررسی طراحی ژئوتکنیکی برای محل‌های لندفیل است. زیرا با توجه به گسترده‌گی صنایع و کارخانجات کشور ایران، سالانه میلیون‌ها متر مکعب پسماند صنعتی تولید می‌شود، که متأسفانه در راستای دفن این پسماندها چاره‌اندیشی درستی انجام نگرفته و این مهم باعث آسیب‌های زیست محیطی جبران ناپذیر و پخش آلودگی در وسعت کلان در طبیعت خواهد شد، که در نهایت به تغییرات اقلیمی و از بین رفتن گونه‌های زیادی از جانوران و گیاهان منجر می‌شود. لذا با توجه به اینکه تفکیک، تجدید و تجزیه پسماندهای صنعتی نیاز به تکنولوژی، مدیریت کلان و زمان زیاد دارد، در این تحقیق تلاش شده، در ابتدا انواع آلاینده‌های صنعتی تولید شده توسط کارخانجات را معرفی نموده و تاثیر آنها بر روی مشخصات خاک را بررسی نماییم. سپس به چگونگی محل یابی مکان مورد نظر از طریق علم GIS و طراحی محل دفن پسماندهای صنعتی با استفاده از نرم افزار PLAXIS و تقسیم بندی انواع لندفیل از نظر نوع لاینر پرداخته تا با استفاده از آنها بتوان برای مراکز صنعتی مختلف در کشور، محل دفن پسماندهای صنعتی متناسب با آن صنایع را طراحی نمود و در پایان به مقایسه سیستم جمع‌آوری و دفع پسماند کشورهای آمریکا، ژاپن، فرانسه، ایران و انگلیس می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: ژئوتکنیک، لندفیل، خاک، لاینر، نفوذپذیری

### ۱- مقدمه

با توجه به آن مدیریت مواد زائد جامد گویند. مدیریت مواد زائد جامد عبارت است از مجموعه‌ای از مقررات منسجم و هماهنگ در زمینهی کنترل، تولید ذخیره و یا جمع‌آوری حمل و نقل، پردازش و دفع مواد زائد که منطبق بر بهترین اصول بهداشتی، اقتصادی، زیباشناختی و سایر الزامات زیست محیطی و مطلوب‌های عمومی باشد (خرم آبادی و پورزمان، ۱۳۸۵).

با صنعتی شدن جهان و تغییر سبک زندگی انسان‌ها، به مرور تولیدات متنوع صنعتی افزایش یافته است. به طوری که طبق آمار سالانه ۳۸ هزار تن پسماند شهری و چندین برابر آن زائدات و پسماند کارخانجات و معادن کشور و بیش از ۱/۵ میلیارد مترمکعب پساب کارخانجات و کشاورزی وارد آب و خاک می‌گردد. این حجم از پسماند نیاز به سطح مدیریتی

پسماند صنعتی بر اساس یک سیستم تشخیص و طبقه‌بندی صحیح شکل می‌گیرد. پسماند صنعتی با منشاء بیولوژیکی در بیمارستان‌ها درمانگاه‌ها مطب دکترها و سایر مراکز درمانی بهداشتی و تحقیقاتی پزشکی حاصل می‌شود. این مواد حاوی عوامل بیماری‌زا بوده و پتانسیل سم‌زدایی دارند. طیف پسماندهای ویژه بیمارستانی از نظر کیفی و خطرات آلوده کننده و بالقوه‌ای که دارند بسیار وسیعی می‌باشند. پسماند صنعتی با منشاء شیمیایی در صنایع و کارخانجات مختلف شیمیایی و وابسته تولید شده و شامل مواد آلی مصنوعی نمک‌ها اسیدها بازها فلزات مواد قابل انفجار و قابل اشتعال می‌باشند. این مواد به دلیل پتانسیل سرطان‌زایی، سمیت و پایداری در محیط و اثر تجمعی از اهمیت ویژه‌ای در مدیریت پسماند صنعتی برخوردارند. پسماند صنعتی رادیواکتیو در نیروگاه‌ها، مراکز پزشکی هسته‌ای، کاربردهای نظامی، مراکز تحقیقات هسته‌ای، مراکز بهداشتی-درمانی هسته‌ای و در مراکز صنعتی و کشاورزی که از چشمه‌های رادیواکتیو استفاده می‌شود تولید می‌شوند. این مواد نیز بسیار خطرناک بوده و باید دقیقاً تحت کنترل و بازرسی قرار گیرند. به طور کلی به مواد یا ترکیبات زائدی کلمه خطرناک نسبت داده می‌شود که دارای یک یا چند ماده با خواص زیر باشند.

مواد قابل انفجار. مواد اکسید کننده. مواد قابل اشتعال. مواد محرک و سوزش آور. مواد زیان آور. مواد سمی. مواد سرطانزا. مواد خورنده. مواد عفونت‌زا. موادی که در اثر تماس با آب و هوا قادر به آزادسازی گازهای سمی و یا گازهای خورنده باشند (مهدی‌نیا، ۱۳۹۵). پسماند جامد و آلودگی خاک در شرایط زیر به وجود می‌آیند.

الف) بقایای پسماند حاصل از پروسه تولید، مثل تفاله‌های حاصل از صنایع آهن و فولاد.

ب) آلودگی خاک در اثر نشت مواد سمی و شیمیایی که در فرآیندها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج) لجن‌های حاصل از تکنیک‌های تصفیه مثل لجن‌های سمی تولیدی به وسیله تصفیه فاضلاب‌های صنایع آبکاری و فلزات.

د) نشت تصادفی مواد و انتشار آنها در زمان حمل و نقل.

لیست زیر مواد و ترکیبات‌ای را نشان می‌دهد که در صورت حضور یک یا تعدادی از آنها در ضایعات صنایع قید خطرناک

از جمله مراحل مدیریت پسماند، بازیافت و تبدیل زائدات به مواد قابل استفاده می‌باشد. تمام این مراحل مقداری مواد باقی می‌ماند که لزوماً باید دفن شوند. لندفیل سطحی از زمین است که پسماندها در آن نگهداری می‌شوند و در نتیجه تراز سطح زمین عوض می‌شود. در میان رویکردهای مختلفی که در مدیریت مواد زائد جامد شهری وجود دارد، لندفیل‌ها همچنان به عنوان مقصد نهایی مواد زائد جامد می‌باشند. شناسایی محل‌های دفن مناسب، یک فرآیند پیچیده و چند رشت‌های است. فرآیند انتخاب محل دفن چالش برانگیز است، زیرا کنترل و ارزیابی توسط قوانین و مقررات و عوامل محدودیت‌های مختلف هدایت می‌شود. (احمدیان و همکاران ۱۳۹۵). دفن پسماند آخرین روش در مدیریت یکپارچه پسماندهای جامد است. کاهش در منبع، استفاده مجدد، بازیافت، بهبود و سوزاندن برای تولید انرژی مراحل مقدم‌تر بردفن پسماند هستند. عمده‌ترین مشکل محل دفن مواد زائد جامد شهری، شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه پسماندهای دارای ترکیبات آلی می‌باشد. در این بین مهمترین عامل آلودگی آب در محل دفن مواد زائد جامد، شیرابه است (شاهین فر و همکاران، ۱۳۹۹). حال اینکه تولید شیرابه یکی از پیامدهای عملیات دفن پسماند در لندفیل می‌باشد به طوری که یکی از مهمترین مسایل در طراحی و بهره‌برداری از اماکن دفن پسماند، مدیریت شیرابه می‌باشد. شیرابه حاوی انواع گوناگونی از ترکیبات آلی و غیر آلی می‌باشد که می‌توانند محلول یا معلق باشند. این ترکیبات خطرات جدی را متوجه منابع آب سطحی و زیر زمینی منطقه می‌سازد (پرنگ، ۱۳۹۱). در این مقاله سعی بر آنست که ابتدا به شناخت آلاینده‌های صنعتی تأثیرات آنها روی خاک و در نهایت ارائه راهکار طراحی ژئوتکنیکی محل‌های دفن پسماند صنعتی بپردازیم.

## ۲- طبقه‌بندی پسماند

در برآورد رتبه بندی بار آلودگی انباشته شده (تن در سال) در بین واسطه‌ها (یعنی هوا زمین و آب) بخش شیمیایی و داروسازی بالاترین آلاینده‌گی را داشته است و به دنبال آن بخش فلزات اساسی، صنایع خانگی، پلاستیک‌ها و مواد غذایی آشامیدنی و دخانیات قرار دارند (شاهینفر، ۱۳۹۹). مدیریت

را حدود ۴۰ درصد و میزان شاخص انبساط را حدود ۴۲ درصد کاهش داده است. ریز ساختار و نحوه قرارگیری پولک‌های رسی، تحت تاثیر تغییرات غلظت الکترولیت سیال حفره‌های می باشد به طوری که حضور  $40 \text{ cmol/kg-soil}$  آلاینده فلز سنگین سرب شدت قله نظیر کانی مونت موریلونیت را حدود ۷۰ درصد کاهش داده است. همچنین خصوصیات درشت ساختاری نیز تابع خصوصیات ریز ساختاری است. میزان ضریب تغییرات آزمایش‌های تحکیم و نفوذپذیری در خاک‌های رسی تابعی از قابلیت نگهداری آلاینده توسط نمونه رسی می‌باشد به نحوی که در غلظت نظیر قابلیت نگهداری فاز کربنات به علت پوشش پولک‌های رسی توسط رسوب‌های کربناتی خاک در حالت پایدار است و کمترین مقدار خطا در نتایج آزمایش‌های فوق مشاهده شده است. در این حالت میزان شاخص تراکم نسبت به شاخص تراکم نمونه خالص حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است. وجود رسوب آلاینده فلز سنگین سرب و توده شدن ساختار نمونه رسی بتونیت در مجاورت آلاینده موجب ایجاد ناهماهنگی و توزیع غیر یکسان رطوبت است و همین موضوع سبب تغییر مقدار آزمایش‌ها در مجاورت آلاینده شده است. پارامتر نفوذپذیری در طراحی مراکز دفن پسماند و هسته سدهای خاکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تغییر مشخصات سیال حفره‌ای می‌تواند میزان نفوذپذیری را تا هزار برابر افزایش دهد بر این اساس تغییرات غلظت سیال حفره‌ای در پروژه‌های ژئوتکنیکی و ژئوتکنیک زیست محیطی توجه ویژه می‌طلبد (اوحدی و همکاران، ۱۳۹۴).

### ۳-۲- اثر سطح شیرابه بر سرعت نفوذ پذیری

با توجه مقایسه قبلی برای سطوح مختلف شیرابه، می‌توان گفت با افزایش طول نفوذ، سرعت کاهش می‌یابد. طبق فرمول دارسی سرعت به نفوذپذیری و گرادیان هیدرولیکی ربط دارد. علاوه بر این در محل دفن پسماند در مقایسه با صدها مسیر جریان مایع از نقطه‌ای با انرژی بیشتری به نقطه با انرژی کمتر نیست و عملاً هیچ تفاوتی درسته پیژومتری وجود ندارد بنابراین مقدار دلتا علت کاهش می‌یابد.

به آنها اطلاق می‌گردد. برلیوم و انادیوم، نیکل، سلنیوم، نقره، کادمیوم، جیوه، رادیوم، سرب، سلنیوم، آرسنیک، کرم، تلوریوم و ترکیبات آنها ترکیبات کرم شش ظرفیتی - ترکیبات مس ترکیبات روی لازم به ذکر است برخی از این ترکیبات جز فلزات سنگین محسوب می‌شوند و سرطانزا و بسیار خطرناک هستند. مدیریت پسماند خطرناک شامل مراحل شش‌گانه مدیریت پسماند شهری مثل تولید، جمع‌آوری، ذخیره در، حمل و نقل، پروسه و بازیابی و دفع می‌باشد.

در ضمن به دلیل خواص ویژه‌ای که این مواد دارند دو مرحله کاهش سمیت و تقلیل پتانسیل، ایجاد مخاطرات و مراقبت‌های بعد از دفع را نیز باید به مراحل شش‌گانه فوق افزود (مهدی نیا، ۱۳۹۵).

