بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد
گرایش مهندسی محیط‌زیست

عنوان

بررسی تأثیرات میانگذر دریاچه ارومیه بر تغییرات شوری و تغییرات بستر ناشی از رسوب‌گذاری نمک

نگارش
سیده محیا علوی‌مقدم

استاد راهنما
دکتر مسعود تجریشی

خرداد ۱۴۰۳

بسم الله الرحمن الرحيم

تصویب‌نامه

به نام خدا

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

این پایان‌نامه به عنوان تحقق بخشی از شرایط دریافت درجه کارشناسی‌ارشد است.

عنوان: **بررسی تاثیرات میانگذر دریاچه ارومیه بر تغییرات شوری و تغییرات بستر ناشی از رسوب‌گذاری نمک**

نگارش: **سیده محیا علوی مقدم**

کمیته ممتحنین :

۱- آقای دکتر / ~~خانم دکتر~~ **مسعود تجریشی**	استاد راهنما	امضاء
۲- آقای دکتر / خانم دکتر	استاد راهنمای همکار	امضاء
۳- آقای دکتر / خانم دکتر	استاد مشاور	امضاء
۴- آقای دکتر / خانم دکتر **فرخنده خراشادی زاده**	ممتحن داخل دانشکده	امضاء
۵- آقای دکتر / ~~خانم دکتر~~ **سید مصطفی سیادت موسوی**	ممتحن خارج دانشکده	امضاء

اظهارنامه

(اصالت متن و محتوای پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد)

عنوان پایان‌نامه: **بررسی تاثیرات میانگذر دریاچه ارومیه بر تغییرات شوری و تغییرات بستر ناشی از رسوبگذاری نمک**

نام استاد راهنما: **آقای دکتر مسعود تجریشی** نام استاد راهنمای همکار: ..... نام استاد مشاور: .....

این‌جانب **سیده محیا علوی مقدم** اظهار می‌دارم:

۱- متن و نتایج علمی ارائه شده در این پایان‌نامه اصیل بوده و منحصراً توسط این‌جانب و زیرنظر استادان (راهنما، همکار و مشاور) نام‌برده شده در بالا تهیه شده است.

۲- متن پایان‌نامه به این صورت در هیچ جای دیگری منتشر نشده است.

۳- متن و نتایج مندرج در این پایان‌نامه، حاصل تحقیقات این‌جانب به عنوان دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشگاه صنعتی شریف است.

۴- کلیه مطالبی که از منابع دیگر در این پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته، با ذکر مرجع مشخص شده است.

نام دانشجو: **سیده محیا علوی مقدم**

تاریخ **۱۴۰۳/۵/۲۳**

امضا

نتایج تحقیقات مندرج در این پایان‌نامه و دستاوردهای مادی و معنوی ناشی از آن (شامل فرمول‌ها، توابع کتابخانه‌ای، نرم‌افزارها، سخت‌افزارها و مواردی که قابلیت ثبت اختراع دارد) متعلق به دانشگاه صنعتی شریف است. هیچ شخصیت حقیقی یا حقوقی بدون کسب اجازه از دانشگاه صنعتی شریف حق فروش و ادعای مالکیت مادی یا معنوی بر آن یا ثبت اختراع از آن را ندارد. همچنین کلیه حقوق مربوط به چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه، اقتباس و نظائر آن در محیط‌های مختلف اعم از الکترونیکی، مجازی یا فیزیکی برای دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است. نقل مطالب با ذکر ماخذ بلامانع است.

نام استادان راهنما: **اقای دکتر مسعود تجریشی**

تاریخ **۱۴۰۳/۵/۲۳**

امضا

نام دانشجو: **سیده محیا علوی مقدم**

تاریخ **۱۴۰۳/۵/۲۳**

امضا

تقدیم به

بزرگوارترین انسان‌های زندگی‌ام

پدر و مادر عزیزم

که یگانه مشوق و پشتیبان من در مسیر زندگی و تحصیل بودند و هر آنچه که دارم، مدیون محبت‌های بی‌دریغ ایشان است.

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خدایی را که همواره از لطف و رحمتش در مسیر زندگی خویش بهره‌مند بوده‌ام. ضمن شکر و سپاس به درگاه خداوند متعال، قطعاً تهیه این پایان‌نامه بدون کمک و راهنمایی استاد بزرگوار، خانواده و دوستانم غیرممکن بود.

