

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی معدن

عنوان:

شبیه سازی و بررسی آزمایشگاهی روش های پایدارسازی
سازه های فروشویی توده ای

استاد راهنما:

دکتر مهدی امینی

بوسیله:

محمد شفیعی علویچه

مرداد ماه ۱۳۹۱



دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتحلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد شفیعی علویجه شماره دانشجویی: ۸۹۱۳۵۵۰۰۰۳
رشته: مهندسی معدن-استخراج معدن دانشکده: مهندسی
عنوان پایان نامه: شبیه سازی و بررسی آزمایشگاهی روشن های پایدار سازی سازه های قرو شویی توده ای
تعداد واحد پایان نامه: ۶ واحد تاریخ دفاع: ۹۱/۵/۱

این پایان نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۱/۵/۱ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹٫۸۳ و درجه ۲ به تصویب رسید.

نزد دفتر مشاوره
اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر مهدی امینی	استادیار	
۲. متخصص و صاحب نظر از دکتل دانشگاه	دکتر علی اکبر عبدالله زاده	استادیار	
۳. متخصص و صاحب نظر از دکتل دانشگاه	دکتر حسین تحقیقی	استادیار	
۴. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر سید حسین رسا	استادیار	

آدرس: کاشان-پلوار قطب روانی
کد پستی: ۵۱۱۶۷-۸۷۳۱۷
تلفن: ۵۵۵۱۱۳۰-دورنگار ۵۵۵۱۱۳۰
<http://www.kashanu.ac.ir>

تقدیم ہے:

پروماد مہربانم

سپاس و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا برخود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار به‌ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر مهدی امینی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه تقبل نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقای دکتر علی اکبر عبدالله‌زاده و دکتر حسین تحقیقی که به‌عنوان اساتید داور این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

از جناب آقای دکتر سید حسین رسا که به‌عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

در پایان از جناب آقای مهندس مسعود ترابی‌خواه به‌خاطر کمک در انجام کارهای آزمایشگاهی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

توده فروشویی به حجم زیادی از ماده معدنی اتلاق می‌گردد که روی یک سطح شیبدار ناتراوا قرار گرفته و با استفاده از حلال مناسب شستشو می‌شود. سازه فروشویی، واحد نخست فرآیند هیدرومتالورژی می‌باشد. یکی از مخاطرات این سازه‌ها، احتمال لغزش و ناپایداری آنها است که تبعات مالی، زمانی و زیست محیطی فراوانی دارد. تحقیقات در زمینه پایداری سازه‌های فروشویی محدود و پراکنده است. در این مجموعه پایداری سازه‌های فروشویی با استفاده از مدلسازی آزمایشگاهی و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. برای مدلسازی آزمایشگاهی یک دستگاه میز شیبدار ساخته شد. ابتدا چهار ترکیب زیرلایه مورد استفاده در ساخت سازه‌های فروشویی به منظور بررسی تاثیر نوع زیرلایه و ژئوممبران در پایداری مدلسازی شده است. با انتخاب زیرلایه رس متراکم با ژئوممبران صاف، دیگر روش‌های پایداری مدلسازی شدند. این روش‌ها شامل تاثیر بلوک غیرفعال در سازه با مدلسازی خاکریز جلوی سازه می‌باشد. سپس دو روش جدید برای پایداری سازه‌های فروشویی ارائه گردید. این روش‌ها شامل ساخت سازه به صورت پله‌ای و ساخت سازه روی بستر با شیب متغییر می‌باشد که با استفاده از میز شیبدار مدلسازی شدند. با استفاده از روش تحلیلی GLE (مرگنسترن و پرایس) تمامی مدل‌های آزمایشگاهی به صورت تحلیلی بررسی شدند. نتایج مدلسازی‌های آزمایشگاهی نشان دهنده افزایش پایداری ۷ تا ۱۱ درجه‌ای در استفاده از ژئوممبران زبر است. همچنین خاکریز جلوی سازه باعث افزایش پایداری ۵ تا ۱۸/۵ درجه‌ای، ساخت سازه به صورت پله‌ای افزایش ۲ درجه‌ای و بستر با دو شیب متفاوت افزایش ۵ تا ۸ درجه‌ای در سازه‌های فروشویی را نشان می‌دهد. در مدلسازی تحلیلی خطای حاصل زیر ۰.۸٪ است که نشان می‌دهد می‌توان از این روش‌ها برای تحلیل پایداری سازه‌های فروشویی استفاده نمود. در آخر لغزش اتفاق افتاده در سازه میدوک بررسی و روش مناسب برای پایداری آن ارائه شده است.

