



**دانشگاه آزاد اسلامی**

**واحد تهران مرکزی**

**دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران**

**پایان نامه برای دریافت کارشناسی ارشد "M.Sc"**

**گرایش: ژئوتکنیک**

**عنوان:**

# **تحلیل عددی ژئوممبرین به عنوان المان آب بند در سدهای خاکی**

**استاد راهنما:**

**دکتر سعید قربان بیگی**

**استاد مشاور:**

**دکتر محمدفرید آستانه**

**پژوهشگر:**

**محمد بهبودی**

**تابستان ۱۳۹۲**





**دانشگاه آزاد اسلامی**

**واحد تهران مرکزی**

**دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران**

**پایان نامه برای دریافت کارشناسی ارشد "M.Sc"**

**گرایش: ژئوتکنیک**

**تحلیل عددی ژئوممبرین به عنوان المان آب بند**

**در سدهای خاکی**

**استاد راهنما:**

**دکتر سعید قربان بیگی**

**استاد مشاور:**

**دکتر محمدفرید آستانه**

**پژوهشگر:**

**محمد بهبودی**

**تابستان ۱۳۹۲**

## تقدیم به

---

پدر و مادر مهربانم که در تمام مراحل زندگی همواره  
از حمایت‌های بی دریغ آنها بهره‌مند بوده‌ام و تقدیم  
به همه آنها که مرا علم آموختند.

## قدردانی

به رسم ادب و احترام از استاد راهنمای گرامی‌ام، جناب آقای دکتر قربان بیگی که در تمام این مدت مشتاقانه با حمایت‌ها و رهنمودهایشان من را در انجام هرچه بهتر این رساله یاری کردند، صمیمانه قدردانی می‌کنم. و از خداوند منان سعادت ایشان را خواستارم.

همچنین مراتب سپاس خود را از استاد مشاور محترم، جناب آقای دکتر آستانه اعلام می‌دارم. بحث‌ها و سوالاتی که ایشان در حین انجام تحقیق مطرح کردند، موجب روشن‌تر شدن ابعاد مختلف مسائل پیش رو گردید. امید است در تمام مراحل زندگی سلامت و موفق باشند.

در پایان از دوست بسیار عزیزم آقای مهندس امید سلطانی مطلق که در طول این مدت زحمات برخی از امور را به دوش کشیدند، عمیقاً سپاسگزاری کرده و از خداوند متعال توفیق بیش از پیش ایشان را مسئلت می‌نمایم.

## فهرست مطالب

- ۱- کلیات..... ۱
- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- بیان مسئله..... ۳
- ۳-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق..... ۳
- ۴-۱- فرضیات پژوهش..... ۳
- ۲- ادبیات فنی..... ۵
- ۱-۲- مقدمه..... ۶
- ۲-۲- هدف از اجرای ژئوسنتتیک‌ها..... ۶
- ۳-۲- کاربرد ژئوسنتتیک‌ها در سدها..... ۷
- ۴-۲- انواع ژئوسنتتیک‌ها..... ۷
- ۱-۴-۲- ژئوتکستایل..... ۷
- ۲-۴-۲- ژئوگرید..... ۸
- ۳-۴-۲- ژئونت..... ۸
- ۴-۴-۲- ژئوکامپوزیت..... ۸
- ۱-۴-۴-۲- ژئوکامپوزیت مرکب از ژئونت و ژئوتکستایل..... ۸
- ۲-۴-۴-۲- ژئوکامپوزیت مرکب از ژئوممبرین و ژئوتکستایل و یا ژئوممبرین و ژئوگرید..... ۸
- ۵-۴-۲- ژئوممبرین..... ۹
- ۵-۲- مقایسه ژئوممبرین‌ها با سایر ژئوسنتتیک‌ها..... ۹
- ۶-۲- ترکیبات ژئوممبرین‌ها..... ۹
- ۱-۶-۲- پلیمرهای مصنوعی استفاده شده در ژئوممبرین‌ها..... ۱۰