### ۳-۳- تاثیرات آلاینده‌ها بر روی مشخصات خاک

#### ۳-۱- مقایسه تاثیر PH شیرابه در سرعت نفوذ پذیری

با افزایش PH شیرابه از ۵ تا ۹ و یا افزایش ارتفاع، سرعت شیرابه در سطوح مختلف کاهش می‌یابد به این معنی که هرچه اسیدی می‌شود سرعت آن بیشتر است و هرچه سطح شیرابه بیشتر شده است سرعت آن کمتر است و همچنین مشاهده می‌شود که بعد سوم چقدر در دقت میزان سرعت شیرابه تاثیر گذار است (باقرزاده خلخالی و همکاران، ۱۳۹۷). ضریب نفوذپذیری وابستگی قابل توجهی به خصوصیات الکترولیت آب حفره ای دارد به نحوی که حضور  $40 \text{ cmol/kg-soil}$  آلاینده فلز سنگین سرب میزان ضریب نفوذپذیری نمونه رسی را حدود ۱۰۰۰ برابر افزایش داده است. همچنین تغییرات خصوصیات آب حفره‌ای که سبب تغییر در خصوصیات لایه دوگانه میشود، بر میزان ضریب تغییرات (COV) آزمایش‌های مورد بررسی تاثیر قابل توجه‌ای داشته است. به نحوی که حضور  $40 \text{ cmol/kg-soil}$  آلاینده فلز سنگین سرب میزان ضریب تغییرات آزمایش نفوذپذیری را از  $7/17\%$  به  $8/9\%$  کاهش داده است. خصوصیات ژئوتکنیکی خاک تحت اثر ریزساختار و غلظت سیال حفره‌های می‌باشد. به نحوی که حضور  $40 \text{ cmol/kg-soil}$  آلاینده فلز سنگین به علت پوشش پولک‌های رسی توسط رسوبات کربناتی میزان شاخص تراکم

به گازوئیل، دانه‌های خاک توسط گازوئیل پوشانده شده و ذرات بتونی به هم چسبیده و حالت فلوکوله پیدا کرده و به ساختاری همچون سیلت و حتی ماسه شبیه می‌شوند. (طاهری و همکاران، ۱۳۹۷)

**۳-۴- مکان یابی لندفیل جهت دفن پسماندهای جامد**  
برای مکانیابی لندفیل جهت دفن پسماندهای شهری باید مراحل زیر را انجام دهیم:

تهیه نقشه استعداد داری محل دفن-تجزیه و تحلیل اطلاعات ژئوتکنیکی برای رعایت استاندارد حریم‌ها جاده، گسل، آبراهه، منابع تامین آب، مراکز جمعیتی، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، حذف پهنه‌های نامناسب با توجه به استانداردهای، ساخت لندفیل گزینش نهایی رتبه بندی مناطق انتخابی. (حبیب پور، بهزاد ۱۳۹۰) سایت باید تا حد ممکن به مراکز تولید پسماند و یا ایستگاه‌های انتقال نزدیک باشد. هزینه‌های حمل و نقل بر اساس فاصله حمل و نقل پسماند از مراکز تولید آن محاسبه می‌شود. این فاصله بر اساس شرایط منطقه تعیین می‌شود ولی حداکثر فاصله ۱۰ تا ۲۰ کیلومتری قابل قبول خواهد بود. یک زون حداقل ۵۰۰ متری در اطراف هر گونه منابع اصلی آب مانند رودخانه‌ها باید در نظر گرفته شود این فاصله علاوه بر جلوگیری از آلودگی آب رودخانه‌ها که ناشی از نفوذ شیرابه است برای حفاظت از تأسیسات مکان‌های دفن پسماند از وقوع سیل نیز مهم می‌باشد. حداقل فاصله ۵۰۰ متری از جاده‌های اصلی باید رعایت شود و تنها علاوه بر ایجاد خطراتی که ممکن است برای تخریب سایت دفن پسماند به وجود آورد احتمال دارد که به عنوان یک مجرا برای حرکت شیرابه عمل کند و انتشار آلودگی را تسریع بخشد از ساخت مکان‌های دفن پسماند در فاصله کمتر از ۶۰ متری گسل‌ها باید اجتناب نمود شیب‌های بیش از ۱۵ درصد نیز برای ساخت مکان‌های دفن پسماند مناسب نیست بهترین حالت شیب بین ۰ تا ۵ درصد می‌باشد. علاوه بر آزمایش‌های گمانه زنی تشخیصی در محل برای شناسایی جنس خاک و تشخیص مناسب بودن محل برای ساخت لندفیل می‌توان از سیستم مدیریت اطلاعات جغرافیایی استفاده نمود. بدین صورتکه مطالعات وسیعی برای برنامه‌ریزی طراحی و مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری

بنابراین، با افزایش طول نفوذ گرادبان هیدرولیکی کاهش می‌یابد در نتیجه با توجه به فرمول داری افزایش طول نفوذ سرعت شیرابه را کاهش می‌دهد. (باقرزاده خلخالی و همکاران ۱۳۹۷)

### ۳-۳- اثرات گازوئیل و فلزسنگین سر بر روی خاک

به طور کلی آلوده شدن خاک به گازوئیل و آلاینده فلز سنگین سرب، باعث تغییر رفتار در مشخصات ژئوتکنیکی و ژئوتکنیک زیست محیطی خاک می‌شود که این تغییر رفتار برای خاک مورد مطالعه در این پژوهش به شرح زیر است:

با افزایش میزان آلودگی گازوئیل از صفر تا ۱۲ درصد وزنی خاک خشک درصد رطوبت بهینه از ۱۶ درصد به ۸٫۵ درصد کاهش وزن مخصوص خشک بیشینه از ۱٫۷۵ به ۱٫۸۷ افزایش می‌یابد. بنابراین، خصوصیات تراکم پذیری خاک بهبود می‌یابد. همچنین با افزایش میزان آلودگی سرب تا ۱۲ cmol/kg-soil درصد رطوبت بهینه از ۱۶ درصد به ۱۳ درصد کاهش و وزن مخصوص خشک بیشینه از ۱٫۷۵ به ۱٫۸۴ افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش برش مستقیم روی خاک آلوده به گازوئیل نشان داد که چسبندگی خاک با افزایش درصد آلودگی گازوئیل به میزان ۱۸٫۳٪ افزایش می‌یابد. افزایش چسبندگی ظاهری را می‌توان با توجه به ویسکوزیته دینامیکی بیشتر گازوئیل نسبت به آب و چسبندگی زیاد گازوئیل دانست. همچنین چسبندگی خاک با افزایش غلظت آلودگی سرب در حدود ۶۸٪ کاهش می‌یابد در حقیقت با افزایش آلودگی میزان بار منفی سطح رس کاهش یافته و سطح خاک به حالت خنثی نزدیک می‌شود. به همین دلیل تمایل به جذب آب کم شده و ضخامت لایه دوگانه کاهش می‌یابد که در پی آن، چسبندگی هم روند کاهشی خواهد داشت. در نمونه‌های آلوده به هر دو آلاینده، در هر غلظت مشخص از فلز سنگین سرب از ۰ تا ۱۲ با افزایش درصد آلودگی گازوئیل چسبندگی افزایش می‌یابد. بررسی ریخت شناسی نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که حضور فلز سنگین سرب باعث تغییر ساختار خاک از حالت پراکنده به حالت درهم و توده‌ای می‌شود. این امر به دلیل کاهش ضخامت لایه دوگانه ذرات رسوبی و در پی آن کاهش نیروی دافعه بین ذرات است. همچنین در اثر آلودگی

با توجه به فاکتورهای موثر در این راستا انجام گیرد انتخاب فاکتورهای متعدد و در نتیجه تعداد لایه‌های اطلاعاتی تصمیم‌گیران را به طور ناخودآگاه به سمت استفاده از سیستمی سوق می‌دهد که علاوه بر دقت بالا از نظر سرعت عمل و سهولت انجام عملیات نیز در حد بالایی قرار داشته باشد. (زارع ایبانه و آزادی فر، ۱۳۹۸)

#### ۴- مراحل طراحی ژئوتکنیکی لندفیل

در طراحی یک تأسیسات دفع پسماندهای خطرناک، گروه طراحی صاحب مجوز، تخمین‌هایی از خواص مهندسی مواد قرار داده شده توسط سازنده انجام می‌دهد. این نیاز به اطلاعات کمی، و خاص در مورد خواص فیزیکی و مقاومتی خاک‌هایی دارد که کاربرد مستقیم و معتبری برای مسئله طراحی دارند. این ویژگی‌ها عبارتند از نفوذپذیری، تراکم پذیری و مقاومت برشی. عملکرد برنامه تضمین کیفیت در حین ساخت، اطمینان از دستیابی به استاندارد کیفیت مشخص شده توسط طراحی است. در حالت ایده‌آل، مشاهدات و آزمایش‌های تضمین کیفیت باید ویژگی‌های طراحی را مستقیماً اندازه‌گیری کنند. آزمایش‌های ژئوتکنیکی مورد استفاده برای تعیین ویژگی‌های مهندسی خاک عبارتند از: نفوذپذیری (آزمایش‌های نفوذپذیری آزمایشگاهی، آزمایش‌های مویرگی آزمایشگاهی و میدانی). تراکم پذیری (تست‌های تثبیت آزمایشگاهی و آزمایش فشار تورم). استحکام برشی (برش مستقیم آزمایشگاهی، فشار سه محوری آزمایشگاهی و فشار نامحدود آزمایشگاهی) (Ghiasi et al, 2022, 2023, 2024, Spigolo, 1984, 2025) اگرچه اینها آزمایشاتی هستند که باید به عنوان بخشی از یک برنامه تضمین کیفیت انجام شوند، اما معمولاً استفاده نمی‌شوند زیرا به موارد زیر نیاز دارند: (الف) زمان طولانی: انجام هر یک از این تست‌ها می‌تواند از یک روز کامل تا دو هفته طول بکشد. کنترل کارآمد ساخت و ساز مستلزم زمان آزمایش بسیار سریعتر است. (ب) تجهیزات پیچیده (ج) رویه‌های پیچیده. (د) اپراتورهای بسیار آموزش دیده. (ه) محیط آزمایشگاهی کنترل شده. این به معنای کنترل دما و محیطی بدون لرزش است که معمولاً در یک سایت ساخت و ساز یافت نمی‌شود. (و) نمونه‌های دست نخورده با کیفیت

بالا. در عوض، آزمایش‌های شاخص ساده‌تر، سریع‌تر، که نتایج آن‌ها مربوط به نفوذپذیری، تراکم‌پذیری و مقاومت برشی است، انجام می‌شود. (Spigolo, 1984) روش‌های ژئوفیزیکی اطلاعاتی را در مورد توزیع پارامترهای فیزیکی خاص در سطح زیرین فراهم می‌کنند که می‌تواند به مشاهدات مستقیم مرتبط شود. بنابراین روش مشاهده غیرمستقیم نامیده می‌شود و "عکسی" از سطح زیرین ارائه نمی‌دهد، اما مدلی از زیرزمین را پیشنهاد می‌کند که از تفسیر توزیع این پارامترهای فیزیکی به دست آمده است. به عنوان مثال، خاک رس و گرانیات دارای چگالی، سرعت صوتی، پارامترهای الاستیک، رسانایی الکتریکی، حساسیت مغناطیسی و ثابت دی الکتریک متفاوت هستند. بنابراین، روش‌های ژئوفیزیکی برای بهره‌برداری از برخی از ویژگی‌های فیزیکی یک ویژگی هدف طراحی شده‌اند که با محیط میزبان آن در تضاد است، به عنوان مثال، ماهیت کم چگالی یک فضای خالی در مقابل ماهیت چگالی بالا سنگ بستر اطراف و غیره است. ژئوفیزیک هرگز نباید یک ابزار مستقل باشد، بلکه مکمل مشاهدات مستقیم باشد، که اطلاعات زمینه زمین‌شناسی/هیدروژئولوژیکی را ارائه می‌دهد دو نوع کلی روش ژئوفیزیکی وجود دارد.

(الف) فعال، که پاسخ سطح زیرین به انرژی الکترومغناطیسی، الکتریکی و لرزه‌ای تولید شده توسط منابع مصنوعی را اندازه‌گیری می‌کند.

