

۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

گرایش ژئوتکنیک

بررسی تثبیت خاک بستر دریاچه ارومیه با استفاده از پلیمر

نگارش:

سهند صدیقی زکلوچه

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم‌زاده

پاییز ۱۴۰۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تاسیس ۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاییدیه هیأت داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان:

بررسی تثبیت خاک بستر دریاچه ارومیه با استفاده از پلیمر

توسط سهند صدیقی زکلوچه صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته
مهندسی عمران - ژئوتکنیک در تاریخ
مورد تأیید قرار دادند.

۱- استاد راهنما آقای دکتر حسن قاسم زاده
امضاء

۲- استاد ممتحن دکتر سید ناصر مقدس تفرشی
امضاء

۳- استاد ممتحن دکتر ناهید عطارچیان
امضاء

۴- نماینده تحصیلات تکمیلی دکتر سید ناصر مقدس تفرشی
امضاء



تأسیس ۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب سهند صدیقی زکلوچه دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان: بررسی تثبیت خاک بستر دریاچه ارومیه با استفاده از پلیمر با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر حسن قاسم‌زاده توسط شخص این جانب انجام شده است. صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید است. در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به‌علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط این جانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده و استاد راهنمای آن می باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان نامه تنها با موافقت نویسنده یا استاد راهنما یا کتابخانه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.
- ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
- ۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیم

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به محضر ارز و شمنیدر و مادر عزیزم به خاطر همه ی تلاشهای محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده اند و بامهربانی چگونه زیستن را به من آموخته اند و به استادان فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت مرایاری نمودند و به تمامی کسانی که به من کلمه ای آموخته و به فرموده امیرالمومنین علی (ع) مرانده خود ساخته اند.

شکر

سپاس بی کران خداوند عز و جل را که، هستیمان بخشید و با سلام و درود محض بر پیامبر خاتم و خاندان پاک ایشان
 به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است شکر نمایم از استاد فرهیخته و بزرگوارم جناب آقای
 دکتر حسن قاسم زاده که هم در طول تحصیل و هم در طول انجام این پایان نامه با سه صدر مرار اهنایی کردند
 و با شکر خالصانه از همه کسانی که مراد تمامی مراحل انجام این پایان نامه یاری کردند و یادشان، همواره در خاطر اتم خواهد بود.

چکیده

دریاچه ارومیه وسیع‌ترین دریاچه داخلی کشور است که در سال‌های اخیر با کاهش شدید تراز آب و بحران خشک‌شدن مواجه شده است. یکی از این چالش‌هایی که کاهش تراز آب باعث به‌وجودآمدن آن شده، پیدایش پهنه‌های نمکی و تبدیل سطح خشک شده بستر دریاچه به کانون‌های ریزگردی است. جهت جلوگیری از این اتفاق لزوم تثبیت خاک در نواحی خشک شده به‌شدت احساس می‌شود. تثبیت خاک به‌منظور بهبود خصوصیات مکانیکی و مقاومتی خاک برای ارضای شرایط موردنیاز پروژه یا طرح و یا برطرف کردن ضعف‌های آن صورت می‌گیرد. اثرات زیست‌محیطی مخربی که تثبیت‌کننده‌های سنتی دارند؛ سبب شده گرایش‌ها به سمت استفاده از مواد جدیدی که مضرات کمتری برای محیط‌زیست دارند بیشتر شود. یکی از این موارد پلیمرها هستند که عملکرد خوبی در تثبیت خاک از خود نشان داده‌اند. در این تحقیق از صمغ فارسی که یک پلیمر طبیعی است؛ جهت تثبیت خاک استفاده شد تا هم تأثیر آن روی مقاومت فشاری و برشی دو نوع خاک ماسه‌ای (SP و SM) بررسی شود و هم توانایی این صمغ در کنترل فرسایش بادی ارزیابی گردد.

برای این منظور از دو نقطه از بستر دریاچه نمونه خاک گرفته شد و برای بررسی مشخصات خاک تثبیت شده با صمغ فارسی، آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری در درصدهای اختلاط ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد وزنی خاک خشک و برش مستقیم در درصد اختلاط ۰/۲٪ و تونل باد و مقاومت فروروی سطحی با پاشش محلول صمغ در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ درصد بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای مطالعه ساختار ریزمقیاس مخلوط خاک و صمغ نیز آزمایش‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی و پراش اشعه ایکس روی نمونه‌ها صورت گرفت. نتایج حاکی از اثربخشی بالای این صمغ در افزایش مقاومت فشاری تک‌محوری در درصد اختلاط ۰/۲٪ است. همچنین نتایج آزمایش برش مستقیم نشان از افزایش چشمگیر چسبندگی خاک در نمونه‌های تثبیت شده داشت هر چند باعث افزایش زاویه اصطکاک داخلی نیز شده است.

