





وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری
گروه مهندسی زلزله و ژئوتکنیک

ارزیابی عملکرد سیستم عایق جداره لندفیل در برابر فشارهای هیدرواستاتیکی جانبی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش ژئوتکنیک

مجتبی جعفری کرمانی پور

استاد راهنما

دکتر فضل اله سلطانی

دی ماه ۱۳۹۷



وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری
گروه مهندسی زلزله و ژئوتکنیک

آقای مجتبی جعفری کرمانی پور پایان نامه خود را با عنوان:

ارزیابی عملکرد سیستم عایق جداره لندفیل در برابر فشارهای هیدرواستاتیکی جانبی

در تاریخ ۱۳/۱۰/۱۳۹۷ به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد ارائه و اعضاء هیات داوران آن را از نظر فرم و محتوا تایید نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می نمایند.

اعضاء هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر فضل اله سلطانی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	
۳- استاد مشاور اول	-	-	
۴- استاد مشاور دوم	-	-	
۵- داور	دکتر عباس سیوندی	استادیار	
۶- داور	دکتر مجتبی قاسمی	استادیار	
۷- نماینده دانشکده/پژوهشکده	دکتر نوروزی نژاد	استادیار	

دی ماه ۱۳۹۷



وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

تعهدنامه اصالت اثر و رعایت حقوق مادی و معنوی

اینجانب مجتبی جعفری کرمانی پور تعهد می‌نمایم که:

- ۱- مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است ارجاع گردیده است.
- ۲- این پایان نامه از نظر محتوی یا تنها با نتایج صد در صد مشابه، پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.
- ۳- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.
- ۴- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی و مطابق با ضوابط دانشگاه انجام شود.
- ۵- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی حاصل از نتایج پایان نامه با هماهنگی استاد راهنما، از طریق حوزه پژوهشی و مطابق با ضوابط دانشگاه انجام گیرد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مجتبی جعفری کرمانی پور

امضاء:

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته می‌باشد .

چکیده

در طراحی لندفیل باید پایداری داخلی، پایداری بین المان های سیستم عایق بندی و هم پایداری درون پسماند و بستر لندفیل را در نظر گرفت. همچنین در طراحی باید به بحث دوام طولانی مدت سیستم عایق نیز توجه کرد. تنش ها و در نتیجه تغییر شکل های ایجاد شده چه در مصالح معدنی و چه در مصالح ژئوسنتتیکی سیستم عایق بندی باید کنترل شود تا مسیر جریان پیش بینی نشده ایی تشکیل نشود. یک ارزیابی از دوام در سیستم عایق بندی نیازمند داشتن آگاهی از اندرکنش بین اجزا تشکیل دهنده آن و پسماند به عنوان یک جسم نشست کننده است. در این تحقیق پایداری موضعی مورد بحث قرار گرفته است. نتایج بررسی شده در این تحقیق نشان می دهد که روش های مرسوم تعادلات محدود را نمی توان برای ارزیابی خرابی موضعی استفاده کرد و ضرائب اطمینان مربوط به پایداری کلی می باشند و نه خرابی موضعی که همان دوام مصالح است. از روش های مدلسازی عددی می توان برای ارزیابی ناپایداری موضعی استفاده کرد. در این تحقیق یک لندفیل اجرا شده در انگلیس در نرم افزار ABAQUS بصورت سه بعدی مدلسازی شد و با نتایج دیتاهای بدست آمده از ابزار دقیق در محل لندفیل صحت سنجی شد. سپس فشار هیدرواستاتیکی پشت جداره لندفیل مدلسازی شد و اثر آن بر دوام سیستم عایق جداره لندفیل بررسی شد. این نتایج نشان داد که در ارتفاع حداکثر آب تنش ها از تنش های مجاز لایه ژئوممبرین بیشتر شده و منجر به گسیختگی این لایه و نشست آب به درون لندفیل خواهد شد.

کلمات کلیدی : لندفیل، پایداری شیب جداره لندفیل، ژئوسنتتیک، مدلسازی عددی

فهرست مطالب

۳	۱ فصل اول مقدمه
۴	۱-۱ - مقدمه.....
۶	۲-۱ - بیان مسئله
۷	۳-۱ - اهداف تحقیق
۷	۴-۱ - ساختار پایاننامه
۹	۲ فصل دوم مروری بر ادبیات گذشته
۱۰	۱-۲ - مقدمه.....
۱۱	۲-۲ - جایگاه دفن پسماند در ایران.....
۱۲	۱-۲-۲ - محل دفن علمی پسماند در قزوین.....
۱۳	۲-۲-۲ - محل دفن علمی پسماند در شیراز.....
۱۴	۳-۲-۲ - محل دفن علمی پسماند در تهران.....
۱۴	۳-۲ - مروری بر ادبیات گذشته.....
۲۳	۳ فصل سوم ساختمان محل دفن علمی پسماند
۲۴	۱-۳ - ساخت محل دفن بهداشتی پسماند.....
۲۴	۲-۳ - انواع پسماند.....
۲۴	۱-۲-۳ - انواع پسماند از نظر منبع تولید
۲۴	۲-۲-۳ - انواع پسماند از نظر ماهیت
۲۵	۳-۳ - انواع محل دفن پسماند برحسب نوع پسماند.....
۲۵	۱-۳-۳ - محل دفن بهداشتی
۲۵	۲-۳-۳ - محل دفن پسماند جامد شهری.....
۲۵	۳-۳-۳ - محل دفن نخاله های ساختمانی.....
۲۶	۴-۳-۳ - محل دفن مواد زائد صنعتی
۲۶	۴-۳ - ساختمان لندفیل علمی و اجزا اصلی آن.....
۲۷	۱-۴-۳ - لایه های نفوذناپذیر (لاینها)
۲۷	۲-۴-۳ - لایه های زهکش.....
۲۸	۳-۴-۳ - لایه های محافظ یا جداکننده.....
۲۹	۴-۴-۳ - سیستم جمع آوری شیرابه
۲۹	۵-۴-۳ - سیستم جمع آوری بیوگاز
۳۰	۶-۴-۳ - پوشش نهایی مدفن

۳-۴-۷- سیستم جمع آوری آب های سطحی در پوشش نهایی.....	۳۱
۳-۵- نتیجه گیری.....	۳۱
۴ فصل چهارم سیستم پوشش جداره لندفیل	۳۲
۴-۱- وظائف سیستم پوشش جداره لندفیل.....	۳۳
۴-۲- ساختمان جداره لندفیل.....	۳۴
۴-۲-۱- لایه (۱) خاک بستر.....	۳۵
۴-۲-۲- لایه (۲) رس متراکم.....	۳۵
۴-۲-۳- لایه (۳) عایق.....	۳۵
۴-۲-۳-۱- لایه های عایق مرکب رسی-ژئوسنتتیکی.....	۳۷
۴-۲-۴- لایه محافظ.....	۳۸
۴-۲-۵- لایه زهکش.....	۳۹
۴-۲-۵-۱- مصالح مورد استفاده.....	۴۰
۴-۲-۵-۲- جزئیات طراحی.....	۴۱
۵ فصل پنجم مروری بر روشهای مدلسازی عددی جداره لندفیل	۴۳
۵-۱- روش های عددی.....	۴۴
۵-۱-۱- روش های مرزی یا انتگرالی(روش گسسته).....	۴۴
۵-۱-۲- روش های محیطی یا دیفرانسیلی(روشهای پیوسته).....	۴۴
۵-۱-۲-۱- روش المان محدود.....	۴۴
۵-۱-۲-۲- روش تفاضل محدود.....	۴۵
۵-۱-۲-۳- روش المان مرزی.....	۴۵
۵-۲- آشنایی با نرم افزار ABAQUS.....	۴۶
۵-۲-۱- اصول تحلیلی نرم افزار.....	Error! Bookmark not defined.
۵-۳- مدل های رفتاری در نرم افزار.....	۴۷
۵-۳-۱- مدل های الاستیک.....	۴۷
۵-۳-۲- مدل های پلاستیک.....	۴۷
۵-۳-۳-۱- مدل موهر- کولمب :.....	۴۸
۵-۳-۳-۲- مدل دراگر- پراگر :.....	۴۹
۵-۳-۳-۳- مدل Cam Clay اصلاح شده :.....	۴۹
۵-۳-۳-۴- مدل دراگر- پراگر اصلاح شده Cap :.....	۵۰
۵-۳-۳-۵- روش حل صریح و ضمنی :.....	۵۰
۵-۳-۳-۶- مقایسه روش Explicit و Implicit (تفاوت روش صریح و ضمنی) :.....	۵۰
۵-۴- تفاوت و شباهت های تحلیل مسائل استاتیکی- شبه-استاتیکی- دینامیکی.....	۵۱

۵۱-۴-۵- مسائل استاتیکی (Static) و تحلیل آنها :	۵۱.....
۵۱-۴-۵- مسائل شبه استاتیک (Quasi-Static) و تحلیل آنها.....	۵۱.....
۵۲-۴-۳- مسائل دینامیکی (Dynamic) و تحلیل آنها :	۵۲.....
۵۲-۵- المان ها در آباکوس :	۵۲.....
۱-۵-۵- روش فرمول بندی :	Error! Bookmark not defined.
۵۳-۵-۶- پایداری جداره لندفیل.....	۵۳.....
۵۵-۶-۱- مروری بر روش های مدلسازی عددی جداره لندفیل.....	۵۵.....
۵۵-۷- نتیجه گیری.....	۵۵.....
۶ فصل ششم مدلسازی جداره محل دفن علمی پسماند ۵۷	
۵۸-۶-۱- مدلسازی.....	۵۸.....
۵۸-۶-۱-۱- معرفی مدل.....	۵۸.....
۶۰-۶-۱-۲- ساخت مدل اولیه.....	۶۰.....
۶۴-۶-۱-۳- شرایط مرزی و بارگذاری مدل.....	۶۴.....
۶۵-۶-۱-۴- مش اجزاء محدود مدل.....	۶۵.....
۷ فصل هفتم مدلسازی فشاری هیدرواستاتیکی بر جداره لندفیل و آنالیز نتایج. ۶۶	
۶۷-۷-۱- مقدمه.....	۶۷.....
۶۷-۷-۲- مقایسه نتایج و صحت سنجی دادهها.....	۶۷.....
۶۸-۷-۲-۱- تنشهای اعمالی روی پوشش.....	۶۸.....
۷۰-۷-۲-۲- جابجایی ژئوسنتتیکها: مدلسازی عددی و ابزار دقیق.....	۷۰.....
۷۳-۷-۲-۲-۱- رفتار ژئوتکستایل.....	۷۳.....
۷۳-۷-۲-۲-۲- رفتار ژئوممبرین.....	۷۳.....
۷۴-۷-۲-۳- مدل سازی فشار هیدرواستاتیکی.....	۷۴.....
۷۴-۷-۲-۴- نتایج مدل سازی فشار هیدرواستاتیکی.....	۷۴.....
۸۱-۷-۲-۵- تنش کششی اعمالی در لایه ژئوممبرین در اثر تغییرات فشار هیدرواستاتیکی آب.....	۸۱.....
۸۱-۷-۲-۶- ضریب اطمینان پایداری داخلی.....	۸۱.....
۸ نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۳	
منابع ۸۷	

فهرست اشکال

صفحه

شکل ۱-۲	محل‌های دفن پسماند در شهرهای شمالی کشور.....	۱۲
شکل ۲-۲	عایق‌بندی کف و جداره لندفیل با مصالح ژئوسنتتیکی در سایت شیراز.....	۱۴
شکل ۳-۲	عکس هوایی دریاچه شیرابه کهریزک.....	۱۵
شکل ۴-۲	پروفیل عرضی لندفیل در دو حالت پایداری کلی و موضعی [۳].....	۱۶
شکل ۵-۲	مدل آزمایشگاهی بررسی عملکرد سیستم چند لایه عیق‌بندی لندفیل [۷].....	۱۷
شکل ۶-۲	بکارگیری ابزار دقیق در جداره لندفیل برای اندازه‌گیری تنش‌ها در سیستم پوشش [۷].....	۱۸
شکل ۱-۳	طرح شماتیک یک لندفیل [۲۱].....	۲۶
شکل ۲-۳	پروفیل یک سیستم عایق‌بندی استاندارد کف لندفیل [۲۱].....	۲۷
شکل ۳-۳	لایه‌های زهکش معدنی در کف لندفیل [۲۱].....	۲۸
شکل ۴-۳	نصب لایه محافظ (ژئوتکستایل) در کف لندفیل [۲۱].....	۲۸
شکل ۵-۳	سیستم جمع‌آوری شیرابه تولید شده در محل دفن بهداشتی [۲۱].....	۲۹
شکل ۶-۳	تعبیه لوله‌های خروجی بیوگاز در کف دفن بهداشتی [۲۱].....	۳۰
شکل ۷-۳	استفاده از سایت لندفیل جهت تولید انرژی خورشیدی [۲۱].....	۳۱
شکل ۱-۴	شماتیک سیستم عایق جداره لندفیل [۷].....	۳۴
شکل ۲-۴	پنج مولفه پوشش جداره لندفیل قرار گرفته در برابر پسماند [۲۱].....	۳۴
شکل ۳-۴	انواع GCL ها [۱۵].....	۳۸
شکل ۴-۴	سیستم‌های زهکش جداره و نحوه اتصال به سیستم زهکش در کف لندفیل [۱۵].....	۴۰
شکل ۱-۵	الف) نمودار تنش برشی-جابجایی (آزمایش برش مستقیم برای اینترفیس) در نیروهای نرمال ذکر شده ب) نمودار تنش برشی-تنش نرمال برای تعیین زاویه اصطکاک و چسبندگی اینترفیس [۳].....	۵۴
شکل ۱-۶	هندسه شیب جداره لندفیل مورد مطالعه.....	۵۹
شکل ۲-۶	اجزاء پوشش جداره لندفیل مورد مطالعه.....	۶۰
شکل ۳-۶	مدل سه بعدی جداره لندفیل.....	۶۱
شکل ۴-۶	تعریف مراحل ساخت و بارگذاری.....	۶۲
شکل ۵-۶	تعیین خروجیهای مورد نیاز از نرمافزار.....	۶۳
شکل ۶-۶	شرایط مرزی تعریف شده برای مدل لندفیل.....	۶۵

- شکل ۶-۷ مش اجزاء محدود تعریف شده برای مدل ۶۵
- شکل ۷-۱ تنشهای قائم فشاری در ۱۳ متر زیر تاج جداره لندفیل (روی لایه رسی) ۶۸
- شکل ۷-۲ تنشهای قائم فشاری بدست آمده در ۲۴ متر زیر تاج جداره لندفیل (روی لایه رسی) ۶۹
- شکل ۷-۳ تنشهای قائم فشاری بدست آمده در ۳۰ متر زیر تاج جداره لندفیل (روی لایه رسی) ۷۰
- شکل ۷-۴ جابجایی در لایه‌های ژئوممبرین و ژئوتکستایل در ارتفاع ۲۴/۶ متر از زیر تاج لندفیل ۷۱
- شکل ۷-۵ جابجایی در لایه‌های ژئوممبرین و ژئوتکستایل در ارتفاع ۱۳/۸ متر از زیر تاج لندفیل ۷۱
- شکل ۷-۶ جابجایی در لایه‌های ژئوممبرین و ژئوتکستایل در ارتفاع ۸/۴ متر از زیر تاج لندفیل ۷۲
- شکل ۷-۷ مدل سه بعدی اعمال فشار هیدرواستاتیکی به لایه ژئوممبرین در کل ارتفاع شیب جداره (۱۰۰٪) ۷۴
- شکل ۷-۸ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۲۵٪ ارتفاع جداره لندفیل ۷۵
- شکل ۷-۹ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۵۰٪ ارتفاع جداره لندفیل ۷۶
- شکل ۷-۱۰ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۷۵٪ ارتفاع جداره لندفیل ۷۷
- شکل ۷-۱۱ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۱۰۰٪ ارتفاع جداره لندفیل ۷۷
- شکل ۷-۱۲ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۲۵٪ ارتفاع جداره لندفیل ۷۸
- شکل ۷-۱۳ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۵۰٪ ارتفاع جداره لندفیل ۷۹
- شکل ۷-۱۴ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۷۵٪ ارتفاع جداره لندفیل ۷۹
- شکل ۷-۱۵ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۱۰۰٪ ارتفاع جداره لندفیل ۸۰
- شکل ۷-۱۶ پوش حداکثر تنش کششی بدست آمده از نرم افزار در ترازهای مختلف آب. ۸۱

جدول ۱-۶ خصوصیات مکانیکی مصالح مدلسازی شده [۸].....	۶۱
جدول ۲.۶ خصوصیات اینترفیس مصالح [۸].....	۶۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه:

مدیریت پسماندهای جامد شهری^۱ (MSW) در بسیاری از کشورهای جهان بصورت محسوسی در طول ۵۰ سال گذشته تغییر کرده و از دفن غیر کنترل شده و یا سوختن آنها به سیستم های پیچیده دفن تبدیل شده که طی فرایندی پسمانده را به انرژی و موادی بی ضرر برای محیط زیست تبدیل می کنند. این تحولات همزمان با رشد سطح اجتماعی جوامع بشری و درک اهمیت حفظ سلامت بشری، محیط زیست و نگهداری منابع و انرژی بود. دولت ها، شرکت های دولتی و خصوصی و حتی اشخاص حقیقی اکنون به این درک رسیده و در بسیاری از موارد تصویب شیوه های پایدار در بسیاری از جنبه ها زندگی روزمره از جمله مدیریت پسماندهای جامد شهری را پذیرفته اند. در جهان لندفیل^۲ ها همچنان هم به واسطه واقعیت های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به عنوان جز اصلی سیستم های یکپارچه مدیریت پسماند مطرح هستند. دفن غیر اصولی زباله و همچنین دفن پسماند در لندفیل ها همچنان بیشترین متد بکاررفته در دنیا می باشند. دفن کنترل نشده پسماندهای جامد شهری در کشورهای در حال توسعه می تواند آثار جبران ناپذیری بر سلامتی مردم و محیط زیست اطرافشان داشته باشد [۲۴].

مشکلات اقتصادی در بسیاری از کشورها و جوامع در حال توسعه منجر به حضور جمعیت زیادی از افراد در محل دفن زباله ها می شود. این افراد که عموماً از کودکان در حال جداسازی زباله ها برای پیدا کردن مصالح قابل بازیابی برای فروش هستند.

حضور پرندگان و حیوانات در این محل ها و انتشار گازهای سمی از این زباله ها منجر به آلودگی و به خطر افتادن سلامتی این جوامع می شود. یک عارضه بسیار خطرناک و غیرقابل جبران دفن کنترل نشده زباله ها نشت شیرابه از این مواد و آلودگی منابع آبی می باشد. که به

¹ Municipal Solid Waste

² Landfill

شدت سلامتی انسان‌ها را تهدید می‌کند. و در صورت آلودگی منابع آبی زیرزمینی دیگر امکان پالایش این منابع نبوده و غیرقابل استفاده خواهند شد.

در ایران هم مانند سایر کشورهای در حال توسعه دفن زباله بصورت عموماً غیر اصولی، غیربهداشتی و کنترل نشده انجام می‌پذیرد. معضل آلودگی محیط زیست و منابع آبی در اکثر شهرهای ایران به یک چالش اساسی تبدیل شده است. به ویژه در شهرهای شمالی کشور که سطح آب‌های زیرزمینی بالا می‌باشد این معضل بصورت حادثه‌تری نمایان‌گر می‌باشد. لذا ضروریست جامعه علمی کشور در جهت حفظ محیط زیست و منابع زیست محیطی کشور گام‌های منسجم‌تری بردارد و ضمن ارائه راهکارها و طرح‌های علمی مطالبه‌گر بحث حفظ محیط زیست از دولت‌ها باشد [۲۴].

مصالص ژئوسنتتیکي در دهه‌های اخیر بصورت گسترده در صنعت ساخت و ساز بکار رفته‌اند. در طراحی لندفیل استفاده شده اند. کاربرد های چندگانه و نصب آسان باعث پذیرش آنها از طرف طراحان و پیمانکاران شده است. لندفیل های جامد شهری اغلب از سیستم های عایق چند لایه از مصالح سنتتیکي و معدنی تشکیل شده اند. در طی ۲۰ سال اخیر تحقیقات گسترده‌ایی پیرامون اندرکنش بین مصالح و عملکرد مصالح ژئوسنتتیکي به لحاظ دوام انجام گرفته است. نتایج این تحقیقات منجر به پیشرفت‌های زیادی در زمینه طراحی بخصوص طراحی سیستم‌های عایق گردیده است. اندازه‌گیری رفتار مصالح در مقایسه واقعی، در محل انجام پروژه و در شرایط بهره برداری می‌تواند اطلاعات با ارزشی از عملکرد سیستم عایق بندی لندفیل در اختیار قرار دهد و همچنین درک بهتری از رفتار سیستم کامپوزیتی لایه‌های عایق ارائه کند. با وجود تعداد زیاد برنامه‌های مدلسازی عددی جهت ارزیابی پایداری سیستم عایق‌بندی ولی دیتاهای محدودی جهت صحت سنجی این مدلسازی‌ها وجود دارد [۸].

در زمینه دوام و پایداری سیستم های عایق با تاکید بر مشکلات رایج مهندسی مرتبط با ژئوسنتتیک‌ها در محیط لندفیل مطالعه کردند. مطالعات این محققین شامل ساخت مرحله ایی، کرنش نرم شوندگی اندرکنش، خرابی پیش رونده، تنش کششی در مصالح، ارائه مجدد خصوصیات پسماند و رفتار آنها، هوازگی و تجزیه پسماند می‌باشد. با توجه به نکته اشاره شده،

استفاده از روشهای تجزیه و تحلیل عددی اهمیت پیدا می‌کنند. روشهای تحلیلی رایج، روش المان مرزی^۱ (BEM)، روش اجزاء محدود^۲ (FEM) و روش تفاضل محدود^۳ (FDM) هستند. امروزه استفاده از روش اجزاء محدود (با توجه به ماهیت پیچیده و غیرخطی خاک)، برای پیشبینی رفتار برشی خاک و همچنین بررسی اندرکنش خاک با انواع مسلح کننده‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. همچنین استفاده از یک برنامه تحلیلی اجزاء محدود غیرخطی مثل آباکوس، به امری رایج تبدیل شده است.

۲-۱- بیان مسئله :

مصالص ژئوسنتتیکی در دهه‌های اخیر بصورت گسترده در صنعت ساخت و ساز بکار رفته‌اند. به ویژه که به عنوان یک عایق مناسب در برابر پسماندهای جامد شهری و در طراحی لندفیل استفاده شده‌اند. کاربردهای چندگانه و نصب آسان باعث پذیرش آنها از طرف طراحان و پیمانکاران شده است. لندفیل های جامد شهری اغلب از سیستم های عایق چند لایه از مصالح سنتتیکی و معدنی تشکیل شده اند. در طی ۲۰ سال اخیر تحقیقات گسترده‌ای پیرامون اندرکنش بین مصالح و عملکرد مصالح ژئوسنتتیکی به لحاظ دوام انجام گرفته است. نتایج این تحقیقات منجر به پیشرفت‌های زیادی در زمینه طراحی بخصوص طراحی سیستم های عایق گردیده است. اندازه‌گیری رفتار مصالح در مقایس واقعی، در محل انجام پروژه و در شرایط بهره برداری می تواند اطلاعات با ارزشی از عملکرد سیستم عایق بندی لندفیل در اختیار قرار دهد و همچنین درک بهتری از رفتار سیستم کامپوزیتی لایه های عایق ارائه کند. با وجود تعداد زیاد برنامه‌های مدلسازی عددی جهت ارزیابی پایداری سیستم عایق‌بندی ولی دیتاهای محدودی جهت صحت سنجی این مدلسازی‌ها وجود دارد [۸].

¹Boundary element method

²Finite element method

³Finite difference method

در شهرهای شمالی ایران و مناطقی که سطح سفره‌های آب‌های زیرزمینی بالا می‌باشد جهت طراحی سیستم جداره لندفیل باید علاوه بر کنترل نیروها و تنش‌های اعمالی داخلی به جداره لندفیل باید اثر فشار هیدرواستاتیکی پشت جداره لندفیل نیز مدلسازی و کنترل گردد. در این تحقیق ابتدا سیستم عایق‌بندی جداره یک لندفیل (لندفیل ملیگیت در شهر یورکشایر انگلستان) با مقیاس واقعی بصورت سه بعدی مدلسازی و صحت سنجی مدل با نتایج ثبت شده از ابزار دقیق نصب شده در محل صورت گرفت. سپس با در نظر گرفتن چهار حالت ارتفاعی سطح آب (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) در پشت جداره لندفیل، عملکرد سیستم عایق‌بندی جداره لندفیل در حضور فشار هیدرواستاتیکی ارزیابی شد. سپس لایه ژئوممبرین به عنوان اصلی‌ترین جز سیستم عایق‌بندی به لحاظ دوام بررسی و برای آن ضریب اطمینان تعیین گردید.