- ۱۰..... ۲-۶-۲- ژئوممبرین های پلیمری
- ۱۱..... ۲-۶-۳- ژئوممبرین های قیری
- ۱۱..... ۲-۷-۷- ویژگی های ژئوممبرین ها
- ۱۲..... ۲-۷-۱- ویژگی های فیزیکی ژئوممبرین ها
- ۱۲..... ۲-۷-۱-۱- ضخامت
- ۱۴..... ۲-۷-۱-۲- جرم واحد سطح
- ۱۴..... ۲-۷-۱-۳- چگالی
- ۱۵..... ۲-۷-۱-۴- انبساط و انقباض حرارتی
- ۱۶..... ۲-۷-۱-۵- پایداری ابعادی
- ۱۶..... ۲-۷-۲- ویژگی های هیدرولیکی ژئوممبرین ها
- ۱۶..... ۲-۷-۲-۱- نشت بوسیله آب مایع
- ۱۷..... ۲-۷-۲-۲- نشت بوسیله بخار آب
- ۱۸..... ۲-۷-۳- ویژگی های مکانیکی ژئوممبرین ها
- ۱۸..... ۲-۷-۳-۱- رفتار کششی
- ۲۰..... ۲-۷-۳-۲- مقاومت در برابر تنش های متمرکز و بارهای آنی
- ۲۱..... ۲-۷-۳-۳- مقاومت برشی سطح تماس
- ۲۲..... ۲-۷-۳-۴- مقاومت درز اتصال
- ۲۲..... ۲-۷-۴- ویژگی های دوام ژئوممبرین ها
- ۲۲..... ۲-۸- مزایای کاربرد ژئوممبرین ها
- ۲۳..... ۲-۹- معایب کاربرد ژئوممبرین ها
- ۲۴..... ۲-۱۰- نصب ژئوممبرین ها
- ۲۴..... ۲-۱۰-۱- نکات لازم هنگام نصب ژئوممبرین ها

- ۲۵-۱۱-۲- کاربرد ژئوممبرین ها در سدهای خاکی.....
- ۲۵-۱-۱۱-۲- رویه بالادست سدهای خاکی.....
- ۲۶-۱-۱-۱۱-۲- پوشش تک لایه.....
- ۲۸-۲-۱-۱۱-۲- پوشش دوگانه.....
- ۲۹-۳-۱-۱۱-۲- پوشش مرکب.....
- ۳۰-۲-۱۱-۲- هسته سدهای خاکی.....
- ۳۲-۳-۱۱-۲- افزایش ارتفاع سدهای خاکی.....
- ۳۲-۱-۳-۱۱-۲- عملکرد ژئوممبرین تنها به عنوان آببند.....
- ۳۳-۲-۳-۱۱-۲- ژئوممبرین استفاده شده برای کاهش سطح آزاد آب.....
- ۳۴-۴-۱۱-۲- دیوارهای آببند.....
- ۳۵-۵-۱۱-۲- تعمیر نشت سدهای خاکی.....
- ۳۹-۱۲-۲- مطالعات موردی.....
- ۳۹-۱-۱۲-۲- سد خاکی سهند (تبریز).....
- ۴۰-۲-۱۲-۲- اجرای ژئوممبرین در دیوار آببند سد گتوند علیا.....
- ۴۲-۱-۲-۱۲-۲- نتیجه گیری.....
- ۴۳-۳-۱۲-۲- دو نمونه از آببندی سدها با استفاده از ژئوممبرین قیری.....
- ۵۲-۴-۱۲-۲- نقش ژئوممبرین به عنوان آببند در افزایش ارتفاع سد باطله مس سرچشمه.....
- ۵۵-۳- روش تحقیق و معرفی سد دوستی.....
- ۵۶-۱-۳- روش تحقیق.....
- ۵۶-۲-۳- معرفی سد خاکی دوستی.....
- ۵۶-۱-۲-۳- موقعیت طرح.....
- ۵۹-۲-۲-۳- اهداف طرح.....