واژه‌های کلیدی: دریاچه ارومیه، تثبیت خاک، صمغ فارسی، بیوپلیمر، ریزگردهای نمکی، فرسایش بادی، خاک ماسه‌ای

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه	۱
۱-۱ کلیات	۲
۲-۱ بیان مسئله و اهمیت تحقیق	۳
۳-۱ اهداف تحقیق	۳
۴-۱ ضرورت انجام تحقیق	۴
۵-۱ روش تحقیق	۴
۶-۱ ساختار تحقیق	۵
فصل دوم مروری بر ادبیات تحقیق	۶
۱-۲ مقدمه	۷
۲-۲ منطقه مورد مطالعه	۷
۱-۲-۲ علل خشک شدن دریاچه	۸
۲-۲-۲ اثرات خشک شدن دریاچه	۹
۳-۲ فرسایش بادی	۱۰
۱-۳-۲ نحوه حرکت ذرات در فرسایش بادی	۱۱
۲-۳-۲ تأثیر خصوصیات خاک بر میزان فرسایش	۱۲
۳-۳-۲ روش‌های کنترل فرسایش	۱۲
۴-۳-۲ اثرات گردوغبار	۱۳
۴-۲ تثبیت خاک	۱۴
۵-۲ آشنایی با پلیمرها	۱۵
۱-۵-۲ پلیمرها و طبقه بندی آن‌ها	۱۵
۱-۱-۵-۲ پلیمرهای طبیعی	۱۵

- ۲-۵-۱ پلیمرهای مصنوعی ۱۶
- ۲-۵-۲ بیوپلیمرها ۱۶
- ۲-۵-۳ هیدروکلئیدها ۱۶
- ۲-۵-۳ معرفى برخی از صمغ‌های طبیعی مورد استفاده در تثبیت خاک ۱۷
- ۲-۵-۳-۱ صمغ فارسی ۱۸
- ۲-۵-۳-۲ صمغ گوار ۲۰
- ۲-۵-۳-۳ صمغ زانتان ۲۱
- ۲-۵-۳-۴ صمغ آگار ۲۲
- ۲-۵-۳-۵ صمغ عربی ۲۲
- ۲-۶ مروری بر پیشینه تحقیق ۲۳
- فصل سوم مشخصات مصالح مصرفی و آزمایش‌ها ۳۰
- ۳-۱ مقدمه ۳۱
- ۳-۲ مصالح مورد استفاده ۳۱
- ۳-۲-۱ خاک مورد مطالعه ۳۱
- ۳-۲-۱-۱ دانه‌بندی ۳۱
- ۳-۲-۱-۲ تراکم ۳۳
- ۳-۲-۳ چگالی ویژه ذرات جامد G_s ۳۵
- ۳-۲-۴ حدود اتربرگ ۳۵
- ۳-۲-۵ اندازه‌گیری PH ۳۷
- ۳-۲-۶ انتخاب سایت نمونه‌برداری ۳۷
- ۳-۲-۷ صمغ مورد استفاده ۳۹
- ۳-۳ شیوه افزودن پودر صمغ به خاک‌ها و درصد اختلاط ۴۱
- ۳-۳-۱ اختلاط ۴۱

۴۲	۳-۳-۲ پاشش
۴۳	۳-۴ نام‌گذاری نمونه‌ها
۴۳	۳-۴-۱ اختلاط
۴۳	۳-۴-۲ پاشش
۴۴	۳-۵ آماده‌سازی نمونه‌ها برای هر آزمایش
۴۵	۳-۶ معرفی آزمایش‌های انجام شده
۴۶	۳-۶-۱ آزمایش تراکم
۴۶	۳-۶-۲ آزمایش مقاومت فشاری تک محوری (UCS)
۴۸	۳-۶-۳ آزمایش برش مستقیم (DS)
۵۰	۳-۶-۴ آزمایش تونل باد
۵۰	۳-۶-۴-۱ نحوه انتخاب سرعت
۵۰	۳-۶-۵ آزمایش مقاومت سطحی پنترومتر
۵۱	۳-۶-۶ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۵۳	۳-۶-۷ آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD)
۵۴	۳-۸ جمع بندی
۵۵	فصل چهارم ارائه نتایج و بحث
۵۶	۴-۱ مقدمه
۵۶	۴-۲ آزمایش تراکم
۵۸	۴-۳ آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری
۵۹	۴-۳-۱ اثر صمغ بر مقاومت فشاری
۶۲	۴-۳-۲ اثر مدت زمان عمل‌آوری
۶۴	۴-۳-۳ اثر شرایط عمل‌آوری
۶۶	۴-۴ آزمایش برش مستقیم