۳-۱- اهداف تحقیق :

ابتدا با معرفی محل‌های دفن علمی پسماند با سیستم‌های عایق‌بندی و زهکشی جداره لندفیل آشنایی صورت خواهد گرفت. سپس انواع مختلف سیستم‌های پوشش جداره لندفیل که مورد تایید مراجع علمی می‌باشند معرفی خواهند شد. سرانجام مراحل مدلسازی جداره لندفیل مورد مطالعه، صورت گرفته و نتایج آن با نتایج بدست آمده از محل مقایسه خواهد شد و عملکرد سیستم عایق‌بندی در حضور فشار هیدرواستاتیکی ارزیابی می‌شود.

۴-۱- ساختار پایان‌نامه :

این پایان‌نامه شامل هفت فصل می‌باشد. در فصل اول مقدمه، بیان مسئله و اهداف تحقیق بیان شده است. در فصل دوم مروری بر مطالعات گذشته صورت گرفته است. در فصل سوم به طور کلی انواع روش‌های دفن پسماند و انواع لندفیل‌ها بیان شده است. در این فصل ساختار یک لندفیل و کارکرد هریک از اجزا یک محل دفن پسماند ارائه شده است. در فصل چهارم جداره لندفیل مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل انواع سیستم عایق قابل اجرا در لندفیل عنوان شده است. هدف اصلی این فصل معرفی کامل سیستم عایق‌بندی جداره لندفیل

و تشریح عملکرد هریک از اجزا آن می باشد. در فصل پنجم مروری بر روش‌های مدل‌سازی
جداره لندفیل و معرفی نرم‌افزار صورت گرفته است. در فصل ششم مراحل مدل‌سازی سه بعدی
جداره لندفیل در نرم‌افزار آباکوس توضیح داده شده است. معرفی نرم‌افزار و مدل‌های رفتاری
موجود در آن نیز در این فصل آمده است. در فصل هفتم نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی در
نرم‌افزار شامل تغییر شکل‌ها و تنش‌ها در مصالح ژئوسنتتیکی آورده شده و با نتایج ابزار دقیق
مقایسه گردیده است. همچنین نتایج حاصل از حضور آب و فشار هیدرواستاتیکی در پشت
جداره لندفیل ارائه گردیده و برای ژئوممبرین ضریب اطمینان تعیین گردیده است.

فصل دوم

مروری بر ادبیات

گذشته

۲-۱- مقدمه

بی شک، امروزه یکی از اساسی‌ترین مشکلات حال حاضر و آینده بشر مشکلات زیست محیطی می‌باشد که در صورت عدم توجه جدی به آن، سکونت انسان را در کره خاکی بسیار دشوار خواهد کرد. مهندسين ژئوتکنیک نیز سهم قطعی در حل مشکلات پیش روی بشر، داشته و دارند و از اینرو امروزه شاخه ژئوتکنیک زیست محیطی از جمله حیاتی‌ترین شاخه های مهندسی عمران محسوب شده که می‌بایست بصورت جدی و سریع در تمامی پروژه‌های عمرانی در دنیا بخصوص در کشور ایران جای خود را باز کند.

اهمیت مسائل زیست محیطی به علت افزایش جمعیت، کاهش منابع طبیعی و بخصوص آب‌های زیرزمینی، روز به روز در حال افزایش است. از کل حجم آب موجود در زمین، چیزی حدود ۳٪ آن قابل شرب است و نزدیک به ۲۲٪ از این آب‌های شرب بصورت آب‌های زیرزمینی هستند. بنابراین آب بعنوان مایه حیات، یکی از منابعی است که بی‌شک کمبود آن در آینده، مشکلات بیشماری را به وجود خواهد آورد. یکی از مهمترین عواملی که می‌تواند موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی گردد، انتقال آلودگی از طریق محل‌های دفن سنتی زباله در شهرهاست. دفن سنتی، در واقع حفر گودال در زمین و پر کردن آن با زباله است. حجم انبوه و متراکم زباله در مدفن‌های سنتی، باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق نفوذ شیرابه به لایه های زیرین می شود. شیرابه، مایع لزج تولید شده از زباله بوده که حاوی عناصر شیمیایی متعدد و عموماً خطرناکی است که تحت اثر مکانیزم‌های مختلف شروع به نفوذ و حرکت در لایه‌های خاک کرده و پس از طی مسیری به سفره آب زیرزمینی وارد می شود. افزایش غلظت این مواد در آب زیرزمینی ممکن است به حدی برسد که از استانداردهای موجود تجاوز کرده و آب زیرزمینی را آلوده کند. علیرغم احداث محل‌های دفن مهندسی- بهداشتی (لندفیل) در کشورهای پیشرفته به مدت حدود پنج دهه، متأسفانه در ایران هنوز دفن انبوه زباله‌ها به روش سنتی انجام می‌گیرد. بنابراین یکی از اصلی‌ترین راهکارهای حل مشکلات زیست محیطی در دنیا و بخصوص در ایران، احداث لندفیل می باشد [۲۴].

زباله به طور معمول به کلیه مواد جامد (فساد پذیر و فساد ناپذیر) گفته می شود که در منازل، مراکز تهیه و فروش مواد غذایی، موسسات صنعتی، تجاری، کشاورزی و ... تولید می‌شود

که قابلیت بازیافت دارند. ولی پسماند در واقع هر ماده‌ای زمانی که به پسماند تبدیل می شود، دیگر ارزش اقتصادی خود را از دست داده، یا استفاده دیگری ندارد و باید در مکانی قرار داده شود که بیش از این صدمه و آسیبی به سلامتی انسان یا محیط زیست وارد نکند، همچنین بطور دائم و به شکلی ایمن کنترل و محصور شود.

۲-۲- جایگاه دفن پسماند در ایران

براساس بررسی‌های به عمل آمده سیستم‌های اصلی دفن نهایی مواد زائد در بسیاری از شهرهای کشور به صورت تلنبار در خارج از شهرها معمول بوده است. لکن طی سال های اخیر بر تعداد شهرهایی که مواد زائد را نسبتاً به صورت مطلوب دفن می‌نمایند اضافه شده است. مثلاً از ۲/۵٪ در سال ۱۳۶۳ به ۵/۶ درصد در سال ۱۳۶۹ و سر انجام با یک رشد سریع در سال ۱۳۷۳ به ۲۵/۳٪ رسیده است که مسلماً این رشد در سال‌های اخیر از نسبت بسیار بالایی برخوردار است [۲۴].

طبق آماری که توسط دانشکده محیط زیست تهران در سال ۱۳۷۶ برای مرکز مطالعات برنامه ریزی شهری تحت یک پروژه تحقیقاتی با عنوان ((طرح جامع بازیافت و دفع مواد زائد جامد شهری)) انجام شد، متوسط تولید سرانه مواد زائد جامد شهری در سطح کشور حدود ۰/۸ کیلوگرم در روز برای هر نفر می‌باشد. اگر جمعیت کشور را ۸۰ میلیون در نظر بگیریم، تقریباً روزانه ۶۴ هزار تن زباله در سطح کشور تولید می‌شود. این مقدار در طول سال رقمی در حدود ۲۳ میلیون تن خواهد بود [۲۴].

مطالعات مختلفی که در زمینه شناسایی کیفیت ترکیبات متشکله زباله خانگی در کشور انجام شده حاکی از آن است که مواد آلی با ۶۸/۸٪ از کل وزن زباله بیشترین مقدار از تولید زباله را به خود اختصاص داده است. پس از آن کاغذ و کارتن با ۸/۳٪، مواد پلاستیکی با ۵/۳٪، عمده ترین مواد تشکیل دهنده زباله‌های خانگی هستند [۲۴].

با توجه به حجم بالای زباله تولیدی در کشور و متعاقب آن آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن ضرورت بازیافت، اولویت برنامه‌های دفن بهداشتی، انتخاب محل مناسب، تکنولوژی مناسب در کنترل آلودگی و استفاده مجدد از محل در شرایط کنونی ایران امری اجتناب ناپذیر است. قابل ذکر است که در اکثر قریب به اتفاق شهرهای کشور به ویژه مناطق ساحلی شمال و جنوب فاصله زیادی تا انجام عملیات دفن بهداشتی زباله وجود دارد. در استان‌های مازندران و گیلان به دلیل قرار گرفتن بین رشته کوه‌های البرز و دریای خزر، بافت جمعیتی فشرده و

حاصل‌خیزی زمین‌های آن به دلیل برخورداری از رطوبت کافی، بالا بودن سطح آب زیر زمینی با مشکل دفن بهداشتی زباله مواجه هستند.



شکل ۱-۲ محل‌های دفن پسماند در شهرهای شمالی کشور

با توجه به آب هوای خشک و نیمه خشک در ایران دفن مواد زائد، ارزان ترین روش می‌باشد که می‌توان سلامتی انسان و محیط زیست را از خطرات مواد زائد تضمین کرد. اما استان‌های مازندران، گیلان و خوزستان با توجه جدی و مدیریت دقیق‌تری در امر مواد زائد احتیاج خواهند داشت [۲۴].

شهرهای تهران، شیراز و ارومیه از جمله شهرهای ایران هستند که تجربه دفن غیر علمی پسماند را داشته‌اند و نتوانسته‌اند مشکلات ابتدایی آنها را از جمله انتشار بوی تعفن، تجمع شیرابه و پوشش صحیح پسماند را برطرف کنند. بنابراین حرکت کشور به سمت دفن علمی پسماند یا همان لندفیل یک اصل ضروری برای حفظ سلامتی افراد جامع و منابع زیستی محیطی بنظر می‌رسد.

۱-۲-۲- محل دفن علمی پسماند در قزوین

خوشبختانه یکی از این محل‌های دفن علمی پسماند در استان قزوین قرار گرفته است. این محل دفن که مراحل ارزیابی اثرات زیست محیطی در مورد آن انجام شده است هم اکنون در مجتمع محمد آباد مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. محل احداث لندفیل در فاصله مناسب از شهر، مراکز جمعیتی روستایی و منابع آب سطحی قرار گرفته است. این محل دارای لایه‌های عایق بوده که از حرکت تحت الارضی شیرابه و آلودگی آب‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کند.

هدف از بکارگیری لایه عایق در محل دفن، به حداقل رساندن نفوذ شیرابه، به لایه های زیرین خاک و جلوگیری از آلودگی احتمالی آب های سطحی و همچنین جمع آوری و خارج ساختن شیرابه تولیدی در آن می باشد. شیرابه حاصل از این محل دفن در استخرهای تبخیری مجهز به جداره حفاظت شده در اثر اعمال فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی و تابش نور خورشید تصفیه می گردد. زباله به صورت روزانه با خاک پوششی، پوشانده می شود که هدف آن به حداقل رساندن مسائلی چون ایجاد بو، نفوذ آب، تکثیر ناقلین، جلوگیری از آتش سوزی و پراکندگی زباله به اطراف است. لایه پوششی خاک همچنین از تبادل هوا و مواد فاسد جلوگیری کرده و مقدار آب سطحی را که ممکن است به داخل محل دفن نفوذ کند به حداقل می رساند. در حال حاضر روزانه ۵۰۰ تن زباله از شهرهای مختلف استان قزوین جمع آوری و به محل دفن بهداشتی محمدآباد منتقل می شود. در این محل، پس از عملیات پردازش و تفکیک مواد قابل بازیافت و همچنین جداسازی مواد آلی موجود در زباله ها به منظور تهیه کود آلی کمپوست، به صورت کاملاً بهداشتی و مهندسی دفن می گردد [۲۴].

۲-۲-۲- محل دفن علمی پسماند در شیراز

سایت دفن پسماند در ۱۸ کیلومتری جنوب شرقی شیراز در محور شیراز-سروستان در منطقه ای بنام برمشور با ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متر از سطح دریا و مساحت کل ۵۰۰۰ هکتار واقع شده است. مساحتی در حدود ۴۰ هکتار به منظور دفن در نظر گرفته شده و با کاشت درختانی مثل اکالیپتوس و سوزنی برگ هایی مانند کاج و سرو محصور شده است. با انجام مطالعات محدوده استفاده نشده محل دفن پسماندهای شهر شیراز توسط دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، طراحی سلول های دفن بر اساس استانداردهای موجود از طریق انجام عملیات خاک-برداری، شیب بندی کف سلول، بسترسازی با خاک ریزدانه و لایه های مختلف ژئوممبرین^۱ و ژئوتکستایل^۲ (عایق بندی) و کارگذاری لوله های پلی اتیلن مشبک، از ابتدا تا انتهای سلول انجام گرفت. جهت افزایش حجم مورد بهره برداری لندفیل از دستگاه کمپکتور برای فشرده سازی پسماند استفاده می شود که علاوه بر جلوگیری از گسترش آلودگی، مانع از احداث لندفیل های جدید نیز می گردد. همچنین جمع آوری، هدایت و انتقال شیرابه به حوضچه ذخیره سازی و تبخیری انجام می گردد [۲۵].

¹ Geomembrane

² Geotextile

۲-۳- محل دفن علمی پسماند در تهران

مجتمع پردازش و بازیافت پسماند آرادکوه کهریزک در ۲۳ کیلومتر جاده قدیم تهران - قم و در جنوب کهریزک واقع شده است. این مرکز روزانه به طور متوسط ۸۰۰۰ تن انواع پسماندهای مختلف از منابع مختلف تولید همچون مناطق ۲۲ گانه، شهرک و شهرهای اطراف، مراکز بهداشتی و درمانی، لجن و سرشاخه و... جهت امحا و دفن به این مرکز ارسال می‌شود.

به طور کلی روش مورد استفاده برای دفن پسماند در این منطقه تا قبل از تاسیس مجتمع آرادکوه تلنبار پسماند بوده است. ارتفاع زیاد پسماند (در بعضی مناطق تا حدود ۵۰ متر هم می‌رسد) و عدم وجود سیستم جمع‌آوری شیرابه سبب می‌شود که شیرابه ناشی از متراکم شدن پسماندها به صورت طبیعی مسیر خود را پیدا کند و با توجه به شیب منطقه تقریباً در قسمت شمالی محل دفن کهریزک، دریاچه بزرگی از شیرابه تشکیل شود. در حال حاضر مجتمع دفن پسماند آراد کوه در این مکان پروژه دفن پسماند به روش بهداشتی را در دست اقدام دارد [۲۵].



شکل ۲-۲ عایق‌بندی کف و جداره لندفیل با مصالح ژئوسنتتیک در سایت شیراز

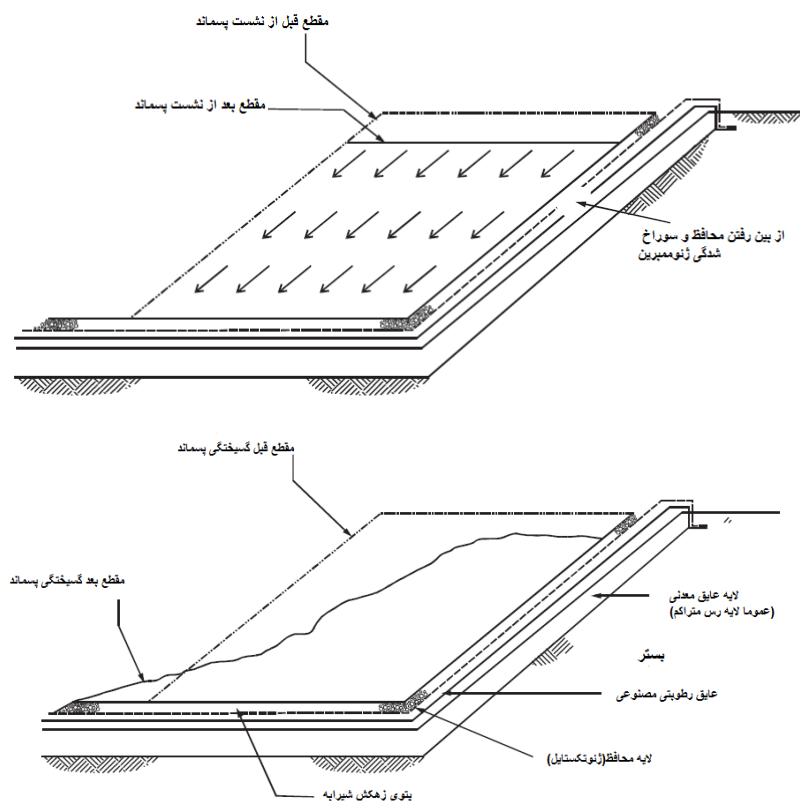
۲-۳- مروری بر ادبیات گذشته

Dixon و Jones در سال ۲۰۰۵، پایداری کلی و پایداری محلی یا موضعی که می‌تواند در نتیجه وجود نقص در مصالح عایق رخ دهد ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش‌های سنتی تعادلات محدود را نمی‌توان برای ارزیابی خرابی‌های محلی استفاده کرد. و ضریب اطمینان‌ها مربوط به پایداری کلی می‌شوند و نه خرابی موضعی که منجر به بروز نقص در سیستم عایق خواهد شد. از روش‌های آنالیز عددی می‌توان جهت ارزیابی ناپایداری موضعی

استفاده کرد. این محققین با ایجاد مدل‌هایی از لندفیل‌های رایج نشان دادند که خرابی‌های موضعی چقدر نسبت به خصوصیات پسماند حساس است. و برای آنها ضرایب اطمینانی برای نشان دادن شانس خرابی پوشش متأثر از حفاظ ژئوممبرین تولید کردند[۳].

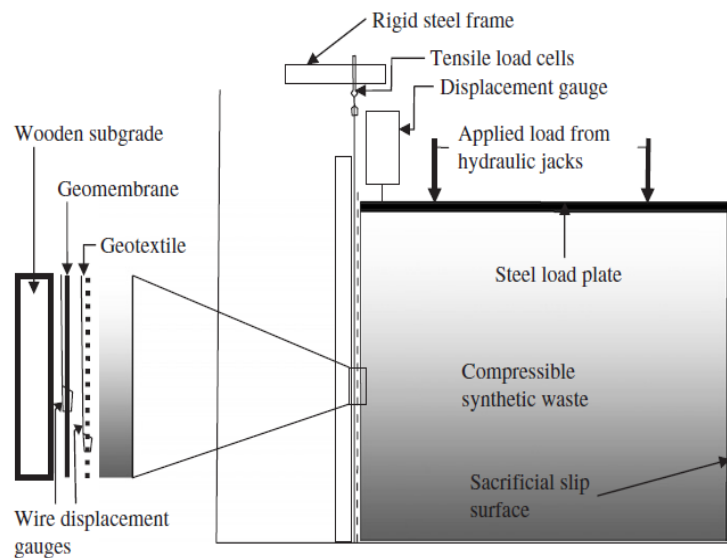


شکل ۳-۲ عکس هوایی دریاچه شیرابه کهریزک



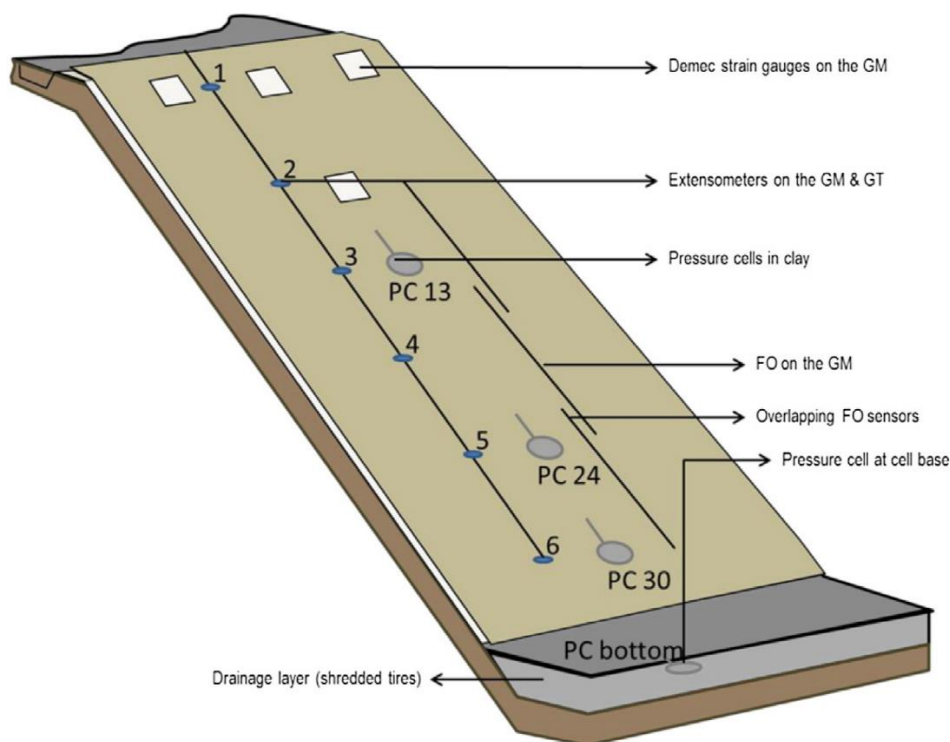
شکل ۲-۴ پروفیل عرضی لندفیل در دو حالت پایداری کلی و موضعی [۳]

توسط Fowmes و همکاران در سال ۲۰۰۸، چند سری تست آزمایشگاهی در مقیاس بزرگ بر روی المان‌های ژئوسنتتیکی یک سیستم عایق چند لایه با اعمال نیروی ناشی از پسماندهای مصنوعی فشرده شونده (خرده لاستیک) صورت گرفت. نتایج بدست آمده از این آزمایش‌ها را با نتایج آنالیز عددی آن مدل‌ها مقایسه کردند. مقادیر اندرکنش بین مصالح و خصوصیات پسماند مصنوعی از نتایج آزمایشگاهی استخراج شد و خصوصیات مصالح ژئوسنتتیکی از کارخانه‌های تولید کننده گرفته شد. آنگاه تنش‌های کششی که در ژئوسنتتیک‌ها در آزمایشگاه قرائت شده بود در مدلسازی عددی با در نظر گرفتن درصد اختلاف قابل قبول تولید شد [۷].



شکل ۵-۲ مدل آزمایشگاهی بررسی عملکرد سیستم چند لایه عیقبندی لندفیل [۷]

Zamara و همکاران در سال ۲۰۱۲، در انگلیس با استفاده از ابزار دقیق به بررسی عملکرد سیستم‌های عایق و زهکشی در جداره لندفیل پرداختند و تنش-کرنش ناشی از وزن پسماند بوجود آمده در سیستم عایق که شامل ژئوممبرین، ژئوتکستایل و رس متراکم بود را گزارش دادند. نتایج این بررسی محلی در مدت سه سال قرائت شد و بصورت نمودار در طی مراحل ساخت و بارگذاری لندفیل تغییر شکل‌ها و تنش‌های ایجاد شده در سیستم عایق‌بندی رسم شد. در قسمتی از جداره لندفیل که بدلائل اجرایی بخشی از ژئوتکستایل در معرض نور خورشید قرار داشت تغییر شکل‌های زیادی مشاهده گردید [۷].



شکل ۲-۶ بکارگیری ابزار دقیق در جداره لندفیل برای اندازه گیری تنش‌ها در سیستم پوشش [۷]

Daniel و Koerner در سال ۱۹۹۷، با بررسی خاک رس نشان دادند، تراکم آن سبب دگرگونی بافت خاکی و تغییر ویژگی مکانیکی و به ویژه نفوذپذیری آن می‌گردد. خاکی که دارای بافت پراکنده و روزه‌های باز و بیشتر است میزان نفوذپذیری هم بیشتر می‌شود. دانه‌های خاک رس با کوبیدن در هم فرورفته و به صورت کلوخ‌هایی کوچک در می‌آید که دوباره در هم آمیخته و کلوخ‌های بزرگتری را تشکیل می‌دهد. اندازه روزه‌ها در درون هریک از این کلوخ‌ها کمتر از اندازه فضایی است که میان دو کلوخه پدیدار می‌شود. افزون بر این روزه‌ها دو گونه روزه دیگر که چاک و شکاف باشد، به طور طبیعی در خاک رس پدید می‌آید که بزرگترین عامل گذر شیرابه در کف مدفن است و باید سعی شود به هنگام تراکم از چاک و ترک خوردن خاک رس پرهیز گردد [۱۵].