از زحمات استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر مسعود تجریشی صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم که همواره مرا در این مسیر راهنمایی کردند. همچنین، از کمک‌های تمامی اعضای ستاد احیا دریاچه ارومیه که نقش مهمی در فراهم نمودن داده‌های مورداستفاده در این تحقیق ایفا نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیرات میانگذر دریاچه ارومیه بر روی تغییرات شوری و تغییرات بستر ناشی از رسوب‌گذاری نمک به کمک مدلسازی با استفاده از مدل Mike3 Flow Model FM، در راستای کمک به احیای دریاچه ارومیه است. در سال‌های اخیر تعادل بین منابع آب موجود و مصرف آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به دلیل عوامل انسانی مانند احداث سدها بر روی رودخانه‌ها و معبر در دریاچه و عوامل طبیعی مانند تغییرات اقلیمی به‌شدت مختل شده است. دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران واقع شده است. طول این دریاچه حدوداً ۱۴۰ کیلومتر و عرض آن از ۱۵ تا ۶۰ کیلومتر متغیر است و عمق متوسط آن اکنون به حدود کمتر از ۲ متر رسیده است. این دریاچه به‌وسیله گذرگاهی در سال ۱۳۶۸ به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم شده است. دو قسمت دریاچه از طریق دهانه‌ای به طول ۱۲۵۰ متر به هم متصل شدند که ممکن است تأثیر قابل‌توجهی بر رژیم‌های جریان و شوری داشته باشد. برخی از محققین کاهش جریان آب و اختلال در روند رسوب‌گذاری و الگوی گردش جریان در دریاچه ارومیه را ناشی از اثرات میانگذر دانستند؛ اما برخی دیگر از محققین ادعا کردند که اثر میانگذر بر توزیع شوری ناچیز است. اولین گام در شناسایی عوامل مؤثر بر وضعیت و کیفیت دریاچه، بررسی الگوی جریان است. احداث میانگذر ممکن است عاملی برای افزایش شوری دریاچه و اختلاف غلظت شوری در قسمت‌های شمالی و جنوبی دریاچه باشد که می‌تواند منجر به اثرات جانبی بر روی جمعیت آرتمیا، میزان تبخیر و اکوسیستم دریاچه شود؛ بنابراین، مطالعه الگوی جریان و توزیع شوری در دریاچه امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، در این پژوهش در ابتدا یک مدل هیدرودینامیکی توسعه یافت و سپس به کمک این مدل هیدرودینامیکی، تغییرات شوری، چگالی و تغییرات بستر دریاچه ناشی از رسوبات نمکی در سه سناریوی وجود میانگذر با یک بازشدگی (شرایط فعلی دریاچه)، عدم وجود میانگذر و وجود میانگذر با دو بازشدگی، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی دقیق مدل توسعه‌یافته نشان داد که در دوره اول مدلسازی که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ توسعه یافت، تغییرات زیادی بر روی شوری و چگالی ناشی از سناریوهای مختلف بررسی شده در این پژوهش رخ نداده و تا حدود ۹۵ درصد تطابق این دو پارامتر در قسمت‌های دور از میانگذر و ۸۰ درصد تطابق این دو پارامتر در نقاط نزدیک میانگذر در سناریوهای ارائه شده مشاهده گردید. اما این سناریوها الگوی جریان را در اطراف میانگذر دچار تغییر کرده است. دوره دوم مدلسازی با استفاده از داده‌هایی با جزئیات کمتر نسبت به دوره اول و همچنین مش درشت تر درنظر گرفته‌شد. با استفاده از دوره مدلسازی دوم که به مدت ۵ سال از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ با هدف بررسی تغییرات بستر ناشی از رسوبات نمکی توسعه یافت، این نتیجه حاصل شد که در سناریوهای مختلف، میزان بازشدگی باعث ایجاد تغییرات بستر در اطراف میانگذر شده است؛ اما در نقاط دور از میانگذر تغییرات زیادی ناشی از هریک از این سناریوها رخ نمی‌دهد. به طوری که در اطراف میانگذر در شرایط عدم وجود میانگذر، میانگین مجموع تغییرات تراز بستر نسبت به شرایط وجود میانگذر با یک بازشدگی حدوداً ۰٫۵ متر بیشتر از شرایط اولیه بود، اما در شرایط وجود میانگذر با دو بازشدگی این اختلاف حدودا ۱ متر بود، که به صورت کاهش نسبت به شرایط اولیه بود.

کلمات کلیدی: میانگذر دریاچه ارومیه، مدلسازی شوری، مدل Mike، تبخیر، ترسیب نمک، تغییرات بستر

فهرست مطالب

چکیده ..... أ
فهرست مطالب ..... ب
فهرست جداول ..... ه
فهرست اشکال ..... و
۱ فصل اول: مقدمه و بیان مسئله ۱
۱ـ۱ سؤالات تحقیق ۲
۱ـ۲ ضرورت انجام تحقیق ۲
۱ـ۳ روند انجام پژوهش ۵
۱ـ۴ نوآوری پژوهش ۵
۱ـ۵ ساختار پایان‌نامه ۵
۲ فصل دوم: مرور ادبیات فنی ۷
۲ـ۱ بررسی پژوهش‌های پیشین در زمینه مدلسازی هیدرودینامیکی و شوری دریاچه ارومیه ۷
۲ـ۲ بررسی پژوهش‌های مرتبط با پژوهش حاضر در دریاچه بزرگ نمک یوتا ۱۴
۲ـ۳ بررسی پژوهش‌های پیشین در زمینه مقایسه دریاچه ارومیه و دریاچه بزرگ نمک یوتا ۱۶
۲ـ۴ نواقص مطالعات پیشین در زمینه مدلسازی هیدرودینامیکی و شوری دریاچه ارومیه ۲۷
۲ـ۵ بررسی پژوهش‌های پیشین در زمینه روش‌های مختلف برآورد تبخیر از سطح دریاچه ارومیه ۲۸
۲ـ۶ بررسی پژوهش‌های پیشین در زمینه تغییرات بستر ناشی از رسوبات نمکی ۳۳
۳ فصل سوم: منطقه موردمطالعه ۳۶
۳ـ۱ دریاچه ارومیه ۳۶
۳ـ۲ میانگذر دریاچه ارومیه و بزرگراه شهید کلانتری ۳۷
۳ـ۳ مروری بر ترکیبات شیمیایی دریاچه ۳۹
۳ـ۴ معرفی داده‌های اصلی جهت انجام پژوهش ۴۱
۳ـ۴ـ۱ بارش و تبخیر ۴۱
۳ـ۴ـ۲ شوری ۴۱
۳ـ۴ـ۳ باد ۴۱
۳ـ۵ رودخانه‌های ورودی به دریاچه ارومیه ۴۲