(ب) غیرفعال که میدان‌های مغناطیسی، الکتریکی و گرانشی زمین را اندازه‌گیری می‌کند. ابزارهای ژئوفیزیک برای ترسیم تغییرات مکانی در خواص فیزیکی زمین طراحی شده‌اند. به عنوان مثال، یک گرانش سنج برای اندازه‌گیری تغییرات مکانی در قدرت میدان گرانشی زمین طراحی شده است. محل دفن بهداشتی رایج‌ترین راه برای حذف پسماندهای جامد شهری است. آنها به دلیل منشاء تصادفی پسماندهای دفع شده، ساختار ناهمگنی دارند. روش‌های ژئوفیزیکی به دلیل غیر مخرب و غیر تهاجمی بودن بسیار ارزشمند هستند. یک مشکل مهم مرتبط با این عمل، تولید شیرابه و آلودگی آب‌های زیرزمینی مربوط به آن است. رسانایی الکتریکی شیرابه اغلب بسیار بالاتر از آب‌های زیرزمینی طبیعی است و همین تضاد بزرگ است که امکان تشخیص توده‌های آلودگی را با استفاده

استفاده کرد. (Barraso,2006) رسوبات در سایت های دفن پسماند منشأ متفاوتی دارند، به عنوان مثال پسماندهای خانگی و صنعتی، خاکها و مواد زمین شناسی نبش قبر شده. آنها ترکیب مواد پیچیده‌ای دارند. آنها به طور غیریکنواخت فشرده هستند و همچنین فرآیند تجزیه غیریکنواختی دارند، بنابراین خواص فیزیکی آنها طیف وسیعی از تغییرات را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، مقاومت الکتریکی مقادیری از ۱,۵ تا ۲۰ اهم متر در محل های دفن پسماند مختلف دارد شیرابه مایعی است که از پسماندهای تجزیه شده تشکیل می‌شود و می‌تواند حاوی آب زیرزمینی و آب باران نفوذ یافته باشد. آلاینده‌های غیر آلی به دلیل وجود نمک‌های محلول، رسانایی مایع را افزایش می‌دهند. در نتیجه، مقاومت الکتریکی شیرابه اغلب بسیار کمتر از آب‌های زیرزمینی طبیعی است. به عنوان مثال، آب شیرین دارای مقاومتی حدود ۲۰۰ اهم متر و آب شور دارای مقاومت حدود ۱۰ اهم متر است. انواع دیگر آلاینده‌ها مانند ترکیبات آلی می‌توانند رسانایی شیرابه را کاهش دهند. محل دفن پسماندهای صنعتی تحت نظارت را می‌توان اینگونه تعریف کرد.

الف) ساخت و ساز مهندسی (پرتعبیه شده یا جزئی جاسازی شده)، که برای مستمر، کنترل شده ساخته و تجهیز شده است. دفع سازمان یافته و ایمن پسماندهای صنعتی.

ب) زمین طبیعی که قبلاً توسط غیرقابل نفوذ آماده و محافظت شده است.

ج) سیستم مانع، که در آن پسماند حمل می‌شود، برنامه‌ریزی شده پر و فشرده شده، در صورت لزوم با محافظ مناسب پوشانده می‌شود.

د) سیستم. مقررات در این زمینه در حال تغییر است. به طور مداوم، به دلیل ساخت یک محل دفن پسماند مدرن شامل حل یک سری مسائل از قبیل: زیست محیطی، اقتصادی، هیدرولوژیکی، زیرساختی، فناوری، ساختمانی، زمین شناسی و قطعا مشکلات ژئوتکنیکی. تجزیه و تحلیل، عمدتاً مربوط به جابجایی عمودی و افقی است. این در درجه اول به آزمایش ظرفیت بار یک پایه اشاره دارد، نشست پایه و پسماند در محل دفن، پایداری شیب محل دفن، تعامل پسماند با مواد طبیعی یا ژئوستستیکی که استفاده می‌شود. به عنوان سیستم‌های محافظ و

از روش‌های ژئوفیزیکی فراهم می‌کند. رادار نفوذی زمین و روش‌های الکتریکی مانند توموگرافی الکتریکی و صدای الکتریکی عمودی به دلیل ماهیت رسانایی اکثر آلاینده‌ها، به ویژه برای این نوع مطالعات زیست محیطی مفید هستند و می‌توانند ابزارهای مهم برای تشخیص و نقشه برداری از محل‌های دفن پسماند، ترانشه‌ها، پسماندهای مدفون و درام‌ها، یا دیگر سازه‌های زیرزمینی. مقاومت الکتریکی زیرسطحی چندین مکانیسم هدایت در مواد معمولی زیرسطحی امکان پذیر است. آنها عبارتند از: الف) هدایت الکترونیکی، ب) نیمه هادی‌ها و ج) هدایت یونی در مایعات. هدایت الکتریکی در فلزات خالص اتفاق می‌افتد. در این مکانیسم حامل‌های بار الکترون‌ها هستند و تحرک بالای آنها مقاومت بسیار پایینی (>1۰-۸ اهم متر) می‌دهد. (Barraso,2006) نیمه هادی در کانی‌هایی مانند سولفیدها و معمولاً در سنگ‌های آذرین رخ می‌دهد.

در این مورد حامل‌های بار الکترون‌ها، یون‌ها یا حفره‌ها هستند. در مقایسه با فلزات، تحرک و تعداد حامل‌های بار کمتر است و بنابراین مقاومت آن بالاتر است (معمولاً ۱۰-۳ تا ۱۰-۵ اهم متر). هدایت یونی در مایعات (یا هدایت الکترولیتی) زمانی اتفاق می‌افتد که جریان از طریق حرکت یون‌ها در مایعات آبی یا مواد مذاب جریان یابد. مقاومت سنگ‌ها تا حد زیادی به درجه شکستگی و درصد شکستگی‌های پر شده با سیال بستگی دارد. سنگ‌های آذرین و دگرگونی معمولاً در مقایسه با سنگ‌های رسوبی (معمولاً ۱ تا ۱۰۰ اهم متر)، که معمولاً متخلخل‌تر هستند و محتوای آب بیشتری دارند، مقاومت بیشتری دارند. مقادیر مقاومت تا حد زیادی به تخلخل سنگ‌ها و شوری آب زیرزمینی بستگی دارد. توزیع مقاومت الکتریکی برای تعیین شرایط زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی کم عمق و عمیق مفید است. بررسی‌های ژئوالکتریک معمولاً در تحقیقات هیدروژئولوژیکی، معدنی و ژئوتکنیکی استفاده می‌شود. اخیراً از آن برای بررسی‌های محیطی استفاده شده است داده‌های مقاومت را می‌توان برای شناسایی، ترسیم و نقشه‌برداری سطح زیرین که مواردی مانند توده‌های آلودگی رسانای الکتریکی، واحدهای سنگ‌شناسی با خاک رس، رابط آب نمک/آب شیرین و ناحیه وادوس را تعریف می‌کند،

سطح ثابت آب زیرزمینی در عمق حدود ۱۲ متری نسبت به سطح زمین توسط اکتشافات تعیین شد و از آنجایی که حداکثر عمق حفاری برای تشکیل بدنه دفن پسماند ۸,۵ متر است، آب‌های زیرزمینی انجام نشد. تأثیر بیشتری در تشکیل پایگاه دفن پسماند دارند. آزمایشات آزمایشگاهی ژئومکانیک شامل آزمایش مواد طبیعی در مجموع ۸۹ نمونه خاک (بر روی ۷۱ نمونه فقط داده‌های شناسایی - طبقه‌بندی تعیین شد، در ۱۵ نمونه علاوه بر تعیین داده‌های شناسایی - طبقه بندی، آزمایش مقاومت و تغییر شکل پذیری و روی ۳ نمونه انجام شد. از گودال‌های اکتشافی پروکتور و تست CBR انجام شد). نتایج پارامترهای فیزیکی و مکانیکی اساسی برای محیط‌های سنگ شناسی جدا شده در جدول ۱ ارائه شده است.

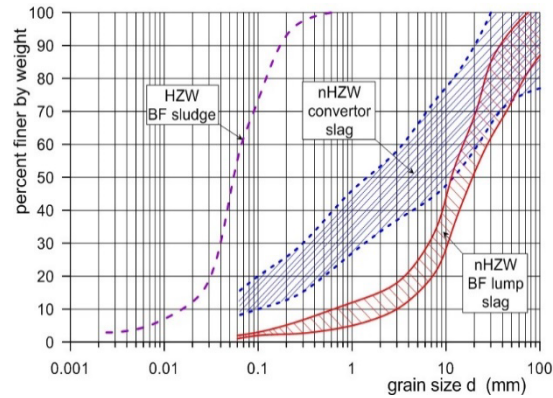
جدول ۱. مقادیر پذیرفته شده پارامترهای مکانیکی نمونه (Rakic, Berisavljevic, 2013)

| سنگ شناسی                            | $t/sat$      | $\phi'$   | $c'$         | $M_v100-200$ | $q_c$              |
|--------------------------------------|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| محیط                                 | ( $kN/m^2$ ) | ( $0$ )   | ( $kN/m^2$ ) | ( $MN/m^2$ ) | ( $MN/m^2$ )       |
| سیلتی مواد<br>CL, ML                 | ۱۹/۲۰۵       | ۱۹-<br>۲۴ | ۳-۲۶         | ۳,۶-۸,۵      | ۲,۲-۴,۰<br>۴,۰-۸,۰ |
| شن و ماسه و ماسه سیلتی<br>SP, SC, SM | ۱۹,۵/۲۰      | ۲۵-<br>۳۰ | ۰-۲          | -            | ۲۰-۳۰              |
| شن و شن سیلتی<br>SP, GP              | ۲۱           | -         | -            | -            | ۳۰۰                |

آزمایش‌های آزمایشگاهی ژئوتکنیکی بر روی نمونه‌هایی از مواد دفن پسماند که بدنه دفن پسماند (پسماندهای صنعتی خطرناک و غیر خطرناک) تشکیل می‌شود، بر روی ۵ نمونه انجام شد. نتایج آزمایش توزیع اندازه دانه برای انواع مختلف پسماند در شکل ۱ ارائه شده است.

محکم بودن لایه‌های محافظ در پایه و در سطح. در این راستا ژئوتکنیک تحلیل‌هایی که در این مکان انجام شده است مربوط به موارد زیر است. تشکیل بدنه دفن پسماند خطرناک و غیرخطرناک پسماند (تحلیل پایداری) - اسکان دفن پسماند با تجزیه و تحلیل تأثیر بر زمین و اشیاء اطراف - حفاری و آماده سازی پایه برای بدنه دفن پسماند - شرایط ساخت و ساز برای تاسیسات مرتبط - محوطه سازی و احداث راه‌های ترافیکی. در تمامی اشیاء ژئوتکنیکی پر شده، یکی از مشکلات عمده‌ای که باید حل شود، قطعاً پایداری شیب. به همین دلیل پیشگیرانه است. تدابیری برای تثبیت شیب‌های دفن پسماندها و بیشتر انجام می‌شود. رایج عبارتند از: انتخاب زاویه شیب برای فاکتور ایمنی مورد نیاز، نوار دفع پسماندهای صنعتی، راه‌اندازی سیستم‌های امنیتی در پایه، تقویت شیب‌ها، قرار دادن سطح، سیستم‌های حفاظتی و غیره لازم به ذکر است که شکل دادن به بدنه دفن پسماند توسط زمان و اینکه تنش برشی در تغییر منطقه شیب‌ها در زمان. برای مثال برای سایتی با مساحتی در حدود ۳۷ هکتار، در زمینی که متعلق به بخش پست آبرفتی معمولی در ساحل رودخانه‌ای با ارتفاعات بین ۸۵ تا ۸۷ متر، در چندین فاز، بررسی‌های ژئوتکنیکی زمین و آزمایشگاهی انجام شد از بررسی‌های زمین در مجموع انجام شد: ۱۵ گمانه اکتشافی عمق ۱۰ تا ۳۵ متر، در ۴ مورد آزمایش نفوذ استاندارد - SPT، ۱۵ آزمایش نفوذ استاتیک - CPT، دو حلقه چاه که در آنها ساخت پیرومتر ساخته شده است. ۳ گودال اکتشافی و یک میدان آزمایشی.

زمین و تحقیقات آزمایشگاهی برای تعریف ساختار زمین شناسی میدان اکتشاف استفاده شد که در آن اعضای سنگ شناسی زیر جدا شدند: لایه هوموس (ضخامت متغیر از ۰,۳ تا ۱,۲ متر). خاکریز (در قسمت شمال شرقی محل از ضایعات صنعتی - سرباره به ضخامت تا ۲,۵ متر تشکیل شده است). مواد گرد و غباری (آنها روی هم تشکیل می‌شوند و در داخل این بسته سه عضو سنگی نسبتاً مشابه جدا شده‌اند). ماسه‌ها (در داخل آنها، بر اساس تراکم، دو منطقه جدا شد: مناطق کم و بیش فشرده و آنها در اعماق زیر ۱۱ متر نسبت به سطح زمین ظاهر می‌شوند). شن (عمیق‌ترین لایه‌ای که در گمانه اکتشافی IB-۶ تا حداکثر عمق حفاری ۳۵ متر تعیین شد).