Dixon و همکاران در سال ۲۰۰۶، رفتار مکانیکی پسماند را از جنبه های طراحی سیستم لایه ایی و عملکرد آن که شامل پایداری و مقاومت ژئوسنتتیک ها و مصالح معدنی می باشد

مورد ارزیابی قرار دادند. وی در این تحقیق پارامترهای مهندسی مورد نیاز جهت طراحی که شامل: وزن مخصوص تراکم، سختی جانبی، تنش افقی در محل و ضریب هیدرولیکی را مورد اندازه گیری و تفسیر قرار داد [۴].

Zamara و همکاران در سال ۲۰۱۴، با استفاده از قرائت‌های صورت گرفته از ابزار دقیق کار گذاشته شده در محل لندفیل به مدت سه سال و مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با نتایج مدلسازی عددی سیستم عایق‌بندی جداره لندفیل در طول دوره ساخت در نرم افزار فلک نتایج بدست آمده را ارائه کردند. نتایج مدلسازی عددی با نتایج اندازه‌گیری شده در صورتی که روی لایه‌های ژئوسنتتیکی بلافاصله پوشانده شود قابل مقایسه است. با این وجود جاهایی که مصالح ژئوسنتتیکی برای مدت طولانی در معرض نور آفتاب قرار داشتند، رفتار در محل این مصالح را در مدلسازی عددی نمی‌توان تولید کرد. در این تحقیق بر روی اثر مهم دما بر روی جابجایی-های مصالح ژئوسنتتیک نمایان شد. یک آنالیز ساده حرارتی نیز بر روی ژئوسنتتیک‌ها برای مطالعه رفتار آن‌ها بکار گرفته شد [۸].

Elagroudy و همکارانش در سال ۲۰۰۸، بر روی خصوصیات پسماند و نشست آن‌ها تحقیق کردند. آن‌ها یک مدل لندفیل را با در نظر گرفتن دو پارامتر مهم ایجاد کردند. دیتاهای ناشی از نشست بدست‌آمده از دو محقق برای بدست آوردن مقادیر پارامترها با دو روش مختلف که اولی بصورت کاملاً تجربی و نتایج بدست‌آمده از آن و دومی با تفکیک فاز هوازی و فاز بی هوازی صورت گرفت. نرخ نشست اولیه ایجاد شده در شرایط هوازی بزرگتر از شرایط بی هوازی بود. پارامترها با افزایش تجزیه آنزیم‌ها و با وجود لجن در هر دو حالت هوازی و بی‌هوازی افزایش می‌یابند. افزایش بخش اورگانیک پسماند منجر به افزایش نرخ تجزیه و نرخ نشست می‌شود [۱۶].

SIMOES و Cataperta در سال ۲۰۱۳ مشاهدات نشست انجام شده در طول ۶ سال در محل دفن علمی پسماند BELO HORIZONTE در کشور برزیل را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مجموعه‌ای از داده‌های محلی را برای کالیبره کردن مدل‌های پیش‌بینی نشست سه دوره طولانی را مورد استفاده قرار دادند. در طول مشاهدات ۶ ساله کرنش‌های قائم مشخصی (بیشتر از ۳۱٪) به دست آمده است که مربوط به ارتفاع اولیه محل دفن علمی پسماند می‌باشد مشاهدات پیش‌بینی نشست در زمان طولانی به وسیله مدل‌های هایپربولیک رئولوژیک و ترکیبی بهترین تناسب نتایج را مربوط به مدل ترکیبی به دست آمده است که در زمان طولانی نشست‌های بزرگتری نسبت به دو مدل دیگری را نشان داده است [۱۷].

BENSON و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک سری تحقیقات روی محل دفن علمی پسماندهای جامد شهری که سیستم چرخش شیرابه دارند به منظور تعیین لغزش پوشش نهایی در شیب ۱:۴ (۴ افقی - ۱ عمودی) انجام دادند. لغزش به عنوان یک تغییر مکان لایه‌ای در امتداد سطح مشترک ژئوممبران و لایه‌های مرکب رسی-ژئوسنتتیک اتفاق افتاده است. طبق مشاهدات در محل می‌تواند فشار گاز را نیز عاملی برای گسیختگی در نظر گرفت. آزمایش هایی برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی سطح مشترک GM/GCL و همچنین کاهش در تنش نرمال مورد نیازی که باعث تغییر مکان سطح مشترک شده است انجام شده است. ضریب هیدرولیکی و نفوذپذیری گاز GCL تعیین شد. آنالیز پایداری شیب برای تعیین فشار گاز مورد نیازی که باعث یک لغزش و ضریب ایمنی که باید مد نظر باشد اگر فشار گاز صفر گیج باشد انجام شد. هماهنگی خوبی بین فشار گاز اندازه‌گیری شده در محل اندازه کاهش در تنش نرمال مورد نیاز که باعث لغزش در سطح مشترک GM-GCL برای آزمایش برش مستقیم با ابعاد بزرگ و فشار گاز مطابق $FS=1$ از آنالیز پایداری شیب بدست آمده است. نتایج این مقاله اهمیت مدیریت گاز در یک سطح قابل قبول زیر پوشش در محل دفن علمی پسماند شهری را نشان می‌دهد [۱۰].

PENG و همکاران در سال ۲۰۱۶ گسیختگی شیب محل دفن علمی پسماند شن زن در کشور چین را مورد مطالعه قرار دادند. این مورد به عنوان یک نمونه برای مطالعه خصوصیات تغییر شکلی و حالت‌های گسیختگی شیب به وسیله سطح تراز آب بالا مورد استفاده قرار گرفت. یک سیستم مانیتورینگ برای مشاهده روند گسیختگی شیب مورد استفاده قرار گرفت. اندازه گیری های محلی حاکی از این بود که لغزش محل دفن علمی پسماند ناشی از لغزش عمیق در امتداد سطح مشترک ضعیف سیستم لایه‌ای مرکب در کف محل دفن علمی پسماند بوده است. تراز آب بالا هم به عنوان یک فاکتور مهم گسیختگی مورد توجه قرار گرفت. برای محاسبه تغییر مکان‌های برشی سطح مشترک در سیستم لایه‌ای ژئوسنتتیک یک سری تست-های برش مستقیم عددی انجام شد. براساس نتایج عددی سیستم مرکب ساده سازی شد و تکنیک مدل سانتریفیوژ برای ارزیابی کمی تاثیر سطح آب در ناپایداری محل دفن علمی پسماند استفاده شد [۱۹].

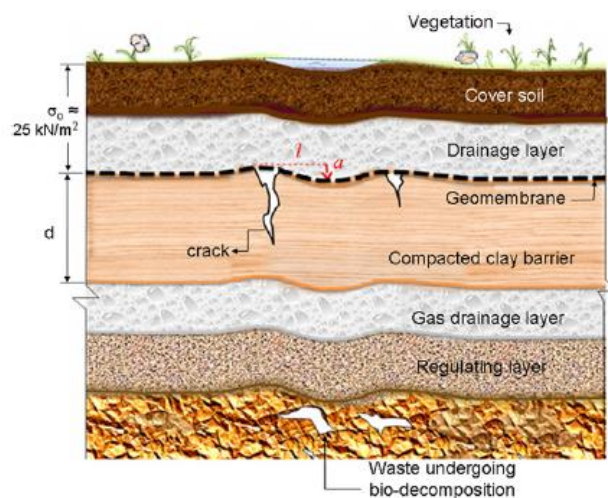
Yunmin Chen و همکاران در سال ۲۰۰۹ کرنش‌های بوجود آمده در سیستم‌های لایه‌ای ژئوسنتتیکی در محل دفن علمی پسماندهای گسترش یافته مورد ارزیابی قرار داد. توزیع کرنش در مصالح ژئوسنتتیکی در طول سیستم لایه‌ای مرکب محل دفن علمی پسماند گسترش یافته تحقیق شده است. که شامل کرنش‌ها در مصالح ژئوسنتتیک نتیجه از نشست کلی و تغییر

مکان جانبی محل دفن پسماند نشست نامتقارن اطراف دیواره و خروج گاز است. کرنش‌های مجاور مصالح ژئوسنتتیک مورد بحث قرار گرفت. براساس نتایج تست‌های کششی و طبق شرایط طراحی برای سیستم‌های لایه‌ای پیشنهاد داده شده بود. ضمناً اندازه‌گیری‌های علمی اجازه داد کنترل کرنش در مصالح ژئوسنتتیک استفاده شده در محل دفن علمی پسماند مهندسی مورد نظر انجام شود [۱۱].

Dixon و sia در سال ۲۰۱۲ تکنیک مدلسازی عددی برای پاسخ سیستم لایه‌ای محل دفن علمی پسماند به اجرای پسماند در حالت سرویس پذیری را مورد امتحان قرار دادند این مطالعه بر اساس روابط مونت کارلو انجام شده است. پارامترهای کلیدی برای مدلسازی عددی از اطلاعات آماری و تست‌های آزمایشگاهی متعدد که از گذشته باقی مانده است به دست آمده است. خروجی‌ها شامل: تغییر مکان برشی نسبی مولفه‌های لایه‌ای و کرنش‌های کششی لایه-های ژئوسنتتیک در پاسخ به جایگذاری پسماند در برابر شیب جداره بدست آمده است. از جمله نتایج این تحقیق می‌توان به اینکه تغییر مکان‌های نسبی بزرگ هنگامی که شیب محل دفن علمی پسماند تندتر و پسماند سخت تر باشد اتفاق می‌افتد و کرنش‌های کششی در المان‌های ژئوسنتتیک وقتی بیشتر است که شیب محل دفن علمی پسماند تندتر پسماند متراکم تر و لایه پسماند نازک تر باشد [۱۳].

Tano در سال ۲۰۱۶ گسترش نتایج محاسبات عددی که می‌تواند تاثیر گذاشته شود به وسیله فشار مختلف و رفتار کششی ژئوسنتتیک‌های چند لایه و به وسیله فرضیات کرنش نرم-شوندگی در فصل مشترک بین ژئوسنتتیک‌ها مورد بررسی قرار دادند. چندین مدل عددی با استفاده از فلک دو بعدی روی یک محل دفن علمی پسماند گسترش یافته که شامل ۴ لایه ژئوسنتتیک و ۶ فصل مشترک بود انجام گرفته است. به وسیله مدلسازی عددی اندرکنش بین چندین لایه ژئوسنتتیک و همچنین سختی محوری غیرخطی ژئوسنتتیک‌ها میان یک سری آزمایش‌های کشش غیر محوری مورد تحقیق قرار گرفت. نتایج عددی نشان می‌دهد که اگر فشارهای محوری ژئوسنتتیک و خصوصیات کششی شبیه باشند سپس نیروی کششی حداقل خواهد بود که نشان می‌دهد نیروی فشاری مشخصی در ژئوسنتتیک‌ها وجود دارد نتایج همچنین نشان می‌دهد که نادیده گرفتن کرنش نرم‌شوندگی در سطح مشترک بین ژئوسنتتیک‌ها در تنش‌های برشی سطح مشترک و تغییر مکان‌های ژئوسنتتیک سطح مشترک و توزیع نیروی ژئوسنتتیک تاثیر می‌گذارد. همچنین کرنش نرم‌شوندگی نواحی غیرپایدار در طول سطح مشترک جایی که تغییر مکان‌های بزرگ اتفاق می‌افتد را اجازه ارزیابی می‌دهد [۲۰].

Divya و همکاران در سال ۲۰۱۲، با مطالعه رفتار تغییر شکل پوشش‌های محل‌های دفن پسماند که از رس ساخته شده، اثر ژئوممبرین بر آن‌ها را بررسی کردند. سپس به وسیله یک تست آزمایشگاهی تاثیر ژئوممبرین بر مقاومت سیستم پوشش لندفیل در برابر نشست‌های نامتقارن تخمین زدند. آنگاه عملکرد لایه رس با و بدون ژئوممبرین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که تاثیر عایق بودن ژئوممبرین حتی پس از ایجاد ترک ۰/۶ متر تا ۱ متر لایه رس از بین نرفته و سیستم پوشش لندفیل همچنان بی‌نقص باقی‌مانده است [۲].



شکل ۲-۵ مقطع شماتیک سیستم پوشش لندفیل [۲]

خلاصه و نتیجه‌گیری فصل :

در این فصل ابتدا مروری بر محل‌های دفن پسماند در ایران صورت گرفت. و محل‌های دفن علمی پسماند که نیز در ایران وجود داشتند مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه مطالعات انجام شده روی محل‌های دفن علمی پسماند مرور شد. در انتها نیز مروری بر استفاده نرم‌افزارهای اجزا محدود در تحلیل عملکرد سیستم پوشش لندفیل صورت گرفت.

نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که نرم‌افزار آباکوس می‌تواند برای مدلسازی محیط لایه‌ای لندفیل مورد استفاده قرار گیرد.

فصل سوم

ساختمان محل دفن علمی پسماند

۳-۱- ساخت محل دفن بهداشتی پسماند

دفن بهداشتی عبارت است از تخلیه پسماند در داخل ترانشه، متراکم کردن آن و پوشاندن آن با خاک به روش کاملاً سیستماتیک به نحوی که پسماند کاملاً در داخل کپسول محصور شود و امکان نفوذ شیرابه و گاز به اطراف سلول وجود نداشته باشد. در مکان‌های دفن، سیستم‌های جمع‌آوری شیرابه و گاز همچنین تصفیه شیرابه پیش‌بینی می‌شود.

یک محل دفن علمی پسماند بهداشتی شامل یک منطقه قرارگیری پسماند، سیستم کنترل کننده سطح، سیستم مشاهده و کنترل بیوگاز، سازه‌هایی برای جمع‌آوری بیوگاز، سازه‌ایی برای روان آب سطحی و سازه (سیستم) کنترل آن، گودال ته نشینی، سیستم‌های لایه‌ایی، سیستم مدیریت سازه و منطقه‌ای به شعاع ۹۰ متر به عنوان حریم مکان دفن پسماند می‌باشد [۲۵].

۳-۲- انواع پسماند

۳-۲-۱- انواع پسماند از نظر منبع تولید

- پسماند عادی (شهری و شبه شهری)

- پسماند پزشکی (بیمارستانی)

- پسماند صنعتی

- پسماند کشاورزی

- پسماند آموزشی

پسماند الکترونیکی

۳-۲-۲- انواع پسماند از نظر ماهیت

- پسماند عادی

- پسماند ویژه (سمی و بیماری زا، قابلیت انفجار، قابلیت اشتعال، قابلیت خوردگی)

۳-۳- انواع محل دفن پسماند برحسب نوع پسماند

محل‌های دفن پسماند می‌توانند به چهار دسته اصلی تقسیم‌بندی شوند که عبارتند از محل دفن پسماند بهداشتی (بیمارستانی)، محل دفن پسماند جامد شهری، محل دفن نخاله‌های ساختمانی، محل دفن مواد زائد صنعتی

۳-۳-۱- محل دفن بهداشتی

محل دفن بهداشتی با استفاده از لایه‌های رسی به منظور جداسازی پسماند از محیط اطراف ساخته می‌شود. محل دفن بهداشتی در مناطقی که حداکثر نیاز به عایق کردن پسماند دور انداخته شده از محیط است استفاده می‌شود تا آن منطقه به عنوان یک منطقه امن مورد تأیید قرار گرفته شود. پسماند وقتی به صورت کامل تجزیه شدند باید مورد بررسی از جهات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی قرار گیرند تا امن باشند. تکنولوژی مدرن این قابلیت را در محل دفن علمی پسماندهای بهداشتی امکان پذیر کرده است که از نشت مواد خطرناک به محیط اطراف جلوگیری کند. دو روش معمول در ساخت محل دفن بهداشتی شامل روش ترانشه‌ای و روش منطقه‌ای است که هر دو روش یک سلول اصلی پر شده از پسماند متراکم دارا هستند.

۳-۳-۲- محل دفن پسماند جامد شهری

این نوع محل دفن از لایه‌های ژئوسنتتیک برای عایق کردن پسماند از محیط اطراف استفاده می‌کند و شامل جمع‌آوری پسماندهای خانگی و مدیریت کردن آنها است.

۳-۳-۳- محل دفن نخاله‌های ساختمانی

ساخت و یا تخریب سازه‌هایی از قبیل راه‌ها، پل‌ها و ساختمان‌ها مصالحی از قبیل گچ، چوب، آسفالت، آجر، سنگ، شیشه، بتن و دیگر مصالح ساختمانی را تولید می‌کنند. این مواد

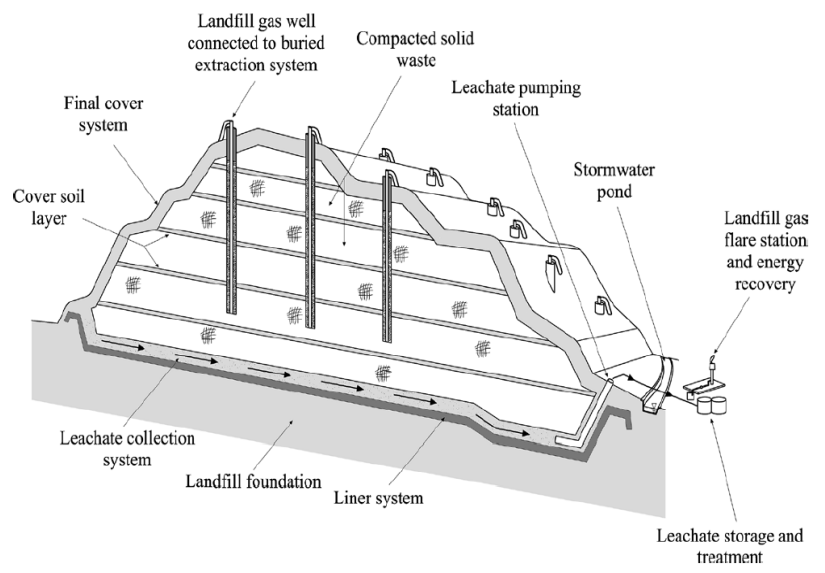
باعث ایجاد آلودگی در محیط می‌شوند که ضروری است در محیطی هایی مناسب دفن شوند. همچنین بخشی از این حجم نخاله‌های ساختمانی را می‌توان بازیافت کرد که هم از حجم پسماند می‌کاهد هم درآمد زا می‌باشد.

۴-۳-۳- محل دفن مواد زائد صنعتی

زباله‌های صنعتی اغلب به وسیله کارخانه‌ها تولید می‌شوند و گاز متان ایجاد می‌کنند که باید پیامدهای جانبی آن مورد توجه قرار گیرد. تجزیه این زباله‌ها انرژی پاک و مفید را می‌تواند تولید کند. اگرچه از بازیافت این پسماندها می‌توان تولیدات مفیدی به وجود آورد.

۴-۳- ساختمان لندفیل علمی و اجزا اصلی آن

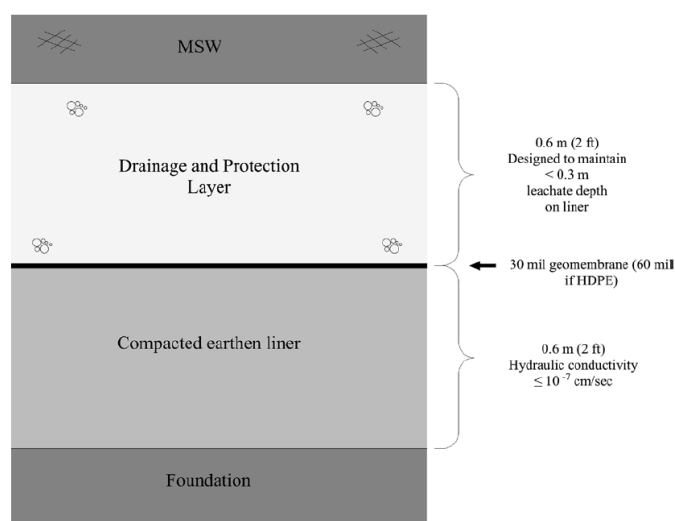
شکل زیر طرح کلی یک لندفیل را نشان می‌دهد که اجزا مختلف لندفیل در روی آن مشخص شده است.



شکل ۳-۱ طرح شماتیک یک لندفیل [۲۱]

۳-۴-۱- لایه های نفوذناپذیر (لاینها)

لایه های نفوذناپذیر یا عایق بعنوان اولین مانع در برابر جریان شیرابه عمل می کنند و به این دلیل نقش بسیار مهمی در کارایی لندفیل دارند. مهمترین ویژگی این لایه ها نفوذناپذیری بسیار پایین آنهاست تا از این طریق حداقل مقدار شیرابه را از خود عبور دهند. معمولاً ضریب نفوذپذیری لایه های عایق لندفیل ها می بایست کمتر از 10^{-9} باشد. پروفیل مرسوم از این لایه ها در شکل ۳-۲ آمده است.



شکل ۳-۲ پروفیل یک سیستم عایق بندی استاندارد کف لندفیل [۲۱]

۳-۴-۲- لایه های زهکش

این لایه ها عموماً از جنس شن و ماسه و از نوع درشت دانه تشکیل شده اند به همین دلیل لایه ای با نفوذ پذیر بالایی هستند تا بتوانند شیرابه را به نحوی از خود عبور دهند. شیرابه پس از عبور از لایه های خاکی وارد لوله زهکش شده و به وسیله پمپ به خارج از لندفیل هدایت میشوند. از مصالح ژئوسنتتیکی نیز مانند (ژئونت و ژئوتکستایل) برای زهکشی می توان استفاده کرد.



شکل ۳-۳ لایه های زهکش معدنی در کف لندفیل [۲۱]

۳-۴-۳- لایه های محافظ یا جداکننده

از این پوشش‌ها جهت محافظت از لایه‌های عایق مثل ژئوممبرین استفاده می‌کنند همچنین جهت جدا کردن لایه‌های مختلف در کف و جداره نیز کاربرد دارند.



شکل ۴-۳ نصب لایه محافظ (ژئوتکستایل) در کف لندفیل [۲۱]

۳-۴-۴- سیستم جمع آوری شیرابه

شیرابه تولیدی در مدفن باید با سیستم مناسبی جمع آوری گردد. این کار با تعبیه شیب مناسب در کف مدفن و استفاده از لایه‌های نفوذپذیر که به سرعت رطوبت و شیرابه را از خود عبور می‌دهد و به لوله‌های زهکش می‌رساند انجام می‌شود. بسته به ابعاد مدفن از شبکه لوله های زهکش فرعی و اصلی استفاده شده و شیرابه تولید شده در مدفن به سمت یک حوضچه که در انتهای شبکه لوله‌های زهکش قرار دارد هدایت می‌گردد. در صورتی که مدفن در یک اقلیم خشک ساخته شده و شیرابه حاصل از رطوبت زباله‌ها و فعل و انفعالات شیمیایی و بیولوژیک کم باشد ممکن است ارتفاع یا حد شیرابه جمع شده در حوضچه در طول عمر مدفن زیاد نباشد. در این صورت شیرابه در کف مدفن باقیمانده و به مرور زمان از میزان الایندگی آن کم می‌شود. اگر حجم جمع شده قابل توجه باشد باید آن را با پمپاژ از مدفن خارج کرده و به روش های گوناگون تصفیه نمود[۲۱].



شکل ۳-۵ سیستم جمع آوری شیرابه تولید شده در محل دفن بهداشتی[۲۱]

۳-۴-۵- سیستم جمع آوری بیوگاز

واکنش‌های هوازی و بی‌هوازی در داخل مدفن تولید گاز می‌نمایند و تقریباً ۹۸ درصد گاز تولید شده دی اکسید کربن (CO_2) و متان (CH_4) است. از هوا سنگین‌تر است بنابراین به سمت پایین حرکت کرده و همراه شیرابه خارج می‌شود (CH_4) سبکتر از هوا بوده و

به سمت بالا حرکت می‌کند تا زمانی که بالای مدفن پوشانده نشده این مسئله مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی بعد پایان عمر مدفن و پوشاندن آن باید سیستم مناسبی برای جمع‌آوری و تخلیه گاز در مدفن تعبیه شود. در برخی موارد گاز (CH_4) برای سوزاندن انرژی استفاده می‌شود. در غیر این صورت گازهای جمع‌آوری شده از طریق دودکش‌های مناسب وارد اتمسفر می‌شود. بدین منظور چاه‌هایی بصورت قائم یا افقی در محل دفن زباله، جهت استخراج گازهای لندفیل، حفر می‌شود تا بعد از رسیدن به پوشش نهایی لندفیل به اتاق‌های تصفیه گاز منتقل شود. بعد از فرآیند تصفیه انرژی تولیدی ناشی از این گازها می‌توان استفاده‌های مختلفی از قبیل تولید الکتریسته و سوخت ماشین آلات سنگین انجام داد.