کلمات کلیدی: سازه فروشویی توده‌ای، مدلسازی آزمایشگاهی، میز شیبدار، تعادل تحلیلی، میدوک.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	مقدمه‌ای بر پایداری سازه‌های فروشویی توده‌ای
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- سازه‌های فروشویی توده‌ای
۵	۱-۲-۱- بسترسازی
۷	۲-۲-۱- نصب زهکش
۸	۳-۲-۱- ساخت پله‌های خاک اکسیدی
۹	۳-۱- اهمیت پایداری سازه‌های فروشویی توده‌ای
۱۰	۴-۱- مکانیزم ناپایداری سازه‌های فروشویی توده‌ای
۱۱	۱-۴-۱- ناپایداری‌های محتمل در سازه‌های فروشویی توده‌ای
۱۳	۵-۱- روش‌های پایدارسازی سازه‌های فروشویی توده‌ای
۱۷	۶-۱- مروری بر تحقیقات گذشته
	مقدمه‌ای بر مدلسازی آزمایشگاهی و تحلیلی شیروانی‌های خاکی
۲۰	۱-۲- مقدمه
۲۰	۲-۲- مدلسازی آزمایشگاهی در ژئوتکنیک
۲۱	۱-۲-۲- دستگاه میز شیبدار
۲۳	۲-۲-۲- مشخصات دستگاه میز شیبدار ساخته شده
۲۴	۳-۲- مدلسازی تحلیلی شیروانی‌های خاکی
۲۵	۱-۳-۲- نرم افزار Slide
۲۶	۲-۳-۲- روش مرگنسترین و پرایس
۲۸	۴-۲- ضریب نسبت در مدلسازی آزمایشگاهی با میز شیبدار

مدلسازی آزمایشگاهی و تحلیلی

۳۲	۱-۳- مقدمه
۳۲	۲-۳- مواد استفاده شده در مدلسازی
۳۴	۳-۳- مدلسازی آزمایشگاهی
۳۵	۱-۳-۳- تاثیر ژئوممبران زبر در پایدارسازی سازه‌های فروشویی
۳۷	۲-۳-۳- مدلسازی بلوک غیرفعال در سازه‌های فروشویی
۴۱	۳-۳-۳- ساخت سازه فروشویی به صورت پله‌ای
۴۳	۴-۳-۳- ساخت سازه فروشویی با شیب بستر متغیر
۴۵	۴-۳- حل تحلیلی مدلسازی‌های آزمایشگاهی
۵۱	۵-۳- مقایسه نتایج مدلسازی آزمایشگاهی و حل تحلیلی

مطالعه موردی (سازه فروشویی میدوک)

۵۵	۱-۴- مقدمه
۵۵	۲-۴- معرفی سازه فروشویی میدوک
۵۷	۳-۴- لغزش سازه فروشویی میدوک
۵۸	۴-۴- پایدارسازی سازه فروشویی میدوک
۵۸	۱-۴-۴- پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل پایداری
۶۰	۲-۴-۴- بررسی طرح پایدارسازی

نتایج و پیشنهادها

۶۶	۵-۱- مقدمه
۶۶	۵-۲- نتایج
۶۷	۵-۳- پیشنهادها

۶۹	منابع
----	-------

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۰	جدول ۱-۲- ضریب نسبت برای مدلسازی آزمایشگاهی با میز شیبدار
۳۷	جدول ۱-۳- ترتیب زیرلایه و زاویه لغزش در مدلسازی آزمایشگاهی
۴۰	جدول ۲-۳- زاویه لغزش روی ژئوممبران، زاویه لغزش ژئوممبران روی رس متراکم، زاویه اولیه سطح شیبدار و زاویه خاکریز در لحظه لغزش در شبیه‌سازی خاکریز جلوی سازه
۴۴	جدول ۳-۳- زاویه لغزش و شیب دو سطح زیر بستر در شبیه‌سازی بستر با دوشیب متغییر
۴۶	جدول ۴-۳- پارامترهای برشی به کار رفته در حل تحلیلی
۴۶	جدول ۵-۳- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده برای چهار آزمایش اول.
۴۸	جدول ۶-۳- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده برای مدلسازی خاکریز جلوی سازه
۴۹	جدول ۷-۳- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده برای مدلسازی حالت پله‌ای و بستر با دو شیب متغییر
۵۹	جدول ۱-۴- روش‌های مورد استفاده برای تعیین پارامترهای برشی مواد موجود در سازه میدوک
۵۹	جدول ۲-۴- پارامترهای برشی مواد موجود در سازه میدوک
۶۱	جدول ۳-۴- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده برای مقاطع بحرانی در سازه میدوک
۶۴	جدول ۴-۴- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده برای مقاطع بحرانی بعد از نصب ژئوممبران زبر در سازه میدوک