۶۷	۴-۴-۱ تأثیر بیوپلیمر بر مقاومت برشی
۶۸	۴-۴-۲ تأثیر بیوپلیمر بر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی
۷۰	۴-۵ آزمایش تونل باد
۷۰	۴-۶ آزمایش مقاومت فروروی پنترومتر
۷۱	۴-۷ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۷۱	۴-۸ پراش اشعه ایکس (XRD)
۷۱	۴-۹ جمع بندی
۷۲	فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۳	۵-۱ نتیجه گیری
۷۴	۵-۲ پیشنهادات

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- موقعیت مکانی دریاچه ارومیه	۸
شکل ۲-۲- تغییرات مساحت دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳	۸
شکل ۲-۳- تغییرات میانگین پهنه آبی دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳	۹
شکل ۲-۴- سطح آب دریاچه و مساحت خشک شده بستر آن [۷]	۹
شکل ۲-۵- مناطق خشک شده دریاچه ارومیه	۱۰
شکل ۲-۶- انواع حالت‌های انتقال ذرات در اثر جریان باد [۱۳]	۱۱
شکل ۲-۷- صمغ فارسی [۲۱]	۱۸
شکل ۲-۸- ساختار شیمیایی صمغ فارسی	۲۰
شکل ۲-۹- گیاه و پودر صمغ گوار [۱۸]	۲۰
شکل ۲-۱۰- صمغ زانتان	۲۱
شکل ۲-۱۱- صمغ عربی [۳۴]	۲۳
شکل ۳-۱- خاک ماسه‌ای بستر دریاچه ارومیه	۳۲
شکل ۳-۲- نمودار دانه‌بندی خاک ماسه‌ای بد دانه‌بندی شده (SP)	۳۲
شکل ۳-۳- نمودار دانه‌بندی خاک ماسه‌ای رس‌دار (SC)	۳۳
شکل ۳-۴- منحنی تراکم خاک ماسه بد دانه‌بندی شده (SP)	۳۴
شکل ۳-۵- منحنی تراکم خاک ماسه رس‌دار (SC)	۳۴
شکل ۳-۶- حدود اتربرگ	۳۶
شکل ۳-۷- مناطق بحرانی حاشیه دریاچه ارومیه	۳۸
شکل ۳-۸- موقعیت مکانی نواحی اخذ نمونه	۳۸
شکل ۳-۹- محل اخذ نمونه‌های خاک	۳۹
شکل ۳-۱۰- صمغ فارسی به صورت پودر مورد استفاده در آزمایشگاه	۴۰

- شکل ۳-۱۱- مخلوط بیوپلیمر با آب ۴۲
- شکل ۳-۱۲- نام‌گذاری نمونه‌های ساخته شده به روش اختلاط ۴۳
- شکل ۳-۱۳- نام‌گذاری نمونه‌های ساخته شده با روش پاشش ۴۴
- شکل ۳-۱۴- نمونه‌های آزمایش مقاومت تک محوری ۴۷
- شکل ۳-۱۵- دستگاه تک محوری ۴۸
- شکل ۳-۱۶- دستگاه برش مستقیم ۴۹
- شکل ۳-۱۷- پاکت پنترومتر ۵۱
- شکل ۳-۱۸- میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۲
- شکل ۳-۱۹- نحوه برخورد، انعکاس و انکسار اشعه ایکس در اتم‌های ماده ۵۴
- شکل ۴-۱- (الف) وزن مخصوص خشک حداکثر خاک (ب) درصد رطوبت بهینه در درصد‌های مختلف اختلاط برای خاک SP ۵۷
- شکل ۴-۲- (الف) وزن مخصوص خشک حداکثر خاک (ب) درصد رطوبت بهینه در درصد‌های مختلف اختلاط برای خاک SC ۵۸
- شکل ۴-۳- گسیختگی نمونه‌ها در آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری ۵۹
- شکل ۴-۴- نمودارهای تنش کرنش نمونه‌های ۷ روزه برای درصد‌های مختلف اختلاط ۶۰
- شکل ۴-۵- نمودارهای تنش کرنش نمونه‌های ۲۸ روزه برای درصد‌های مختلف اختلاط ۶۲
- شکل ۴-۶- تأثیر مدت زمان عمل‌آوری بر مقاومت فشاری نمونه‌ها ۶۴
- شکل ۴-۷- نمودار تنش کرنش نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط مختلف ۶۶
- شکل ۴-۸- نمودار تنش کرنش نمونه SPPG2W7 ۶۶
- شکل ۴-۹- نمونه‌های آزمایش برش مستقیم پس از آزمایش ۶۷
- شکل ۴-۱۰- منحنی‌های تنش برشی- کرنش افقی برای خاک SP ۶۷
- شکل ۴-۱۱- منحنی‌های تنش برشی- کرنش افقی برای خاک SC ۶۸
- شکل ۴-۱۲- نمودار تنش برشی بیشینه بر حسب تنش قائم در خاک SP ۶۹
- شکل ۴-۱۳- نمودار تنش برشی بیشینه بر حسب تنش قائم در خاک SC ۶۹