شکل ۳-۶ تعبیه لوله‌های خروجی بیوگاز در کف دفن بهداشتی [۲۱]

۳-۴-۶- پوشش نهایی مدفن

با پرشدن مدفن بهره‌برداری از آن به پایان می‌رسد. مواد زائد جامد باید با پوشش متشکل از چندین لایه پوشانده شود و بر روی آن فضای سبز ایجاد گردد. پایان بهره‌برداری از مدفن به معنای پایان عمر مدفن نیست. عمر مدفن تا ده‌ها سال پس از ایجاد پوشش نهایی ادامه می‌یابد و در طول این مدت مدفن به عنوان یک راکتور بیولوژیک عمل کرده و فعل و انفعالات شیمیایی و بیولوژیکی به صورت هوازی و بی‌هوازی در داخل مدفن ادامه می‌یابد.

۳-۴-۷- سیستم جمع آوری آب های سطحی در پوشش نهایی

برای کاهش شیرابه تولیدی، باید آب های سطحی درون و پیرامون لندفیل جمع آوری و به بیرون از کارگاه هدایت شود. بدلیل اینکه لندفیل ها همیشه کنار آبروهای طبیعی ساخته نمی شوند باید راه های مناسب و کم هزینه ایی برای هدایت آب های سطحی در نظر گرفته شود. محاسبه دبی آب های جمع آوری شده در طرح یک سیستم، بسیار مهم است. همچنین طراحی باید به گونه ایی انجام پذیرد که از فرسایش خاک و شسته شدن آن جلوگیری به عمل آید.



شکل ۳-۷ استفاده از سایت لندفیل جهت تولید انرژی خورشیدی [۲۱]

۳-۵- نتیجه گیری

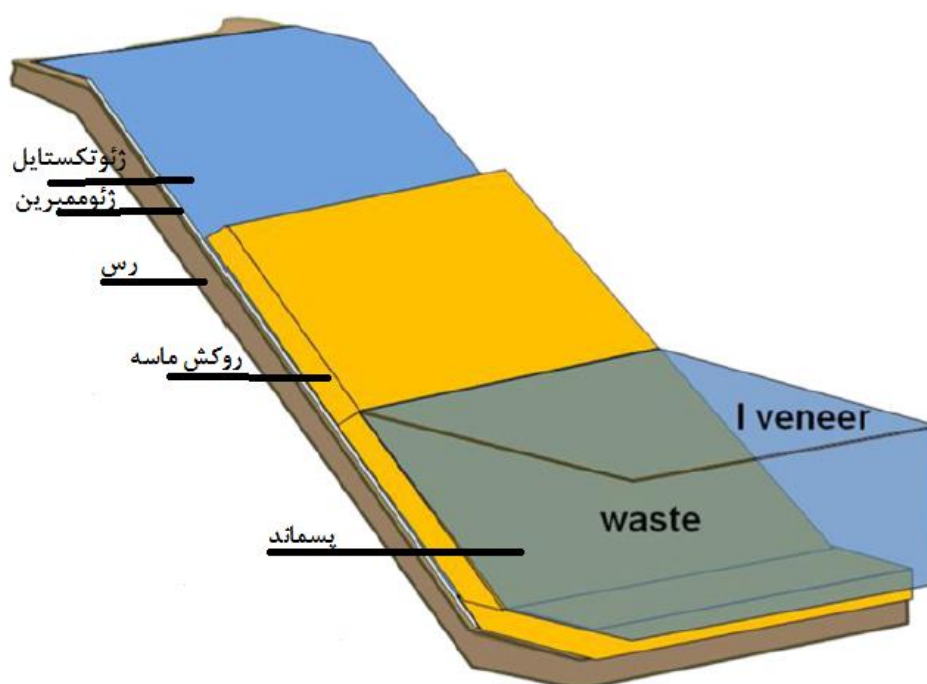
بهترین روش دفن پسماند استفاده از لندفیل های عملی- بهداشتی می باشد. چرا که از نشت شیرابه تولیدی پسماندها به واسطه چندین لایه نفوذناپذیر به سفره آب زیرزمینی جلوگیری می کند. در نتیجه مانع از آلودگی آب های زیرزمینی می شود. شیرابه تولیدی زهکش، تصفیه و جهت مصارف کشاورزی استفاده می شود. این لندفیل ها همچنین از انتشار گازهای مضر و بوی تعفن نیز جلوگیری کرد و با جمع آوری آن، آن را تبدیل به سوخت مصرفی می کنند. از سایت این لندفیل ها پس پر شدن آنها و اجرای کاور نهایی می توان جهت فعالیت های ورزشی و صنعتی (نیروگاه خورشیدی) و ... استفاده کرد.

فصل چهارم

سیستم پوشش جداره لندفیل

۵-۱- وظائف سیستم پوشش جداره لندفیل

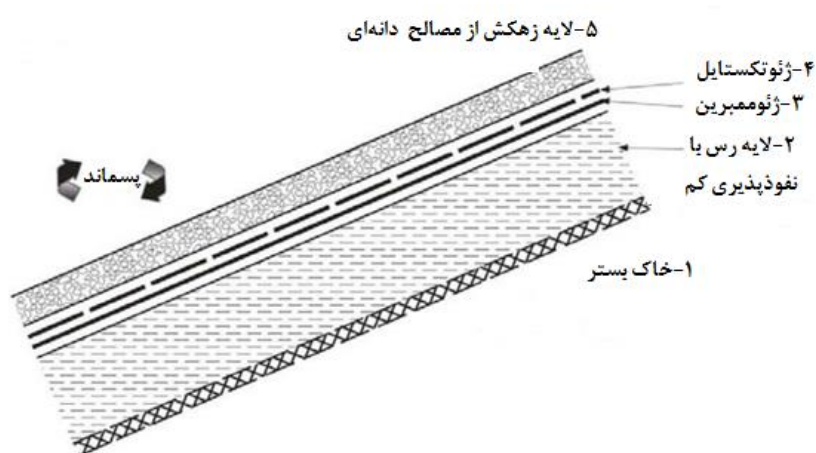
عملکرد سیستم پوششی جداره لندفیل عموماً از دو جهت مورد بحث قرار می‌گیرد. ابتدا شیب ترانشه‌های گودبرداری شده، جداره لندفیل باید در برابر نیروهای خارجی پایدار بوده و در اثر نیروی وزن جسم پسماند و همچنین نیروهای هیدروستاتیکی ناشی از حضور احتمالی شیرابه و یا آب‌های سطحی و زیر سطحی پشت جداره لندفیل تعادل و پایداری خارجی یا کلی خود را حفظ کند. همچنین این سیستم عایق‌بندی چند لایه باید در برابر تنش‌های اعمالی دوام خود را حفظ کند و در طول عمر خدمت‌پذیری خود بی نقص و نفوذناپذیر باقی بماند. زیرا در صورت نقص در سیستم عایق جداره نشت شیرابه و در نتیجه آلودگی خاک اطراف و بتدریج آلودگی سفره یا آب‌های سطحی مجاور رخ خواهد داد و عملکرد لندفیل ناقص خواهد بود. لذا در طراحی‌ها همواره به دو امر پایداری کلی برای شیب جداره و پسماند قرار گرفته بر روی آن و نیز دوام لایه‌های عایق در برابر تنش‌های اعمالی و کنترل آن با تنش‌های تحملی مصالح پرداخته می‌شود. شکل ۴-۱ شماتیکی از جداره لندفیل مرسوم آمده است.



شکل ۵-۱ شماتیک سیستم عایق جداره لندفیل [۷]

۵-۲- ساختمان جداره لندفیل

مطابق شکل ۴-۲ پوشش جداره محل دفن علمی پسماند دارای ۵ مولفه می‌باشد.



شکل ۵-۲ پنج مولفه پوشش جداره لندفیل قرار گرفته در برابر پسماند [۲۱]

۵-۲-۱- لایه (۱) خاک بستر

خاک طبیعی و دستنخورده منطقه است که ضریب نفوذپذیری، و پارامترهای مقاومتی آن توسط آزمایشات در محل تعیین می‌شوند و گاهی در طراحی‌ها لایه (۱) اصلاً لحاظ نمی‌کنند و بستر را یک لایه سخت و بدون تغییر شکل در نظر می‌گیرند.

۵-۲-۲- لایه (۲) رس متراکم

لایه رس متراکم شده عمدتاً از خاک طبیعی که غنی از رس می‌باشد تشکیل شده است. اگرچه می‌تواند شامل مصالح فرآوری شده از قبیل بنتونیت باشد. لایه رس متراکم شده عمدتاً از چند لایه تشکیل می‌شود که ضخامت هر لایه آن در حالت متراکم شده عموماً ۱۵۰ میلیمتر است. و در کل ضخامت این لایه به ۱ متر باید برسد.

خصوصیات مصالح استفاده شده برای ساخت CCL در سیستم‌های پوشش جداره که باید ضریب هیدرولیکی کمتر از 10^{-7} را دارا باشند عبارتست از:

درصد ریزدانه < 30 تا ۵۰ درصد

شاخص خمیری < 7 تا ۱۵ درصد

درصد شن > 20 تا ۵۰ درصد

حداکثر سائز ذرات ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر

اگر مصالح مناسب در دسترس نبود می‌توان از مخلوط خاک‌های محلی با رس تجاری و بنتونیت استفاده کرد تا به ضریب هیدرولیکی کم رسید. مقدار کمی سدیم بنتونیت (عموماً ۲ تا ۶ درصد) ضریب هیدرولیکی را چندین برابر کاهش می‌دهد [۱۵].

۵-۲-۳- لایه (۳) عایق

لایه عایق به عنوان مهم‌ترین لایه در سیستم پوشش نهایی محسوب می‌شود. دو نقش مهم لایه عایق عبارتند از:

۱- جلوگیری از خروج شیرابه ۲- جلوگیری از ورود آب

لایه عایق باید حداقل نفوذ آب را در میان سیستم پوشش به وسیله بلوکه کردن آب و یا زهکش آب در لایه‌های بالایی داشته باشد. هد آب به وجود آمده به وسیله جاری شدن آب سطحی با تبخیر شدن و یا زهکشی داخلی از بین می‌رود.
از مصالح مختلفی برای این لایه استفاده می‌شود:

۱- ژئوممبرین ۲- GCL ۳- CCL

ممکن است از این مصالح بصورت تکی و یا ترکیبی استفاده شود. انتخاب مصالح ترکیبی به صورت زیر می‌باشد:

۱- GM/GCL ۲- GM/CCL ۳- GM/CCL/CCL

ژئوممبرین قسمت اساسی اکثر لایه‌های عایق می‌باشد. عمومی ترین نوع‌های ژئوممبرین استفاده شده در جداره لندفیل در زیر آورده شده اند:

۱- پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE)

۲- پلی اتیلن بسیار انعطاف پذیر (VFPE)

۳- پلی پروپیلن انعطاف پذیر (FPP)

۴- پلی ونیل کلراید (PVC)

همه این ژئوممبرین‌ها با سطوح صاف و برجسته (بافته شده) در دسترس هستند. به منظور افزایش اصطکاک و مقاومت برشی وقتی که روی شیب زیاد جداره استفاده می‌شوند [15].

شرایط عمومی که یک ژئوممبرین در پوشش نهایی انتظار می‌رود که داشته باشد تا ایمن باشد عبارتست از:

۱- تامین عایق هیدرولیکی در برابر شیرابه تولیدی پسماند و یا لایه خاک با نفوذ پذیری کم

۲- عمل به عنوان عایق گاز و آب در طول عمر مفید آن و زمان نگه داری پس از ساخت

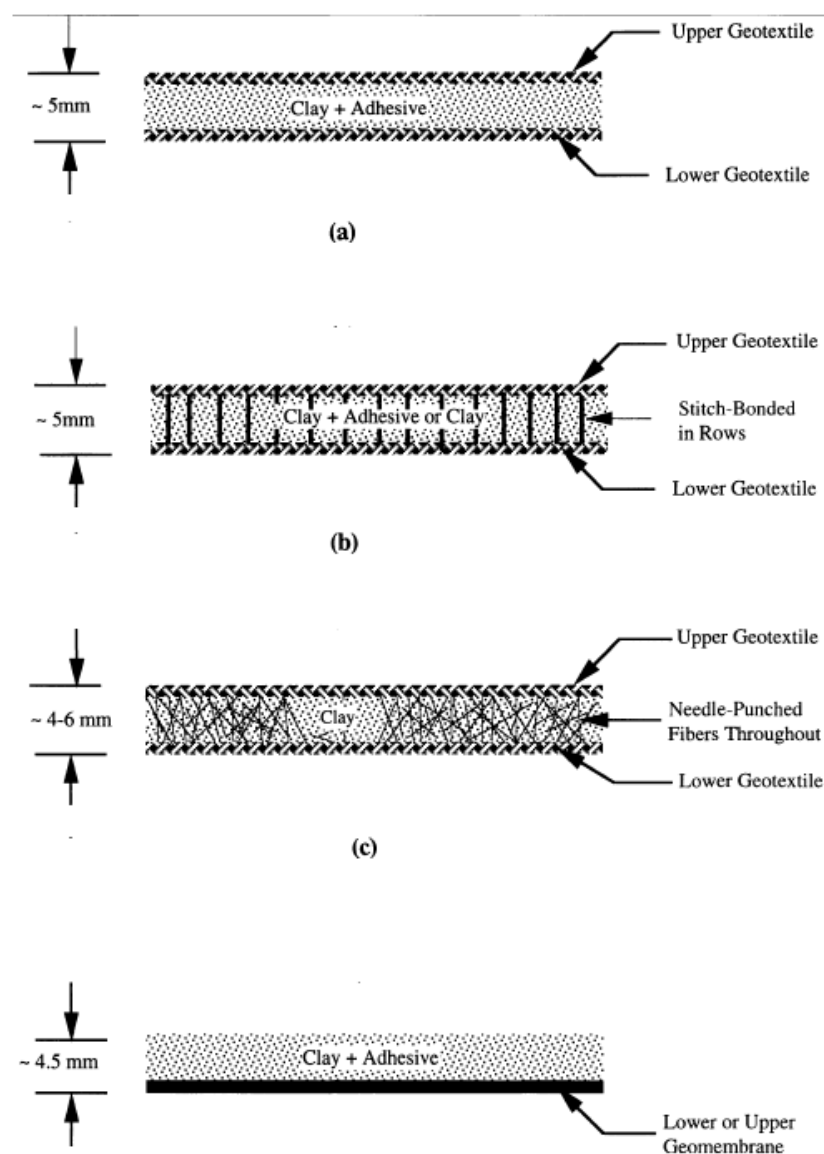
۳- سازگار بودن با نشست کلی و نشست نامتقارن

۴- تامین مقاومت اصطکاکی کافی روی سطوح آنها با مصالح مجاور که پایداری شیب را تضمین می‌کند.

۵- تامین تماس با CCL و GCL اگر به عنوان لایه ترکیبی استفاده شود [۱۵].

۵-۲-۳-۱- لایه های عایق مرکب رسی-ژئوسنتتیکی

شامل رل یا لایه‌هایی از بنتونیت که بین دو ژئوتکستایل قرار دارد. بنتونیت مهم‌ترین مولفه GCL ها می‌باشد و دارای ضریب هیدرولیکی کمی است. ضریب هیدرولیکی اکثر سدیم بنتونیت در GCL ها در محدود است. تعدادی از GCL های تولید شده طبق شکل ۴-۳ می-باشد [15].



شکل ۳-۵ انواع GCL ها [۱۵]

۵-۲-۴- لایه محافظ

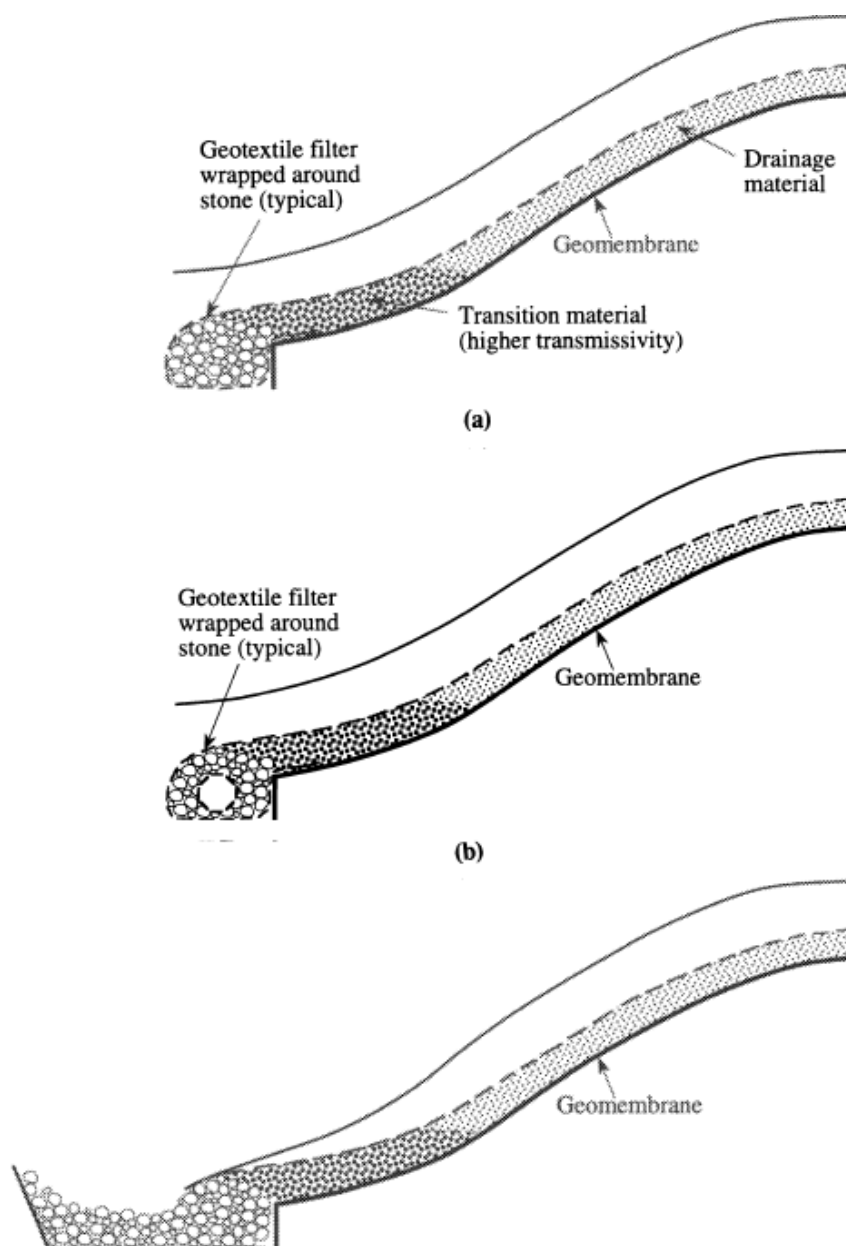
این لایه برای محافظت از لایه عایق ژئوممبرین در برابر فرسایش و سوراخ شدگی ناشی از مصالح و پسماندها عموماً از جنس ژئوتکستایل به کار برده می‌شود. همچنین ژئوتکستایل می-

تواند در نقش زهکش عمل کند و به روند خروج شیرابه از محل دفن پسماند کمک کند. ژئوتکستایل‌ها عموماً ضخامتی در حدود ۷-۸ میلیمتر دارند و بصورت بافته نشده به کار می-روند [۱۵].

۵-۲-۵- لایه زهکش

لایه زهکش این لایه‌ها عموماً از جنس شن و ماسه و از نوع درشت دانه تشکیل شده‌اند به همین دلیل لایه‌ای با نفوذپذیری بالایی هستند تا بتوانند شیرابه را به نحوی از خود عبور دهند. شیرابه پس از عبور از لایه‌های خاکی به سمت سیستم زهکش هدایت شده و از آنجا زهکش شده و به وسیله پمپ به خارج از لندفیل هدایت می‌شوند. از مصالح ژئوسنتتیک نیز مانند (ژئوت، ژئودرین) برای زهکشی می‌توان استفاده کرد.

کنترل تخلیه آب از لایه زهکش از جزئیات مهم در طراحی این لایه می‌باشد زیرا آب باید آزادانه از لایه زهکش با شیب مناسب تحت نیروی ثقلی به سمت پایین جداره تخلیه شود. به انتهای سیستم زهکش که در پایه سیستم پوشش قرار می‌گیرد پاشنه زهکش می‌گویند. اگر پاشنه زهکش دچار مشکلاتی نظیر گرفتگی، یخ زدگی و حتی ظرفیت کافی نداشته باشد، پاشنه اشباع خواهد شد و هد شیرابه بالا می‌رود و باعث افزایش فشار آب حفره ای می‌شود. در نتیجه پتانسیل ناپایداری را برای شیب افزایش می‌دهد. بنابراین لوله‌های زهکش در طول پنجه باید ظرفیت کافی و محافظت در برابر یخ زدگی را داشته باشند. همچنین فیلتر کافی برای جلوگیری از گرفتگی مسیر زهکش باید تعبیه گردد [۱۵].



شکل ۴-۵ سیستم‌های زهکش جداره و نحوه اتصال به سیستم زهکش در کف لندفیل [۱۵]

۵-۲-۱- مصالح مورد استفاده

- مصالح شنی

مصالح شنی که برای زهکش استفاده می‌شود ماسه و شن است. اغلب شن بعنوان مصالح زهکش و ماسه بعنوان مصالح فیلتر کاربرد دارد.

• مصالح ژئوسنتتیک

ژئوسنتتیک‌ها شامل یک هسته زهکش و یک فیلتر ژئوتکستایل می‌تواند به جای مصالح خاکی برای لایه زهکش استفاده شود. فیلتر ژئوتکستایل باید بعنوان ترکیب فیلتر و جداکننده استفاده شود.

۵-۲-۲- جزئیات طراحی

• مصالح شنی

اگر از ترکیب ماسه و شن به عنوان لایه زهکش استفاده شود، لایه زهکش باید خصوصیات زیر را داشته باشد:

- حداقل ضخامت ۳۰۰ میلیمتر و حداقل شیب ۳٪

- ضریب هیدرولیکی مصالح زهکش نباید کمتر از ۰/۰۱ سانتیمتر بر ثانیه در زمان نصب باشد.

- ذرات نباید به اندازه‌ای درشت باشد که باعث خسارت به ژئوممبرین شود و همچنین نباید به اندازه‌ای ریز باشد که باعث گرفتگی یا انتقال ذرات به ناحیه بیرون لایه زهکش شود.

- یک لایه فیلتر باید بین لایه زهکش و لایه محافظ ریزدانه قرار گیرد تا از گرفتگی لایه زهکش جلوگیری شود [۱۵].

در شکل ۴-۴ انواع مختلف خروجی زهکش آمده است. در حالتی که ژئوتکستایل در لایه پوشش نهایی استفاده شود و در حالتی که فاقد ژئوتکستایل باشد. در دو حالت پاشنه زهکش نباید با مصالح ریزدانه دچار گرفتگی شود و همچنین در فصل زمستان از یخ زدگی باید مصون بماند [۱۵].

• مصالح ژئوسنتتیک

اگر ترکیب ژئوسنتتیک برای لایه زهکش انتخاب شود باید خصوصیات زیر را دارا باشد:

- ضریب هیدرولیکی نباید کمتر از $0/01$ سانتیمتر بر ثانیه باشد.

- لایه فیلتر ژئوسنتتیک روی مصالح زهکش قرار گیرد تا از آب گرفتگی لایه جلوگیری شود.

- اگر ژئوسنتتیک بستر زیر لایه زهکش به منظور افزایش اصطکاک و حداقل کردن خزش بین لایه زهکش و ژئوممبرین و جلوگیری از پیشرانی به وسیله تغییر شکل ژئوممبرین در ژئونت یا هسته زهکش، مورد نیاز باشد استفاده شود [۱۵].