۳ـ۵ـ۱ عمق‌سنجی ۴۳
۳ـ۶ مروری بر تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه ۴۳
۴ فصل چهارم: روش انجام پژوهش و نتایج ۴۵
۴ـ۱ مدلسازی هیدرودینامیکی جریان و توزیع شوری ۴۵
۴ـ۱ـ۱ ضرورت مدلسازی در پژوهش حاضر ۴۶
۴ـ۱ـ۲ مدل‌های عددی ۴۷
۴ـ۱ـ۳ انتخاب مدل مناسب و معرفی مدل Mike Zero و MIKE 3 ..... ۴۸
۴ـ۱ـ۴ ساخت مدل جریان ۵۰
۴ـ۱ـ۵ فرضیات پژوهش ۵۴
۴ـ۱ـ۶ مرز آبی دریاچه ۵۴
۴ـ۱ـ۷ مش‌بندی ۵۵
۴ـ۱ـ۸ بازهٔ زمانی مدل ۵۸
۴ـ۱ـ۹ داده‌های ورودی مدل ۵۸
۴ـ۱ـ۱۰ شرایط اولیه ۶۹
۴ـ۱ـ۱۱ شرایط مرزی ۶۹
۴ـ۱ـ۱۲ اجرای مدل ۶۹
۴ـ۱ـ۱۳ الگوی جریان ۷۰
۴ـ۱ـ۱۴ شوری ۷۲
۴ـ۱ـ۱۵ تحلیل نتایج شوری ۷۶
۴ـ۱ـ۱۶ چگالی ۷۷
۴ـ۱ـ۱۷ تحلیل نتایج چگالی ۸۱
۴ـ۱ـ۱۸ سرعت جریان ۸۲
۴ـ۱ـ۱۹ تحلیل نتایج سرعت جریان ۸۵
۴ـ۱ـ۲۰ واسنجی مدل ۸۶
۴ـ۱ـ۲۱ صحت‌سنجی مدل ۹۴
۴ـ۲ بررسی تغییرات بستر دریاچه ناشی از رسوبات نمکی ۱۰۰
۴ـ۲ـ۱ بررسی رسوبات نمکی و تغییرات بستر با مقایسه نقشه‌های هیدروگرافی ۱۰۰
۴ـ۲ـ۲ مدلسازی ریاضی ۱۰۵
۴ـ۲ـ۳ مدلسازی رسوبات نمکی دریاچه ۱۰۷