ش

شکل ۴-۱۴- میانگین مقاومت فروری پنترومتر ۷۰

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- مشخصات دانه‌بندی و ضرایب یکنواختی و انحنا برای خاک‌ها.....	۳۳
جدول ۳-۲- چگالی ویژه ذرات جامد خاک‌ها.....	۳۵
جدول ۳-۳- حد روانی و خمیری و شاخص خمیری برای خاک SC.....	۳۶
جدول ۳-۴- مقادیر PH خاک‌ها.....	۳۷
جدول ۳-۵- خصوصیات و ترکیب شیمیایی صمغ فارسی.....	۴۰
جدول ۳-۶- حداکثر سرعت باد در هر سال از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در ایستگاه ارومیه.....	۵۰
جدول ۴-۱- مقاومت فشاری نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط مختلف.....	۶۵
جدول ۴-۲- مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی.....	۶۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱ کلیات

افزایش عملیات‌های خاکی، لزوم احداث سازه‌های جدید، راه‌ها، تونل‌ها، سدها با توجه به گسترش شهرها، جلوگیری از فرسایش خاک توسط آب یا باد و... عملیات تثبیت و بهسازی خاک را امری اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. از سوی دیگر وجود خاک‌هایی با مشخصات و ویژگی‌های مقاومتی نامطلوب از جمله خاک‌هایی با مقاومت برشی پایین، خاک‌های با پتانسیل نشست بالا و خاک‌های مسئله‌دار^۱ مانند خاک‌های متورم شونده یا خاک‌های رمبنده یکی از مسائلی است که همواره ما با آن مواجه هستیم. از دیرباز بشر در تلاش برای رفع این مشکلات بوده و روش‌هایی برای بهبود ویژگی‌های این قبیل خاک‌ها ارائه کرده است. تثبیت خاک به منظور افزایش مقاومت برشی، افزایش ظرفیت باربری، کاهش نشست و... جهت تأمین اهدافی از قبیل تقویت خاک بستر، مقابله با فرسایش خاک، افزایش مقاومت کششی خاک، کاهش پتانسیل تورم و پایدارسازی سطوح خاکی شیب‌دار صورت می‌گیرد.

تثبیت و بهسازی خاک با مواد بیوپلیمری، روشی است که اخیراً مورد توجه ویژه محققان و مهندسان برای بهبود ویژگی‌های خاک و جبران ضعف‌های آن، قرار گرفته است. در این روش، فرایند تثبیت خاک با افزودن مواد بیوپلیمری به آن به روش‌های مختلف مانند اختلاط یا پاشش و... صورت می‌گیرد. هم‌زمان با توسعه صنعتی بشر، شرایط زیست‌محیطی برای زندگی موجودات مختلف در زمین در حال تنزل بوده و این مسائل باعث شده تا همواره تقاضا برای روش‌های سازگار با محیط‌زیست در فعالیت‌های زیر ساختی، از جمله بهسازی و تثبیت خاک‌ها در حال افزایش باشد. از این رو روش‌هایی که اثرات منفی کمتری بر محیط زیست دارند؛ بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. تثبیت خاک با مواد پلیمری یکی از روش‌هایی است که خطرات زیست‌محیطی کمتری نسبت به روش‌های سنتی و متداول تثبیت نظیر استفاده از سیمان، قیر و... دارد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای آن‌ها باشد. روش‌های متداول تثبیت خاک مانند تثبیت با سیمان، آهک و یا قیر مشکلاتی چون مصرف مقادیر بالای انرژی برای تولید، انتشار گازهای مضر در فرایند تولید، عدم امکان رویش مجدد گیاهان، تهدید کیفیت آب‌های زیرزمینی و... دارند. در فرایند تولید یک تن سیمان پرتلند تقریباً یک تن دی‌اکسید کربن و تولید یک تن آهک تقریباً ۰/۸۶ تن دی‌اکسید کربن آزاد می‌شود. به همین علت جایگزین کردن موادی برای تثبیت خاک به جای این مواد سنتی بسیار افزایش یافته است. در سال‌های اخیر استفاده از صمغ‌هایی چون زانتان^۲، گوار^۳، آگار^۴، صمغ عربی^۵ و... در تثبیت خاک بسیار مورد اقبال قرار گرفته‌اند.