فصل پنجم

مروری بر روش‌های مدل‌سازی

عددی جداره لندفیل

۶-۱- روش های عددی

روش های عددی در حل مسائل مهندسی می توانند کاربردهای زیادی داشته باشند. در گذشته به علت نبود امکانات رایانه ای کافی و همچنین زمان بر بودن انجام محاسبات بیشتر از روابط تجربی استفاده می شد. اساس روش های عددی تبدیل یک محیط با بی نهایت درجه آزادی به محیطی با درجه آزادی محدود در تعداد معینی از نقاط محیط است. موقعیت، تعداد و ارتباط نقاط یاد شده توسط مش بندی مشخص می شود.

۶-۱-۱- روش های مرزی یا انتگرالی (روش گسسته)

-المان مجزا

- روش های شبکه شکستگی های مجزا

- روش ترکیبی (هیبریدی)

۶-۱-۲- روش های محیطی یا دیفرانسیلی (روش های پیوسته)

۶-۱-۲-۱- روش المان محدود

روش المان محدود (Finite Element Method) به صورت شناخته شده امروزی، ابتدا در سال ۱۹۵۶ توسط سه نفر از پژوهشگران به نام های کلوق، تاپ ترنر و مارتین ارائه شد. این مقاله، کاربرد روش اجزاء محدود را در خرپاها و ورق مثلثی با بار خوابیده نشان می دهد و به عنوان یکی از پیشرفت های کلیدی در توسعه روش اجزاء محدود در نظر گرفته می شود. در حقیقت، روش اجزاء محدودی که این پژوهشگران ارائه نمودند همان روشی است که امروزه تحت عنوان روش ماتریسی برای حل سازه ها مورد استفاده قرار می گیرد. روش فوق الذکر همراه با توسعه روزافزون رایانه های دیجیتالی با سرعت های بالا، موجب گسترش کاربرد روش اجزای محدود گردید و راه را برای حل مسائل پیچیده تر از جمله مسائل تحلیل ارتجاعی ورق هموار

این روش برای شرایط همگن و مسائل الاستیک خطی مفیدتر است. در مورد محیط هایی که نسبت سطح جانبی به حجم آن کوچک است، روش عناصر مرزی زیاد مناسب نیست زیرا برای مدل سازی محدوده مورد نظر، تعداد زیادی عنصر مورد نیاز است. در چنین مواردی روش دیگری که در آن فقط سطح تونل یا حفره زیرزمینی مدل سازی می شود، بکار می رود. در این روش، میزان داده های لازم برای مدل سازی محیط در حد قابل توجهی کاهش می یابد و در عین حال، نامحدود بودن توده سنگی به طور خودکار مدنظر قرار می گیرد. نرم افزارهای AMINE3D, MAP3D, بر مبنای روش عناصر مرزی سه بعدی بنا شده اند و نقطه آغاز تحلیل تنش در مواردی هستند که در آن ها هندسه سه بعدی حفره، اهمیت دارد [۳۰].

۶-۲- آشنایی با نرم افزار ABAQUS

آباکوس یک مجموعه از برنامه های مدل سازی بسیار توانمند می باشد که مبتنی بر روش المان محدود، قابلیت حل مسائل، از یک تحلیل خطی ساده تا پیچیده ترین مدل سازی غیرخطی را دارا می باشد. روش المان محدود که به اختصار FE نامیده می شود، روش عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل انتگرال ها است. اساس کار این روش یا حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده سازی آنها به معادلات دیفرانسیل معمولی، که با روش های عددی مثل اویلر حل می شوند، می باشد. این نرم افزار دارای مجموعه المان های بسیار گسترده ای می باشد که هر نوع هندسه ای را می توان به صورت مجازی توسط این المان ها مدل کرد. همچنین دارای مدل های مواد مهندسی بسیار زیادی است که در مدل سازی انواع مواد با خواص و رفتار گوناگون نظیر خاک، فلزات، پلیمرها، کامپوزیت ها، بتن مسلح شده، فوم های فبری و شکننده، قابلیت بالایی دارد. با توجه به اینکه آباکوس یک نرم افزار مدل سازی عمومی و گسترده می باشد، استفاده از آن تنها محدود به تحلیل های سازه و مکانیک جامدات نمی شود. با استفاده از این نرم افزار می توان مسائل مختلفی نظیر مکانیک خاک، انتقال حرارت، اکوستیک و پیزو الکتریک را نیز مورد مطالعه قرار داد. استفاده از نرم افزار آباکوس با وجود اینکه قابلیت های بسیار گسترده ای را در اختیار کاربر قرار می دهد، کار نسبتاً آسانی است. بنابراین می شود

پیچیده‌ترین مسائل را چه از نظر هندسه و چه از نظر مدل رفتاری، در آباکوس مدل کرد. در اغلب مدلسازی‌ها، حتی مدل‌های با درجه غیرخطی بالا، با تعیین داده‌هایی چون هندسه مسئله، رفتار ماده، شرایط مرزی و بارگذاری، نرم افزار قابلیت تحلیل آن را دارا می‌باشد. در یک تحلیل غیرخطی، آباکوس به طور اتوماتیک میزان نمو بار و تیرانس‌های همگرایی را انتخاب و همچنین در طول تحلیل مقادیر آنها را در جهت دستیابی به یک جواب صحیح تعدیل می‌کند. آباکوس دارای دو ماژول اصلی جهت تحلیل مسائل است : ABAQUS/Standard و ABAQUS/Explicit [۲۷].

۳-۶- مدل های رفتاری در نرم افزار

۳-۶-۱- مدل های الاستیک

از این مدل‌ها جهت مدل‌سازی مصالحی بکار می‌رود که از رفتار خطی تنش و کرنش پیروی می‌کنند این مدل‌ها شامل موارد زیر می‌شوند:

-مدل الاستیک همگن

-مدل الاستیک ناهمسانگرد

۳-۶-۲- مدل های پلاستیک

هنگامی که یک ماده الاستیک تحت بار قرار می‌گیرد، کرنش‌های الاستیک بوجود می‌آیند. کرنش‌های الاستیک برگشت‌پذیر هستند، به این معنی که مواد الاستیک حالت فنری دارند و بعد از برداشته شدن بار به حالت اولیه خود باز می‌گردند. از سوی دیگر، اگر یک ماده پلاستیک بارگذاری شود، کرنش‌های الاستیک و پلاستیک را تحمل می‌کند. اگر بار برداشته شود، ماده کرنش‌های پلاستیک دائمی (برگشت ناپذیر) را حفظ می‌کند، در حالیکه کرنش‌های الاستیک بهبود می‌یابند. قانون هوک که بر اساس تئوری الاستیسیته استوار است، برای تخمین کرنش‌های الاستیک کافی است (در اغلب نمونه‌ها). برای تخمین کرنش‌های پلاستیک، نیاز به

استفاده از تئوری پلاستیسیته است. در ابتدا تئوری پلاستیسیته برای پیش‌بینی رفتار فلزات تحت بارهای بیش از حد الاستیک، ارائه شده بود. بعداً مدل‌های مشابهی برای محاسبه کرنش‌های برگشت ناپذیر در بتن، خاک‌ها و پلیمرها ارائه شدند.

برخی از مدل‌های پلاستیسیته برای خاک‌ها که اغلب در کاربردهای مهندسی ژئوتکنیک استفاده می‌شوند، عبارتند از :

- مدل موهر - کولمب
- مدل دراگر - پراگر
- مدل Cam Clay اصلاح شده
- مدل دراگر - پراگر اصلاح شده Cap

۱-۲-۳-۶- مدل موهر - کولمب :

خصوصیات مدل موهر - کولمب :

- مدلسازی مواد با معیار شکست موهر - کولمب کلاسیک.
- اجازه دادن به مواد برای رسیدن به نرم‌شدگی یا سخت‌شدگی ایزوتروپیک.
- استفاده از یک جریان پتانسیل هذلولی شکل در صفحه تنش نیم صفحه و دارای شکل بیضوی در تنش صفحه‌ای انحرافی.
- قابلیت استفاده با مدل مواد الاستیک خطی.
- همچنین می‌تواند برای کاربردهای طراحی در مهندسی ژئوتکنیک برای شبیه‌سازی پاسخ مواد تحت بارگذاری یکنواخت، استفاده شود.

رفتار الاستیک : قسمت الاستیک پاسخ، به صورت الاستیک ایزوتروپیک خطی فرض می‌شود.

رفتار پلاستیک (معیار تسلیم) : سطح تسلیم، ترکیبی از دو معیار متفاوت است :

- یک معیار برش، که به عنوان سطح موهر - کولمب شناخته می‌شود.
- یک معیار حد نهایی کشش اختیاری، که با استفاده از سطح رانکلین مدل‌سازی می‌شود.

سطح موهر- کولمب :

در معیار موهر- کولمب، فرض بر این است که تسلیم زمانی رخ می‌دهد که تنش برشی در هر نقطه از یک ماده، به مقداری که به طور خطی به تنش نرمال در همان صفحه بستگی دارد، برسد. مدل موهر- کولمب بر پایه دایره موهرهای رسم شده برای حالت‌های صفحه تسلیم تنش‌های اصلی ماکزیمم و مینیمم استوار است. خط تسلیم، بهترین خط مستقیمی است که دایره‌های موهر را لمس می‌کند [۲۹].

۶-۳-۲- مدل دراگر- پراگر :

موارد استفاده و خصوصیات مدل توسعه یافته دراگر- پراگر :

- برای مدل مواد اصطکاکی، که عموماً خاک‌های دانه‌ای و سنگ‌ها هستند، استفاده می‌شود و تسلیم وابسته به فشار را نشان می‌دهد.
- برای مدل موادی که مقاومت تسلیم فشاری آنها از مقاومت تسلیم کششی بیشتر باشد، مانند مواد کامپوزیت و پلیمری.

۶-۳-۲- مدل Cam Clay اصلاح شده :

محققان دانشگاه کمبریج اولین مدل‌های حالت بحرانی را برای توصیف رفتار خاک‌های نرم ارائه دادند : مدل‌های Cam Clay و Cam Clay اصلاح شده. هر دو مدل قادر به توصیف رفتار تنش- کرنش خاک‌ها هستند، به طور خاص، می‌توانند مقاومت خاک (وابسته به فشار، تراکم و اتساع) ایجاد شده توسط برش را پیش‌بینی کنند. چون مدل‌ها بر پایه تئوری حالت بحرانی استوار هستند، تغییر شکل‌های نامحدود خاک را (بدون تغییر در حجم یا تنش) در هنگام رسیدن به حالت بحرانی، پیش‌بینی می‌کنند. خاک از جامدات، مایعات و هوا تشکیل شده است. مدل Cam Clay فرض می‌کند که حفره‌های بین ذرات جامد تنها از آب پر شده‌اند (خاک کاملاً اشباع). هنگامیکه خاک بارگذاری می‌شود، تغییرات حجم برگشت ناپذیر (پلاستیک) قابل توجهی رخ می‌دهد، که به دلیل آبی است که از حفره‌ها خارج می‌شود. پیش‌بینی واقعی این تغییر شکل‌ها برای بسیاری از مسائل مهندسی ژئوتکنیک، مهم است. فرمولاسیون مدل Cam

Clay اصلاح شده بر اساس تئوری پلاستیسیته است، که از طریق آن امکان پیش‌بینی تغییرات حجمی واقعی منتج از انواع مختلف بارگذاری، فراهم می‌شود [۲۹].

۶-۳-۲-۴- مدل دراگر - پراگر اصلاح شده Cap :

مدل پلاستیسیته دراگر - پراگر Cap، به طور گسترده‌ای در برنامه‌های تجزیه و تحلیل اجزاء محدود برای کاربردهای مهندسی ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل Cap برای بررسی رفتار خاک مناسب است، زیرا قادر است که تاریخچه تنش، مسیر تنش، اتساع و تاثیر تنش اصلی میانگین را در نظر بگیرد. سطح تسلیم مدل پلاستیسیته دراگر - پراگر Cap شامل سه قسمت میشود:

- سطح گسیختگی برشی دراگر - پراگر
- یک کلاهدک بیضوی که محور تنش موثر را با زاویهای قطع می‌کند
- یک ناحیه انتقال بین سطح گسیختگی برشی و Cap

۶-۳-۲-۵- روش حل صریح و ضمنی :

برای حل مسائل دینامیکی، دو روش در نرم‌افزارهای تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد : روش Implicit یا در اصطلاح ضمنی و روش Explicit یا صریح. هر یک از این روش‌ها دارای توانایی‌ها و محدودیت‌هایی هستند که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد :

۶-۳-۲-۶- مقایسه روش Explicit و Implicit (تفاوت روش صریح و ضمنی) :

تفاوت میان دو روش Explicit و Implicit در روش ریاضی حل این معادله است. زمان در لحظه جاری را t و نمو زمان در حل را Δt در نظر بگیرید. تفاوت این روش‌ها به شرح زیر میباشد :

- در روش Implicit معادله مذکور برای زمان $t + \Delta t$ حل می‌شود، وضعیت حل در زمان $t + \Delta t$ هنوز مشخص نیست و با حدس اولیه و استفاده از روش نیوتن-رافسون برای حل معادله تا رسیدن به یک جواب همگرا، عمل حل مسئله انجام خواهد شد.

- در روش Explicit معادله مورد نظر با استفاده از مشخص بودن وضعیت جاری مسئله (در زمان t) برای زمان $t + \Delta t$ حل می‌شود، وضعیت مسئله در زمان t مشخص است و ماتریس سختی نیز در این لحظه معلوم خواهد بود. معادله مورد نظر به شکل مستقیم حل می‌شود [۲۹].

۴-۶- تفاوت و شباهت های تحلیل مسائل استاتیکی - شبه‌استاتیکی - دینامیکی

برای استفاده از نوع حلگر Explicit یا Implicit باید دید مناسبی از ماهیت مسئله فیزیکی داشت، به همین دلیل ضروری است تا نوع بارگذاری و فرآیند فیزیکی در شبیه‌سازی به‌خوبی درک شود تا انتخاب صحیحی انجام شود و خروجی مطلوبی نیز از نرم‌افزار گرفته شود. بدون شک زمان و هزینه حل، فضای مورد نیاز برای ذخیره‌سازی حل در رایانه، تعیین پارامترهای خروجی، تعیین برخی خواص مربوط به تماس و برخورد، همه متأثر از انتخاب نوع حل (و البته به شکل مستقیم، تشخیص نوع مسئله) است. به شکل کلی مسائل و بارگذاری‌های فیزیکی در یکی از سه دسته استاتیکی (Static)، شبه‌استاتیکی (Quasi-Static) و دینامیکی (Dynamic) قرار می‌گیرند [۲۹].

۴-۶-۱- مسائل استاتیکی (Static) و تحلیل آنها :

در حوزه استاتیک، شتاب جایگاهی ندارد و برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. همواره در مسائل استاتیکی از دو معادله (برآیند نیرو و گشتاور = 0) استفاده می‌شود. در این‌جا نیز تغییری در مفهوم وجود ندارد. در یک مسئله استاتیکی شتاب برابر صفر فرض می‌شود، در نتیجه حاصلضرب (جرم $\times$ 0) برابر صفر خواهد شد. لذا می‌توان از جرم صرف‌نظر کرد [۲۹].

۴-۶-۲- مسائل شبه استاتیک (Quasi-Static) و تحلیل آنها

برخی از تغییر حالت‌ها به قدری آهسته صورت می‌گیرد که وضعیت سیستم در هر لحظه تنها مقدار کمی از وضعیت قبلی سیستم فاصله دارد. بارگذاری یا فرآیند شبه استاتیک بدین معناست که در یک لحظه خاص از زمان، می‌توان مسئله را استاتیک فرض کرد. در واقع حالت

مسئله در این لحظه بسیار به حالت قبلی نزدیک است. این فرض زمانی که تأثیرات اینرسی بسیار کم باشند به خوبی عمل خواهد کرد. واژه شبه استاتیک معمولاً برای مسائل غیرخطی بکار برده می‌شود که با این فرض، دستگاه معادلات غیرخطی در یک گام زمانی کوچک با یک مجموعه خطی جایگزین می‌شود. مسائل حوزه تغییر شکل فلزات (با سرعت‌های پایین) و بارگذاری‌های سیکلی با سرعت نه چندان بالا از جمله مواردی هستند که می‌توانند در حوزه شبه استاتیک جای گیرند [۲۹].

۳-۴-۶- مسائل دینامیکی (Dynamic) و تحلیل آنها :

دسته سوم از مسائل، در حیطه دینامیک قرار می‌گیرند. مسائلی که در آن جرم نقش اساسی ایفا می‌کند و حاصلضرب (جرم در شتاب) عددی غیر صفر خواهد بود. تغییر شکل‌های بزرگ و سریع و مسائل حوزه برخورد و بالستیک از بارزترین نمونه‌های این شاخه به شمار می‌آیند. در مسائل شبه استاتیک، هر دو نوع روش حل Explicit و Implicit کارآمد خواهد بود و برای انتخاب نوع حلگر نیاز به بررسی دقیق همه جوانب موضوع وجود دارد.

- در حل مسائل استاتیک، روش Implicit و در حل مسائل دینامیک، روش Explicit بهترین انتخاب است.

پارامتر Time Period در تحلیل‌های دینامیکی بیانگر زمان حل است اما در تحلیلی استاتیکی مفهوم واقعی زمان را نمی‌دهد [۲۹].

۵-۶- المان‌ها در آباکوس :

نوع المان مورد استفاده و تکنیک مش‌بندی، در مدل‌سازی بسیار مهم است. طیف وسیعی از المان‌ها در آباکوس قابل استفاده است که از این جهت می‌توان انواع مختلف مسائل را مدل‌سازی کرد. در ادامه برخی از ویژگی‌های المان‌ها توضیح داده می‌شود. هر المان دارای پنج ویژگی است :

- خانواده
- درجات آزادی
- تعداد گره‌ها
- روش فرمول بندی
- روش انتگرالگیری

هر المان در آباکوس دارای یک اسم منحصر به فرد می‌باشد. نام یک المان بیانگر تمامی پنج خاصیت آن می‌باشد [۲۹].

۶-۶- پایداری جداره لندفیل

فعالیت‌های طراحی مهندسی کنونی از دو روش حالت حدی برای ارزیابی عملکرد ساختارهای ژئوتکنیکی استفاده می‌کند. گسیختگی را می‌توان در دو حالت زیر در نظر گرفت:

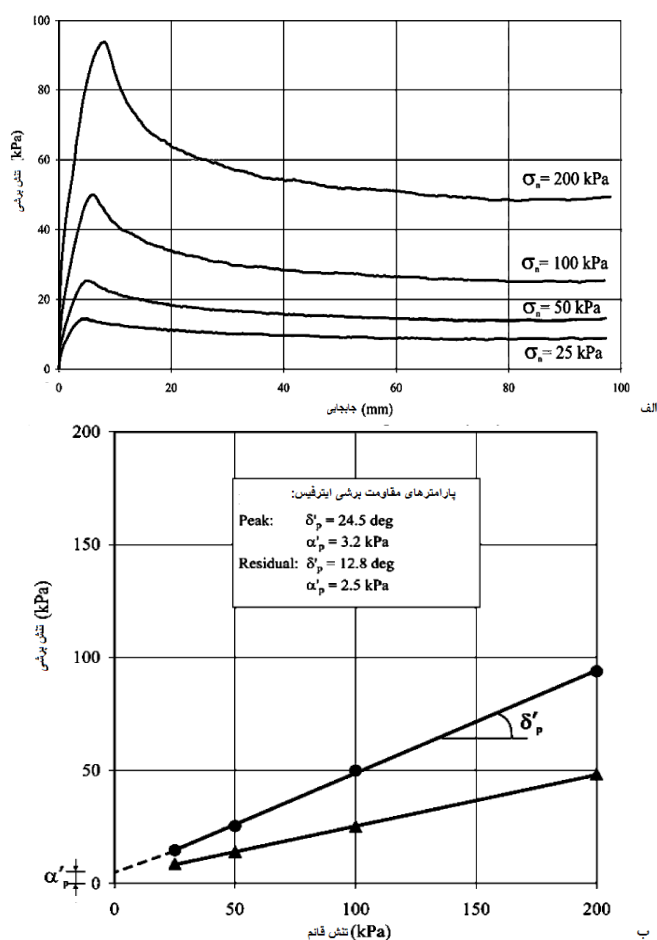
- حالت حدی نهایی: حالتی که کلاً پایداری و یا عملکرد سیستم از بین رفته باشد. (گسیختگی شیب ترانشه)

- حالت حدی خدمت پذیری: حالتی که عملکرد سیستم با نقص روبرو می‌شود (تنش‌های اعمالی بر سیستم عایق‌بندی منجر به افزایش نفوذپذیری می‌شود. [۳])

در مفاد طراحی سیستم‌های عایق‌بندی لندفیل، پایداری سیستم عایق‌بندی حالت حدی نهایی است و دوام و بی‌نقصی مصالح سیستم عایق‌بندی حالت خدمت پذیری بیان شده است. پایداری سیستم عایق‌بندی و دوام مصالح در برابر تنش‌های اعمالی باید مورد بررسی قرار گرفته شود. برای سیستم‌های عایق‌بندی با مصالح ژئوسنتتیک هر دو حالت پایداری و دوام تحت تاثیر مقاومت برشی اینترفیس‌های مختلف است. (ژئوسنتتیک/ژئوسنتتیک و ژئوسنتتیک/خاک). مقاومت برشی در اینترفیس مصالح ژئوسنتتیک وابسته به تنش نرمال روی اینترفیس، جابجایی در مصالح و خصوصیات اصطکاکی مصالح است. توسط چندین نویسنده مشخص شد که اکثر اینترفیس‌های ژئوسنتتیک به کرنش نرم‌شوندگی حساس هستند که این به معنی کاهش تنش‌های برشی با جابجایی بعد از رسیدن به نقطه ماکزیمم (peak) مقاومتی

است. عموماً تنش‌های برشی از مبدأ با جابجایی شروع به افزایش می‌کنند تا به نقطه ماکزیمم خود می‌رسد. بعد از این جابجایی‌ها منجر به کاهش تنش برشی تا رسیدن به یک مقدار ثابت یا باقی مانده می‌شود. در مثال شکل ۵-۱ تنش‌های برشی رسم شده در برابر رفتار جابجایی اینترفیس مصالح ژئوممبرین/ژئوتکستایل از طریق تست‌های دستگاه برش مستقیم که توسط جونز و دیکسون در سال ۲۰۰۵ ارائه شد، بدست آمده است [۳].

از مدلسازی عددی می‌توان برای ارزیابی تنش‌های برشی بسیج شده در اینترفیس‌های ژئوسنتتیک برای پسماندهای با خصوصیات مختلفی که عموماً استفاده می‌شوند، به کار برد.



شکل ۶-۱ الف) نمودار تنش برشی-جابجایی (آزمایش برش مستقیم برای اینترفیس) در نیروهای نرمال ذکر شده ب) نمودار تنش برشی-تنش نرمال برای تعیین زاویه اصطکاک و چسبندگی اینترفیس [۳]

۶-۱-۶- مروری بر روش های مدل سازی عددی جداره لندفیل

فیلز و همکارانش نشان دادند که از مدل سازی عددی برای ارزیابی گسیختگی پیشرونده اینترفیس ژئوممبرین/رس در برابر بارگذاری مرحله ای پسماند جامد رو شیب جداره لندفیل استفاده کرد. همچنین آنها نشان دادند در ارزیابی انجام شده میانگین مقاومت برشی بسیج شده در راستای اینترفیس نزدیک به مقدار باقیمانده بوده و آن آنالیزهایی که با مقدار ماکزیمم انجام می شدند بطور نسبتا چشم گیری دست بالا بودند. آنها نتیجه گیری کردند که از کرنش نرم شوندگی اینترفیس ها باید در طراحی سیستم عایق بندی لندفیل استفاده کرد. به علاوه، آنها راهنمایی، برای انتخاب پارامترهای مناسب مقاومت برشی برای استفاده در آنالیز تعادلات محدود پایداری، ارائه کردند. کار آقای فیلز و همکارانش از این جهت مهم بود که روش مناسبی برای آنالیز عددی ارائه کردند. به هر حال، روش ارائه شده در این تحقیق محدود به فقط اینترفیس ژئوممبرین/رس و مراحل ساخت کوتاه مدت می شد. یکی دیگر از محدودیت های این تحقیق این است که تغییر شکل های ایجاد شده ارائه نگردیده است و بنابراین تاثیر نشست پسماند بر روی دوام سیستم عایق بندی بطور دقیق گزارش نشده بود.