شکل ۱. منحنی های توزیع اندازه دانه برای انواع مختلف هدر (Rakic, Berisavljevic, 2013)

از طریق آزمایش‌های آزمایشگاهی ژئومکانیکی به دست آمده‌اند، ارائه شده‌اند. در مورد مقاومت برشی باید گفت که این ماده‌ای است که به خوبی درجه بندی شده و در آن ذرات غیر گرد با سطوح ناهموار غالب است. بنابراین، این مواد دارای خواص اصطکاکی خوبی هستند.

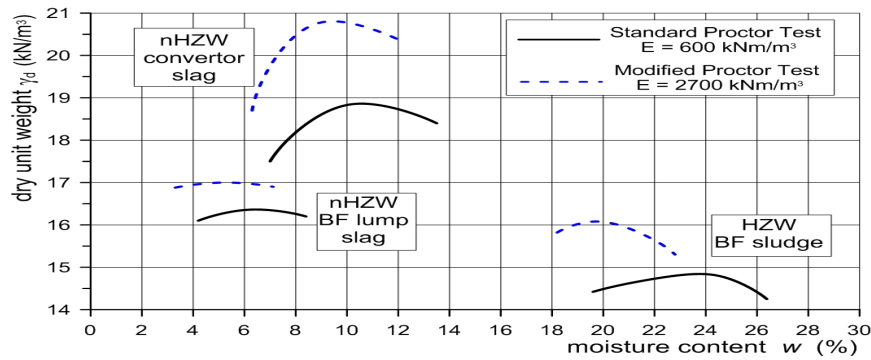
بر اساس برخی از داده‌های داده شده، زاویه اصطکاک داخلی سرباره از کوره بلند  $50 - 60 = \phi'$  درجه متفاوت است. تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی نشان داد که سرباره را می‌توان در ساخت جاده‌های ترافیکی (برای لایه‌های پایه و باربر) استفاده کرد، زیرا مقادیر CBR بین ۲، ۲۱-۳۰٪ متغیر بود و در رطوبت بهینه  $W_{opt} = 6.6 - 11.1\%$  واحد خشک بود.  $t_{dmax} = 16.6 - 18.9 \text{ kN/m}^3$  شکل ۲ با توجه به برخی از داده های داده شده، می‌توان دریافت که سرباره دارد.

صرف نظر از اینکه پسماندهای صنعتی تفاوت قابل توجهی با خاک دارند، برای تعیین خواص مکانیکی از تکنیک‌هایی استفاده می‌شود که برای ایجاد شده است.

بنابراین برای تعیین مقاومت برشی از معیار شکست خطی کولن-مهر-ترزاقی که بر حسب زاویه اصطکاک داخلی  $\phi'$  و چسبندگی  $c'$  تعریف شده است، همچنان بیشترین استفاده را دارد. در عمل، متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی عبارتند از: آزمایش‌های آزمایشگاهی (آزمایش برش مستقیم و آزمایش فشار سه محوری) و تحلیل بازخورد و پایش لغزش‌های تعریف شده یا شیب‌های ناپایدار در محل‌های دفن پسماند. از آزمایش‌های آزمایشگاهی، رایج‌ترین مورد استفاده، آزمایش برش مستقیم است که در درجه اول به دلیل آماده‌سازی نمونه ساده‌تر است که معمولاً ابعاد بزرگ‌تری دارند. در جدول ۲ مقادیر مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی پسماندهای صنعتی - سرباره که

جدول ۲. مقادیر پذیرفته شده خواص فیزیکی و مکانیکی سرباره (Rakic, Berisavljevic, 2013)

| نوع سرباره فولاد | t/tsat (kN/m <sup>3</sup> ) | $\phi'$ (0) | $c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) | Eref (MN/m <sup>2</sup> ) |
|------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|
| سرباره توده BF   | ۱۵/۱۵.۵                     | ۳۶-۵۴       | ۰-۴                       | ۲۰                        |
| سرباره مبدل      | ۱۶.۵/۱۸                     | ۲۹-۳۴       | ۰-۳                       | ۲۰                        |
| لجن BF           | ۱۷/۱۸                       | ۲۴-۲۹       | ۳-۸                       | ۷.۵                       |

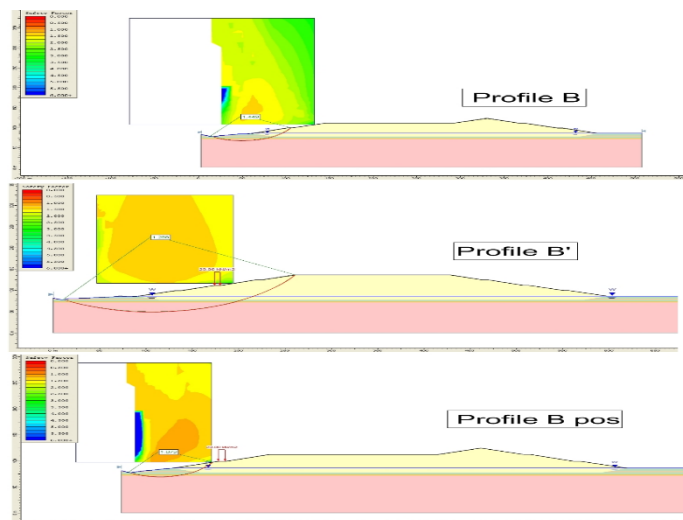


شکل ۲. مقایسه تست استاندارد پروکتور و تست پروکتور اصلاح شده برای انواع سرباره (Rakic, Berisavljevic, 2013)

شدیدی انتظار نمی‌رود، اما از آنجا شروع شد که نتایج در جهت ایمنی خواهد بود. سایر اثراتی که در تجزیه و تحلیل پایداری شیب دخیل بودند عبارتند از: بار مرده به شکل جرم خاکریز دفن پسماند (وزن حجمی مختلف استفاده شد.

تجزیه و تحلیل پایداری برای پروفایل‌های مشخصه محل دفن پسماند (شامل سلول - برای پسماندهای غیرخطرناک و خطرناک) با شیب‌های پیش‌بینی شده با شیب ۳:۱ انجام شد، اما در ارتفاع معین، حفره‌هایی با عرض ۶ متر پیش‌بینی شدند. در هر دو مورد، آنالیزها برای موارد اشباع دفن پسماند در حفاری تا سطح ۸۶ متر انجام شد. اگرچه در عمل چنین شرایط

$t = 15 \text{ kN/m}^3$  کیلو نیوتن بر متر مکعب برای پسماند‌های صنعتی دفع شده در لحظه دفع؛  $t = 18 \text{ kN/m}^3$  پس از تکمیل درجه تخریب و بیشتر ادغام؛  $t = 17 \text{ kN/m}^3$  برای مواد دور ریخته شده از پسماندهای خطرناک).



شکل ۳. پروفایل‌های تجزیه و تحلیل پایداری شیب مشخصه دفن پسماندهای غیرخطرناک (Rakic, Berisavljevic, 2013)

استفاده از بسته نرم‌افزاری SLIDE و با استفاده از روش‌های Spencer, Bishop و Janbu انجام شد.

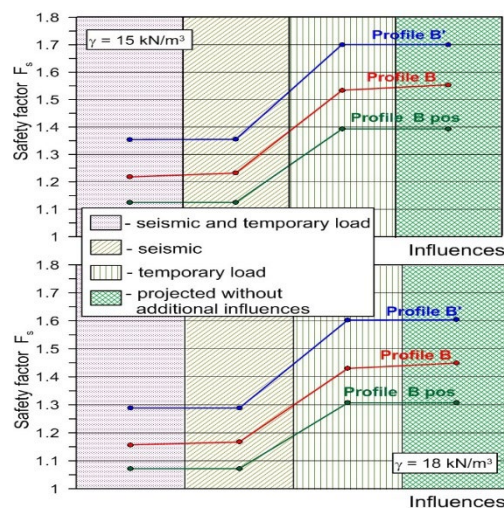
بار موقت به صورت ضربه لرزه‌ای، بار موقت که به حرکت وسایل نقلیه حمل و نقل در محل دفن پسماند (دامپر با حداکثر وزن ۱۲۰ تن) اطلاق می‌شود. تمامی تحلیل‌های پایداری با

با حداقل مقدار ضریب ایمنی به شرح زیر تایید می‌شود: زمانی که تنها بار مرده وزن مواد دفع شده در تجزیه و تحلیل پایداری در نظر گرفته می‌شود (شکل ۴). در شکل ۴ همچنین می‌توان دید که تأثیرات لرزه ای از نظر پایداری شیب قابل توجه است و برعکس بار موقت از دمپرها تأثیر بسیار کمی بر پایداری شیب محل دفن پسماند دارد.

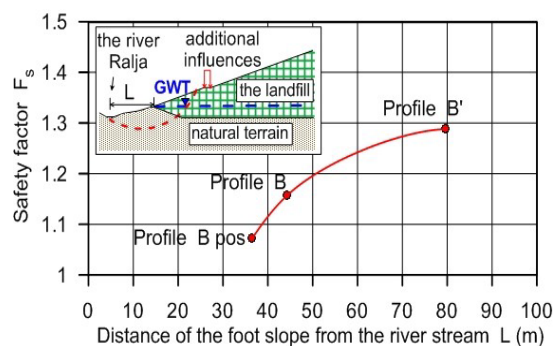
علاوه بر این، بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، این نتیجه حاصل شد که تأثیر قابل توجهی بر پایداری شیب محل دفن پسماند، فاصله کمی از بستر رودخانه دارد (شکل ۵).

در این تحلیل‌ها از پارامترهای مقاومت برشی به دست آمده در آزمایش‌های آزمایشگاهی توسط دستگاه برش مستقیم بر روی نمونه‌های مواد زائد (برای پسماندهای خطرناک:  $\phi = 24^\circ$  و چسبندگی  $c = 3 \text{ kN/m}^2$ ، برای پسماندهای غیر خطرناک  $\phi = 32^\circ$  و انسجام  $c = 0 \text{ kN/m}^2$  سرباره استفاده شد. برای پروفایل‌های مشخصه در شکل ۳ فقط برخی از نتایج تحلیل پایداری به روش جانبو ارائه شد (کمترین مقادیر  $F_s$  با این روش به دست آمد) از نظر ضریب تأثیر.

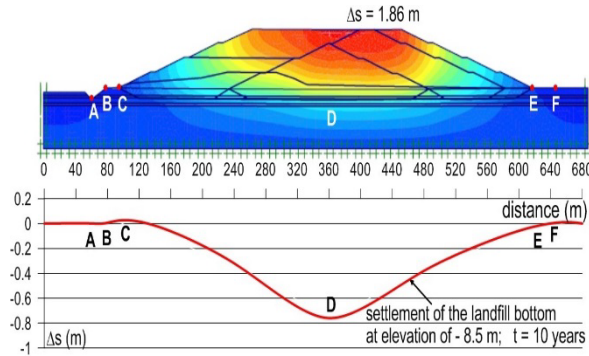
از نتایج ارائه شده می‌توان دریافت که پایداری شیب محل دفن پسماند با توجه به معیارهای از پیش تعریف شده در رابطه



شکل ۴. نتایج تجزیه و تحلیل پایداری شیب‌های دفن پسماند برای پروفایل‌های مشخصه (Rakic, Berisavljevic, 2013)



شکل ۵. تأثیر فاصله رودخانه بر پایداری شیب بدنه دفن پسماند (Rakic, Berisavljevic, 2013)

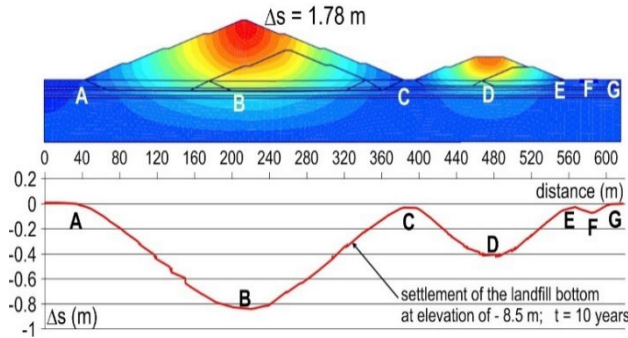


شکل ۶. مدل عددی با نقاط مشخصه محاسبه نشست برای پروفایل b-b (Rakic, Berisavljevic, 2013)