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱- نمای تشریحی ساختار فروشویی توده‌ای
۱۱	شکل ۲-۱- بستر ناتراوای ساختار فروشویی توده‌ای ۲ معدن مس سرچشمه
۱۴	شکل ۳-۱- خاکریز پاشنه در ساختار فروشویی توده‌ای الف) نمای تشریحی ب) مطالعه موردی واقعی
۱۵	شکل ۴-۱- خاکریز داخلی در بستر سازه برای افزایش پایداری
۱۶	شکل ۵-۱- افزایش پایداری سازه‌های فروشویی توده‌ای با استفاده از ترانشه داخلی
۱۷	شکل ۶-۱- ساخت سازه با زمین زیرین پله‌ای شکل برای جلوگیری از لغزش در حاشیه بستر ناتراوا
۲۲	شکل ۱-۲- الف) عکس دستگاه میز شیب‌دار ساخته شده در آزمایشگاه مدلسازی و شبیه‌سازی فیزیکی دانشگاه کاشان، ب) نمای تشریحی دستگاه میز شیب‌دار
۲۳	شکل ۲-۲- دستگاه میز شیب‌دار
۲۶	شکل ۳-۲- نیروهای وارد بر یک ورقه فرضی در توده لغزشی
۲۷	شکل ۴-۲- نیروهای وارد بر ورقه‌های تشکیل دهنده توده لغزشی براساس روش مرگنسترین و پرایس
۳۳	شکل ۱-۳- مواد ژئوسینتتیک استفاده شده در مدلسازی، الف) ژئوممبران زیر، ب) ژئوممبران صاف، ج) GCL
۳۳	شکل ۲-۳- مواد طبیعی استفاده شده در مدلسازی الف) خاک رس، ب) ماسه، ج) زهکش سنگ‌ریزه‌ای، د) کاشین
۳۴	شکل ۳-۳- ترتیب و ضخامت لایه‌ها در مدلسازی با زیرلایه رس متراکم/ GCL و ژئوممبران صاف/ زیر
۳۴	شکل ۴-۳- عکس بستر مدلسازی با زیرلایه GCL و ژئوممبران صاف
۳۵	شکل ۵-۳- مدلسازی در چهار آزمایش اولیه، الف) نمونه‌ای از مدل آزمایشگاهی، ب) ابعاد مدلسازی
۳۶	شکل ۶-۳- ترک کششی در مدل بعد از شیب‌دار شدن میز
۳۷	شکل ۷-۳- ترک کششی و لغزش ایجاد شده بر روی ژئوممبران در مدلسازی آزمایشگاهی