۶-۷- نتیجه گیری

برای ارزیابی پایداری لندفیل یک روش مرسوم استفاده از مقادیر حداکثر مقاومت های برشی در اینترفیس های واقع در کف و مقادیر مقاومتی باقی مانده در اینترفیس های واقع در شیب جداره می باشد. تنش های برشی تولید شده از مدل سازی عددی در ارزیابی های پایداری تعادلات محدود استفاده می شوند. که این ارزیابی یک ضریب اطمینانی می دهد که می توان با ضریب اطمینان بدست آمده در حالت مقدار حداکثر کف و باقی مانده در جداره مقایسه کرد. می توان این نتیجه گیری را کرد که، آنالیز تفاضلات محدود برای اینترفیس و هندسه های در نظر گرفته شده با مقادیر پیشنهاد شده در جداره و کف، برای ارزیابی پایداری کلی جسم پسماند قابل اطمینان می باشد.

مدلسازی عددی نشان می‌دهد که، نشست پسماند می‌تواند منجر به لغزیدن اجزا عایق‌بندی بر روی یکدیگر در جداره لندفیل شود با این وجود مقدار ضریب اطمینان برای پایداری کلی کافی است. جابجایی زیاد ژئوتکستایل بر روی ژئوممیرین می‌تواند منجر به از دست رفتن محافظ این لایه شود و در نتیجه منجر به نقص و ناپایداری موضعی در آن لایه شود. برای چنین ارزیابی‌هایی باید از تکنیک‌های مدلسازی عددی استفاده کرد که بتوانند اندرکنش پسماند/عایق و کرنش نرم شوندگی اینترفیس را مدل کنند. با این وجود این روش نمی‌تواند همه حالات ناپایداری موضعی را مدل کند. آنالیزهای مدلسازی عددی که می‌توانند لایه‌های چندگانۀ ژئوسنتتکی و معدنی را مدل کنند و این لایه‌ها در حالت عددی در شرایط تغییر شکل‌های بزرگ پایدار هستند نیازمند ارزیابی احتمال گسیختگی برخی اعضا آن نیز هستند.

فصل ششم

مدلسازی جداره محل دفن علمی

پسماند

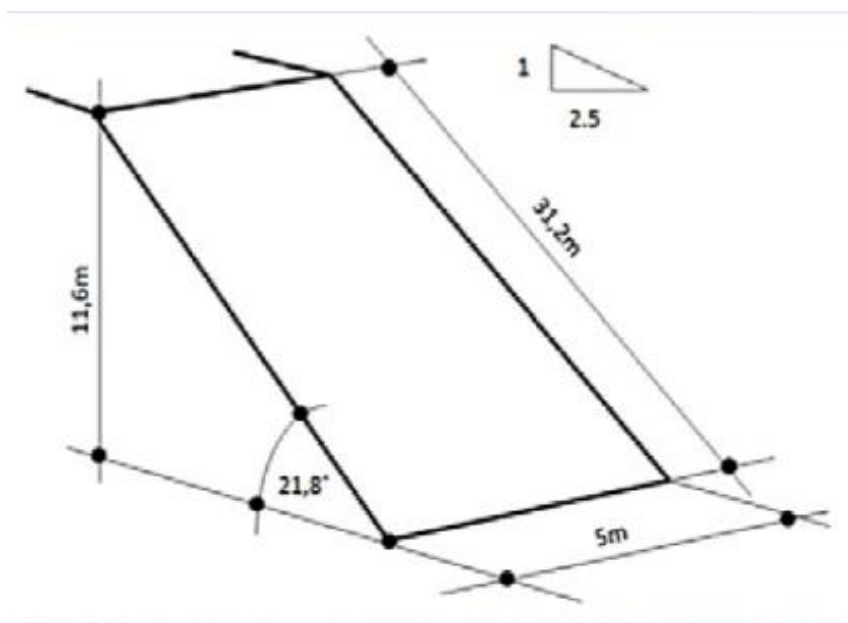
۷-۱- مدلسازی

روند مدلسازی جداره محل دفن علمی پسماند مورد مطالعه در ادامه شرح داده می‌شود:

۷-۱-۱- معرفی مدل

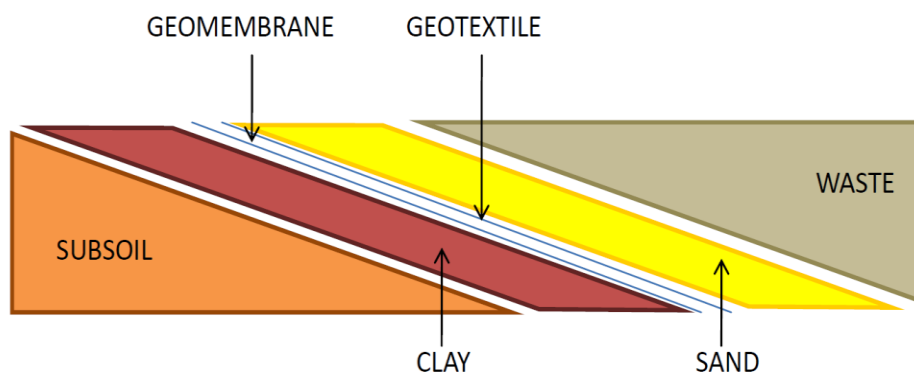
شکل ۷-۱ مدل شماتیک از شیب جداره محل دفن علمی پسماند را نشان می‌دهد. محل دفن علمی پسماند مورد مطالعه مربوط به لندفیل میلگیت اجرا شده در شهر یورک‌شایر کشور انگلیس می‌باشد. لندفیل از نوع ترانشه‌ای و با استخراج مصالح شن و ماسه ایجاد شد. پسماندها از نوع جامد شهری که شامل نخاله‌های ساختمانی، کشاورزی، تجاری و صنعتی است. جداره و کف لندفیل نفوذناپذیر فرض شده است و تغییر مکان‌های قائم بستر صفر فرض شده است. و تمام نشست مربوط به تراکم پسماند می‌باشد. همچنین قابل ذکر است که در این تحقیق فقط نشست فوری پسماند مورد نظر است و نشست ناشی از تجزیه شیمیایی به دلیل مجهول بودن مدل رفتاری آن‌ها مورد بحث قرار نگرفته است.

ابعاد لندفیل مورد مطالعه توسط ZAMARA و همکارانش [۷] در سال ۲۰۱۲ گزارش شد. هندسه شیب ترانشه مورد بررسی بصورت $31/2$ متر طول، 12 متر ارتفاع و با زاویه شیب $21/8^\circ$ می‌باشد.



شکل ۷-۱ هندسه شیب جداره لندفیل مورد مطالعه

سیستم انتخاب شده به عنوان پوشش جداره لندفیل نیز در شکل ۶-۲ آمده است. مشخصات خاک بستر در این تحقیق مشخص نیست و فقط به عنوان بستر با جابجایی صفر در نظر گرفته شده است. روی بستر یک لایه رس با تراکم بالا و نفوذپذیر کم با ضخامت ۱ متر قرار گرفته است. روی لایه رس یک غشاء آببند ژئوممبرین دوبار بافته شده از جنس پلی اتیلن با چگالی بالا به وزن مخصوص 0.949 g/cm^3 و ضخامت ۲ میلیمتر قرار داده شده است. برای محافظت از لایه عایق ژئوممبرین از یک لایه ژئوتکستایل بافته نشده سوزنی به ضخامت $7/8$ میلیمتر با وزن مخصوص 1400 g/m^2 استفاده شده است. سپس جهت زهکش از یک لایه ماسه به ضخامت ۵۰ سانتی متر پیش از قرار گرفتن پسماند استفاده شد. عموماً جهت لایه زهکش از مصالح شنی استفاده می شود. ولی در این پروژه به دلیل در دسترس نبودن مصالح شنی در منطقه از ماسه استفاده شد [۷].



شکل ۷-۲ اجزاء پوشش جداره لندفیل مورد مطالعه

۷-۱-۲- ساخت مدل اولیه

در نرم‌افزار ابتدا هندسه جداره لندفیل بصورت لایه-لایه مدل‌سازی شد. سپس لایه‌ها رو یکدیگر منطبق شدند. و به هر لایه خصوصیات مکانیکی ذکر شده در جدول ۶-۱ اختصاص داده شد. در زیر مراحل مدلسازی به تفکیک هر ماژول در نرم‌افزار بیان شده است.

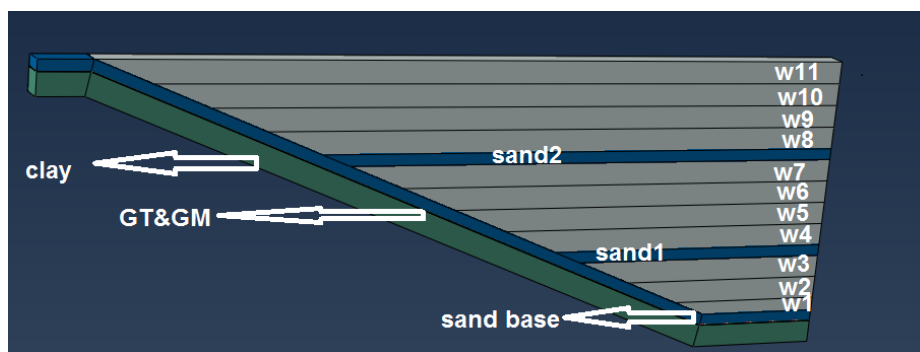
ابتدا در ماژول پارت نرم‌افزار برای هر لایه مدل اولیه بصورت سه بعدی، شکل پذیر و از نوع solid تعریف شد. سپس در همین ماژول هندسه هر مدل ترسیم شد بطوریکه لایه رس که پایین‌ترین لایه است بر روی مرکز مختصات قرار گیرد. سپس لایه‌های بعدی با فاصله به اندازه ضخامت لایه‌های قبلی خود نسبت به مرکز مختصات رسم شدند تا در زمان رویهم گذاری لایه‌ها بر هم منطبق شوند.

بعد از ساخت هندسه مدل در ماژول property (خصوصیات) مصالح برای مدل تعریف شده و برای آن‌ها خصوصیات‌شان شامل: وزن مخصوص، مدول یانگ، ضریب پواسون و زاویه اصطکاک و چسبندگی براساس مدل رفتاری موهر کولمب تعریف شد.

جدول ۱-۷ خصوصیات مکانیکی مصالح مدلسازی شده [۸]

ضریب پواسون	مدول یانگ (MPa)	c' (KPa)	ϕ' (°)	دانسیتة (Mg/m ³)	مدل رفتاری	مصالح
0.3	0.5	5	25	1.0	موهر- کولمب	پسماند
0.4	70	0	35	1.7	موهر- کولمب	لایه ماسه
0.3	150	5	23	1.7	موهر- کولمب	لایه رس

روند ساخت مرحله ایی مدل در ۱۶ بخش انجام گردید. ابتدا لایه رس مدل شد، سپس ژئوممبرین و ژئوتکستایل بر روی آن قرار گرفتند. قبل از ریختن پسماند لایه ماسه در راستای شیب و کف اجرا گردید و سپس پسماند بصورت لایه-لایه به ضخامت ۱ متر ریخته شد و هر چهار لایه پسماند با یک لایه ۵۰ سانتی متری ماسه پوشانده شد تا ارتفاع پسماند به ۱۱,۶ متر رسید. در شکل ۳-۶ مدل جداره لندفیل در نرم افزار آباکوس آمده است.

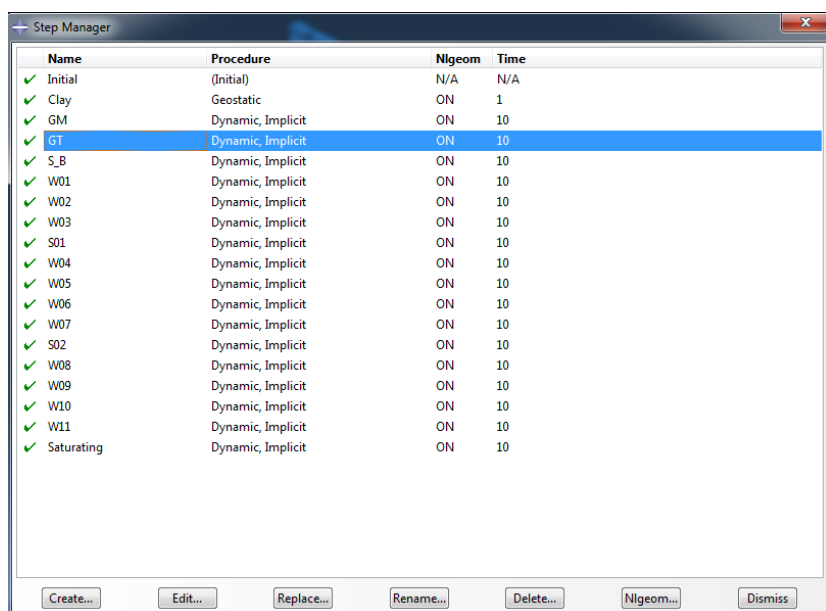


شکل ۳-۷ مدل سه بعدی جداره لندفیل

در گام سرهم بندی پارت ها، پارت های مختلف تولید شده در ماژول اول در محل مناسب و در کنارهم قرار گرفتند. پارت هایی که در ماژول اسمبلی وارد می شوند Instance نام می گیرند که این Instance می تواند بصورت Dependent و یا Independent تعریف شوند که تفاوت آن -

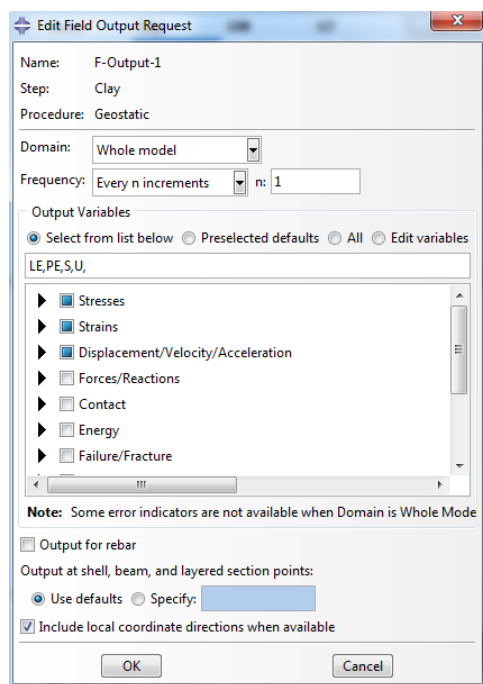
ها در نحوه اعمال تغییرات احتمالی بر روی آن‌ها و نیز مش‌بندی آن‌هاست که در این مدل‌سازی بصورت Dependent تعریف شدند.

تعریف نوع تحلیل و خروجی‌های مورد نیاز در ماژول Step صورت گرفت. آنالیز مورد نظر، از نوع Dynamic Implicit تعریف شد. این ماژول شامل مرحله تحلیل و همچنین روش تحلیل است. هر مدلی می‌تواند بیشمار Step داشته باشد. در این مدل‌سازی همانطور که در شکل ۴-۶ علاوه بر Step اولیه یا Initial که در همه مدل‌ها بصورت الزامی وجود دارد، ۱۸ Step دیگر تعریف شد. همچنین در این قسمت خروجی‌های مورد نیاز از مدل‌سازی همانند شکل.... تعریف شد.



Name	Procedure	Nlgeom	Time
✓ Initial	(Initial)	N/A	N/A
✓ Clay	Geostatic	ON	1
✓ GM	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ GT	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ S_8	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W01	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W02	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W03	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ S01	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W04	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W05	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W06	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W07	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ S02	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W08	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W09	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W10	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ W11	Dynamic, Implicit	ON	10
✓ Saturating	Dynamic, Implicit	ON	10

شکل ۴-۷ تعریف مراحل ساخت و بارگذاری



شکل ۷-۵ تعیین خروجی‌های مورد نیاز از نرم‌افزار

در طراحی فرض شد که زهکش شیرابه به درستی عمل می‌کند و شیرابه از داخل لندفیل پشت جداره وجود ندارد. همچنین در این مدل‌سازی فرض شد ضخامت جداره ترانشه حفاری شده یک لایه چند ده سانتی‌متری است و بحث ناپایداری خارجی در آن مطرح نیست و پایداری داخلی و دوام مصالح عایق مدنظر است.

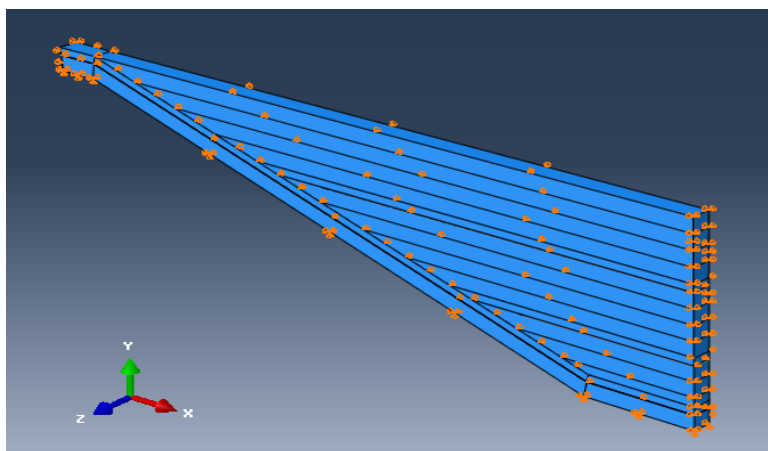
جهت اندرکنش بین مصالح در نرم‌افزار، اینترفیس بصورت لایه با خصوصیات داده شده در جدول ۶-۲ که از نتایج آزمایش برش مستقیم توسط zamara و همکارانش در سال ۲۰۱۴ ارائه گردید، مدل شد. برای هر ترکیب مصالح پنج آزمایش با پنج نیرو نرمال متفاوت (۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰ کیلوپاسکال) انجام گردید. همچنین آزمایش تعیین خصوصیات اینترفیس مصالح از دو حالت خشک و تر استفاده گردید. هر آزمایش حداقل با سه بار تکرار و هربار مصالح جدید استفاده شده است. برای اینترفیس خاک/پسماند از تست‌های آزمایشگاهی استفاده نشد و از مقادیر مرسوم اینترفیس بین زهکش دانه‌ای و پسماند استفاده شد. و نکته کلیدی این مدل‌سازی اعمال مدل رفتاری کرنش نرم‌شوندگی اینترفیس می‌باشد.

جدول ۲.۷ خصوصیات اینترفیس مصالح [۸]

اینترفیس	δ (°) / حداکثر / باقی مانده	α (KPa) / حداکثر / باقی مانده	سختی نرمال (KPa/m)	سختی برشی (KPa/m)
ماسه/پسماند	20	5	10,000	5000
ژئوتکستایل/ماسه	29.9/29.6	6.3/1.8	10,000	4500
حالت خشک	29.6/29.9	3.2/1.3		
حالت تر				
ژئوممبرین/ژئوتکستایل	19.9/13.3	2.3/1.4	10,000	4500
حالت خشک	20.8/14.7	4.0/2.9		
حالت تر				
رس/ژئوممبرین	22.0/22.0	8.0/8.0	10,000	5500
حالت زهکشی شده	31.1/25.1	7.6/3.2		
حالت زهکشی نشده				

۷-۱-۳- شرایط مرزی و بارگذاری مدل

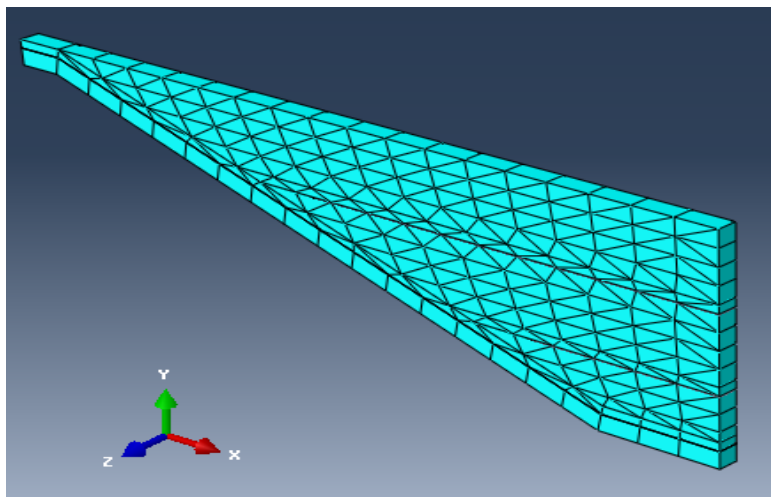
در ماژول Load نرم افزار ابتدا شرایط تکیه گاهی تعریف گردید. با توجه به هندسه محل دفن علمی پسماند مورد نظر جابجایی های کف زمین طبیعی در راستای افقی و قائم (x و y) ثابت اعمال می شود. همچنین در راستای عمود بر شیب جداره (Z) و تاج (بالاترین سطح لندفیل) درجات آزادی صفر گردید. در شکل ۶-۶ شرایط مرزی تعریف شده برای مدل لندفیل نشان داده شده است. سپس مراحل بارگذاری در حالت Dynamic Implicit تعریف شد. در ابتدای بارگذاری نیرو وزن مصالح دانه ای و پسماند تعریف شد و در نهایت نیروی هیدرواستاتیک ناشی از آب پشت جداره لندفیل به مدل اضافه شد.



شکل ۶-۷ شرایط مرزی تعریف شده برای مدل لندفیل

۷-۱-۴- مش اجزاء محدود مدل

مش مورد استفاده از دو نوع شش وجهی مکعبی و گوه‌ای می‌باشد و بدلیل تعداد زیاد لوپ‌ها و ناهمگرا شدن نتایج از مش‌های با ابعاد ۱ متر استفاده شد و در روی ژئوسنتتیک‌ها جهت افزایش دقت نتایج مش‌ها ریز و ۳۰ سانتی‌متری اعمال گردید. در شکل ۶-۷ مش بندی مدل نشان داده شده است.



شکل ۷-۷ مش اجزاء محدود تعریف شده برای مدل

فصل هفتم

مدلسازی فشاری هیدرواستاتیکی بر

جداره لندفیل و آنالیز نتایج

۸-۱- مقدمه

شیب جداره لندفیل طبق مراحل ساخت ذکر شده در فصل ششم مدل شده است. طبق اهداف مطرح شده در تحقیق ابتدا تنش‌های فشاری ناشی از وزن پسماند و جابجایی لایه‌های ژئوسنتتیکی محاسبه شده است (منظور از جابجایی تغییر مکان‌ها در راستای شیب جداره لندفیل می‌باشند). نتایج حاصل از مدلسازی عددی با مقادیر ابزار دقیق کار گذاشته شده در محل مقایسه گردید. بعد از صحت سنجی مدل، فشار هیدرو استاتیکی ناشی از افزایش هد آب در پشت جداره لندفیل مدلسازی شده است و تنش‌ها و جابجایی لایه ژئوممبرین در کدهای ارتفاعی چهارگانه تراز آب اندازه‌گیری و برای لایه ژئوممبرین در حضور آب پشت جداره لندفیل ضریب اطمینان تعیین گردید.

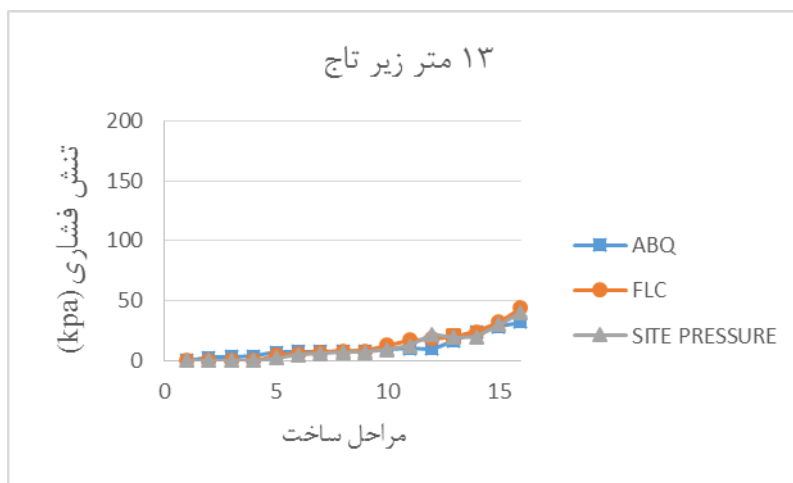
۸-۲- مقایسه نتایج و صحت سنجی داده‌ها

از تحقیقات ZAMARA و همکارانش در سال ۲۰۱۲ [۷] و مدلسازی عددی آن‌ها در نرم افزار FLAC در سال ۲۰۱۴ [۸] جهت ارزیابی نتایج مدلسازی عددی حاضر استفاده گردید. در مدلسازی مرجع از سه دیتا ورودی جهت مدلسازی استفاده گردید. در حالت اول از مقادیر حداکثری خصوصیات مقاومتی مصالح استفاده گردید و در نتیجه خروجی‌ها کمترین تنش و کرنش و جابجایی‌ها را نشان دادند. در حالت دوم با کاهش خصوصیات مقاومتی مصالح سعی شد تا به جابجایی‌ها و تنش‌های تولید شده در محل رسید (جابجایی‌ها و تنش‌های زیاد در قسمت بالایی شیب لندفیل در لایه‌های ژئوسنتتیکی به علت در معرض نور خورشید بودن این لایه‌ها به مدت طولانی بود). در حالت سوم با اعمال مدل رفتاری کرنش نرم‌شوندگی برای اینترفیس مصالح رفتار مصالح در شرایط نرمال مدلسازی شد.