- ۵۹.....۳-۲-۳- مشخصات طرح.
- ۶۰.....۴-۲-۳- ناحیه بندی داخلی و مشخصات بدنه سد.
- ۶۰.....۱-۴-۲-۳- هسته رسی سیلتی.
- ۶۱.....۲-۴-۲-۳- فیلتر.
- ۶۴.....۳-۴-۲-۳- سیستم زهکشی.
- ۶۴.....۱-۳-۴-۲-۳- زهکش قائم یا ناحیه انتقالی.
- ۶۵.....۲-۳-۴-۲-۳- زهکش افقی.
- ۶۵.....۳-۳-۴-۲-۳- کانال‌های هدایت کننده.
- ۶۶.....۴-۴-۲-۳- پوسته.
- ۶۷.....۵-۴-۲-۳- سنگریز حفاظتی (ریپ رپ).
- ۶۸.....۶-۴-۲-۳- خاکریزهای پرکننده.
- ۶۸.....۷-۴-۲-۳- تاج سد.
- ۶۸.....۵-۲-۳- معرفی مقطع مورد بررسی.
- ۷۲.....۴- صحت سنجی نرم افزار با استفاده از داده‌های ابزار دقیق.
- ۷۳.....۱-۴- مقدمه.
- ۷۳.....۲-۴- شرح مراحل ساخت.
- ۷۵.....۳-۴- شرح مراحل آگیری سد.
- ۷۶.....۴-۴- معرفی نرم افزار مورد استفاده.
- ۷۶.....۵-۴- مقایسه نتایج شبیه سازی با داده‌های ابزار دقیق.
- ۷۶.....۱-۵-۴- تنش‌های قائم کل.
- ۷۹.....۲-۵-۴- فشار آب منفذی.
- ۸۶.....۵- مدل سازی.

۸۷	۱-۵- بررسی تئوری‌های مورد استفاده.....
۸۷	۱-۱-۵- روش تعادل حدی.....
۸۸	۲-۱-۵- روش اجرای محدود.....
۸۹	۲-۵- مدل‌سازی رفتار خاک.....
۸۹	۱-۲-۵- مدل موهر-کولمب.....
۹۰	۲-۲-۵- مزایای مدل موهر-کولمب.....
۹۰	۳-۲-۵- محدودیت‌های مدل موهر-کولمب.....
۹۰	۳-۵- نتایج شبیه‌سازی.....
۹۰	۱-۳-۵- کاربرد ژئوممبرین در جایگزینی هسته رس.....
۹۲	۱-۱-۳-۵- تراوش از بدنه سد.....
۹۵	۲-۱-۳-۵- ضریب اطمینان.....
۹۵	۳-۱-۳-۵- تنش-کرنش.....
۹۹	۲-۳-۵- کاربرد ژئوممبرین به منظور افزایش ارتفاع سدهای خاک.....
۱۰۰	۱-۲-۳-۵- تراوش از بدنه سد.....
۱۰۲	۲-۲-۳-۵- ضریب اطمینان.....
۱۰۴	۳-۲-۳-۵- تنش-کرنش.....
۱۰۶	۴-۵- بررسی احتمال سوراخ‌شدگی ژئوممبرین‌ها.....
۱۰۹	۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۱۱۰	۱-۶- نتیجه‌گیری.....
۱۱۰	۲-۶- پیشنهادات.....
۱۱۱	فهرست مراجع.....