^۱ Problematic soils

^۲ Xanthan Gum

^۳ Guar Gum

^۴ Agar Gum

^۵ Arabic gum

۲-۱ بیان مسئله و اهمیت تحقیق

دریاچه ارومیه یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی کشور است. این دریاچه دومین دریاچه نمکی بزرگ جهان و یکی از پیکره‌های آبی قدیمی و بسیار مهم ایران است و متأسفانه در چند سال اخیر سطح آب دریاچه کاهش چشمگیری داشته است و شاهد خشک‌شدگی بخش وسیعی از آن هستیم که این مسئله امروزه یک بحران زیست‌محیطی عظیم محسوب می‌شود. کاهش بی‌سابقه آب دریاچه ارومیه در طول سال‌های گذشته تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله استمرار و تشدید دوره‌های خشکسالی، کمبود بارش، سدسازی، توسعه نامتوازن بخش کشاورزی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب حوضه دریاچه و کاهش مقدار ورودی به دریاچه از طریق جریان‌ات سطحی ورودی و بارندگی بر سطح دریاچه نسبت به جریان‌ات خروجی از دریاچه، صورت گرفته است. وضعیت افت تراز آب دریاچه و فرایند خشک‌شدن آن در سال‌های اخیر، مشکلات مهم اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی برای منطقه به همراه داشته است. از جمله این مشکلات افزایش مساحت پهنه‌های خشک و بدون پوشش است که بسیار مستعد فرسایش بادی و خیزش ریزگردها هستند. لایه‌های سطحی خاک که حاوی رسوبات نمکی نیز هستند؛ بسته به اندازه ذرات خاک، بافت خاک و سرعت باد در منطقه، مسافت‌های زیادی را طی کرده و به مناطق مجاور آسیب‌های جدی وارد می‌کنند. هم‌اکنون پس‌روی آب دریاچه باعث پدیدارشدن پهنه‌های خشک و نم‌کزار وسیعی در جنوب، شمال و شرق دریاچه ارومیه شده است. حال با افزایش سطح خشک شده دریاچه، نیاز به تثبیت خاک برای جلوگیری از ایجاد گردوغبار و ذرات معلق در هوا بیش از پیش احساس می‌شود. همان‌طور که اشاره شد بیوپلیمرها با خاصیت چسبندگی که دارند و باتوجه به این که آثار زیست‌محیطی مخربی ندارند؛ می‌توانند ماده‌ای بسیار کارآمد در تثبیت خاک و افزایش مقاومت برشی و چسبندگی و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر فرسایش باشند. صمغ فارسی یکی از این زیست‌پلیمر هاست که با خاصیت چسبندگی بالا، قیمت مناسب و بومی کشور ایران بودن، گزینه مناسبی برای استفاده در مصارف ژئوتکنیکی است.

۳-۱ اهداف تحقیق

هدف از این پژوهش بررسی تثبیت خاک بستر نواحی خشک شده دریاچه ارومیه با بیوپلیمر سازگار با محیط‌زیست^۱ (صمغ فارسی) است تا علاوه بر کنترل فرسایش بادی و افزایش مقاومت خاک، آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از تثبیت نیز به حداقل برسد. این صمغ با ساختار مشابه با سایر هیدروکلوئیدها و دارابودن برخی ویژگی‌های منحصربه‌فرد در تثبیت خاک ماده‌ای مؤثر محسوب می‌شود. همچنین اثر افزودن صمغ بر

¹ Eco-Friendly

مقاومت فشاری خاک ماسه‌ای بررسی می‌شود. ارزیابی تغییرات مقاومت برشی و چسبندگی خاک در خاک تثبیت شده با صمغ فارسی هدف دیگر این تحقیق است. در ادامه اثر افزودن صمغ فارسی به خاک در پتانسیل فرسایش پذیری آن بررسی می‌گردد. مقایسه عملکرد در درصدهای مختلف افزودن صمغ و تعیین مقدار بهینه درصد اختلاط صمغ برای اهداف مختلف هدف دیگر این تحقیق است