- شکل ۳-۸- ابعاد مدل برای مدلسازی خاکریز جلوی سازه ۳۸
- شکل ۳-۹- قرارگیری لایه‌ها در بستر مدل با خاکریز جلو سازه ۳۹
- شکل ۳-۱۰- مدل ساخته شده در مدلسازی خاکریز جلوی سازه ۳۹
- شکل ۳-۱۱- نمونه‌ای از حرکت مدل روی لایه رس متراکم ۴۰
- شکل ۳-۱۲- نمای تشریحی از سازه فروشویی بصورت پله‌ای ۴۱
- شکل ۳-۱۳- مدل ساخته شده برای حالت پله‌ای قبل از شیب‌دار شدن میز ۴۲
- شکل ۳-۱۴- مدل ساخته شده برای حالت پله‌ای بعد از شیب‌دار شدن میز ۴۳
- شکل ۳-۱۵- نمای تشریحی از سازه فروشویی با دو شیب متغییر در بستر ۴۴
- شکل ۳-۱۶- بستر مدلسازی با دو شیب متغییر ۴۵
- شکل ۳-۱۷- مدل ساخته شده با نرم‌افزار Slide برای زاویه میانگین آزمایش شماره یک ۴۷
- شکل ۳-۱۸- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده با نرم‌افزار Slide برای زاویه میانگین آزمایش شماره یک ۴۸
- شکل ۳-۱۹- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده با نرم‌افزار Slide برای زاویه میانگین آزمایش برم ۲۰ درجه در مدلسازی خاکریز جلوی سازه ۴۹
- شکل ۳-۲۰- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده با نرم‌افزار Slide برای زاویه میانگین مدلسازی پله‌ای ۵۰
- شکل ۳-۲۱- کمترین ضریب ایمنی محاسبه شده با نرم‌افزار Slide برای زاویه میانگین مدلسازی شیب جلویی ۲۰ درجه در حالت بستر با دو شیب متغییر ۵۱
- شکل ۴-۱- ترتیب لایه‌های بستر در سازه فروشویی میدوک ۵۶
- شکل ۴-۲- توپوگرافی بستر سازه فروشویی میدوک بعد از عملیات خاکی ۵۶
- شکل ۴-۳- لغزش روی لایه ژئوممبران در سازه فروشویی میدوک ۵۷
- شکل ۴-۴- ترک کششی ناشی از لغزش قاشقی در انباشتگاه خاک اکسیدی معدن مس میدوک ۵۸
- شکل ۴-۵- آنالیز برگشتی لغزش در انباشتگاه خاک اکسیدی میدوک برای تعیین پارامترهای برشی خاک ۶۰
- شکل ۴-۶- آنالیز برگشتی لغزش در سازه میدوک برای تعیین پارامترهای برشی بین ژئوممبران و GCL ۶۰
- شکل ۴-۷- محل مقاطع بحرانی مورد بررسی برای بررسی اثرات طرح پایدارسازی ۶۲
- شکل ۴-۸- نتیجه تحلیل پایداری مقطع شماره یک ۶۲

شکل ۹-۴- محل‌های دارای پتانسیل لغزش بعد از ساخت خاکریز و افزایش کد ارتفاع
تشتکی

۶۳

شکل ۱۰-۴- محل پیشنهادی برای تعویض لایه ژئوممبران صاف-GCL با ژئوممبران دو
طرف آجدار

۶۴

فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۵۲	نمودار ۱-۳- مقایسه نتایج مدلسازی آزمایشگاهی و تحلیلی برای چهار آزمایش اولیه
	نمودار ۲-۳- مقایسه نتایج مدلسازی آزمایشگاهی و تحلیلی برای مدلسازی‌های انجام
۵۳	شده با روش‌های افزایش پایداری

فصل اول

مقدمه‌ای بر پایداری سازه‌های فروشوی توده‌ای

۱-۱- مقدمه

استخراج مواد معدنی و افزایش عیار آن از دیرباز مورد توجه بشر بوده و همگام با توسعه علم و صنعت پیشرفت کرده است. تغلیظ مواد معدنی براساس خط پیرومتالوژی از قدیمی‌ترین روش‌های استخراج فلزات محسوب می‌شود. هرچند این روش بسیار قدیمی است ولی در بعضی از موارد تنها راه دستیابی به فلز خالص می‌باشد. روش کار براساس خردایش، تغلیظ چند مرحله‌ای، تولید کنستانتره و نهایتاً ذوب کنستانتره و استحصال فلز مربوط است. این روش دارای عیوب بسیار زیادی می‌باشد. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- آلودگی محیط زیست؛
- ۲- پیچیدگی چرخه تولید؛
- ۳- صرف انرژی بسیار زیاد؛
- ۴- نیاز به ماده معدنی با عیار بالا؛
- ۵- تاثیر زیاد عیار و نوع ماده معدنی در نتیجه تولید؛

روش دیگر استحصال فلزات از مواد معدنی، روش هیدرومتالوژی است. این روش شامل انحلال فلز موجود در ماده معدنی در حلال خاص و سپس استحصال فلز از حلال می‌باشد. هیدرومتالوژی نسبت به پیرومتالوژی پیچیدگی خاصی ندارد، انرژی کمتری صرف و استحصال فلز موجود در ماده معدنی با عیار پایین را امکان‌پذیر می‌کند. همچنین تغییرات عیار ماده معدنی تاثیر زیادی در نتیجه خط تولید ندارد. از اینرو در معادن روباز توجه خاصی به این روش تولید شده است. روش هیدرومتالوژی مراحل متعددی دارد که بخش عمده آن به نام فروشویی^۱ معروف هستند. در این روش ماده معدنی با ارتفاع معین روی بستر تقریباً نائراوا قرار گرفته و حلال مناسبی روی آن ریخته می‌شود. حلال فلز را در خود حل کرده و از زیر مواد معدنی زهکشی می‌گردد.