در مدلسازی حاضر نیز که در نرم‌افزار آباکوس انجام گردید از مدل رفتاری کرنش نرم-شوندگی اینترفیس مصالح استفاده شد و نتایج آن با حالت سوم مدلسازی مرجع مقایسه گردید.

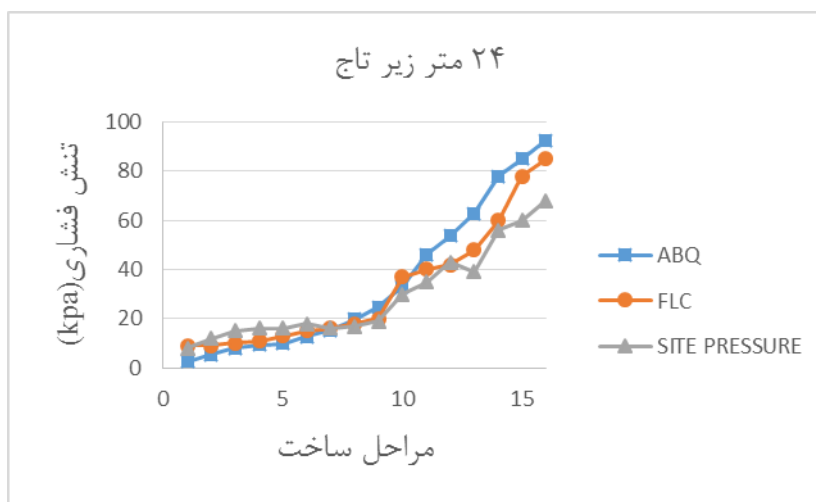
۸-۲-۱- تنش‌های اعمالی روی پوشش

در ابتدای جهت بررسی صحت نتایج مدل تنش‌های قائم فشاری روی پوشش محاسبه شده در نرم‌افزار با نتایج بدست‌آمده از سلول‌های فشار در محل و مدلسازی در نرم‌افزار فلک مقایسه گردید. از نتایج این مدلسازی و مقایسه صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت تنش‌های اعمالی بر جداره لندفیل توسط وزن پسماند و روکش ماسه‌ای توسط مدلسازی در نرم‌افزار آباکوس نیز قابل باز تولید می‌باشند. عامل زمان در این مدل‌سازی بطور مستقیم لحاظ نشد ولی مراحل ساخت به تفکیک مشخص شد. مقادیر تنش‌های ثبت شده در محل در برابر زمان و براساس زمان ساخت و پرشدن سلول لندفیل رسم شده بودند [۷]. همانطور که قبلاً هم بیان شد مراحل ساخت و بارگذاری مدل در ۱۶ مرحله بود. در نمودارهای ۷-۱ تا ۷-۳ تنش فشاری ثبت شده توسط سلول‌های فشاری و نتایج بدست آمده از دو مدل‌سازی، در طی مراحل ساخت آمده است.



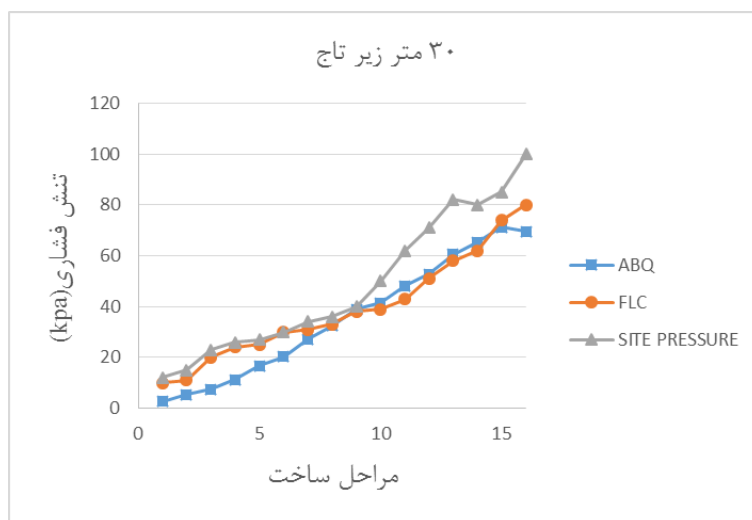
شکل ۸-۱ تنش‌های قائم فشاری در ۱۳ متر زیر تاج جداره لندفیل (روی لایه رسی)

همانطور که در نمودار ۷-۱ آمده است، تنش‌های فشاری در یک سوم بالایی شیب در طی مراحل ساخت روند افزایشی دارند و فشار وارده به لایه رسی بعد از قرارگیری پسماند و اعمال وزن آن در مراحل چهارم به بعد افزایش یافته تا به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد. مقادیر به دست‌آمده بیانگر همگرایی خوبی بین نتایج نرم‌افزاری و ابزار دقیق می‌باشد.



شکل ۸-۲ تنش‌های قائم فشاری بدست آمده در ۲۴ متر زیر تاج جداره لندفیل (روی لایه رسی)

در ارتفاع ۲۴ متری از زیر تاج و در واقع در یک‌سوم میانی شیب با توجه به قرارگیری لایه های پوشش و پسماند در مراحل اولیه تنش‌ها نسبت به ارتفاع ۱۳ متری سریع‌تر رشد داشتند و متوسط مقادیر آن‌ها در مراحل مختلف ساخت اختلافی در حدود ۵ درصد را نشان می‌دهد. روند رشد مقادیر تنش فشاری در این مقطع در نمودار شکل ۷-۲ آمده است. همچنین بدلیل قرار گرفتن لایه های بیشتری از پسماند در ارتفاع ۲۴ متری از شیب نسبت به ارتفاع ۱۳ متری این بخش تنش‌های فشاری بیشتری تجربه کرد.



شکل ۸-۳ تنش‌های قائم فشاری بدست آمده در ۳۰ متر زیر تاج جداره لندفیل (روی لایه رسی)

در یک سوم انتهایی مقطع شیب شیروانی جداره لندفیل و در ارتفاع ۳۰ متری از زیر تاج همانطور که در شکل ۷-۳ آمده است، تنش‌های فشاری در محل به مقدار حداکثری ۱۰۰ کیلوپاسکال رسیده‌اند. این تنش‌ها در مدل نرم افزاری به مقادیر حداکثری ۸۰ کیلوپاسکال محدود شده است. این مسئله بیانگر آن است که علاوه بر تنش‌های فشاری ناشی از وزن مصالح و پسماند تنش‌های فشاری ناشی از حرارت تولید شده در پایین شیب شیروانی وجود دارد. که این مقادیر توسط ترمومترها نیز در محل ثبت شده‌اند.

۸-۲-۲- جابجایی ژئوسنتتیک‌ها: مدل‌سازی عددی و ابزار دقیق

در نمودارهای ۷-۴ تا ۷-۶ جابجایی‌های ژئوتکستایل و ژئوممبرین، ثبت شده توسط اکستنسیومترها و همچنین نتایج بدست آمده از مدل‌سازی عددی تحقیق مرجع (نرم‌افزار FLAC) و تحقیق حاضر (نرم‌افزار ABAQUS) آورده شده است. نتایج اکستنسیومترهای نصب شده روی ^۱GM و ^۲GT طی سه سال ساخت و پر شدن لندفیل از پسماند، ثبت شدند.

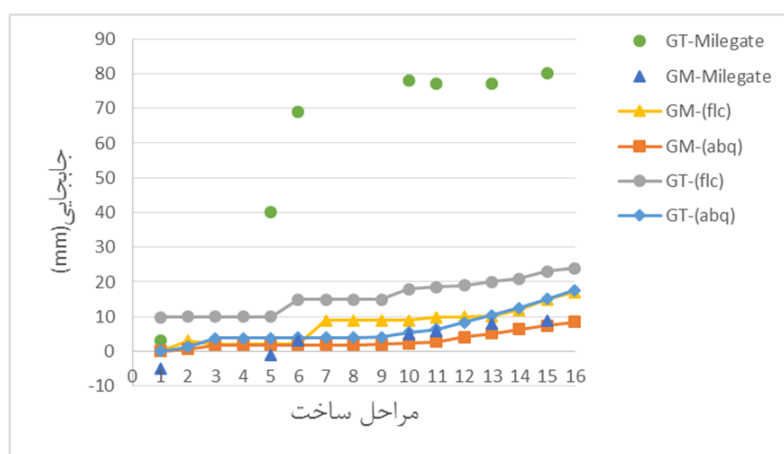
^۱Geomembrane

^۲Geotextile



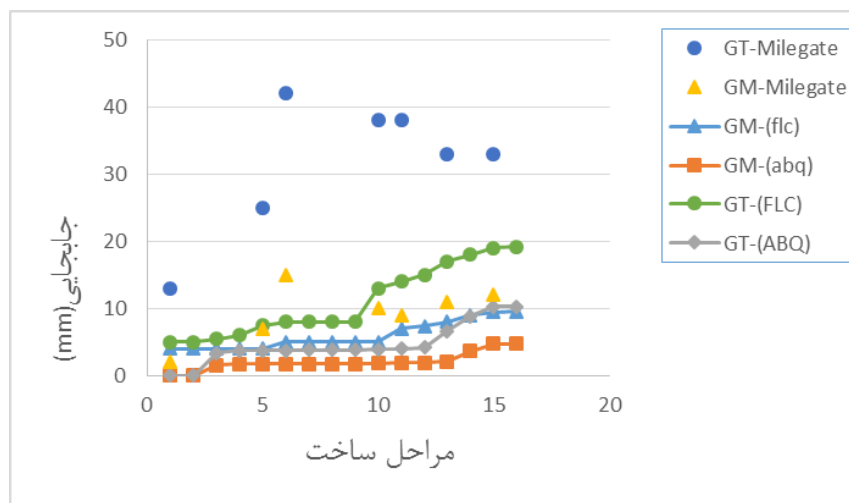
شکل ۸-۴ جابجایی در لایه‌های ژئوممبرین و ژئوتکستایل در ارتفاع ۲۴/۶ متر از زیر تاج لندفیل

در مقطع پایینی جداره لندفیل کشش‌سنج‌ها جابجایی‌هایی در GM و GT به سمت پایین ثبت کردند. این جابجایی‌ها همانطور که در نمودار شکل ۷-۴ مشاهده می‌شود، این مقادیر برای GM در مراحل اولیه ساخت کشش به سمت بالا در حدود ۵ میلیمتر و در مراحل پایانی ساخت کشش به سمت پایین در حدود ۸ میلیمتر را ثبت کردند. که این مقادیر در شبیه سازی نرم-افزاری در دامنه ۱ تا ۱۰ میلیمتر در طی مراحل ساخت افزایش یافت. برای لایه GT در این مقطع جابجایی در حدود ۶۰ میلیمتر ثبت شد ولی در مدلسازی نرم‌افزاری با توجه به مدل رفتاری کرنش نرم‌شوندگی اینترفیس جابجایی حداکثر ۲۲ میلیمتر بدست آمد.



شکل ۸-۵ جابجایی در لایه‌های ژئوممبرین و ژئوتکستایل در ارتفاع ۱۳/۸ متر از زیر تاج لندفیل

در مقطع میانی جداره لندفیل کشش سنج ها جابجایی های GT و GM به سمت پایین ثبت کردند. این جابجایی ها همانطور که در نمودار شکل ۷-۵ مشاهده می شود، این مقادیر برای GM در مراحل اولیه ساخت کشش به سمت بالا در حدود ۲ میلیمتر و در مراحل پایانی ساخت کشش به سمت پایین در حدود ۱۰ میلیمتر را ثبت کردند. که این مقادیر در شبیه سازی نرم افزاری در دامنه ۲ تا ۱۸ میلیمتر در طی مراحل ساخت افزایش یافت. برای لایه GT در این مقطع به دلیل تعطیلی پروژه به مدت دوسال و قرار گرفتن این لایه در معرض نور خورشید کشش سنج ها جابجایی تا ۸۰ میلیمتر ثبت شد ولی در مدلسازی نرم افزاری با توجه به مدل رفتاری کرنش نرم-شوندگی اینترفیس جابجایی حداکثر ۱۸ میلیمتر بدست آمد.



شکل ۸-۶ جابجایی در لایه های ژئوممبرین و ژئوتکستایل در ارتفاع ۸/۴ متر از زیر تاج لندفیل

در مقطع بالایی جداره لندفیل کشش سنج ها جابجایی های GT و GM به سمت پایین ثبت کردند. این جابجایی ها همانطور که در نمودار شکل ۷-۶ مشاهده می شود، این مقادیر برای GM در مراحل اولیه ساخت کشش در حدود ۳ میلیمتر و در مراحل پایانی ساخت کشش به سمت پایین در حدود ۱۵ میلیمتر را ثبت کردند. که این مقادیر در شبیه سازی نرم افزاری در دامنه ۱ تا ۱۵ میلیمتر در طی مراحل ساخت افزایش یافت. برای لایه GT در این مقطع جابجایی در حدود

۴۰ میلیمتر ثبت شد ولی در مدلسازی نرم‌افزاری با توجه به مدل رفتاری کرنش نرم‌شوندگی اینترفیس جابجایی حداکثر ۱۲ میلیمتر بدست آمد.

۸-۲-۲-۱- رفتار ژئوتکستایل

جابجایی‌های قابل توجهی برای لایه GT توسط ابزار دقیق ثبت شده بود. اکستنسیومترهایی که در وسط و بالای شیب قرار داشتند جابجایی به سمت پایین شیب تا ۸۰ میلی‌متر را ثبت کردند. که این جابجایی‌ها به دلیل تاخیر در اجرای پروژه و اجرا نشدن روکش دوم و سوم ماسه و در نتیجه در معرض نور خورشید قرار گرفتن GT بود. روند تغییر شکل‌ها و تاثیر نور خورشید بر جابجایی ژئوتکستایل‌ها در شکل‌های ۷-۴ و ۷-۵ آمده است. در این تحقیق نتایج جابجایی GT با مقادیر مدل‌سازی عددی تحقیق مرجع در حالت کرنش نرم شوندگی اینترفیس همخوانی پیدا کرد.

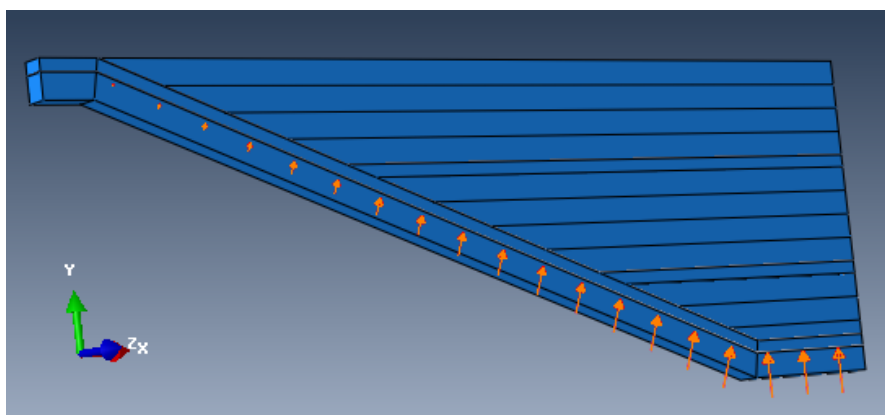
۸-۲-۲-۲- رفتار ژئوممبرین

جابجایی‌های ثبت شده در ژئوممبرین روند افزایش تدریجی در طی روند پر شدن سلول در تمام طول شیب را نشان می‌داد. اما جابجایی‌های ناشی از قرارگرفتن روکش ماسه اندک بود. اکستنسیومترها بیشترین جابجایی را ۲۵/۹ میلی‌متر ثبت کردند. ولی دامنه جابجایی ثبت شده در پنل‌های GM بین ۱۰-۲۰ میلی‌متر توسط ابزار دقیق ثبت شده است و همچنین هیچ ارتباط معنی‌داری بین محل‌های افزایش جابجایی‌ها در ژئوممبرین و ژئوتکستایل در راستای شیب پیدا نشده بود.

همانطور که از نتایج نشان داده شده در نمودار تنش فشاری و جابجایی در طی مراحل ساخت مشخص است، مدل‌سازی صورت گرفته شده در این تحقیق به خوبی نتایج تحقیق مرجع را بازتولید نموده است.

۸-۲-۳- مدل سازی فشار هیدرواستاتیکی

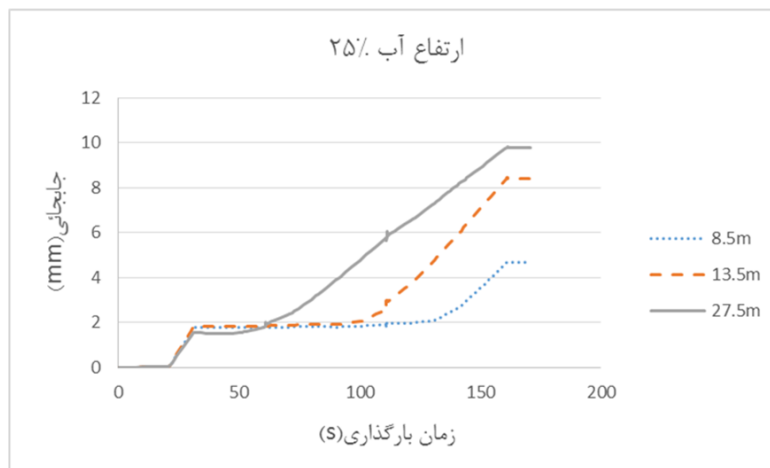
جهت تعیین اثر فشار هیدرواستاتیکی پشت جداره لندفیل فشار هیدرواستاتیکی در چهار تراز ارتفاعی (۲۵٪-۵۰٪-۷۵٪ و ۱۰۰٪ از ارتفاع جداره) اعمال گردید. در فرض مسئله به این نکته توجه شد که مدل یک سیستم لایه ای چند ده سانتی متری هست و بحث ناپایداری خارجی در اینجا مطرح نمی باشد. المان مهم از نظر پایداری داخلی لایه ژئوممبرین است که نقش آب بند را اجرا می کند و لایه ژئوتکستایل که جهت محافظت از این لایه به کار برده می شود.



شکل ۸-۷ مدل سه بعدی اعمال فشار هیدرواستاتیکی به لایه ژئوممبرین در کل ارتفاع شیب جداره (۱۰۰٪)

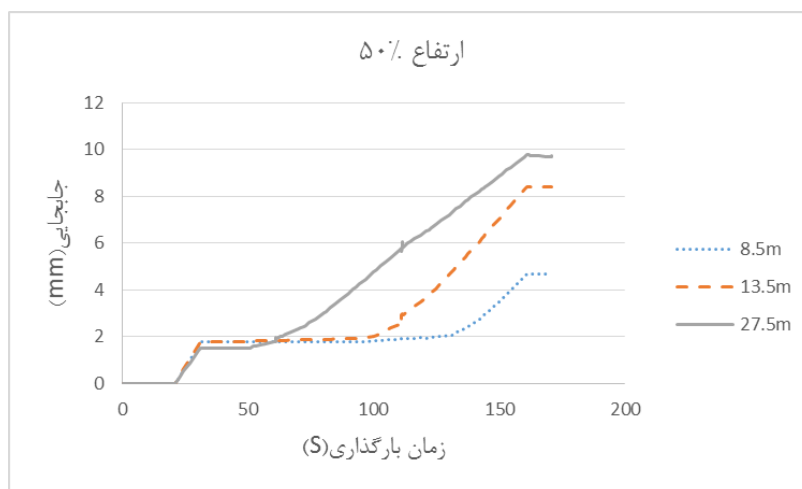
۸-۲-۴- نتایج مدل سازی فشار هیدرواستاتیکی

در نمودارهای ۷-۸ تا ۷-۱۱ جابجایی GM و GT در ۴ تراز مختلف فشار هیدرواستاتیکی مورد مطالعه رسم شده اند. در این نمودارها جابجایی ها در طی مراحل ساخت و اعمال فشار هیدرواستاتیکی (۱۰ ثانیه آخر هر نمودار مربوط به اعمال فشار هیدرواستاتیکی است). آورده شده اند. همانطور که ملاحظه می شود تاثیر فشار هیدرواستاتیکی آب بر جابجایی ها اندک است مگر در تراز حداکثری ارتفاع آب (۱۰۰٪ ارتفاع) که جابجایی ها در این مرحله بصورت جهشی افزایش می یابند.



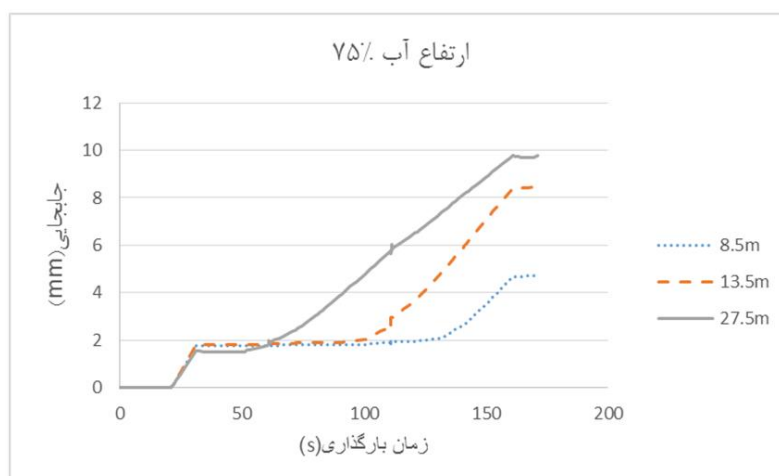
شکل ۸-۸ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۲۵٪ ارتفاع جداره لندفیل

همانطور که در نمودار شکل ۷-۸ آمده است جابجایی در لایه GM در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این نمودار به هر مرحله بارگذاری مدت زمان ۱۰ ثانیه اختصاص داده شد. در نتیجه زمان ۱۶۰ ثانیه معادل ۱۶ مرحله بارگذاری مدل می‌باشد. در نمودار ۷-۸ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده‌اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۲۵٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی فشار هیدرواستاتیکی تاثیری بر جابجایی‌ها نداشت و مقادیر جابجایی GM در سه کد ارتفاعی ثابت ماند.



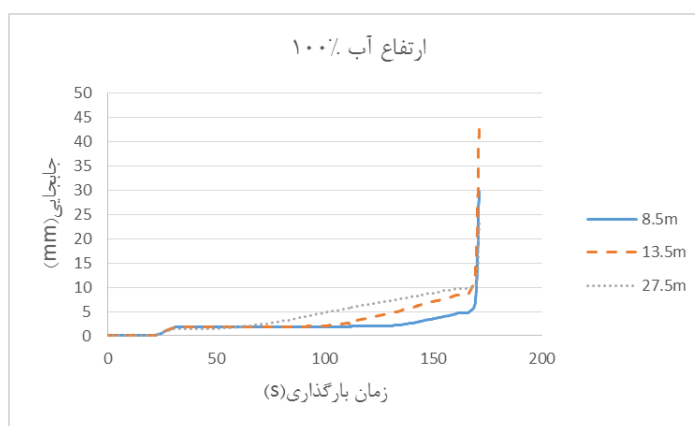
شکل ۸-۹ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۵۰٪ ارتفاع جداره لندفیل

در نمودار شکل ۷-۹ جابجایی در لایه GM در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این در نمودار ۷-۹ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده‌اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۵۰٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی فشار هیدرواستاتیکی تاثیری بر جابجایی‌ها نداشت و مقادیر جابجایی GM در سه کد ارتفاعی ثابت ماند.