۴-۱ ضرورت انجام تحقیق

طوفان‌های گردوغبار و وجود ذرات معلق در هوا یکی از معضلاتی است اخیراً به شکل گسترده با آن مواجه هستیم و مشکلات بسیاری مانند افزایش بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی، آسیب رساندن به محصولات کشاورزی، آلوده کردن آب‌ها و... به وجود آورده‌اند. قرارگرفتن ایران در منطقه موسوم به کمربند خشک و نیمه‌خشک کره زمین و تغییرات شرایط اقلیمی در سال‌های اخیر باعث تشدید این پدیده در کشور ما شده است. یکی از عوامل افزایش انتشار ریزگردها در کشور کاهش تراز آب دریاچه ارومیه و خشک شدن آن است. با افزایش پس‌روی آب دریاچه، علاوه بر اینکه خود دریاچه با خطر خشک شدن و نابودی روبه‌روست؛ حوضه‌های بیشتری در معرض فرسایش بادی قرار می‌گیرند و افزایش ریزگردها باعث به‌خطراتان جان انسان‌ها، تخریب اراضی کشاورزی و آسیب رساندن به محصولات، افزایش مهاجرت از مناطق اطراف و بسیاری مشکلات دیگر می‌شوند. علاوه بر اقداماتی که جهت بالابردن تراز آب دریاچه صورت می‌گیرد؛ برای جلوگیری از مشکلات ناشی از فرسایش بادی خاک بستر دریاچه، باید اقداماتی برای تثبیت خاک نواحی خشک شده نیز انجام بگیرد.

۵-۱ روش تحقیق

هدف از انجام این تحقیق استفاده از یک ماده بیوپلیمری برای تثبیت خاک است. به‌کاربردن این ماده به‌منظور کاهش مضرات وارده به محیط زیست ناشی از به‌کارگیری روش‌های سنتی تثبیت خاک است. برای این منظور در مطالعه پیش‌رو به بررسی اثر افزودن صمغ فارسی به خاک بستر دریاچه ارومیه به‌صورت تجربی آزمایشگاهی پرداخته شد. این ماده خواصی مشابه با بعضی صمغ‌ها که در تثبیت خاک به کار برده می‌شوند دارد و داشتن برخی ویژگی‌ها همچون قیمت مناسب و در دسترس بودن از امتیازات این صمغ است. روش انجام تحقیق به این صورت است که ابتدا نواحی بحرانی و مستعد فرسایش شناسایی شدند و سپس از دو نقطه از این مناطق نمونه خاک گرفته شد. برای شناسایی اولیه خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی نمونه خاک‌ها آزمایش‌های دانه‌بندی، تراکم، حدود اتربرگ، PH و... انجام شد. سپس برای ارزیابی تثبیت نمونه‌ها و بررسی مقادیر مقاومت فشاری و برشی و مقاومت در برابر فرسایش آزمایش‌های دیگری چون مقاومت فشاری محصور نشده، آزمایش

برش مستقیم و تونل باد روی نمونه‌های تثبیت شده با مقادیر مختلف صمغ انجام گرفت و نتایج آزمایش‌ها بررسی و تفسیر شدند.

۱-۶ ساختار تحقیق

در مطالعه حاضر بیان مطالب در پنج فصل به شرح زیر ارائه شده است.

فصل اول: در این فصل مقدمه‌ای از کلیات موضوع در رابطه با تثبیت خاک با مواد بیوپلیمری بیان شده است. همچنین شرحی اجمالی از اهداف تحقیق و ضرورت انجام تحقیق ارائه شده است. در ادامه مختصری از روش انجام پژوهش مطرح شده است.

فصل دوم: در فصل دوم مروری بر مبانی و مفاهیم کلی تحقیق صورت گرفته است. سپس شرایط منطقه مورد مطالعه بیان شده و مفاهیم تثبیت خاک با استفاده از بیوپلیمرها ارائه شده است. خواص صمغ فارسی و کاربردهای آن شرح داده شده است و مروری از پیشینه تحقیق ارائه شده است.

فصل سوم: در این فصل به شرح مصالح مصرفی و روش انجام آزمایش‌ها پرداخته شده است. مشخصات خاک و صمغ، نحوه انتخاب سایت نمونه‌برداری، نحوه افزودن صمغ به خاک بر اساس هدف آزمایش و درصد‌های اختلاط بیان گردیده است. آزمایش‌های انجام شده و نحوه انجام آزمایش‌ها و هدف از انجام آزمایش شرح داده شده است.

فصل چهارم: نتایج آزمایش‌هایی که در فصل سوم شرح داده شده‌اند در این فصل آمده است. شرح نمودارها و تفسیر و تحلیل نتایج در این فصل ارائه شده است.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری نهایی از کارهای صورت گرفته در تحقیق و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده در این فصل بیان شده است.