## فهرست جداول

- جدول (۱-۲) آماری از کاربرد ژئوممبرین در سدهای جهان..... ۶
- جدول (۲-۲) خصوصیات BMG سد شماره (۱)..... ۴۷
- جدول (۳-۲) خصوصیات BMG سد شماره (۲)..... ۴۷
- جدول (۴-۲) خصوصیات LLDPE سد شماره (۲)..... ۴۸
- جدول (۱-۳) مشخصات کلی سد دوستی..... ۵۹
- جدول (۲-۳) محدوده دانه‌بندی مصالح هسته رسی سیلتی..... ۶۱
- جدول (۳-۳) محدوده دانه‌بندی مصالح فیلتر پایین‌دست..... ۶۳
- جدول (۴-۳) محدوده دانه‌بندی مصالح فیلتر بالادست..... ۶۳
- جدول (۵-۳) محدوده دانه‌بندی مصالح زهکش..... ۶۵
- جدول (۶-۳) محدوده دانه‌بندی مصالح سنگریز پایین‌دست پوسته..... ۶۶
- جدول (۷-۳) محدوده دانه‌بندی مصالح سنگریز بالادست پوسته..... ۶۷
- جدول (۸-۳) محدوده دانه‌بندی مصالح ریپ ریپ..... ۶۸
- جدول (۱-۴) پارامترهای ژئوتکنیکی سد دوستی..... ۷۴
- جدول (۱-۵) میزان تراوش از میان یک سوراخ سنجاقی برای ضخامت‌های مختلف ژئوممبرین..... ۱۰۷

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ پوشش ژئوممبرین تکی در رویه بالادست یک سد خاکی..... ۲۶
- شکل ۲-۲ پوشش ژئوممبرین تکی به همراه پوشش محافظ در رویه بالادست یک سد خاکی..... ۲۶
- شکل ۳-۲ پوشش ژئوممبرین دوگانه در رویه بالادست یک سد خاکی..... ۲۹
- شکل ۴-۲ پوشش ژئوممبرین دوگانه در رویه بالادست یک سد خاکی..... ۳۰
- شکل ۵-۲ هسته ژئوممبرین به صورت قائم در یک سد خاکی..... ۳۱
- شکل ۶-۲ هسته ژئوممبرین به صورت مایل در یک سد خاکی..... ۳۱
- شکل ۷-۲ پوشش ژئوممبرین جهت افزایش ارتفاع سد خاکی..... ۳۲
- شکل ۸-۲ پوشش ژئوممبرین به همراه دیوار خاکی مسلح جهت افزایش ارتفاع سد خاکی..... ۳۳
- شکل ۹-۲ پوشش ژئوممبرین جهت کاهش سطح آب..... ۳۴
- شکل ۱۰-۲ دیوار آب‌بند از جنس ژئوممبرین..... ۳۵
- شکل ۱۱-۲ ژئوممبرین در سد برای جلوگیری نشت از بدنه سد..... ۳۶
- شکل ۱۲-۲ ژئوممبرین در سد برای جلوگیری نشت از پی سد..... ۳۶
- شکل ۱۳-۲ ژئوممبرین برای جلوگیری نشت از پی و بدنه سد..... ۳۷
- شکل ۱۴-۲ تعمیر سد Vale comuta با ژئوممبرین..... ۳۹
- شکل ۱۵-۲ مقطع عرضی سد شماره (۱)..... ۴۴
- شکل ۱۶-۲ مقطع عرضی سد شماره (۲)..... ۴۴
- شکل ۱۷-۲ سطح بالادست سد شماره (۱) قبل از اجرای BGM..... ۴۵
- شکل ۱۸-۲ سطح بالادست سد شماره (۱) پس از اجرای BGM..... ۴۵
- شکل ۱۹-۲ سطح بالادست سد شماره (۲)..... ۴۶
- شکل ۲۰-۲ جزئیات استفاده از محلول امولسیون در سد شماره (۲)..... ۴۶
- شکل ۲۱-۲ جزئیات بولت..... ۴۸
- شکل ۲۲-۲ جزئیات تماس بین Plinth و خاک متراکم شده سد شماره (۱)..... ۴۹
- شکل ۲۳-۲ جزئیات تراشه در تاج سد شماره (۱)..... ۴۹
- شکل ۲۴-۲ اتصال میان BGM و LLDPE در سد شماره (۱)..... ۵۰