حلال باردار^۱ به واحد دیگری ارسال و با انجام عمل الکترووینینگ، فلز از حلال جدا می‌شود (شکل ۱-۱) [۱].

در زمینه طراحی روش‌های فروشویی توده‌ای، انواع مختلفی وجود دارد. انتخاب نوع روش فروشویی توده‌ای شدیداً وابسته به مشخصه‌های ماده معدنی، مقاومت ماده معدنی، توپوگرافی محل، نرخ تولید کانسنگ و تجهیزات هیدرومتالورژی است [۲].

این روش‌ها به چهار دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند [۲]:

- فروشویی معمولی^۲ با حوضچه جمع‌کننده حلال بیرونی؛
- فروشویی دره‌ای^۳ با مخزن حلال درونی؛
- فروشویی on/off یا قابل استفاده مجدد^۴ با چند سلول فعال و حوضچه جمع‌کننده حلال بیرونی؛
- فروشویی پیوندی یا هیبریدی^۵، که می‌تواند مرکب از مولفه معمولی، دره‌ای یا قابل استفاده مجدد باشد؛

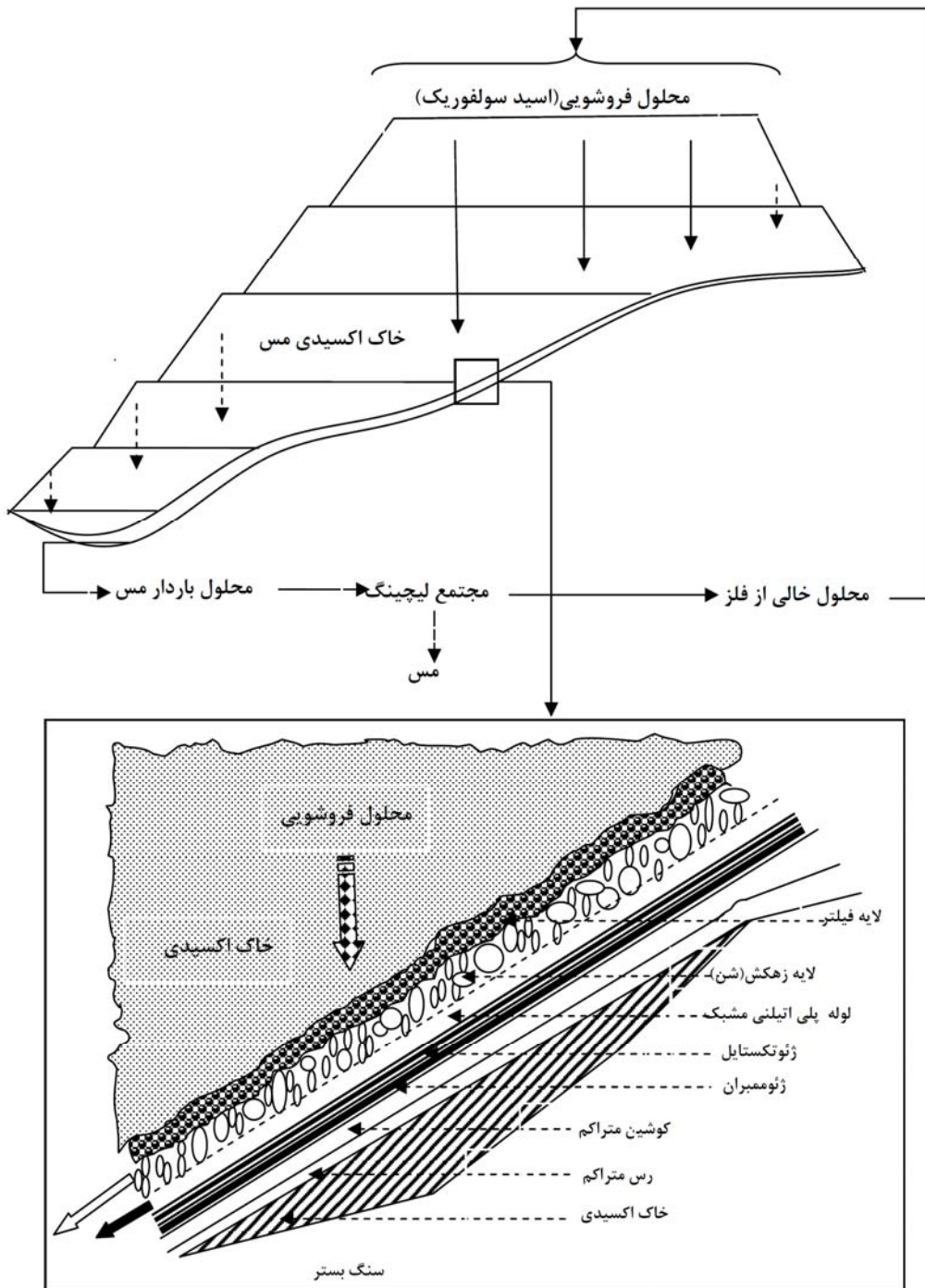
۱-۲- سازه‌های فروشویی توده‌ای

اولین سازه فروشویی توده‌ای ساخته شده برای استحصال مس از خاک اکسیدی مس بوده است. در گذشته تنها زیرلایه‌های طبیعی در بستر سازه‌های فروشویی به کار گرفته می‌شد. با شروع فروشویی توده‌های طلا و نقره با سیانید در مونتانا و نوادای آمریکا در اواخر ۱۹۷۰، استفاده از ژئوممبران^۶ و لایه‌های مصنوعی در این زمینه به دلیل ناکارایی نگهدارندهای طبیعی مطرح شد [۴].

ساخت سازه‌های فروشویی توده‌ای شامل سه مرحله اساسی می‌باشد [۱]:

- ۱- بسترسازی
- ۲- نصب زهکش
- ۳- ساخت پله‌های خاک اکسیده