۴ـ۲ـ۴ طراحی و کالیبراسیون مدل رسوب ۱۰۸
۴ـ۲ـ۵ ساخت مدل جریان ۱۰۹
۴ـ۲ـ۶ مش‌بندی ۱۱۰
۴ـ۲ـ۷ بازهٔ زمانی مدل ۱۱۰
۴ـ۲ـ۸ داده‌های ورودی مدل ۱۱۱
۴ـ۲ـ۹ صحت سنجی مدل هیدرودینامیکی پنج‌ساله ۱۱۴
۴ـ۲ـ۱۰ نتایج شوری با مش بزرگ‌تر در انتهای مدلسازی در سال ۲۰۱۸ ..... ۱۱۵
۴ـ۲ـ۱۱ اجرای مدل رسوب در سناریوی اول (وجود میانگذر با یک بازشدگی) و ارائه نحوه همخوانی نتایج با واقعیت ۱۲۱
۴ـ۲ـ۱۲ ارزیابی سناریوهای ارائه شده و مقایسه با شرایط موجود ۱۲۶
۵ فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادات ۱۳۲
۵ـ۱ جمع‌بندی ۱۳۲
۵ـ۲ پیشنهادات ۱۳۵
مراجع ۱۳۶
پیوست ۱۴۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱- مقایسه ی دریاچه ارومیه و دریاچه بزرگ نمک ۲۲
جدول ۲-۲- جمع بندی پژوهش های پیشین در ارتباط با مدلسازی هیدرودینامیکی و توزیع شوری دریاچه ارومیه ۲۴
جدول ۲-۳- برآورد تبخیر از دریاچه ارومیه طبق مطالعات پیشین ۳۲
جدول ۴-۱- ضرایب تیسن مربوط به بارش ۶۲
جدول ۴-۲- جدول داده های ورودی ۶۹
جدول ۴-۳- نتایج حاصل از واسنجی شوری ۸۷
جدول ۴-۴مقادیر پرامترهای حاصل از واسنجی پس از ۹ اجرای مختلف..... ۹۴
جدول ۴-۵- نتایج حاصل از صحت سنجی شوری ۹۶
جدول ۴-۶- بررسی پارامترهای آماریRMSE و NRMSE بین داده‌های میدانی و شبیه‌سازی شده شوری... ۹۷
جدول ۴-۷- مشخصات کلی لاین‌های عمق‌یابی بستر دریاچه ارومیه در عملیات سال ۱۳۹۷ .....۱۰۱
جدول ۴-۸- ورودی‌های مدل تغییرات تراز بستر ۱۰۸
جدول ۴-۹- جدول داده‌های ورودی ۱۱۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- تصویر شماتیک چرخه طبیعی دریاچه ارومیه ۴
شکل ۱-۲- فلوچارت روند انجام پژوهش ۵
شکل ۲-۱- کالورت موجود در دریاچه بزرگ نمک آمریکا..... ۱۸
شکل ۲-۲- تصاویر ماهواره ای دریاچه ارومیه و دریاچه بزرگ نمک در شرایط پرآبی(a,b) و خشک شدن(c,d) ۱۹
شکل ۳-۱- تصویر هوایی از دریاچه ارومیه مربوط به دسامبر۲۰۱۴..... ۳۷
شکل ۳-۲- تصویر هوایی از میانگذر دریاچه ارومیه مربوط به دسامبر۲۰۱۴..... ۳۹
شکل ۳-۳- موقعیت رودخانه‌های ورودی به دریاچه و ایستگاه‌های هیدرومتری ۴۲
شکل ۳-۴- سهم رودخانه های ورودی در تامین آب دریاچه ارومیه ۴۳
شکل ۳-۵- مقایسه تراز آب دریاچه ارومیه مربوط به سال ۲۰۱۳تا۲۰۱۸..... ۴۴
شکل ۴-۱- مرز آبی دریاچه ۵۵
شکل ۴-۲- مش‌بندی مدل ۵۶
شکل ۴-۳-مش‌بندی مدل پس از درون‌یابی ۵۷
شکل ۴-۴-نمایی نزدیک از مش اطراف میانگذر ۵۷
شکل ۴-۵- بسیمتری مدل مربوط به سال ۲۰۱۳..... ۵۹
شکل ۴-۶- موقعیت رودخانه‌های ورودی به دریاچه در مدل ۶۰
شکل ۴-۷- دبی رودخانه‌های ورودی به دریاچه مربوط به سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ ..... ۶۱
شکل ۴-۸- موقعیت ایستگاه‌های درنظر گرفته شده جهت انجام روش تیسن ۶۲
شکل ۴-۹- نمودار نرخ تبخیر و بارش اصلاح شده دریاچه مربوط به سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ ..... ۶۵
شکل ۴-۱۰- نمودار سرعت باد استخراج شده از ERA5 مربوط به سال۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ ..... ۶۷
شکل ۴-۱۱- گل باد دریاچه مربوط به سال ۲۰۱۳تا ۲۰۱۴..... ۶۸
شکل ۴-۱۲- الگوی جریان در اطراف میانگذر در شرایط وجود میانگذر ۷۰
شکل ۴-۱۳- الگوی جریان در اطراف میانگذر در شرایط عدم وجود میانگذر ۷۱
شکل ۴-۱۴- الگوی جریان در اطراف میانگذر در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر..... ۷۱
شکل ۴-۱۵- الف) خروجی مدل شوری در شرایط وجود میانگذر. ب) خروجی مدل شوری در شرایط وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۷۲
شکل ۴-۱۶- الف) خروجی مدل شوری در شرایط عدم وجود میانگذر.ب) خروجی مدل شوری در شرایط عدم وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۷۲

شکل ۴-۱۷- الف) خروجی مدل شوری در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر.ب) خروجی مدل شوری در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۷۳
شکل ۴-۱۸- موقعیت نقاط انتخابی جهت انجام مقایسه ۷۳
شکل ۴-۱۹- مقایسه شوری در نقطه اول در هر سه سناریو ۷۴
شکل ۴-۲۰- مقایسه شوری در نقطه دوم در هر سه سناریو ۷۴
شکل ۴-۲۱- مقایسه شوری در نقطه سوم در هر سه سناریو ۷۴
شکل ۴-۲۲- مقایسه شوری در نقطه چهارم در هر سه سناریو ۷۵
شکل ۴-۲۳- مقایسه شوری در نقطه پنجم در هر سه سناریو ۷۵
شکل ۴-۲۴- مقایسه شوری در نقطه ششم در هر سه سناریو ۷۵
شکل ۴-۲۵- الف) خروجی چگالی در شرایط وجود میانگذر. ب) خروجی چگالی در شرایط وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۷۷
شکل ۴-۲۶-الف) خروجی چگالی در شرایط عدم وجود میانگذر.ب) خروجی چگالی در شرایط عدم وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۷۸
شکل ۴-۲۷-الف) خروجی چگالی در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر. ب) خروجی چگالی در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۷۸
شکل ۴-۲۸- مقایسه چگالی در نقطه اول در هر سه سناریو ۷۹
شکل ۴-۲۹مقایسه چگالی در نقطه دوم در هر سه سناریو..... ۷۹
شکل ۴-۳۰- مقایسه چگالی در نقطه سوم در هر سه سناریو..... ۸۰
شکل ۴-۳۱- مقایسه چگالی در نقطه چهارم در هر سه سناریو ۸۰
شکل ۴-۳۲- مقایسه چگالی در نقطه پنجم در هر سه سناریو..... ۸۰
شکل ۴-۳۳- مقایسه چگالی در نقطه ششم در هر سه سناریو..... ۸۰
شکل ۴-۳۴- الف) خروجی سرعت جریان در شرایط وجود میانگذر. ب) خروجی سرعت جریان در شرایط وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۸۲
شکل ۴-۳۵- الف) خروجی سرعت جریان در شرایط عدم وجود میانگذر.ب) خروجی سرعت جریان در شرایط عدم وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر..... ۸۳
شکل ۴-۳۶- الف) خروجی سرعت جریان در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر. ب) خروجی سرعت جریان در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۸۳
شکل ۴-۳۷- مقایسه سرعت جریان در نقطه اول در هر سه سناریو ۸۳
شکل ۴-۳۸- مقایسه سرعت جریان در نقطه دوم در هر سه سناریو..... ۸۴