گرفت که بخشی از زمین خارج از بدنه دفن پسماند در فاصله تقریباً چهار برابر عمق حفاری را نیز شامل می‌شود. برای بدنه دفن پسماند (حدود ۴۰ متر) در سمت چپ و راست حفاری ساخته شده است. برای تمام پروفیل‌ها سه مورد معمولی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت: شبیه سازی حفاری برای بدنه دفن پسماند. مرحله اول رسوب پسماند به مدت ۵ سال و مرحله دوم (نهایی) رسوب پسماند برای مدت ۱۰ سال. برای هر سه مورد، داده‌هایی در مورد وضعیت تنش و تغییر شکل در بدنه دفن پسماند و پایه آن - زمین طبیعی، در فواصل زمانی مشخص (۵ و ۱۰ سال) به دست آمد. در شکل ۶ و ۷ مدل عددی مشخصه با موقعیت گره‌هایی که نشست در آنها محاسبه شده و همچنین نتایج نشست برای دو پروفایل مشخصه محل دفن پسماند برای دوره پس از اتمام تشکیل دفن پسماند به مدت ۱۰ سال ارائه شده است. نتایج نشان داد که بیشترین تغییر شکل‌ها در سطح محل دفن پسماند و در بالاترین قسمت آن رخ می‌دهد ( $\Delta s = 1.78 - 1.86$  متر، شکل‌های ۶ و ۷). با این حال، به منظور پیش‌بینی تأثیر نشست بر روی سیستم‌های حفاظتی پایه مقادیر نشست در ارتفاع حفاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ته نشین شدن بدنه دفن پسماند می‌تواند عواقب منفی در طول استفاده از آن، اما در دوره پس از بسته شدن آن نیز ایجاد کند. مکانیسم دفن پسماند های صنعتی به عوامل زیادی بستگی دارد و فقط به صورت مکانیکی شرطی نمی‌شود، بلکه نتیجه اثرات پیچیده و متقابل قطعات شکستگی در پسماندها (انواع مختلف سرباره غالب هستند)، تجزیه زمانی قطعات پسماند است. خزش مکانیکی و دیگران. علاوه بر این، در برخی موارد، نشست‌های ناشی از تغییر شکل سطح بیان شد.

سکونت‌گاه‌های غیرمجاز می‌تواند پیامدهای بسیار منفی بر سیستم‌های ایمنی داشته باشد. این امر به ویژه در ظاهر اتصالات در لایه‌های محافظ پایه، عملکرد نادرست سیستم‌های زهکشی، ترک خوردگی و شکافتن لایه‌های پوششی نهایی، تأثیر بر تأسیسات مجاور و غیره آشکار می‌شود. در بیشتر این موارد، بزرگترین مشکل دیفرانسیل است. شهرک‌ها به این دلایل، تجزیه و تحلیل کافی از محاسبات نشست بر روی مقاطع مشخصه محل دفن پسماند انجام شد. تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از بسته نرم افزاری PLAXIS 8 با استفاده از روش اجزای محدود انجام شد. از آنجایی که برنامه‌ای برای ایجاد تأسیسات کمکی در ناحیه بدنه‌های دفن پسماند در ضلع شمالی و شرقی وجود دارد، مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار



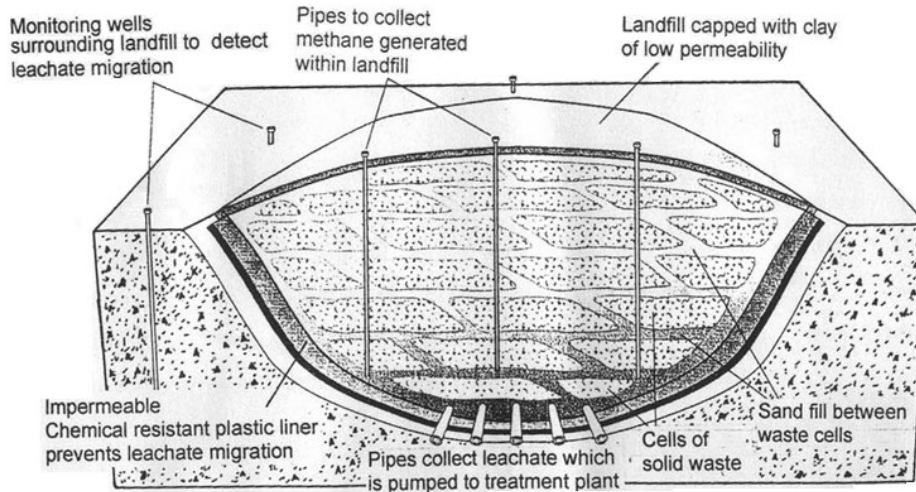
شکل ۷. مدل عددی با نقاط مشخصه محاسبه تسویه برای پروفایل a-a (Rakic, Berisavljevic, 2013)

است، از این پس تنها توصیه‌های کلی در رابطه با این مواد ارائه می‌شود. توصیه اساسی لاینر رسی فشرده، به ضریب نفوذپذیری آب اشاره دارد که مقدار آن باید کمتر از ۱۰-۹ متر بر ثانیه باشد. به خوبی شناخته شده است که حداکثر وزن واحد خشک در رطوبت بهینه به دست می‌آید، اما این رطوبت حداقل نفوذپذیری آب را ایجاد نمی‌کند، که در خاک رس‌ها معمولاً با رطوبت بالاتر از حد مطلوب برای حدود ۳-۷٪ به دست می‌آید. علاوه بر مقادیر پایین ضریب فیلتراسیون، خاک رس باید شرایط زیر را برآورده کند: حاوی حداقل ۴۰-۵۰ درصد از کسر ریز (>۰,۰۷۴ میلی متر) سیلت و خاک رس، حاوی کسر رس (>۰,۰۰۲ میلی متر) در محدوده باشد. از ۱۸ تا ۲۵ درصد، مقدار استحکام تسلیم باید بین ۲۵ تا ۳۰ درصد باشد (خاک با قدرت تسلیم بالاتر به ترک خوردگی حساس‌تر است). شاخص پلاستیسیته باید  $PI = 10 - 20$  باشد (در غیر این صورت چسبنده می‌شود و کار با آن دشوار می‌شود؛ حداکثر محتوای کسر غده باید ۱۰٪ بدون دانه‌های بزرگتر از ۷۵ میلی‌متر باشد. در آنالیزهای ژئوتکنیکی مربوط به ساخت تاسیسات مرتبط با محل دفن پسماند، تحلیل ظرفیت باربری نهایی پایه و نشست پی برخی از اشیاء انجام شد. آنالیزهای زمین استاتیکی توسط مدل‌های ژئوتکنیکی GTM و GTM-۲-۳ انجام شد. چندین روش برای سیستم پی کم عمق استفاده شد که می‌توان آنها را به دو گروه طبقه بندی کرد: روش‌های به اصطلاح استاتیک - بر اساس مقادیر پارامترهای مقاومت برشی و روش‌های مبتنی بر نتایج آزمایش CPT توصیه‌های کلی ژئوتکنیکی مربوط به سازماندهی زمین و

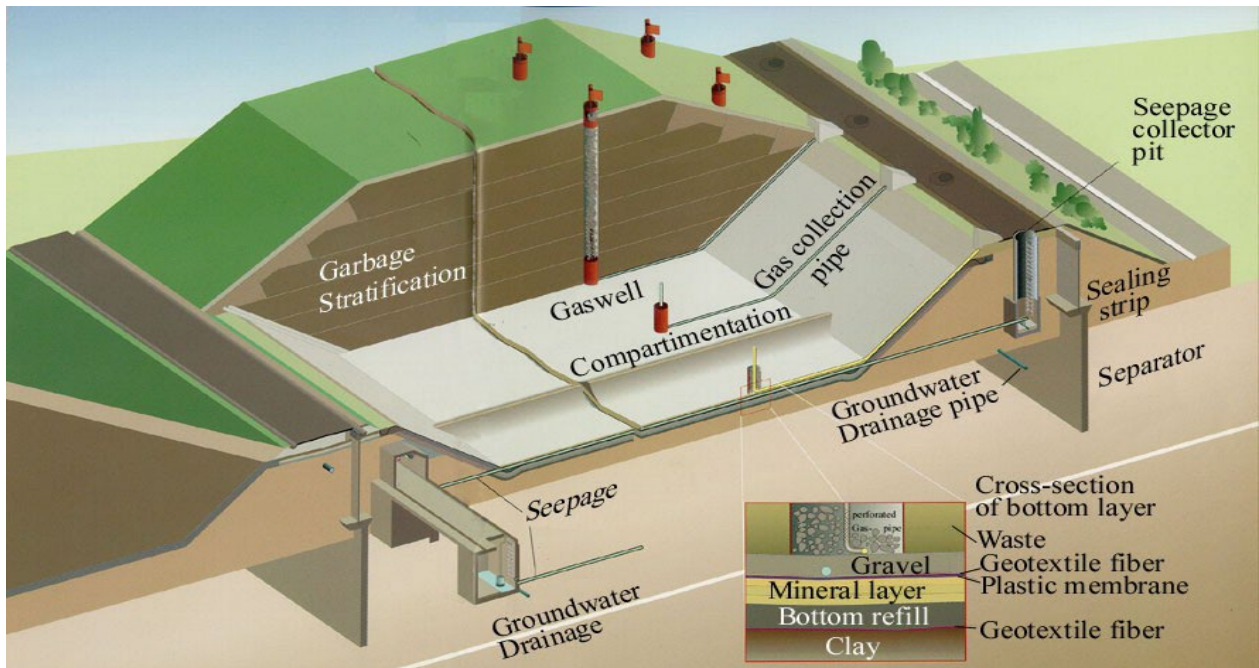
حداکثر نشست دیفرانسیل بین نقاط A و B حدود ۱,۲۷ متر بود که در مقایسه با فاصله بین این نقاط ۱۸۱ متری مقدار ناچیزی از کشیدگی بالقوه فویل (کمتر از ۰,۵ سانتی‌متر) را نشان می‌دهد. علاوه بر تجزیه و تحلیل جابجایی‌های عمودی، جابجایی‌های افقی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا تأثیر ساخت و ساز دفن پسماند بر رودخانه رالا و تاسیسات مرتبط را تعریف کند. نتایج نشان داد که ساخت محل دفن پسماند تأثیر بسیار کمی بر بستر رودخانه خواهد داشت، زیرا جابجایی‌ها در جهت افقی بین ۳ تا ۵ سانتی متر بود. در مورد حفاری و آماده سازی پایه بدنه دفن پسماند، پایداری زمین طبیعی برای حداکثر عمق حفاری ۸,۵ متر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در عین حال، تأثیر بستر رودخانه رالجا بر پایداری دامنه‌های حفاری برای پروفیل‌های مشخصه. پایداری حفاری برای شیب پیش‌بینی شده ۱:۳ با این تحلیل‌ها تأیید شد، با توجه به اینکه حداقل مقادیر ضریب ایمنی بین  $F_s = 1.394$  (شامل تأثیر لرزه‌ای و بارهای موقت) تا  $F_s = 2.142$  بود. (حفاری شیب در حالت پیش‌بینی شده بدون تأثیر اضافی). علاوه بر این، توصیه‌های خاصی برای آماده سازی بستر و برای ساخت سیستم پوشش محافظ ارائه شده است که شامل: ضخامت لاینر سفالی فشرده ۰,۵ متر لاینر خاک رس ژئوستتیک ضخامت ۵-۶ میلی متر. ژئوممبران - فویل HDPE حداقل ضخامت ۲,۵ میلی‌متر و ضخامت لایه زهکشی سنگریزه ۰,۵ متر است. برای تمام عناصر سیستم مشخصات کلی ژئوتکنیکی داده شده است و با توجه به اینکه پوشش رس فشرده و لایه زهکشی از مواد طبیعی ساخته شده

پسماندهای خطرناک به نام (لجن و کیک فیلتر) انجام شد، استفاده شد (Rakic, Berisavljevic, 2013) یک محل دفن پسماند مدرن و خوش ساخت را می‌توان به عنوان یک ساختار مهندسی که عمدتاً از یک لاینر، سیستم جمع آوری و حذف شیرابه، سیستم جمع‌آوری و کنترل گاز و پوشش نهایی تشکیل شده است، توصیف کرد. (شکل ۸ و ۹)