1 - Pregnant Liquid Solution
2 - Traditional leach pad
3 - Valley leach pad
4 - Reusable leach pad
5 - Hybrid Leach Pads
6 - Geomembrane



شکل ۱-۱- نمای تشریحی ساختار فروشویی توده‌ای [۳].

۱-۲-۱- بستر سازی

پرهزینه و زمان برترین بخش اجرای سازه‌های فروشویی توده‌ای ساخت بستر سازه می‌باشد. در این مرحله لازم است منطقه‌ای در حد کیلومتر مربع کاملاً ناتراوا شود. ناتراوا کردن سطحی با این وسعت بسیار مشکل است. بستر سازی خود شامل ۳ مرحله است [۱]:

الف: تسطیح اولیه

ب: تسطیح ثانویه

ج: لایه ژئوممبران و ژئوتکستایل^۱ محافظ

الف: تسطیح اولیه

اکثر معادن دارای طرح هیدرومتالوژی در مناطق کوهستانی واقع شده‌اند. بنابراین یافتن محلی مناسب در حد کیلومتر مربع و با شیب مطلوب در نزدیکی معدن، کاری بسیار دشوار و حتی غیرممکن می‌باشد. براین اساس معمولاً مناطق با شیب زیاد انتخاب و شیب بستر تا حد مطلوب کاهش می‌یابد. معیار و میزان کاهش شیب بستر وضعیت پایداری توده می‌باشد. به‌طوریکه شیب بستر را آنقدر کاهش می‌دهند تا توده ماده معدنی، که قرار است در آینده روی این سطح قرار گیرد کاملاً پایدار بماند. ضریب ایمنی لغزش توده برای سازه‌های فروشویی توده‌ای، در شرایط معمول ۱/۳ انتخاب می‌شود. هرچند با توجه به اهمیت سازه در شرایط خاص و در صورتیکه لغزش توده خطرات جانی و مالی زیادی در پی داشته باشد، ضریب ایمنی تا ۱/۶ نیز افزایش می‌یابد [۱].