شکل ۴-۳۹- مقایسه سرعت جریان در نقطه سوم در هر سه سناریو ۸۴
شکل ۴-۴۰ – مقایسه سرعت جریان در نقطه چهارم در هر سه سناریو ۸۴
شکل ۴-۴۱- مقایسه سرعت جریان در نقطه پنجم در هر سه سناریو..... ۸۵
شکل ۴-۴۲- مقایسه سرعت جریان در نقطه ششم در هر سه سناریو..... ۸۵
شکل ۴-۴۳- نقاط انتخابی برای واسنجی میزان شوری ۸۷
شکل ۴-۴۴- نقاط انتخابی برای صحت‌سنجی میزان شوری..... ۹۶
شکل ۴-۴۵- نقاط انتخابی جهت برداشت سری زمانی میانگین تراز سطح آب ۹۸
شکل ۴-۴۶- مقایسه تراز بدست آمده از مدلسازی و تراز بدست آمده از داده‌های میدانی در سال ۲۰۱۳تا۲۰۱۴ ..... ۹۸
شکل ۴-۴۷- شماتیک خطوط برداشت شده در عملیات هیدروگرافی سال۱۳۹۷ .....۱۰۱
شکل ۴-۴۸- خطوط منتخب جهت مقایسه هیدروگرافی‌های دوره‌ای.....۱۰۲
شکل ۴-۴۹- مقایسه هیدروگرافی‌های سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ بر روی خط A.....۱۰۳
شکل ۴-۵۰- مقایسه هیدروگرافی‌های سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ بر روی خط B.....۱۰۳
شکل ۴-۵۱- مقایسه هیدروگرافی‌های سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ بر روی خط C.....۱۰۴
شکل ۴-۵۲- مقایسه هیدروگرافی‌های سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ بر روی خط D.....۱۰۴
شکل ۴-۵۳- مقایسه هیدروگرافی‌های سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ بر روی خط E.....۱۰۵
شکل ۴-۵۴- مقایسه هیدروگرافی‌های سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ بر روی خط F.....۱۰۵
شکل ۴-۵۵- روند انجام مطالعات مدلسازی رسوب دریاچه ۱۰۹
شکل ۴-۵۶- مش‌بندی مدل با مش بزرگتر ۱۱۰
شکل ۴-۵۷- بسیمتری مدل مربوط به سال ۲۰۱۳ .....۱۱۱
شکل ۴-۵۸- نمودار میانگین ماهانه دبی رودخانه های ورودی به دریاچه در سال۲۰۱۳تا۲۰۱۸ .....۱۱۲
شکل ۴-۵۹- نمودار نرخ میانگین ماهانه تبخیر و بارش اصلاح شده دریاچه در سال۲۰۱۳تا۲۰۱۸ .....۱۱۲
شکل ۴-۶۰- نمودار سرعت باد روزانه استخراج شده از Era5 در سال۲۰۱۳تا۲۰۱۸ .....۱۱۳
شکل ۴-۶۱- گل باد دریاچه در سال ۲۰۱۳تا۲۰۱۸.....۱۱۳
شکل ۴-۶۲- نتایج صحت‌سنجی تراز سطح آب بدست آمده از مدل ۵ ساله.....۱۱۵
شکل ۴-۶۳- الف) خروجی مدل شوری در شرایط وجود میانگذر. ب) خروجی مدل شوری در شرایط وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۱۱۶
شکل ۴-۶۴-الف) خروجی مدل شوری در شرایط عدم وجود میانگذر.ب) خروجی مدل شوری در شرایط عدم وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۱۱۶

شکل ۴-۶۵-الف) خروجی مدل شوری در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر.ب) خروجی مدل شوری در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر.....۱۱۷
شکل ۴-۶۶- موقعیت نقاط انتخابی جهت انجام مقایسه.....۱۱۸
شکل ۴-۶۷- مقایسه شوری در نقطه اول در هر سه سناریو.....۱۱۸
شکل ۴-۶۸- مقایسه شوری در نقطه دوم در هر سه سناریو.....۱۱۹
شکل ۴-۶۹- مقایسه شوری در نقطه سوم در هر سه سناریو.....۱۱۹
شکل ۴-۷۰- مقایسه شوری در نقطه چهارم در هر سه سناریو.....۱۱۹
شکل ۴-۷۱- مقایسه شوری در نقطه پنجم در هر سه سناریو.....۱۲۰
شکل ۴-۷۲- الف) الگوی تغییرات تراز بستر در شرایط وجود میانگذر. ب) الگوی تغییرات تراز بستر در شرایط وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر.....۱۲۲
شکل ۴-۷۳- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک با اجرای پنج ساله با اختلاف هیدروگرافی‌های سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ در خط A.....۱۲۳
شکل ۴-۷۴- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک با اجرای پنج ساله با اختلاف هیدروگرافی‌های سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ در خط B.....۱۲۳
شکل ۴-۷۵- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک با اجرای پنج ساله با اختلاف هیدروگرافی‌های سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ در خط C.....۱۲۴
شکل ۴-۷۶- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک با اجرای پنج ساله با اختلاف هیدروگرافی‌های سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ در خط D.....۱۲۴
شکل ۴-۷۷- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک با اجرای پنج ساله با اختلاف هیدروگرافی‌های سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ در خط E.....۱۲۵
شکل ۴-۷۸- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک با اجرای پنج ساله با اختلاف هیدروگرافی‌های سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ در خط F.....۱۲۶
شکل ۴-۷۹- دقت پایین مدل در خط E و حضور جزیره در مدلسازی.....۱۲۶
شکل ۴-۸۰-الف) خروجی تغییرات بستر در شرایط عدم وجود میانگذر.ب) خروجی تغییرات بستر در شرایط عدم وجود میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر.....۱۲۷
شکل ۴-۸۱- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی عدم وجود میانگذر در مقطع A.....۱۲۷
شکل ۴-۸۲- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی عدم وجود میانگذر در مقطع C.....۱۲۸