ساخت جاده های ترافیکی عبارتند از: آماده سازی زیرزمینی، استفاده از مواد طبیعی حاصل از حفاری برای بدنه دفن پسماند، استفاده از پسماندهای صنعتی - سرباره برای پایه جاده‌های ترافیکی. توصیه‌های مربوط به شرایط عمومی پر کردن. در این تحقیق از نتایج آزمایشگاهی و زمینی (آزمایش میدانی) که بر روی نمونه‌های سرباره مبدل، سرباره کوره بلند و



شکل ۸. مقطعی از یک لندفیل



شکل ۹. نمای سه بعدی از یک لندفیل (Rakic, Berisavljevic, 2013)

## ۵-انواع لندفیل‌ها از نظر نوع لاینر و سیستم جمع‌آوری شیرابه

### حداقل مهندسی (همراه تله هیدرولیکی)

حداقل مهندسی شامل لایه غیرقابل نفوذ طبیعی مانند خاک رس طبیعی به همراه سیستم جمع‌آوری شیرابه برای کنترل و جمع‌آوری آن است. لاینر طبیعی یا زمین محل دفن باید طوری باشد که نفوذپذیری کمی را دارا بوده و از فرار مواد آلی و شیرابه به داخل زمین جلوگیری نماید. همچنین باید سطح آبهای زیرزمینی به حد کافی پایین بوده و سیستم هیدرولوژیکی منطقه طوری باشد که اثرات انتقال آلودگی به خارج از منطقه دفن کمتر شود. این نوع لندفیل شامل لاینر طبیعی (زمین) و سیستم جمع‌آوری شیرابه و وجود حالت تله هیدرولیکی است. در این حالت ارتفاع پیژومتری لایه آبدار بالاتر از ارتفاع شیرابه (یا کف لندفیل) است و در نتیجه جریان آب از پایین به داخل لندفیل است و این عامل بسیار موثری در جلوگیری از انتقال آلاینده‌ها به داخل زمین است. بدیهی است که وجود سیستم جمع‌آوری شیرابه در حالت تله هیدرولیکی اجباری است تا از انباشت شیرابه در داخل لندفیل جلوگیری به عمل آید و همواره جریان به داخل لندفیل برقرار باشد (Barraso, 2006).

### لاینر رسی متراکم شده به عنوان مانع اولیه و سیستم جمع‌آوری شیرابه

در این حالت از یک لایه رس متراکم شده به عنوان مانع انتقال آلودگی و لایه‌ای نفوذناپذیر در روی زمین محل دفن استفاده می‌شود و بر روی آن سیستم جمع‌آوری شیرابه احداث می‌گردد. این روش اقتصادی‌ترین حالت برای دفن مواد زائد جامد بی‌خطر است ولی امکان نشت شیرابه از آن وجود دارد و به همین دلیل در استفاده از آن محدودیت‌هایی توسط سازمان‌های بین‌المللی ذکر شده است. (شاهین فر، ۱۳۹۹)

### لاینر رسی متراکم شده و دو سیستم جمع‌آوری اولیه و ثانویه شیرابه

در این حالت ابتدا روی زمین طبیعی سیستم جمع‌آوری ثانویه شیرابه را احداث می‌کنند. سپس بر روی آن لایه رس و سپس سیستم جمع‌آوری اولیه شیرابه را احداث می‌کنند. سیستم ثانویه باعث می‌شود که اگر به صورت اتفاق ترک در لایه رس به وجود آمد یا سیستم اولیه قادر به جمع‌آوری شیرابه نبود از انتقال آلودگی به زمین جلوگیری به عمل آید و ضریب اطمینان بالا رود. (شاهین فر، ۱۳۹۹)

### لاینر رس متراکم شده و سیستم جمع‌آوری شیرابه اولیه و لایه کنترل هیدرولیکی

هیدرولیک در این طراحی نقش سیستم اضطراری را بازی می‌کند می‌تواند در موارد زیرمورد استفاده قرارگیرد.

الف) مقدار آلودگی را کنترل می‌کند به این صورت که با تزریق و تخلیه آب به داخل و خارج از این لایه وقتی که میزان آلودگی در این لایه از میزان تعیین شده تجاوز کند این عمل صورت می‌گیرد.

ب) در مواقعی که سطح آب در خاک اطراف در طول زمان پایین بیاید می‌تواند شرایط تله هیدرولیکی مصنوعی را به وجود آورد.

### سیستم‌های جمع‌کننده اولیه و ثانویه شیرابه همراه لاینر مرکب

در این حالت روی لایه رس متراکم شده لایه‌های ژئوممبرین کشیده می‌شود. معمولاً این حالت مطلوب بوده و سازمان‌های بین‌المللی استفاده از ژئوممبرین را تاکید می‌کنند. در این حالت ساختن شبکه دوم جمع‌آوری بیشتر برای لندفیل‌هایی است که پسماندهای ریخته شده در آنها خطرناک است و حفظ آبریز زمین منطقه بسیار پراهمیت است. آنچه در اجرای اینگونه لاینرها حائز اهمیت است این است که باید به هنگام عملیات ساختمان بر روی ژئوممبرین کاملاً مراقب بوده و دقت کرد که آسیب بر آن وارد نیاید. (شاهین فر و لشکرکیو و همکاران، ۱۳۹۹)

سیستم جمع‌آوری اولیه شیرابه همراه لاینر رسی متراکم شده و لایه کنترل هیدرولیکی و لایه رسی متراکم ثانویه در این حالت جهت اطمینان از ممانعت در برابر انتقال آلودگی از لایه رس متراکم استفاده می‌شود. در این حالت لایه کنترل هیدرولیک به عنوان کمک برای جلوگیری از نفوذ آلودگی به کارگرفته می‌شود و بنا به نیاز زمان و شرایط موجد می‌تواند به حالت فعال یا غیرفعال باشد. (پرنگ، ۱۳۹۱)

### سیستم جمع‌آوری اولیه و ثانویه شیرابه و لاینر رسی متراکم شده اولیه و ثانویه

در این حالت سیستم جمع‌آوری ثانویه شیرابه در بین دو لاینر رس متراکم شده قرار می‌گیرد و شیرابه جمع‌آوری شده در آن به طور مداوم پمپ می‌شود. از این حالت معمولاً در جایی استفاده می‌شود که امکان دسترس به ژئوممبرین کم است. (پرنگ، ۱۳۹۱)

### گودال و لوله جمع آوری شیرابه

لوله‌های جمع‌آوری شیرابه به طور کلی در چاله‌هایی نصب می‌شوند که دارای سنگریزه‌هایی که به صورت یک فیلتر عمل می‌کند، پوشانده می‌شوند تا ورود ذرات ریز را از می‌باشند که به وسیله پوشش تحتانی (به گودال) چاله و بالاخره به لوله جمع آوری شیرابه به حداقل برسانند. (پرنگ، ۱۳۹۱)

### ایستگاه بالابری و پمپ جمع آوری شیرابه

ظرفیت پمپ باید به دقت برای عملکرد مناسب محاسبه شود. در انتخاب یک پمپ، رأس انتقال و مکش هر دو باید در نظر گرفته شوند، لازم به ذکر است که چگالی شیرابه اندکی بیش از آب است. (پرنگ، ۱۳۹۱). در ادامه به مقایسه روش‌های دفع پسماند در کشورهای ایران، آمریکا، انگلیس، ژاپن و فرانسه می‌پردازیم.

### بررسی وضعیت مدیریت عملیات دفع در کشور فرانسه:

در کشور فرانسه اماکن دفع مواد زائد جامد به سه کلاس ۱ و ۲ و ۳ تقسیم بندی می‌شوند شکل یک نشانگر الگوریتم و چرخه عملیات در در آن کشور می‌باشد هر یک از کلاس بندی‌های اماکن مواد زائد جامد خاصی را به شرح زیر پذیرا هستند.

اماکن دفن کلاس ۱: مواد زائد صنعتی مجاز.

اماکن دفن کلاس ۲: مواد زائد جامد شهری و صنعتی.

اماکن دفن کلاس ۳: مواد زائد صنعتی ساختمانی و خشی

در کشور فرانسه انواع مختلف مواد زائد جامد به صورت مخلوط و در یک محل دفن نمی‌شوند.

### بررسی وضعیت مدیریت عملیات دفع در کشور آلمان

به طور کلی اماکن دفن موجود در آلمان به دو دسته به شرح زیر تقسیم بندی می‌شود اماکن دفع مواد زائد جامد شهری و اماکن دفن مواد زائد صنعتی یا خطرناک، اماکن دفن مواد زائد جامد شهری خود به دو کلاس یک و دو تقسیم بندی می‌شود در اماکن دفن کلاس یک مواد زائد جامد شهری یا زائدات صنعتی شبه خانگی نخاله‌های ساختمانی دفن می‌شود. اماکن دفن کلاس دوم نیز پذیرای مواد زائد جامد شهری یا صنعتی مشابه می‌باشد که محتوای مواد آلی کمتر از ۵ درصد است. در اماکن دفع مواد زائد خطرناک سایر مواد زائد مانند مواد زائد صنعتی و موادی که تحت عنوان مواد زائد خطرناک نامیده می‌شوند مواد

سیستم جمع آوری اولیه شیرابه، لاینر رسی متراکم شده،

### لایه کنترل هیدرولیکی و لایه ثانویه مرکب

با این تفاوت که در این حالت از ژئوممبرین به عنوان قسمتی از لاینر ثانویه برای کاهش اتلاف آب از لایه کنترل هیدرولیک به لایه آبدار و در نتیجه به حداقل رساندن مقدار آب مورد نیاز برای ایجاد و نگهداری شرایط هیدرولیک است. در این حالت هردو لاینر اولیه و ثانویه به صورت متراکم همراه با ژئوممبرین می‌باشند. در این حالت لایه جمع کننده شیرابه ثانویه باید به طور مداوم پمپ شود. (پرنگ، ۱۳۹۱)

### تسهیلات جمع آوری شیرابه

جمع‌آوری شیرابه‌ای که در عمق یک مدفن پسماند انباشته می‌شود معمولاً با استفاده از یک سری نشان داده می‌شود، تراس‌های شیبدار و یک سیستم لوله‌های جمع‌آوری انجام می‌شود تراس‌ها آن قدر شیب‌دار می‌شوند که شیرابه‌های که روی سطح تراس‌ها جمع شده است، به کانال‌های جمع‌آوری شیرابه زهکشی می‌شوند. لوله‌های سوراخ شده که در هر کانال جمع‌آوری شیرابه قرار می‌گیرد، برای انتقال شیرابه جمع‌آوری شده به یک محل مرکزی مورد استفاده واقع می‌شود. شیب مقاطع تراس‌ها معمولاً ۱ تا ۵ درصد و شیب کانال‌های زهکشی شده ۰/۵ تا ۱ درصد است. (پرنگ، ۱۳۹۱)

### تسهیلات نگهداری و نقل مکان شیرابه

دو روش جهت جابه جایی شیرابه‌ای که در یک مدفن پسماند انباشته می‌شود، وجود دارد. جابه جایی شیرابه توسط لوله جمع‌آوری شیرابه که از کناره مدفن پسماند عبور می‌کند، انجام می‌گیرد. جابه جایی شیرابه از مدفن پسماند بوسیله یک لوله جمع‌آوری مایل و پمپ قرار گرفته در مدفن پسماند انجام می‌گیرد. (پرنگ، ۱۳۹۱)

### لایه زهکشی

لایه‌های زهکشی از سنگریزه‌ها یا شن بوجود می‌آیند. پوشش‌های زهکشی سنگریزه‌ای نسبت به پوشش‌های زهکشی شنی کمتر مستعد گرفتگی می‌باشند. رسانایی هیدرولیک لایه زهکشی باید حداقل  $10^{-2} \times 1 \text{ s.sec}^{-1}$  باشد تا جریان شیرابه را حفظ کند. (پرنگ، ۱۳۹۱)

الف) اماکن دفن یک منظوره: در این اماکن تنها یک نوع مواد زائد پذیرش می‌شود که معمولاً جهت دفع مواد زائد خنثی استفاده می‌شود.

ب) اماکن دفن مشترک: در این اماکن مقدار محدودی از مواد زائد خطرناک به همراه مواد زائد خانگی و تجاری دفع می‌شوند.

ج) اماکن دفن چند منظوره در این اماکن دو یا چند نوع از مواد زائد کنترل شده به طور همزمان دفع می‌شود به عنوان مثال می‌توان به مواد زائد خانگی تجاری و صنعتی اشاره نمود.