- شکل ۲-۲۵ گلتک‌زنی نقاط اتصال میان پانل‌های ژئوممبرین..... ۵۱
- شکل ۲-۲۶ جوشکاری اتصالات میان پانل‌های ژئوممبرین..... ۵۱
- شکل ۲-۲۷ جزئیات ترانسه LLDPE..... ۵۲
- شکل ۳-۱ موقعیت سد دوستی در استان خراسان شمالی ..... ۵۷
- شکل ۳-۲ نمایی از سد دوستی..... ۵۸
- شکل ۳-۳ اجزای مختلف بدنه سد دوستی..... ۶۰
- شکل ۳-۴ مقطع طولی سد دوستی..... ۶۹
- شکل ۳-۵ پلان ابزاربندی سد دوستی..... ۷۰
- شکل ۳-۶ مقطع عرضی ۳-۳ جانمایی ابزار دقیق سد دوستی..... ۷۱
- شکل ۴-۱ مدل عددی سد دوستی به همراه پی..... ۷۵
- شکل ۴-۲ میزان تغییرات سطح آب سد دوستی از سال ۸۲ تا ۸۶..... ۷۶
- شکل ۴-۳ نمودار تغییرات تنش ابزارهای سلول فشار کل در تراز ۴۱۶ متری ..... ۷۷
- شکل ۴-۴ میزان تنش‌های قائم در ۱۱ متری بالادست محور سد ..... ۷۸
- شکل ۴-۵ میزان تنش‌های قائم در فیلتر پایین‌دست محور سد ..... ۷۹
- شکل ۴-۶ نمودار تغییرات فشار آب منفذی پی‌زومترها در تراز ۴۰۰ متری ..... ۸۰
- شکل ۴-۷ میزان فشار آب منفذی در ۸۰ متری پایین‌دست محور سد ..... ۸۱
- شکل ۴-۸ میزان فشار آب منفذی در فیلتر پایین‌دست محور سد..... ۸۲
- شکل ۴-۹ میزان فشار آب منفذی در ۱۱ متری بالادست محور سد ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۰ میزان فشار آب منفذی در محور سد ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۱ میزان فشار آب منفذی در ۱۱ متری پایین‌دست محور سد ..... ۸۵
- شکل ۵-۱ توصیف الاستوپلاستیک از رابطه میان تنش و کرنش در خاک ..... ۸۹
- شکل ۵-۲ مقطع اولیه سد خاکی دوستی با هسته رسی ..... ۹۱
- شکل ۵-۳ مقطع تغییر یافته سد خاکی دوستی به یک سد خاکی همگن با المان آب‌بند ژئوممبرین ..... ۹۱
- شکل ۵-۴ میزان تراوش از بدنه سد دوستی با هسته رسی ..... ۹۲
- شکل ۵-۵ میزان تراوش از بدنه سد با ژئوممبرین به ضخامت ۱ میلی‌متر..... ۹۳

- شکل ۵-۶ میزان تراوش از بدنه سد با ژئوممبرین به ضخامت ۲ میلی متر ..... ۹۳
- شکل ۵-۷ میزان تراوش از بدنه سد با ژئوممبرین به ضخامت ۳ میلی متر ..... ۹۴
- شکل ۵-۸ میزان تراوش از بدنه سد با ژئوممبرین به ضخامت ۴ میلی متر ..... ۹۴
- شکل ۵-۹ ضریب اطمینان سد دوستی با هسته رسی ..... ۹۵
- شکل ۵-۱۰ ضریب اطمینان سد با ژئوممبرین به ضخامت ۳ میلی متر ..... ۹۶
- شکل ۵-۱۱ تنش قائم بدنه سد ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۲ تنش افقی بدنه سد ..... ۹۸
- شکل ۵-۱۳ کرنش قائم بدنه سد ..... ۹۸
- شکل ۵-۱۴ کرنش افقی بدنه سد ..... ۹۹
- شکل ۵-۱۵ مقطع سد افزایش ارتفاع یافته با سیستم آب‌بندی ترکیبی از رس و ژئوممبرین ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۶ میزان تراوش از بدنه سد افزایش ارتفاع یافته بدون ژئوممبرین ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۱۷ میزان تراوش از بدنه سد افزایش ارتفاع یافته با ژئوممبرین به ضخامت ۳ میلی متر ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۱۸ ضریب اطمینان سد افزایش ارتفاع یافته بدون ژئوممبرین ..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۹ ضریب اطمینان سد افزایش ارتفاع یافته با ژئوممبرین به ضخامت ۳ میلی متر ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۰ تنش قائم بدنه سد ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۱ تنش افقی بدنه سد ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۲ کرنش قائم بدنه سد ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۳ کرنش افقی بدنه سد ..... ۱۰۶