شکل ۴-۸۳- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی عدم وجود میانگذر در مقطع D..... ۱۲۸
شکل ۴-۸۴- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی عدم وجود میانگذر در مقطع F ۱۲۹
شکل ۴-۸۵-الف) خروجی تغییرات بستر در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر. ب) خروجی تغییرات بستر در شرایط وجود ۲ بازشدگی در میانگذر نمای نزدیکتر از مدل در اطراف میانگذر ۱۲۹
شکل ۴-۸۶- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی وجود میانگذر با دو بازشدگی در مقطع A..... ۱۳۰
شکل ۴-۸۷- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی وجود میانگذر با دو بازشدگی در مقطع C..... ۱۳۰
شکل ۴-۸۸- مقایسه نتایج رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی وجود میانگذر با دو بازشدگی در مقطع D..... ۱۳۱
شکل ۴-۸۹- مکانیزم رسوبی در نواحی اطراف میانگذر در سناریو وجود دو بازشدگی در میانگذر ۱۳۱
شکل ۴-۹۰- مقایسه نتایج مدل رسوب نمک سناریوی میانگذر با یک بازشدگی با سناریوی وجود میانگذر با دو بازشدگی در مقطع F ۱۳۱

۱ فصل اول: مقدمه و بیان مسئله

دریاچه ارومیه با تراز اکولوژیک در حدود ۱۲۷۴ متر، به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران در نظر گرفته می‌شود [۱]. تراز سطح آب دریاچه در سال ۱۳۷۵ در حدود ۱۲۷۸ متر بوده و از آن زمان روند نزولی پیدا نموده و در سال‌های اخیر بر اساس گزارشات مختلف به تراز کمتر از ۱۲۷۱ متر رسیده است [۲].

در مجامع مختلف علمی، نظرات متفاوتی دربارهٔ علت کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه مطرح می‌شود؛ ولی در مجموع عوامل انسانی، از جمله مهم‌ترین عوامل اثرگذار شناخته شده‌اند. یکی از عوامل انسانی که در بررسی خشک‌شدن دریاچه ارومیه مطرح می‌شود، احداث میانگذر شهید کلانتری است که با تغییر شرایط جریان احتمال تأثیر بر کیفیت آب در قسمت شمالی و جنوبی دریاچه را خواهد داشت. از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۲ میانگذری به طول ۱۵,۴ کیلومتر در دریاچه ارومیه احداث گردید تا ساحل غربی و شرقی آن را به هم متصل کند و ارتباط میان استان‌های غربی و شرقی را فراهم کند. در حدود ۱۲۵۰ متر از آن به‌صورت پل آبگذر و مابقی آن به شکل دایک‌های توده سنگی است که با انجام بیش از ۳۰ میلیون مترمکعب عملیات خاکریزی و سنگریزی، احداث شده است. این گذرگاه از نوع دایک، دریاچه را به بخش‌های شمالی و جنوبی با یک دهانه تقسیم می‌کند که امکان جریان محدود آب بین دو بخش از دریاچه را فراهم می‌کند [۳].

ساخت میانگذر ممکن است با کاهش تبادل معمول آب بین بخش‌های شمالی و جنوبی دریاچه به شوری بیشتر در شمال و شوری کمتر در جنوب کمک کرده باشد [۴]. طبق ضوابط و استانداردهای ملی و بین‌المللی، طرح‌ها و پروژه‌های عمرانی بزرگ از قبیل پروژه‌های بزرگ راهسازی (خصوصاً به علت تداخل میانگذر با پارک ملی دریاچه ارومیه) مشمول ارزیابی زیست محیطی می باشند. متأسفانه این مصوبه در زمان اجرای میانگذر دریاچه، مورد توجه قرار نگرفته و این پروژه به‌عنوان نمونه بارزی از توسعه‌ای ناپایدار، اثراتی منفی بر اکوسیستم پارک ملی دریاچه ارومیه وارد نموده است [۵].

در فرآیند احیای دریاچه لازم است که عوامل مهمی که منجر به کاهش ورود جریان آب کافی به دریاچه و همچنین افزایش میزان تبخیر از سطح آن گردیده است را به‌دقت مورد بررسی قرار داد. این عوامل شامل برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب، ذخیره آب در سدهای احداث شده، توسعه نامتوازن بخش کشاورزی در حوضه و تغییرات اقلیمی و استمرار خشکسالی‌های نسبی در سال‌های اخیر می‌گردند. همچنین، بر اساس گزارش‌های ارزیابی زیست‌محیطی، بهره‌برداری از میانگذر با پیامدهای مخرب زیاد بر فاکتورهای محیط‌زیستی تشخیص‌داده‌شده است [۶].