راهنمایی‌های کلی برای تسطیح محل لایه‌های فروشویی توده‌ای شامل موارد زیر است [۵]:

- تسطیح شیب برای مناطقی که در آنجا حلال فروشویی شده می‌تواند به صورت مناسب جمع آوری شود.
- جلوگیری از شیبدار شدن بیش از حد که می‌تواند در تعیین پایداری شیب موثر باشد.
- یک شکل نگهداشتن سطح از نظر هندسی به‌طوریکه امکان قراردادن سازه باشد.

ب: تسطیح ثانویه

در این مرحله از ساخت بستر، برای تثبیت و تسطیح، لایه‌ای از خاک رس متراکم روی بستر سازه پهن می‌گردد. خاک رس متراکم وظیفه ناتراوا کردن بستر توده فروشویی را نیز برعهده دارد. به دلیل نفوذپذیری پایین رس متراکم، این لایه جلو نشت اسید به زمین را گرفته و مانع از هدر رفتن محلول باردار و آلودگی محیط زیست می‌شود. براساس استانداردهای محیط زیستی آمریکا،

1 - Geotextile

این لایه باید بعد از تراکم (۹۵-۹۰٪)، دارای ضریب نفوذپذیری کمتر از 10^{-7} سانتیمتر بر ثانیه گردد. بر مبنای همین استاندارد، اگر PI خاک بالای ۲۰ بوده و درصد ذرات ریزدانه آن (زیر ۷۵ میکرون) بیشتر از ۳۰٪ باشد، بعد از تراکم (۹۵-۹۰٪) دارای ضریب نفوذپذیری کمتر از 10^{-7} سانتیمتر بر ثانیه خواهد بود. کمترین نفوذپذیری خاک رس زمانی حاصل می‌گردد که درصد رطوبت آن، در حین تراکم، ۱ تا ۷٪ بیشتر از درصد رطوبت بهینه تراکم استاندارد باشد. رس متراکم در بستر توده‌های فروشویی باید در لایه‌های ۱۵ سانتیمتری متراکم شود [۶].

در برخی پروژه‌ها لایه‌های رس ژئوسینتتیک^۱ (GCL) می‌تواند برای دستیابی به زیرلایه با نفوذپذیری کم بر روی خاک ریزدانه، برای کاهش نفوذ محلول استفاده شود [۷]. ضخامت لایه رس متراکم در بخش‌های مختلف سازه متفاوت است. معیار آن زهکشی آب‌های جاری می‌باشد. به‌طوریکه لازم است در هنگام بارندگی هیچ‌گونه حوضچه‌ای روی سازه به وجود نیاید. همچنین لازم است تغییرات زیاد شیب بین دو بخش در این مرحله از بین برود [۱].

ج: لایه ژئوممبران و ژئوتکستایل محافظ

لایه اصلی ناتراوا مورد استفاده در سازه‌های فروشویی توده‌ای لایه ژئوممبران می‌باشد. ضخامت ژئوممبران معمولاً بین ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر بوده و در مقابل سوراخ‌شدگی^۲ مقاومت پایینی دارد. مواد معمول لایه ژئوممبران که در سازه‌های فروشویی توده‌ای استفاده شده است شامل پلی‌اتیلن کم‌چگالی^۳ (LLDPE)، پلی‌اتیلن چگالی‌بالا^۴ (HDPE)، پلی‌ونیل کلراید^۵ (PVC) می‌باشد. بیشتر توده‌های فروشویی با استفاده از LLDPE و HDPE ساخته شده است [۸].

ژئوممبران معمول مورد استفاده در سازه‌های فروشویی توده‌ای، ژئوممبران HDPE و LLDPE با ضخامت‌های ۱/۵ تا ۲ میلی‌متر هستند [۹].

با توجه به خطرات تهدید کننده از سوی موادی که بر روی لایه ژئوممبران قرار می‌گیرند، ژئوتکستایل به منظور فراهم کردن محافظت از این لایه بر روی آن قرار می‌گیرد. جنس این لایه نیز از HDPE می‌باشد [۱۰].

همچنین در سازه‌های فروشویی توده‌ای می‌توان از کاشین^۶ در زیر و روی لایه ژئوممبران برای محافظت این لایه از خطرات احتمالی سوراخ‌شدگی استفاده نمود.

-
- 1 - Geosynthetic Clay Liner
 - 2 - Punchability
 - 3 - Linear Low Density Polyethylene
 - 4 - High Density Polyethylene
 - 5 - Polyvinyl Chloride
 - 6 - Cushion