# فصل اول

## ۱- کلیات

## ۱-۱- مقدمه

در طی نیم قرن اخیر استفاده از مواد و مصالح مصنوعی در پروژه‌های عمرانی پیشرفت قابل توجهی داشته است. استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به عنوان مواد مصنوعی برای اصلاح و بهسازی انواع پروژه‌های عمرانی، به ویژه پروژه‌های سد سازی در سراسر جهان به شدت گسترش یافته است. ژئوممبرین یکی از محصولات ژئوسنتتیک‌ها بوده که به عنوان المان آب‌بند در سدها، شبکه‌های آبیاری و تونل‌ها کاربرد وسیعی دارد. در سال ۱۹۶۰ میلادی برای اولین بار ژئوممبرین در ساخت سدی در کانادا توسط کارل ترزاقی با به کارگیری ۱۰۰۰۰ متر مربع ژئوممبرین P.V.C به عنوان المان آب‌بند مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مزایایی از قبیل نفوذپذیری کم، سرعت نصب بالا، حفظ محیط زیست، کنترل تراوش، کاهش هزینه و غیره، استفاده از ژئوممبرین به عنوان المان آب‌بند در سدهای خاکی، به ویژه در مناطقی که فاقد منابع قرضه رس می‌باشد یا در مناطق پر باران که اجرای هسته رسی وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد مطرح گردید [۲۹].

در کشور ما برای اولین بار، از ژئوممبرین به عنوان دیوار آب‌بند در سد گتوند علیا استفاده شد. دیوار آب‌بند به عنوان گزینه‌ای برای آب‌بندی پی سدهای خاکی به کار می‌رود و معمول‌ترین روش ساخت آن حفر ترانشه‌ای است که با دوغاب پایدار شده و در نهایت با بتن پلاستیک پر می‌شود. امروزه مشکلاتی در مورد اجرا، بازرسی و دوام چنین دیوارهایی به وجود آمده است، استفاده از ژئوممبرین در پانل‌های دیوار آب‌بند می‌تواند این مشکلات را برطرف نماید [۱].



## ۱-۲- بیان مسئله

استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در ۵۰ سال اخیر برای اصلاح و بهسازی انواع سازه‌های هیدرولیکی در سراسر جهان به شدت گسترش یافته است. ژئوممبرین یکی از محصولات ژئوسنتتیک‌ها بوده که به عنوان المان آب‌بند در سدهای خاکی کاربرد وسیعی دارد. در تحقیق پیش‌رو دو مورد از کاربردهای ژئوممبرین در سدهای خاکی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور با استفاده از تحلیل عددی، به بررسی تأثیر استفاده از ژئوممبرین در میزان تراوش از بدنه سد و همچنین پایداری سد، در دو حالت جایگزینی هسته رسی و افزایش ارتفاع سدهای خاکی می‌پردازیم.

## ۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

ژئوممبرین به عنوان یکی از انواع ژئوسنتتیک‌ها برای ایجاد آب‌بندی در پروژه‌های عمرانی به ویژه راه‌سازی و سدسازی مورد استقبال مهندسان قرار گرفته است. استفاده از ژئوممبرین در پروژه‌های سد سازی علاوه بر مزایایی همچون نفوذپذیری کم، سرعت نصب بالا و نقش آن در کاهش اثرات منفی زیست محیطی، در مقایسه با مصالح طبیعی موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های سنگین پروژه‌های سدسازی خواهد شد [۲]. علی‌رغم توسعه کاربرد این مواد در پروژه‌های سدسازی در نقاط مختلف دنیا، کاربرد این مواد در کشور ما آن‌چنان که شایسته می‌باشد مورد استقبال چندانی قرار نگرفته است. که از جمله دلایل آن می‌تواند عدم تجربه و سابقه کاربرد این مصالح در کشور ما باشد. از آنجا که تاکنون تحقیقات محدودی در زمینه تأثیر استفاده از ژئوممبرین در سدهای خاکی صورت گرفته است، لازم است تا با انجام تحقیقات بیشتری در این زمینه، گام‌های مؤثری در این راستا برداشته شود. با توجه به مطالب فوق و مزایای زیاد کاربرد ژئوممبرین در سدهای خاکی ضرورت این تحقیق مبرهن است.

## ۱-۴- فرضیات پژوهش

در این تحقیق به کمک نرم‌افزار Geostudio 2007 به تحلیل عددی ژئوممبرین در دو حالت جایگزینی هسته رسی و افزایش ارتفاع سدهای خاکی پرداختیم. شبیه سازی سد موردنظر به صورت دوبعدی- کرنش مسطح<sup>۱</sup> در دو حالت فوق انجام شد. به طور کلی هیچ مدل ریاضی نمی‌تواند رفتار

---

<sup>۱</sup> Plane strain

پیچیده خاک را در تمام شرایط به طور کامل مدل کند. هر کدام روی محدوده خاصی از پدیده‌های مورد نیاز تمرکز می‌کنند و به موارد کم اهمیت‌تر بی‌اعتنا هستند. لذا در مواجهه با موارد نادیده گرفته شده دارای محدودیت می‌باشند. به عنوان نمونه قانون هوک در پیش بینی رفتار خاک در زمان تغییر شکل‌های الاستیک موفق عمل می‌کند. اما زمانی که خاک به محدوده مقاومت نهایی نزدیک می‌شود، تغییر شکل‌های پلاستیک از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شوند. لذا رابطه هوک در این قسمت با شکست مواجه می‌شود [۲۰].

در میان مدل‌های موجود برای خاک‌ها در Geostudio 2007 مشهورترین آن‌ها مدل موهر-کولمب می‌باشد که نسبت به مدل‌های دیگر تجربه بیشتری در زمینه کاربرد آن‌ها در تحلیل‌های عددی سدهای خاکی دارد. در این شبیه‌سازی از مدل موهر-کولمب استفاده گردید. در فصل پنجم به توضیح بیشتر در مورد این مدل می‌پردازیم.

# فصل دوم

## ۲- ادبیات فنی

## ۱-۲- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر در تولید مصالح و مواد مصنوعی مختلف و کاربردهای متنوع این مواد، در دهه‌ی اخیر جایگزین‌های مصنوعی مناسبی برای برخی از مصالح طبیعی موجود در ساخت و سازهای عمرانی مطرح شده است. جدول شماره (۱-۲) آماری از کاربرد ژئوممبرین در سدهای جهان را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲ آماری از کاربرد ژئوممبرین در سدهای جهان [۱۸]

نوع سد	تعداد سد	درصد از کل
خاکی	۱۷۴	۶۹/۹
بتنی	۴۳	۱۷/۳
RCC	۳۲	۱۲/۸
کل	۲۴۹	۱۰۰

## ۲-۲- هدف از اجرای ژئوسنتتیک‌ها

دلایل استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در پروژه‌های عمرانی به ویژه سدسازی عبارتند از:

- جایگزین مصالح طبیعی‌ای هستند که استفاده از آن‌ها در ساخت پروژه‌های عمرانی مشکل می‌باشد.
- سرعت و سهولت اجرا
- همگونی با طبیعت [۱۸]