هدف از این پایان‌نامه، مدلسازی هیدرودینامیکی دریاچه ارومیه در راستای بررسی اثرات احداث میانگذر بر شوری آب دریاچه ارومیه و همچنین، تغییرات کف بستر ناشی از تغییرات شوری، در راستای کمک به احیای این دریاچه می‌باشد.

۱ـ۱ سؤالات تحقیق

با انجام این تحقیق به این سؤالات پاسخ مناسب داده خواهد شد:

۱) چگونه می‌توان با استفاده از توسعه یک مدل هیدرودینامیکی مناسب با لحاظ تغییرات بستر و تبخیر، میزان شوری در دریاچه ارومیه را مدلسازی نمود؟
۲) احداث میانگذر چه تأثیراتی بر شوری و چگالی دریاچه ارومیه گذاشته است؟
۳) تغییرات شوری، چگالی، جریان و همچنین، تغییرات بستر دریاچه ارومیه ناشی از احداث میانگذر را چگونه می‌توان مدلسازی و کمی کرد؟
۴) چگونه می‌توان تغییرات کف بستر ناشی از تغییرات شوری را مدلسازی نمود؟

۱ـ۲ ضرورت انجام تحقیق

دریاچه ارومیه یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های فوق شور (فوق اشباع نمکی) جهان، در شمال غربی ایران واقع شده است. این دریاچه یک دارایی طبیعی با ارزش‌های زیست‌محیطی و فرهنگی محسوب می‌شود [۷]. این دریاچه به دلیل داشتن شرایط فیزیکی و شیمیایی و زیستی منحصربه‌فرد توسط برنامه انسان و کره مسکون سازمان ملل (یونسکو) به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره[۱] و توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران در سال ۱۳۵۵، به‌عنوان پارک ملی معرفی شده است [۸]. این اکوسیستم همچنین، بسیار حساس بوده و هرگونه تغییری در تعادل آب در سرزمین آن، ممکن است اثرات محیط زیستی، فیزیکی، زیستی مستقیم و غیرمستقیم برجا بگذارد. دریاچه ارومیه تحت کنوانسیون رامسر به‌عنوان زیستگاه بین‌المللی پرندگان و برخی گونه‌های کمیاب به ثبت رسیده است.

در سال ۱۳۶۴، این دریاچه دارای مساحت حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع، عمق متوسط ۶ متر و ارتفاع ۱۲۷۵,۶ متر از سطح متوسط دریا بود. همچنین، طول و عرض دریاچه به ترتیب حدودا ۱۴۰ و ۴۰ کیلومتر بود. وجود مقدار زیادی یون در آب دریاچه می تواند شوری را تا ۳۰۰ گرم در لیتر در فصول خشک افزایش دهد [۹]. آرتمیا ارومیانا[۲] ساکن اصلی آب دریاچه است و می تواند شوری ۴۰ تا ۳۰۰ گرم در لیتر را تحمل کند. غلظت بالای نمک، در سال‌های اخیر به طرز نگران کننده ای گونه ی کمیاب آرتمیا را تهدید کرده و در نتیجه تعداد پرندگان

---

[۱] Biosphere

[۲] Artemia Urmiana

مهاجر را کاهش داده و بر فعالیت‌های اقتصادی مربوط به استفاده از آرتمیا تأثیر منفی گذاشته است. اگرچه آرتمیا میتواند دامنه های شوری بالا را تحمل کند، اما جمعیت و تولید مثل آن در شوری های بالاتر از ۳۰۰ گرم در لیتر کاهش می یابد [۱۰] و [۱۱]. تغییرات ورودی و تبخیر از سطح دریاچه منجر به نوسانات سطح آب و شوری آن می‌شود [۱۲] و [۷].

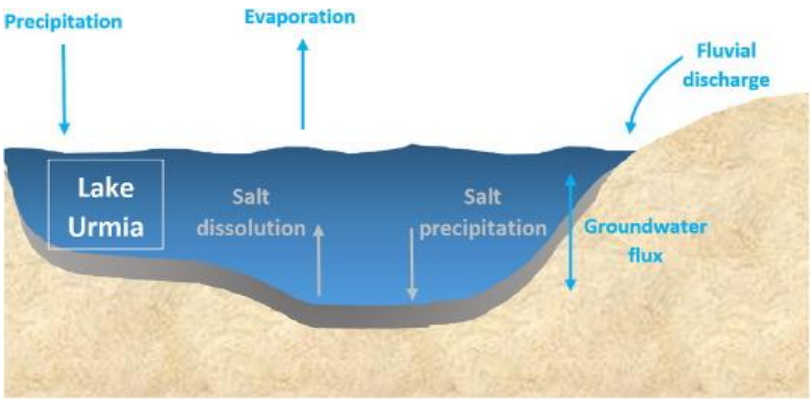
حدود ۱۵ کیلومتر از بزرگراه شهید کلانتری که بر روی گذرگاهی که دریاچه را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می کند احداث شده است، از دریاچه ارومیه می گذرد. ساخت گذرگاه در سال ۱۳۵۸ آغاز شد و در سال ۱۳۷۳ به پایان رسید. عرض گذرگاه در بالا حدود ۲۵,۵ متر و ارتفاع سطح آن ۳ متر از سطح متوسط دریاچه در سال ۱۳۶۲ است. در نزدیکی ساحل شرقی دریاچه، وجود دارد. یک دهانه ۱۲۵۰ متری در گذرگاه که دریاچه های شمالی و جنوبی را به هم متصل می کند. در سال ۱۳۶۵ عرض این دهانه حدود ۲۱۰۰ متر بود[۱۲].