فصل دوم

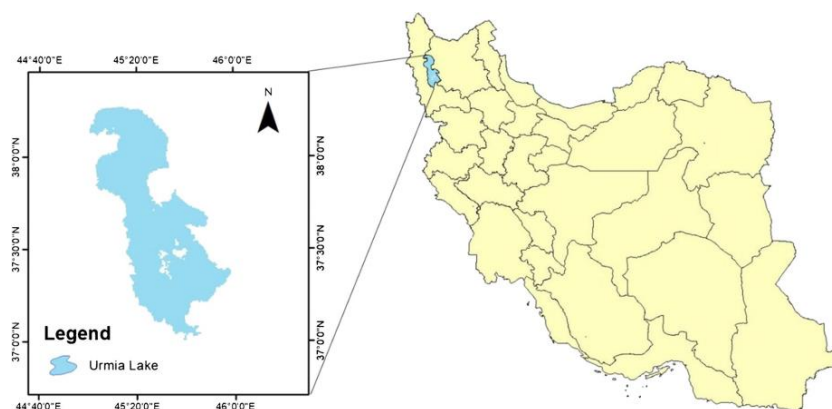
مروری بر ادبیات تحقیق

۱-۲ مقدمه

در این فصل مبانی و مفاهیم تحقیق و ادبیات موضوع ارائه شده است. ابتدا منطقه مورد مطالعه به صورت اجمالی معرفی شده است و روند خشک شدن دریاچه ارومیه و علل آن بیان گردیده است. سپس به اثرات خشک شدن دریاچه و مشخصاً فرسایش خاک و پیدایش کانون‌های گردوغبار اشاره شده است. مکانیزم فرسایش بادی به صورت مختصر توضیح داده شده و روش‌های کنترل فرسایش بیان شده است. سپس به معرفی زیست‌پلیمرها، منشأ، ساختار و دسته‌بندی آن‌ها پرداخته شده است. در ادامه هیدروکلوئیدهای متداول که در زمینه ژئوتکنیک کاربرد دارند معرفی شده و باتوجه به این که هیدروکلوئید مورد استفاده در مطالعه پیش‌رو صمغ فارسی است؛ خصوصیات و ویژگی‌های این صمغ شرح داده شده است. سپس مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه استفاده از بیوپلیمرها در تثبیت و بهسازی خاک و همچنین نحوه تثبیت خاک در کانون‌های گردوغبار و مستعد فرسایش بادی انجام شده است.

۲-۲ منطقه مورد مطالعه

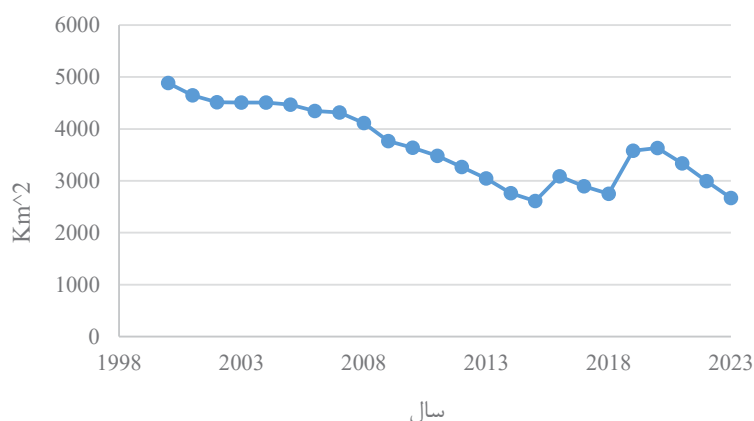
دریاچه ارومیه یکی از بزرگترین دریاچه‌های فوق شور در جهان است که در سال‌های اخیر شدیداً با بحران خشک شدن مواجه شده است. این دریاچه در محدوده دو استان آذربایجان شرقی و غربی قرار گرفته است که در شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی دریاچه نشان داده شده است. این دریاچه در محدوده جغرافیایی ۳۷ تا ۳۸ درجه شمالی و ۴۵ تا ۴۶ درجه شرقی قرار گرفته است و بیشترین مساحت آن در طول تاریخ ۵۷۰۰ کیلومتر مربع بوده است [۱]. حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غربی ایران با مساحت ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع یکی از شش حوضه آبریز اصلی ایران است که شامل چهارده رودخانه اصلی و روان‌آب‌های زیرزمینی می‌شود [۲]. این حوضه در استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان و قسمت ناچیزی در کشور ترکیه واقع شده است. با صرف نظر از مقدار ناچیز سهم ترکیه، سهم هر یک از استان‌ها از وسعت این حوضه عبارت است از: ۴۶٪ در استان آذربایجان غربی، ۴۳٪ در استان آذربایجان شرقی، ۱۱٪ در استان کردستان [۳]. میانگین بلندمدت مساحت دریاچه (تا سال ۱۹۹۸ میلادی) ۵۲۰۰ کیلومترمربع و میانگین تراز آب دریاچه ۱۲۷۴/۶۲ متر از سطح دریا و همچنین مقدار حداکثر مساحت و حداکثر تراز آب (در سال ۱۹۹۵ میلادی) به ترتیب ۵۷۲۴ کیلومتر مربع و ۱۲۷۸/۴ متر از سطح دریا بوده است [۲].