### بررسی وضعیت مدیریت عملیات دفاع در کشور ایران

#### آلات متحده آمریکا

در سیستم مدیریت مواد زائد جامد آمریکا اماکن به دو گروه اصلی اماکن دفع مواد زائد جامد شهری و اماکن دفع مواد زائد خطرناک و تقسیم‌بندی می‌شوند که اماکن دفع مواد زائد خطرناک خود به زیر گروه به شرح زیر تقسیم بندی می‌گردند یک اماکن دفع مواد زائد خطرناک دو اماکن دفن توده مواد زائد خطرناک به صورت پشته‌ای طراحی می‌شوند. اماکن نگهداری مواد زائد خطرناک به صورت سطحی که برای مواد زائد خشک و با رطوبت کم کاربرد دارند و علاوه بر موارد فوق یک نوع دیگر از اماکن دفاع برای سایر مواد بر اساس دستورالعمل قوانین ملی ۱۹۷۶ تعیین گردیده است.

### بررسی وضعیت مدیریت عملیات دفن در کشور

#### جمهوری اسلامی ایران

دفع مواد زائد در زمین تنها روش دفع پسماندهای شهری می‌باشد تا سال ۱۳۷۴ حدود ۸۵ درصد شهرهای کشور برای دفع پسماندهای خود از روش تلبار و بعضاً همراه با سوزاندن در سطح زمین استفاده می‌کردند و در حال حاضر پسماندهای خانگی به همراه پسماندهای بیمارستانی و درمانی و صنعتی که بعضاً خطرناک و عفونی هستند در یک محل دفن می‌شوند و بر اساس بررسی‌های به عمل آمده روشهای دفع پسماندهای بیمارستانی در ایران عبارت است از ۱۸ درصد تلمبار در محل دفن ۲۲ درصد تلمبار و سوزاندن ۵۸ درصد به همراه پسماندهای شهری پسماندهای صنعتی در محدوده شهرها نیز که بعضاً خطرناک هستند با سایر پسماندهای شهری جمع‌آوری و به صورت مخلوط با مواد زائد جامد شهری دفع می‌گردند. (شاهمرادی و همکاران، ۱۳۸۸)

زائد با محتوای مواد آلی کمتر از ۱۰ درصد پذیرش می‌شوند. همچنین مواد زائد خطرناک بسیار سمی را با رعایت اصول مهندسی درها یا معادن نمکی دفع می‌شود و یا به وسیله پسماند سوزها یا سایر روش‌های دیگر تسبیح می‌نمایند شایان ذکر است که در کشور آلمان نیز هیچ یک از اماکن دفن به صورت دفن مشترک راهبری نمی‌شوند.

### بررسی وضعیت مدیریت عملیات دفن در کشور ایتالیا

الگوریتم و روش کلاس‌بندی اماکن دفن ایتالیا نسبتاً پیچیده است پس از طی مراحل آنالیز و طبقه بندی مواد زائد جامد به سه گروه اصلی مواد زائد خنثی مواد زائد جامد شهری و سایر مواد زائد طبقه بندی می‌شوند و در سه محل دفن یک و دو و سه هدف می‌شوند در شکل شماره ۳ مراحل مدیریت اماکن دفع و تقسیم بندی مواد زائد جامد در کشور ایتالیا نمایش داده شده است. مواد زائد جامد شهری در محل دفن کلاس یک مواد زائد خطرناک در محل دفن کلاس ۲ و مواد زائد بسیار خطرناک با قابلیت اشتعال و سمیت دو محل دفن کلاس ۳ دفع می‌گردد.

### وضعیت مدیریت عملیات در در کشور ژاپن

در فرایند مدیریت مواد زائد جامد شهری در ژاپن اماکن هدف به سه گروه تقسیم می‌شوند اما کند فن پایدار اماکن دفع مواد زائد جامد شهری یا اماکن دفن کنترل شده اماکن دفن مجزا یا ایزوله شده تقسیم‌بندی شده است. در اماکن دفن پایدار تنها مواد شیمیایی و بیولوژیکی خنثی پذیرش می‌شوند اما کن گروه به مواد زائد جامد شهری پذیرش می‌شوند که خود به سه کلاس مواد زائد شهری با بیش از ۶۰ درصد آن قبلاً سوخته باشد کلاس مواد تجاری با محتوای فلزات سنگین و مواد آلی سمی کمتر از حد مجاز و در کلاس مواد زائد صنعتی با محتوای فلزات سنگین و مواد آلی سمی کمتر از حد مجاز دفع می‌شود. اماکن دفن مجزا عمدتاً پذیرای مواد صنعتی با محتوای فلزات سنگین و مواد آلی سمی بیشتر از حد مجاز می‌باشند.

### بررسی وضعیت مدیریت عملیات دفن در کشور

#### انگلستان

در کشور انگلستان برخلاف سایه گره کشورهای اروپایی دفع مواد زائد شهری به طور مشترک با سایر مواد زائد صنعتی به طور گسترده انجام می‌گیرد و مکانیسم مدونی در جهت جداسازی مواد زائد وجود ندارد با این حال سه نوع کلی محل دفن به شرح زیر قابل تشخیص است.

## ۵- نتیجه گیری

شیرابه تولیدشده توسط پسماندهای صنعتی بیمارستانی یا خانگی می‌تواند دارای مواد سمی اشتعال پذیر و اسیدی باشد. این مواد خود می‌توانند ویژگی‌های ماهیتی خاک را تغییر دهند و خاک محل دفن را آلوده کنند. همچنین با نفوذ در خاک به سطح آب‌های زیر زمینی رسیده یا با جاری شدن روی سطح زمین به آبهای سطحی ریخته شده و بعد از آن در وسعت بزرگتری آب و خاک منطقه را آلوده و محیط زیست اطراف را دچار آلودگی و تغییر کنند. در کشور ایران با توجه به اینکه سیستم تفکیک پسماند خودکار یا هیچ مکانیزم تجزیه یا دفن پسماندی وجود ندارد باید، در ابتدا پسماند کارخانه‌ها به سه گروه: مواد زائد خنثی-مواد زائد خطرناک-مواد زائد بسیار خطرناک تقسیم نمود، سپس با استفاده علم ژئوتکنیک محل‌های دفن پسماندی متناسب با این گروه‌ها را ساخت تا از انتشار این آلودگی‌ها جلوگیری به عمل آید. دفع پسماندهای صنعتی در محل دفن پسماندهای کنترل شده شامل یک دوره زمانی بسیار طولانی (معمولاً ده سال یا بیشتر) است، بنابراین حجم دفن پسماند می‌تواند از چند میلیون متر مکعب مواد زائد صنعتی فراتر رود. با توجه به این موضوع، بدنه دفن پسماند به مرور خواص فیزیکی و مکانیکی خود را تغییر می‌دهد که می‌تواند سیستم حفاظتی و همچنین سیستم‌های تکنولوژیک خاص مانند تأسیسات گردش مجدد یا تخلیه آب تراوش را به خطر بیندازد و در برخی از موارد به ظاهر بی‌ثباتی در آید. به این دلایل، جنبه‌های ژئوتکنیکی، در درجه اول پایداری، ظرفیت باربری و پیش‌بینی نشست مواد دفن پسماند را نباید در طراحی محل‌های دفن پسماند صنعتی نادیده گرفت و در مراکز صنعتی در ابتدا به ماکان یابی محل مناسب برای محل دفن پسماند صنعتی پرداخت و در نهایت لندفیلی متناسب با آن صنایع ساخت.

## ۷-مراجع

- شمس خرم آبادی قدرت اله و پورزمانی حمیدرضا (۱۳۸۵). نقش مردم در مدیریت مواد زائد جامد شهری در سال ۱۳۸۴ فصل نامه علمی پژوهشی یافته، سال ۸۴، پیاپی (۳۰)، ۲۵-۳۰.
- احمدیان، چنور. حافظی مقدس، ناصر. لشکری پور، غلامرضا (۱۳۹۵). مکانیابی لندفیل جهت دفع پسماند جامد شهری با بکارگیری فرآیند تحلیل سلسه مراتبی و روش امتیازدهی رتبه‌ای مطالعه موردی: شهرستان شاهین دژ. *اولین همایش بین المللی و دومین همایش ملی معماری و شهرسازی هویت گرا مشهد*.
- شاهین فر، مرجان. لشکری پور، غلامرضا. جعفری آذری خزینه، اکبر (۱۳۹۹). دلایل احداث لندفیل و بررسی تاثیرات زیست محیطی و راهکارهای ژئوتکنیکی بهبود اثرات منفی آن. *هفتمین کنگره زیست شناسی و علوم طبیعی ایران، تهران*.
- پرنگ، سارا. (۱۳۹۱). طراحی سیستم جمع آوری شیرابه در محل دفن پسماند. *ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران*.
- مهدی‌نیا، عاطفه، بهروش، مهدی (۱۳۹۵). مدیریت پسماند صنعتی. *چهارمین کنگره علمی پژوهشی افق‌های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران، تهران*.
- اوحدی، وحیدرضا، حمیدی، صلاح‌الدین و امیری، محمد (۱۳۹۴). اثر آلاینده فلز سنگین بر ضریب تغییرات مقادیر شاخص تراکم، شاخص انبساط، و ضریب نفوذپذیری بتونیت از منظر ریزساختاری. *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست*. ۴۵(۸۱)، ۱۷-۷.
- طاهری، سپیده، عبادی، تقی، مکنون، رضا و امیری، محمد (۱۳۹۷). ارزیابی ریزساختاری تأثیر هم‌زمان آلاینده فلز سنگین سرب و گازوئیل بر پارامترهای مقاومتی مخلوط ماسه-بتونیت. *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست* ۴۸(۹۰)، ۳۵-۴۲.

doi: 10.22034/ceej.2018.7575

- ابراهیم زاده طاران، اکبر (۱۳۶۸). انتشار فلزات سنگین در آب و خاک و گیاهان مزارع جنوب؛ استان زنجان.
- باقرزاده‌خلخالی، احد، براغوش، حسین، یزدانی، سامان (۱۳۹۷). تاثیر نانو ذرات در کاهش سرعت نفوذپذیری در لندفیل. *کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، دانشگاه صنعتی مراغه*.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

Hy.....Hydrogene  
COV ..... Cercle Ornithologique Villeneuvois  
SPT .....Standard Penetration Test  
CPT... Cone Penetration Test  
CBR..... California Bearing Ratio  
HDPE..... Foil Geomembranes HDPE

doi: 10.22034/jcee.2020.9813

- Ghiasi, V. and Azami, M. (2022). An Overview of Earth Dam behavior Under Earthquake Movements. *New Approaches in Civil Engineering*, 6(3), 1-31.

doi: 10.30469/jnace.2022.166901

-Ghiasi, V. and Azami, M. (2022). Earth Dam Behavior under Earthquake Movements- An Overview. *Reliability Engineering and Resilience*, 4(1), 1-30.

doi: 10.22115/rer.2022.340458.1046

- Ghiasi, V. and Eskandari, S. (2024). Improvement of Alluvial Soils Using Cement Injection Method. *Road*, 32(118), 209-232.

doi: 10.22034/road.2022.323689.2016

- Ghiasi, V. and Kamalabadi Farahani, M. (2024). Feasibility Study of Soil Pollution Removal Using the Electrokinetic Method. *Road*, 32(119), 507-528.

doi: 10.22034/road.2022.323983.2018

- Ghiasi, V. and Koushki, M. (2021). Numerical investigation of ground surface settlement due to circular tunnelling influenced by variations of geometric characteristics of tunnel and mechanical properties of saturated soil and its prediction in the artificial neural network. *Journal of Modeling in Engineering*, 19(64), 27-39.

doi: 10.22075/jme.2019.18022.1735

- Ghiasi, V. and Madah, S. (2024). Investigation of Increasing Shear Strength of Dispersive Clays Using Additives. *Road*, 32(121), 361-384.

doi: 10.22034/road.2022.324512.2023

-Ghiasi, V. and Molaei Tari, P. (2022). Geotechnical design of landfills and solutions for their construction in different soils. *Road*.

doi: 10.22034/road.2022.324326.2020

- Ghiasi, V. and molaei tari, P. (2023). Investigating the potential application of biochar on soil water retention properties (swrc) with different textures in geotechnical engineering structures. *Road*.

doi: 10.22034/road.2023.353589.2073

-Ghiasi, V. and Mostafaeifar, A. (2023). Assessment of the effects of geosynthetics on geotechnical soils behavior. *Road*, 31(115), 67-80.

doi: 10.22034/road.2022.323429.2015

- Ghiasi, V. and Najafi, F. (2022). Investigation of liquefiable soils improvement methods. *Road*, 30(110), 41-56. doi: 10.22034/road.2023.112863

- Ghiasi, V. and Nazhdghorbani, A. (2024). An Overview of the Use of Fly Ash for Soil Stabilization. *Road*, 32(120), 455-488.

doi: 10.22034/road.2022.333556.2034

- Ghiasi, V. and Sharifi far, F. (2025). Bearing Capacity of Strip Foundation on Granular Soil Reinforced with Geogrid. *Road*, 33(122), 305-314.

doi: 10.22034/road.2023.360048.2083

- Ghiasi, V. and Sohrabi, F. (2022). Optimization of the Bearing Capacity of Shallow Foundation. *Reliability Engineering and Resilience*, 4(2), 1-17.

doi: 10.22115/rer.2022.360789.1049

-زارع ایبانه، حمید. آزادی فر، عاطفه. (۱۳۹۸). مکان یابی محل دفع پسماند در شهرستان خرم آباد با استفاده از GIS و ahp. دوازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیکی بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران، اهواز.