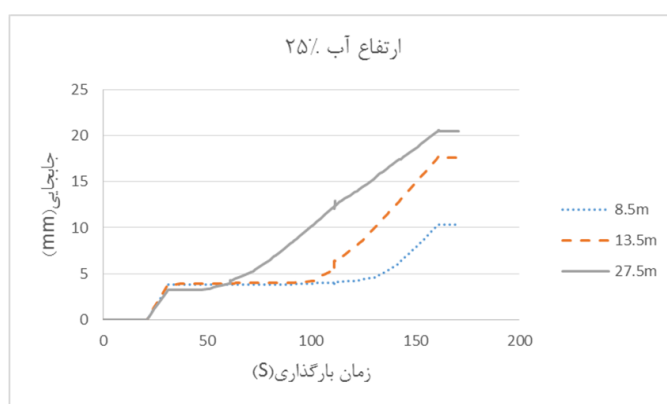
شکل ۸-۱۰ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۷۵٪ ارتفاع جداره لندفیل

در نمودار شکل ۷-۱۰ جابجایی در لایه GM در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این در نمودار ۷-۱۰ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده- اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۷۵٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی فشار هیدرواستاتیکی تاثیری بر جابجایی‌ها نداشت و مقادیر جابجایی GM در سه کد ارتفاعی تغییر محسوسی بدست نیامد.



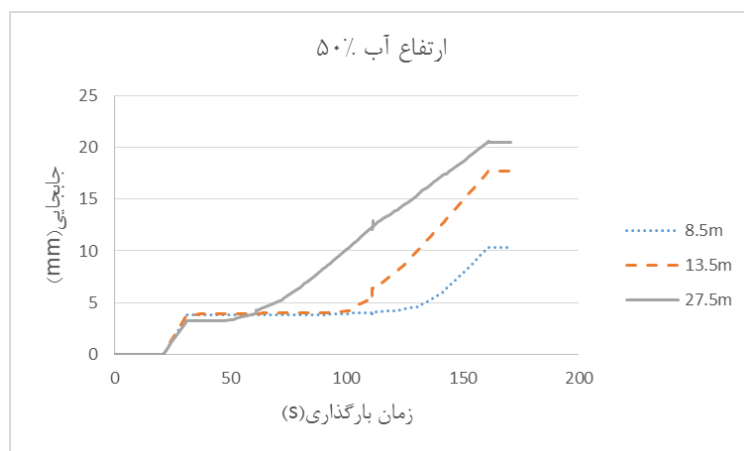
شکل ۸-۱۱ جابجایی در لایه ژئوممبرین در تراز آب ۱۰۰٪ ارتفاع جداره لندفیل

در نمودار شکل ۷-۱۱ جابجایی در لایه GM در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این در نمودار ۷-۱۱ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده- اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۱۰۰٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی جابجایی در لایه GM در استپ اضافه شدن فشار هیدرواستاتیکی بصورت موازی با محور قائم افزایش یافت که حاکی از گسیختگی در این لایه می‌باشد.



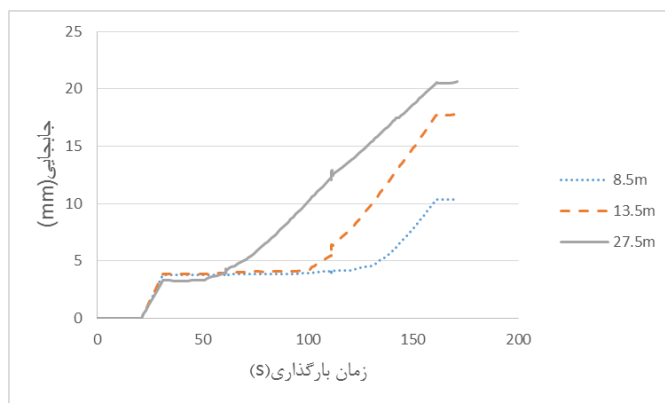
شکل ۸-۱۲ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۲۵٪ ارتفاع جداره لندفیل

در نمودار شکل ۷-۱۲ جابجایی در لایه GT در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این در نمودار ۷-۱۲ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده- اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۲۵٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی فشار هیدرواستاتیکی تاثیری بر جابجایی‌ها نداشت و مقادیر جابجایی GT در سه کد ارتفاعی ثابت ماند.



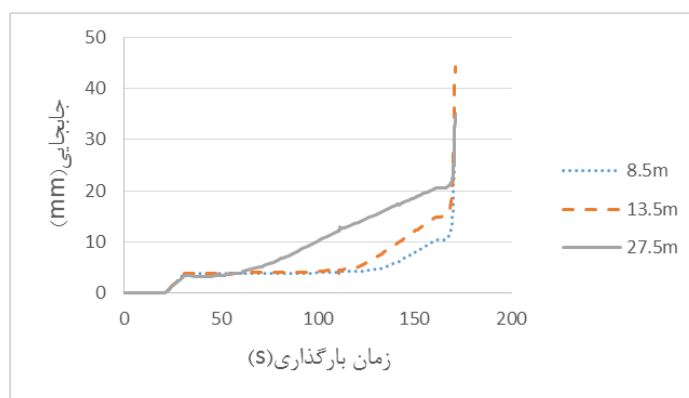
شکل ۸-۱۳ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۵۰٪ ارتفاع جداره لندفیل

در نمودار شکل ۷-۱۳ جابجایی در لایه GT در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این در نمودار ۷-۱۳ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده- اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۵۰٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی فشار هیدرواستاتیکی تاثیری بر جابجایی‌ها نداشت و مقادیر جابجایی GT در سه کد ارتفاعی ثابت ماند.



شکل ۸-۱۴ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۷۵٪ ارتفاع جداره لندفیل

در نمودار شکل ۷-۱۴ جابجایی در لایه GT در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این در نمودار ۷-۱۴ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده- اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۷۵٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی فشار هیدرواستاتیکی تاثیری بر جابجایی‌ها نداشت و مقادیر جابجایی GT در سه کد ارتفاعی ثابت ماند.

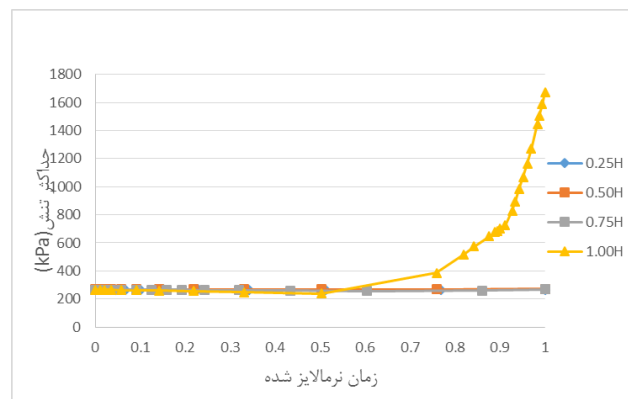


شکل ۸-۱۵ جابجایی در لایه ژئوتکستایل در تراز آب ۱۰۰٪ ارتفاع جداره لندفیل

در نمودار شکل ۷-۱۵ جابجایی در لایه GT در مدت زمان بارگذاری رسم شده است. در این در نمودار ۷-۱۵ جابجایی‌ها در سه کد ارتفاعی ۸/۵، ۱۳/۵ و ۲۷/۵ از بالای تاج شیروانی رسم شده- اند. در زمان ۱۷۰ و یا مرحله ۱۷ بارگذاری، فشار هیدرواستاتیکی تا ۱۰۰٪ ارتفاع قائم جداره لندفیل به مدل افزوده شد. که در این کد ارتفاعی جابجایی در لایه GT در استپ اضافه شدن فشار هیدرواستاتیکی بصورت موازی با محور قائم افزایش یافت که حاکی از گسیختگی در این لایه می‌باشد.

۸-۲-۵- تنش کششی اعمالی در لایه ژئوممبرین در اثر تغییرات فشار هیدرواستاتیکی آب

جهت تعیین تنش کششی به وجود آمده در ژئوممبرین در ترازهای مختلف ارتفاع آب از نرم-افزار خروجی گرفته شد. نتایج خروجی در شکل ۷-۱۶ آمده است.



شکل ۸-۱۶ پوش حداکثر تنش کششی بدست آمده از نرم افزار در ترازهای مختلف آب

نمودار ۷-۱۶ بیانگر آن است که تنش‌های کششی در لایه ژئوممبرین تغییری در خود نمی‌بینند. فقط در حالت ارتفاع ۱۰۰٪ آب است که تنش‌ها روند افزایشی پیدا کرده و تا مقدار ۱۶۸۰ کیلوپاسکال افزایش می‌یابند. افزایش تنش‌های برشی در این حالت نشان می‌دهد که لایه ژئوممبرین تازه از زمان حضور آب است که فعال می‌شود و در مقابل آن از خود مقاومت نشان می‌دهد.

۸-۲-۶- ضریب اطمینان پایداری داخلی

جهت تعیین ضریب اطمینان سیستم عایق به روش زیر عمل شد. از تقسیم تنش مجاز برشی لایه ژئوممبرین (۳۳۸ کیلوپاسکال) که از کارخانه تولید کننده گرفته شد بر تنش‌های کششی وارده به لایه ژئوممبرین (۲۲۸ کیلوپاسکال تنش کششی تا ارتفاع آب ۷۵٪) این ضریب اطمینان بدست آمد.

$$FS = \frac{\text{پوش تنش مجاز}}{\text{پوش تنش اعمالی}} = \frac{338}{260} = 1.3 \quad (۷-۱)$$

این ضریب اطمینان برای ارتفاع آب ۱۰۰٪، (تنش کششی ۱۶۸۰ کیلوپاسکال) کمتر از یک خواهد شد و بیانگر آن است که در این ارتفاع آب فشار هیدرواستاتیکی منجر به گسیختگی لایه ژئوممبرین و در نتیجه نشت آب به درون لندفیل خواهد شد.

نتیجه گیری و پیشنهادات

دفن بهداشتی پسماند مناسب‌ترین روش برای دفن هر نوع پسماند در محل دفن علمی پسماندهای مخصوص به خود می‌باشد، تا علاوه بر اینکه محیط اطراف را از هر نوع آلودگی حفظ کند، موجب تولید انرژی نیز از طریق دفن بهداشتی پسماند شود. از انرژی تولید شده می‌توان استفاده‌های بسیار مفید داشت.

ساختار یک محل دفن بهداشتی پسماند با توجه به شرایط محیطی و نوع پسماندی که دفن خواهد شد متفاوت است. اما ساختار کلی یک محل دفن بهداشتی شامل سیستم لایه‌ای کف، سیستم جمع‌آوری شیرابه، سیستم جمع‌آوری بیوگاز و سیستم پوشش نهایی می‌باشد.

پروژه مانیتورینگ توسعه لندفیل ملیگیت در طی بیش از سه سال انجام شد. هدف اولیه تحقیق محققین صحت سنجی یک روش استاندارد طراحی لندفیل با استفاده از مدلسازی عددی و همچنین درک بهتر از مکانیزم‌های موثر بر رفتار سیستم پوشش جداره لندفیل در طی زمان ساخت و بهره‌برداری بود.

مطالعات در محل لندفیل ملیگیت اطلاعات درباره عملکرد سیستم پوشش قبل و بعد از قرارگیری پسماند، که در این تحقیق آورده شده است، و در آینده نیز قرار است اطلاعات مربوط به بعد از بسته شدن لندفیل و تجزیه بیومکانیکی و نشست پسماند ارائه شود که می‌تواند درک بهتری از رفتار سیستم پوشش در حین سرویس نشان دهد. اطلاعات جمع‌آوری شده از محل شامل: تنش‌های اعمال شده بر روی سیستم پوشش، جابجایی ژئوسنتتیک‌ها، کرنش ژئوسنتتیک‌ها و دما که در این تحقیق تنش‌ها و جابجایی‌ها جهت مدلسازی عددی مدنظر قرار گرفت. مدلسازی عددی جداره لندفیل مانیتور شده با استفاده از یک تعداد مدل‌های مصالح مختلف و به تعداد آن‌ها از پارامترهای کلیدی مربوطه انجام شد. آنالیزهای انجام شده با نرم‌افزار ABAQUS با نتایج بدست آمده از محل و نتایج مدلسازی عددی همین پروژه در نرم‌افزار FLAC مقایسه گردید.

اطلاعات مانیتورینگ نشان داد که بخش‌هایی از ژئوتکستایل جابجایی‌های زیادی را تجربه کرده‌اند. این رفتار سیستم پوشش توسط مدلسازی عددی قابل تولید نبود. به هر حال در مدلسازی عددی رفتار آن بخش از ژئوتکستایل که بلافاصله پوشانده شده بود و در معرض

چرخه دمایی محیط و همچنین اشعه خورشید قرار نداشت با مدل رفتاری کرنش نرم‌شوندگی اینترفیس مدل شد. می‌توان نتیجه گرفت جابجایی‌های مشاهده شده در ژئوتکستایل در طی قرارگیری روکش دوم ماسه منجر به چروکیدگی در زیر لایه ژئوممبرین در نواحی از شیب که تحت تاثیر انبساط حرارتی قرارداشتند، شد. می‌توان تصدیق کرد که همچنان در شناخت رفتار سیستم‌های کامپوزیتی در معرض قرارگیری طولانی مدت شرایط جوی ضعف وجود دارد. در تلاش برای بازتولید این رفتار، آنالیزها با مقادیر کاهش یافته مقاومت برشی اینترفیس و خصوصیات اصلاح شده مصالح خاکی و ژئوتکستایل (این کاهش بیانگر اثر چروکیدگی مصالح تحت تاثیر و کاهش عمر ژئوسنتتیک‌ها است.) استفاده شد. ولی این روش قادر نبود تا جابجایی‌های اندازه‌گیری شده را تولید کند.

به این نکته باید توجه کرد که جابجایی‌های آن قسمت از ژئوسنتتیک^۳‌ها که بلافاصله توسط روکش اول ماسه پوشانده شده بودند و در معرض مستقیم نور خورشید قرار نداشتند، توسط مدلسازی عددی به روش استاندارد مدل شد که با نتایج ثبت شده از محل قابل مقایسه بود. و این نشان می‌دهد که روش‌های مدلسازی عددی برای زمانی که مصالح ژئوسنتتیکی در معرض آسیب از سوی عوامل دمایی هستند و این عوامل تبدیل به مکانیزم اصلی جابجایی می‌شوند قابل استفاده نیستند.

در نظر گرفتن اثرات دمایی بر عملکرد ژئوسنتتیک^۳‌ها واقع در سیستم پوشش جداره لندفیل به‌واسطه پیچیدگی بسیار زیاد آن‌ها نسبت به روش‌های طراحی مرسوم، رایج نیست. با این وجود باید تلاش‌هایی در جهت ارزیابی تاثیر چرخه‌های دمایی بر عملکرد سیستم پوشش جداره با علم به اینکه این پوشش برای مدت زیادی بدون روکش (به دلیل نرخ پرشدن آهسته) باقی خواهد ماند، صورت داد.

جابجایی نسبی بین ژئوتکستایل و ژئوممبرین می‌تواند باعث بسیج شدن تنش برشی اینترفیس و در نتیجه کاهش پایداری و منجر به لغزیدن سیستم پوشش در زیر پسماند شود. توصیه می‌شود که اگر ژئوسنتتیک‌ها برای مدت طولانی در معرض شرایط محیطی آزاد هستند

از مقادیر کاهش یافته مقاومت برشی اینترفیس و مقادیر اصلاح شده برای خصوصیات مصالح در طراحی استفاده گردد.

پس از صحت سنجی مدلسازی، فشار هیدرواستاتیکی بصورت عمود بر جداره لندفیل تعریف شد و با فرض اشباع شدن لایه رسی، این فشار مسقیماً به لایه ژئوممبرین به عنوان لایه عایق بصورت تدریجی در ترازهای چهارگانه اعمال شد. و جابجایی‌ها و تنش کششی به وجود آمده در این لایه بررسی شد. نتایج جابجایی و همچنین تنش‌های برشی در این لایه بیانگر این بود که فشار آب تا تراز ۷۵٪ ارتفاع شیب تاثیر بسیار ناچیزی بر رفتار ژئوممبرین داشت. ولی زمانی که ارتفاع آب به ۱۰۰٪ ارتفاع جداره (بالاترین نقطه لندفیل) رسید، جابجایی و تنش‌های کششی با شیب زیادی افزایش یافت. از نمودار پوش تنش کششی بر روی لایه ژئوممبرین و تنش مجاز کششی لایه ژئوممبرین ضریب اطمینان برای این لایه تعیین شد. که این ضریب اطمینان برای فشار هیدرواستاتیکی تا تراز ارتفاعی ۷۵٪ در حدود ۱/۳ بود. در تراز ارتفاعی ۱۰۰٪ این تنش به کمتر از یک رسید که بیانگر خرابی در لایه عایق شیرابه و نشت می‌باشد.

لذا لزوم ایجاد زهکش مناسب در خارج از لندفیل در مناطقی که احتمال وقوع تجمع آب‌های سطحی وجود دارد ضروری بنظر می‌رسد.

منابع

- [1] Helwany S, Wiley J, Sons, Applied Soil Mechanics with ABAQUS Applications, London, 1982.p.14-32.
- [2] Divya P, Viswanadham V, Gourc, Influence of geomembrane on the deformation behaviour of clay-based landfill covers, Geotextiles and Geomembranes, 2012, Vol. 34, PP. 158-171.
- [3] Jones D.R.V, Dixon N, Landfill lining stability and integrity: the role of waste settlement, Geotextiles and Geomembranes, 2005, Vol. 23, PP. 27-53
- [4] Dixon N, Jones D.R.V, Fowmes G.J, Interface shear strength variability and its use in reliability-based landfill stability analysis, Geosynthetics. Int, 2006, Vol 13, PP. 1-14
- [5] Dixon N, Zamara K.A, Jones D.R.V, Fowmes G, Waste/lining system interaction: implications for landfill design and long-term performance, Geotechnical Engineering, 2012, Vol 43, PP.1-10
- [6] Fowmes G.J, Dixon N, Jones D.R.V, Validation of a numerical modelling technique for multilayered geosynthetic landfill lining systems, Geotextiles and Geomembranes, 2008, Vol 26, PP. 109-121
- [7] Zamara K.A, Dixon N, Jones D.R.V, Fowmes G, Monitoring of a landfill side slope lining system: instrument selection, installation and performance. Geotextiles and Geomembranes, 2012, Vol 35, PP 1-13.
- [8] Zamara K.A, Dixon N, Fowmes G, Russell V, Jones Z, Landfill side slope lining system performance: A comparison of field measurements and numerical modelling analyses, Geotextiles and Geomembranes, 2014, Vol 35, PP 1-13.
- [9] Villard P.J, Gourc P, Feki N, Analysis of geosynthetic lining systems (GLS) undergoing large deformations, Geotextiles and Geomembranes, 1999, Vol 17, PP. 17-32.
- [10] Craig H, Tuncer B; Xiaodong W, Evaluation of a final cover slide at a landfill with recirculating leachate, Geotextiles and Geomembranes, 2012, Vol 35, PP. 100-106.
- [11] Yunmin C, Deng G, Bin Z, Controlling strain in geosynthetic liner systems used in vertically expanded landfills, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2009, Vol. 1, PP. 48-55.
- [12] Hisham T.E, Shear strength of geosynthetic composite systems for design of landfill liner and cover slopes, Geotextiles and Geomembranes, 2011, Vol. 29, PP. 335-344
- [13] SIA A, DIXON N, Numerical modelling of landfill lining system-waste interaction: implications of parameter variability, Geosynthetics International, 2012, Vol. 19, PP. 393 - 408.
- [14] Milosevic N, Thomsen N.I, Juhler R.K, Albrechtsen H.J, Bjerg P.L, Identification of discharge zones and quantification of contaminant mass discharges into a local

- stream from a landfill in a heterogeneous geologic setting, *Journal of Hydrology*, 2012, PP. 13-23.
- [15] Koerner R.M, Daniel D.E, Final Covers for Solid Waste Landfills and Abandoned Dumps, Thomas TALELFORD ASCE PRESS, 1997, PP. 66-85
- [16] Elagroudy A, Mohamed H, Mostafa A, Waste settlement in bioreactor landfill models, *Waste Management*, 2008, Vol 28, 2366–2374
- [17] Simoes G.F, Cataperta C.A.A, Monitoring and modeling of long – term settlements of an experimental landfill in Brazil, *Waste Management*, 2013, Vol. 33, PP. 420-430.
- [18] Benson C.H, Edil t.b, Evaluation of final coverslide at a landfill with recirculating leachate, *Geotext. Geomembranes*, 2012, Vol.35, pp.100-106
- [19] Peng R, Hou Y, Zhang L, Back-Analyses of Landfill Instability Induced by High Water Level: Case Study of Shenzhen Landfill, *int. j. Environ.RES. Public Health*, 2016, Vol. 13, no.1, p. 126.
- [20] TANO F, Touze-Foltz N, Finite difference modelling of the deformation and slippage processes of multi-layered geosynthetic lining systems, *EuroGeo*, 2016, PP. 25-28.
- [21] Timothy G, *Waste Management Principles and Practice*, Springer Science Business Media New York, 2015, 366–374.
- [22] Dixon N, Jones D.R, *Stability of Landfill Lining Systems: Report no.2 Guidance*. Environment Agency Research and Development Technical Report, 2003, PP. 1-385/TR2.
- [23] Xu C, Xiao Y.Y, Liao X.Y, Chen T.T, Influence of Waste and Subgrade Settlement on Landfill Linier Stability and Integrity, *Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering*, Springer, Berlin, 2008, PP. 564-568.

- [۲۴] امدادی حمید، بررسی اثر مواد افزودنی پودری ریزدانه در بهبود خصوصیات ژئوتکنیکی لایرهای مهندسی در لندفیل، دانشکده فنی- مهندسی گروه مهندسی عمران، دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۱
- [۲۵] نصری علی، ارزیابی سیستم پوشش مرکز علمی دفن پسماند بر اثر نشست پسماند، دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، ۱۳۹۶
- [۲۶] شهبازی رضا، یکرنگ‌نیا محمد، راهنمای کاربردی Abaqus به همراه مسائل مهندسی عمران سازه و ژئوتکنیک، نشر عمران، ۱۳۹۵

- [۲۷] سورگی محمدحسین، راه اندازی و تهیه دستورالعمل کاربردی نرم افزار Abaqus ، گزارش نهایی پروژه کارشناسی مهندسی مکانیک جامدات، دانشگاه فردوسی مشهد، تابستان ۱۳۸۴
- [۲۸] ضیایی پیغاله، راهنمای مدلسازی با نرم افزار Abaqus
- [۲۹] سروری یونس، شرایط مرزی در اجزاء محدود، ۱۳۹۵، <https://3ds.ir>
- [۳۰] سروری یونس، الزامات تولید توابع شکل در اجزاء محدود، ۱۳۹۶، <https://3ds.ir>

Abstract:

Design of landfills must consider stability both within and between elements of the lining system, within the waste and involving the sub-grade. However, the design must also consider the long-term integrity of the lining system. Stresses, and hence deformations, in both mineral and geosynthetic lining materials must be controlled to ensure preferential flow paths are not formed. An assessment of integrity requires knowledge of the interaction between components of the lining system and the waste body as it settles. This paper considers assessment of both global stability and local failure that could result in loss of lining integrity. Results are presented that traditional limit equilibrium techniques cannot be used to assess local failure. Factors of safety relate to global stability failure (i.e. development of a continuous failure surface) and not local failure that can lead to loss of integrity. Numerical analysis techniques can be used to assess local instability. Example results are presented for typical landfill cell geometries. These demonstrate the mechanism of local failure and sensitivity of behaviour to waste properties. Also in this study the landfill constructed in England modeled in ABAQUS software and compared to site results. Then hydrostatic pressure implicated to landfill lining side slope to find effect on landfill lining system integrity.

Keywords: landfill, side slope stability, lining system integrity, numerical modeling



Ministry of Science

Research and Technology

Graduate University of Advanced Technology

Faculty of civil and surveying Engineering

Department of Earthquake and Geotechnics

Evaluate landfill side slope lining system performance against lateral hydrostatic pressure

A Thesis for Degree of Master of Science (M.Sc.) in Geotechnical
Engineering

Mojtaba Jafari

Supervisor

Dr.Fazlollah Soltani

November 2018