شکل ۲-۱- موقعیت مکانی دریاچه ارومیه

۲-۲-۱ علل خشک شدن دریاچه

در کنار عواملی مانند احداث سد و تخصیص منابع آب به کشاورزی، صنعت و مصارف خانگی، عواملی همچون تغییر اقلیم و دوره‌های بلندمدت خشکسالی سبب کاهش بارش و در نتیجه کاهش جریان ورودی به دریاچه شده است. مطالعات نشان می‌دهد که علت اصلی تبدیل دریاچه ارومیه به بستر دریاچه خشک‌شده، عوامل انسانی بوده است. زیرا عوامل اقلیمی به میزان کمتری در خشک شدن دریاچه نقش داشته‌اند [۴]. از میان دخالت‌های انسانی، ساخت گذرگاه تأثیر ضعیفی در خشکی دریاچه داشت؛ در حالی که ساخت سدهای رودخانه‌ای به شدت به تشدید این فاجعه کمک کرده است [۴]. میانگین آب ورودی سالانه به دریاچه از ۱۲ میلیارد مترمکعب (در سال ۱۹۹۸ میلادی) به ۲/۴ میلیارد مترمکعب (در سال ۲۰۱۹) کاهش یافته است [۵]. در شکل‌های ۲-۲ و ۲-۳ تغییرات میانگین مساحت پهنه آبی دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ میلادی آورده شده است. میانگین مساحت دریاچه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و شاخص NDWI بدست آمده است.



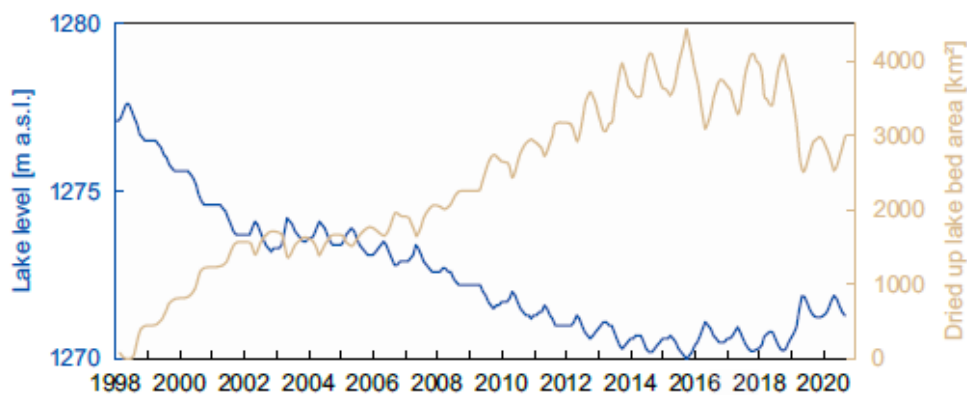
شکل ۲-۲- تغییرات مساحت دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳



شکل ۲-۳ تغییرات میانگین پهنه آبی دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳

۲-۲-۲ اثرات خشک شدن دریاچه

بر اساس مطالعات انجام شده، مادامی که سطح آب دریاچه بالاتر از تراز ۱۲۷۴ متر از سطح دریاهای آزاد در نوسان باشد، دریاچه عملکرد عادی اکولوژیک خود را برای حفظ عملکرد طبیعی و تنوع زیستی ادامه خواهد داد [۶]. با گذشت زمان و کاهش حجم آب دریاچه ارومیه، وسعت شوره‌ها با سرعت چشمگیری افزایش می‌یابد. شکل ۲-۴ مساحت خشک شده بستر دریاچه و رابطه آن با تراز آب از سطح دریا بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد [۷]. با توجه به شکل مشاهده می‌شود مساحت خشک شده بستر دریاچه در سال ۲۰۲۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر مربع رسیده است.



شکل ۲-۴ سطح آب دریاچه و مساحت خشک شده بستر آن [۷]