-حسیب پور، علی اصغر و بهزادیانو، کورش (۱۳۹۰). ساختار مکانیابی بهینه لندفیل شهری براساس تصمیم گیری چند معیاره در GIS. پنجمین همایش ملی مدیریت پسماند، ایران، مشهد.

-اسمعیلی، فرشید (۱۳۸۴). بررسی اثر شیرابه و آهک روی نفوذپذیری خاک رس موجود در محل دفن پسماندهای شهر تهران. اولین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

- خدادادی، احمد و احمدی، مرتضی (۱۳۸۱). نقش مواد تشکیل دهنده در تراکم و نفوذ پذیری آن. سومین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران.

-شاهمرادی، بهزاد، قوامی، عبدالله و سجادی، سمیه (۱۳۸۸). بررسی و مقایسه بهداشتی عملیات دفن پسماندها در ایران و شش کشور صنعتی دنیا. همایش ملی انسان، محیط زیست و توسعه پایدار، همدان.

- Ghiasi, V., Omar, H., Rostami, J., Yusoff, Z. B. M., Ghiasi, S., Huat, B. K., & Muniandy, R. (2011). Geotechnical and geological studies of NWCT tunnel in Iran focusing on the stabilization analysis and design of support: A case study. *Scientific Research and Essays*, 6(1), 79-97.

doi: 10.5897/SRE10.704

- Barroso, M., and Foltz, N.T., and Maubeuge, K.V., and Pierson, P. (2006). Laboratory investigation of flow rate through composite liners consisting of a geomembrane, a GCL and a soil liner. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 24, 139-155.

- Ghafari, M., Nahazanan, H., Yusoff, Z.M. et al. (2021). Effect of soil cohesion and friction angles on reverse faults. *Earthq. Eng. Eng. Vib.* 20, 329-334.

doi.org/10.1007/s11803-021-2023-x

-Ghiasi, V. (2012). Effects of Weak Rock Geomechanical Properties On Tunnel Stability (Doctoral dissertation, Universiti Putra Malaysia).

- Ghiasi, V., Haghtalab Joraghani, M. and Rashno, S. (2023). An Overview of Chemical Soil Stabilization Methods. *Road*, 31(116), 151-166.

doi: 10.22034/road.2022.312705.1988

- Ghiasi, V., Smaeili, K. and Arzjani, D. (2021). Pile- Tunnel Interaction in Subway Tunnels under Seismic Loads. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 51(104), 149-157.

- Ghiasi, V., Heydari, F. and Behzadinezhad, H. (2021). Numerical analysis and back calculation for embankment dam based on monitoring results (Case study: Iran-Lurestan Rudbar). *Scientia Iranica*, 28(5), 2519-2533.  
**doi: 10.24200/sci.2021.56159.4579**
- Ghiasi, V., Jalalvand, A., & Saeidijam, S. (2014). Diaphragm Wall-Tunnel Interaction in Saturated Soil. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 19.
- Ghiasi, V., Koushki, M. (2020). Numerical and artificial neural network analyses of ground surface settlement of tunnel in saturated soil. *SN Appl. Sci.* 2, 939.  
**doi.org/10.1007/s42452-020-2742-z**
- Ghiasi, V., Mahmoodi, A. and Yousefi, M. (2023). Landslide risk potential mapping by using continuously-weighted spatial criteria and convolution artificial neural network. *Scientia Iranica*,  
**doi: 10.24200/sci.2023.60988.7088**
- Ghiasi, V., Marabi, Y., Fahmi, A., Maleki, H. R., & Rahimpour, H. (2025). Compressive strength of geopolymer brick samples based on sand-washing waste with different particle sizes. *Advances in Materials Research*, 14(1), 31–42.  
**doi.org/10.12989/AMR.2025.14.1.031**
- Ghiasi, V., Mousapoor, E. and madandoust, R. (2021). The effect of compressive membrane force and surrounding slabs on the behavior of flat slab structures in progressive collapse. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(8), 128-143.  
**doi: 10.22065/jsce.2020.240430.2197**
- Ghiasi, V., Omar, H., & Huat, B. K. (2009). A study of the weathering of the Seremban granite. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 14(9).
- Ghiasi, V., Omar, H., Kim Huat, B.B., Muniandi, R., Zainuddin, B. and Yusof (2011). Risk management overview of tunnels using numerical modeling. *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 9 No. 1, 110-124.  
**doi.org/10.1108/17260531111121495**
- Ghiasi, V., Omar, H., Yusoff, Z. B. M., Huat, B. K., Muniandy, R., & Alias, M. N. (2010). A New Model of Microcracks Propagation in Granite Rock. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(1), 1-23.
- Ghiasi, V., Pauzi, N. I. M., Karimi, S., & Yousefi, M. (2023). Landslide risk zoning using support vector machine algorithm. *Geomechanics and Engineering*, 34(3), 267–284.  
**doi.org/10.12989/GAE.2023.34.3.267**
- Ghiasi, V., Valipour, M. R., Mohammadirad, A. R., & Baharipour, S. (2013). Methods of retrofitting the foundation of unreinforced masonry buildings. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, 5747-5758.
- Ghiasi, V. and Zakavi, I. (2023). Geosynthetics of Stone Columns- A Review. *Road*, 31(117), 143-170.  
**doi: 10.22034/road.2022.333550.2033**
- Ghiasi, V., & Eskandari, S. (2023). Comparing a single pile's axial bearing capacity using numerical modeling and analytical techniques. *Results in Engineering*, 17, 100893.  
**doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100893**
- Ghiasi, V., & Farzan, A. (2020). Numerical Study of the Effects Of Groundwater and Bed Resistance Conditions on the Behavior of Geosynthetic Soil Walls. **doi:10.1007/s12517-019-4947-2**
- Ghiasi, V., & Moradi, M. (2018). Assessment the effect of pile intervals on settlement and bending moment raft analysis of piled raft foundations. *Geomechanics and Engineering*, 16(2), 187–194.  
**doi.org/10.12989/GAE.2018.16.2.187**
- Ghiasi, V., & Mozafari, V. (2018). Seismic response of buried pipes to microtunnelling method under earthquake loads. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113, 193-201.  
**doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.05.020**
- Ghiasi, V., & Omar, H. (2011). Analysis of shotcrete lining of underground tunnels. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 19(2), 249-257.
- Ghiasi, V., & Yousefi, M. (2020). Development of Prediction-Area charts to improve the output of landslide potential models. *Modares Civil Engineering Journal*, 20(6), 127-131.  
**doi:20.1001.1.24766763.1399.20.6.5.1**
- Ghiasi, V., Alborzi Moghadam, M. and Koushki, M. (2022). Optimization of Invasive Weed for Optimal Dimensions of Concrete Gravity Dams. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 6(4), 95-111.  
**doi: 10.22115/scce.2022.340697.1432**
- Ghiasi, V., Farzan, A. (2019). Numerical study of the effects of bed resistance and groundwater conditions on the behavior of geosynthetic reinforced soil walls. *Arab J Geosci* 12, 729.  
**doi.org/10.1007/s12517-019-4947-2**
- Ghiasi, V., Ghasemi, S.A.R. & Yousefi, M. (2021). Landslide susceptibility mapping through continuous fuzzification and geometric average multi-criteria decision-making approaches. *Nat Hazards* 107, 795–808.  
**doi.org/10.1007/s11069-021-04606-y**
- Ghiasi, V., Ghiasi, S. and Prasad, A. (2012). Evaluation of tunnels under squeezing rock condition. *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 10 No. 2, 168-179.  
**doi.org/10.1108/17260531211241167**
- Ghiasi, V., Ghiasi, S., Omar, H., Ebrahimi, B., & Ghiasi, M. (2010). A review of metro tunnel safety parameters and role of risk management, Tehran Metro. *In Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Germany*, 511-515.

- Rahimpour, H., Ghiasi, V., Fahmi, A., & Marabi, Y. (2023). Geopolymer vs ordinary portland cement: review of the 3-d printing of concrete. *Applied Engineering and Technology*, 2(2), 133-152.
- Anagnostopoulos, C.A. Grammatikopoulos, I.N, Stavridaksi, E. I, (2008). Improvement of physical and mechanical properties of fine sand with one-shot and two\_shot process. *Grouting Greece Scopus*.
- Bird.J.M., Putman. G.W., (2008). Natural analog system for reducing permeability of ground.
- Doratheia C. S. Martin V. F. (1996). Chemical manipulation of soil for sealing landfills. *South Africa: Pergamon*.
- doi.org/10.31763/aet.v2i2.1010**
- Menneer.J.C, Mclay.C.D. A, Newzealand.R. L, (2001). Effect of sodium contaminated wastewater on soil permeability of two newzealand. *R. Lee Newzealand: Australian Journal of Soil Research*.
- Rakic.D. Berisavljevic.D (2013). Geotechnical Conditions of Industrial Waste Landfill Construction for U.S. Steel Serbia. *the XV Balkan Mineral Processing Congress at: Sozopol, Bulgaria*.
- Spigolon. S. J. Kelley. F. M. (1984). Geotechnical quality assurance of construction of disposal facilities. *Department of the Army*.
- Haynes, R. J, Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure application on soil organic matter content and soil physical conditions. Newzealand, *Kulwer Academic Publisher*.
- Jafarzadeh Marandi, M., Ghiasi, V., & Badv, K. (2023). Numerical Evaluation of Two-dimensional Multi-Layer Cover System to Regulate Acid Mine Drainage of Tailing Dams. *International Journal of Engineering*, 36(10), 1839-1856.
- Mccauley. A.C, White.M. D, Lilly.R.M, Nyman.M. D, (2002). A comparison of hydraulic conductivity, permeability and infiltration rates in frozen and unfrozen soil. *Cold Regions Science and Technology*, Vol, 34.
- Mousapoor, E., Ghiasi, V., & Madandoust, R. (2020, October). Macro modeling of slab-column connections in progressive collapse with post-punching effect. *In Structures, Elsevier*, Vol. 27, 837-852.
- doi.org/10.1016/j.istruc.2020.06.025**
- Pourkeramat, P., Ghiasi, V. & Mohebi, B. (2021). The Effect of Post-Earthquake Fire on the Performance of Steel Moment Frames Subjected to Different Ground Motion Intensities. *Int J Steel Struct* 21, 1197-1209.
- doi.org/10.1007/s13296-021-00496-9**

# Geotechnical Design of Landfills and Solutions for Their Construction in Different Soils

*Vahed Ghiasi, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Architecture  
Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.*

*Prisa Molai Tari, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering,  
Faculty of Civil and Architecture Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.*

*E-mail: v.ghiasi@malayeru.ac.ir*

Received: April 2025- Accepted: November 2025

## **ABSTRACT**

This study aims to investigate the geotechnical design for industrial landfills. Because of the vastness of industries and factories in Iran, millions of cubic meters of industrial waste are produced annually, which unfortunately is in the direction of landfilling this waste to do the right thing. This will cause irreparable environmental damage and the spread of pollution on a large scale in nature, eventually leading to climate change and the extinction of many species of animals and plants. Reconstruction and decomposition of industrial waste require technology, macro management, and a lot of time. This research first tries to introduce the types of industrial pollutants produced by factories and examine their impact on soil characteristics. To locate the desired location through GIS science and design the landfill for industrial waste using PLAXIS software and classify different types of landfills according to the kind of liner so that they can be used for various industrial centers in the country, landfill for industrial waste. He designed the industries accordingly, and in the end, we will compare the waste collection and disposal systems of the United States, Japan, France, Iran, and the United Kingdom.

**Keywords:** Geotechnics, Landfill, Soil, Liner, Permeability