ازآنجایی‌که بیش از ۹۵ درصد آب شیرین وارد دریاچه جنوبی می شود، احداث سرگذر بر توزیع شوری در دریاچه ارومیه تأثیر گذاشته است. با این حال، در بین کارشناسان اتفاق نظر وجود ندارد که چگونه ساخت گذرگاه، هیدرولیک و کیفیت آب دریاچه را تغییر داده است [۱۳]. افزایش طرح های توسعه و بهره برداری بی رویه از منابع آب حوضه ی دریاچه در دو دهه اخیر، منجر به کاهش جریانات ورودی به دریاچه و افت تراز آب آن شده است [۱۴]. این کاهش سطح و حجم دریاچه باعث شده است تا در سال ۱۳۹۴ حجم آب دریاچه به کمترین مقدار خود (۲۵/۱میلیارد متر مکعب) برسد، که این میزان ٪ ۹۶کمتر از مقدار حجم آن در سال۱۳۷۴ بوده است [۱۵]. بنابراین، تنشهای متعدد به وجود آمده در دریاچه، باعث ایجاد مشکلات جدی زیست محیطی و اقتصادی در منطقه دریاچه شده است [۱۶]. عوامل ذکر شده در بالا سبب شده است که دریاچه رو به خشک شدن پیش برود، به طوری که حتی در سالهای اخیر شوری دریاچه به بیش از ۴۰۰گرم بر لیتر رسیده و رسوبات شیمیایی مانند رسوبات کلروره، کربناته و سولفاته در حاشیه و بستر دریاچه نمایان گردیده و همچنین، نمک کلراید سدیم به دلیل شوری بالای دریاچه از حد اشباع عبور کرده و در کف دریاچه رسوب نماید [۱۷]. این افزایش نمک در آب دریاچه میتواند بر اکوسیستم، پارامترهای اقلیمی و منابع آب آثار مخربی را داشته باشد [۱۸].

آزادراه شهید کلانتری با عبور از دریاچه ارومیه دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را به هم متصل کرده و نقش بسیار مهمی در ارتباط بین این دو استان را ایفا می‌کند. میانگذر دریاچه ارومیه به‌صورت خاک‌ریز در عرض دریاچه از دو ساحل غربی و شرقی موجود است و حدود ۱,۴ کیلومتر در بخش میانی دریاچه میان این دو بخش فاصله موجود است. این فاصله از طریق شمع‌کوبی و احداث پل به هم متصل شده‌اند. باتوجه‌به موارد

بالا اجرای پروژه آزادراه شهید کلانتری دارای پیامدهای محیط زیستی قابل‌توجهی بوده است. وجود میانگذر تغییراتی در سیستم طبیعی دریاچه به وجود آورده است. احداث آن موجب تغییر شرایط هیدرودینامیک دریاچه، تغییر غلظت نمک در دو بخش شمالی و جنوبی و درنتیجه تغییر رسوب‌گذاری گردیده است [۱۹]. به همین دلیل فرآیند ارزیابی اثرات زیست‌محیطی این پروژه در مرحله بهره‌برداری، در جهت جلوگیری از وقوع این پیامدها یا کاهش تأثیرگذاری آنها برای مطالعات و اعمال پروژه‌های اصلاحی در آینده، حائز اهمیت است.

یکی از اثرات مخرب میان گذر جلوگیری از چرخش هیدرولیکی طبیعی آب دریاچه ارومیه است. چرخش آب دریاچه به‌صورت پادساعت‌گرد است، حال‌آنکه پل شهید کلانتری که از سمت غرب حدود ۱۲ کیلومتر و از سمت شرق حدود ۲٫۳ کیلومتر خاکریزی شده، مانع این چرخش طبیعی شده است. احداث این بزرگراه باعث قطع ارتباط طبیعی نیمه شمالی و جنوبی شده و تغییرات جدی را روی هیدرودینامیک منطقه و ویژگی‌های اکولوژیکی دریاچه وارد ساخته است. شکل ۱-۱ تصویری شماتیک از دریاچه ارومیه و چرخه طبیعی آن را نمایش می‌دهد. ازآنجایی‌که ۸۶درصد از آب‌های ورودی به دریاچه از ناحیه جنوبی بزرگراه وارد آن می‌شود، این عامل باعث تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به‌ویژه رسوب‌گذاری نواحی شمالی و جنوبی شده است [۲۰]. بنابراین، مختل‌شدن چرخه آب از شمال به جنوب دریاچه، باعث افزایش شوری بخش شمالی دریاچه ارومیه و ازبین‌رفتن کانون زیستی این دریاچه خواهد شد. یکی دیگر از پیامدهای به وجود آمده در اثر احداث میانگذر دریاچه ارومیه، جمع‌شدن رسوب در اطراف آن تجمع رسوبات در ناحیه جنوب غربی دریاچه را نشان می‌دهد. اختلال در سیستم چرخشی آب دریاچه ارومیه باعث ته‌نشینی رسوب در مناطقی از دریاچه که سرعت جریان آب در آن کمتر است، می‌شود [۲۱].



شکل ۱-۱- تصویر شماتیک چرخه طبیعی دریاچه ارومیه

[۱۲۴]