



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه به عنوان تحقق بخشی از شرایط دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب

تحلیل ترمودینامیکی نحوه تغییرات زمانی غلظت نمک در دریاچه‌های شور

(مطالعه موردی: دریاچه ارومیه)

نگارش

ندا امامی

استاد راهنما

دکتر مسعود تجریشی

دی ۱۳۹۶

چکیده

دریاچه ارومیه به منزله یک الکترولیت قوی که حاوی نمک‌های گوناگون می‌باشد، از یک هویت ترمودینامیکی برخوردار است. تغییرات دمایی و حجمی آب دریاچه باعث تغییر در غلظت یون‌های موجود در این شورابه و همچنین ترکیب و ترسیب نمک‌های کف این دریاچه می‌گردد. در پی این تغییرات خواص ترمودینامیکی شورابه نیز دستخوش تغییر می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر اختلاط آورد رودخانه‌های ورودی به دریاچه و محاسبه و تحلیل تغییرات خصوصیات کیفی و هیدروژئوشیمیایی دریاچه ارومیه و میزان ترسیب و انحلال کانی‌های اصلی موجود در دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۶ در هر ماه می‌باشد. بدین منظور از معادلات پیتزر^۱ و نرم افزار PHREEQC برای محاسبه خصوصیات هیدروژئوشیمیایی دریاچه و رودخانه‌های ورودی به آن استفاده شده است. برای محاسبه ترکیب آب حاصل از اختلاط دریاچه و رودخانه‌های ورودی به آن از مدل MIX و میزان ترسیب و انحلال املاح در هر ماه از مدل Inverse و نرم افزار PHREEQC استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی نشان داد که رودخانه‌ها جز در فصول با آورد بسیار بالای آب تاثیری بر ترکیب شیمیایی دریاچه نخواهند گذاشت. بر اساس نتایج در دوره زمانی مورد مطالعه اصلی‌ترین کانی موجود در دریاچه کلراید سدیم است که در ماه‌های با تبخیر بالا ترسیب شده و با ورود آب شیرین به دلیل ضریب انحلال‌پذیری بالای این کانی، مجدداً انحلال می‌یابد. در نهایت میزان جرم و سرعت ترسیب و انحلال کلراید سدیم در هر ماه مشخص شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از تاریخ شهریور ۱۳۸۶ تا خرداد ۱۳۹۲ مجموعاً ۹۷ میلیون تن نمک کلراید سدیم ترسیب و ۱۴۰ میلیون تن از همان نمک در دریاچه حل شده است. بیشترین ترسیب هالیت در دریاچه در مرداد ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ با ارتفاعی حدود ۶ میلیمتر و با سرعتی معادل ۰,۷۴ گرم بر سانتیمتر مربع اتفاق افتاده است.

کلمات کلیدی : دریاچه ارومیه، ترسیب و انحلال نمک، مدل دینامیکی، مدل MIX، مدل Inverse، PHREEQC، پیتزر

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱: کلیات
۱-۱-۱	مقدمه
۱-۲-۱	بیان مسأله و ضرورت انجام تحقیق
۳-۱	اهداف تحقیق
۴-۱	سوالات تحقیق
۴-۱	مراحل تحقیق
۵-۱	ساختار پایان نامه
۶	فصل ۲: مبانی نظری و پیشینه پژوهش
۶-۱-۲	تئوری ترسیب و انحلال نمک در دریاچه های شور
۶-۱-۱-۲	متداول ترین پارامترها برای اندازه گیری کیفیت آب
۶-۱-۱-۱-۲	پارامترهای صحرائی
۶-۱-۱-۲-۲	پارامترهای اصلی کیفیت آب
۱۱-۲-۱-۲	حلالیت نمک ها و عوامل موثر
۱۴-۲-۱-۲	مبانی ترمودینامیک شیمیایی
۱۶-۱-۳-۱-۲	انرژی آزاد گیبس
۱۷-۲-۳-۱-۲	پتانسیل شیمیایی، فعالیت، ضریب فعالیت و قدرت یونی
۱۹-۳-۳-۱-۲	ثابت تعادل ترمودینامیکی و درجه اشباع
۲۰-۴-۱-۲	مدل های ریاضی برای تعادل معدنی در شورابه های طبیعی
۲۱-۱-۴-۱-۲	الگوی پیتزر برای محاسبات ضرایب فعالیت و تهنشینی
۲۵-۱-۲	تعریف شوری و طبقه بندی دریاچه های شور
۲۵-۱-۵-۱-۲	شوری
۲۶-۲-۵-۱-۲	دریاچه های شور و پلایا
۲۸-۶-۱-۲	روند تکامل و انواع تیپ های ژئوشیمیایی دریاچه های شور
۲۹-۱-۶-۱-۲	عوامل موثر بر ترکیب شوراب نهایی
۳۱-۲-۶-۱-۲	نمودار پیشنهادی تکامل شورابه
۳۵-۲-۲	تحقیقات انجام شده در مورد خصوصیات هیدروژئوشیمی دریاچه های شور
۳۵-۱-۲-۲	تحقیقات انجام شده در مورد دریاچه ارومیه

۴۰	۲-۲-۲- تحقیقات انجام شده در مورد دیگر دریاچه‌های شور.....
۴۹	فصل ۳: توصیف منطقه مورد مطالعه.....
۴۹	۱-۳- مقدمه.....
۵۰	۲-۳- آب و هوای منطقه.....
۵۴	۳-۳- مشخصات رودخانه‌های ورودی به دریاچه.....
۵۴	۱-۳-۳- هیدرولوژی رودخانه‌ها.....
۵۹	۲-۳-۳- مشخصات کیفی رودخانه‌های ورودی.....
۶۲	۳-۳-۳- تغییرات دبی و غلظت برخی از رودخانه‌های مهم.....
۶۳	۱-۳-۳-۳- رودخانه آجی‌چای.....
۶۴	۲-۳-۳-۳- رودخانه سیمینه‌رود.....
۶۵	۳-۳-۳-۳- رودخانه زرینه‌رود.....
۶۶	۴-۳-۳-۳- رودخانه باراندوزچای.....
۶۷	۴-۳- زمین‌شناسی.....
۶۸	۵-۳- مشخصات کمی و کیفی دریاچه ارومیه.....
۶۸	۱-۵-۳- حجم و تراز دریاچه.....
۷۱	۲-۵-۳- مشخصات کیفی دریاچه.....
۷۱	۱-۲-۵-۳- دمای دریاچه.....
۷۳	۲-۲-۵-۳- بررسی مکانی و زمانی غلظت یون‌ها.....
۸۳	۳-۲-۵-۳- TDS.....
۸۶	۳-۲-۵-۳- چگالی.....
۸۶	۴-۲-۵-۳- pH.....
۸۷	۳-۵-۳- خصوصیات هیدروژئوشیمیایی دریاچه.....
۸۸	۱-۳-۵-۳- تعیین تیپ شیمیایی آب.....
۹۳	۲-۳-۵-۳- رسوب‌شناسی دریاچه.....
۹۴	۳-۳-۵-۳- مطالعه توالی رسوب‌گذاری.....
۹۵	۶-۳- جمع‌بندی.....
۹۶	فصل ۴: مدل‌سازی دینامیکی ترسیب و انحلال نمک در دریاچه ارومیه.....
۹۶	۱-۴- تعیین خصوصیات هیدروشیمی دریاچه ارومیه.....
۹۷	۱-۱-۴- تغییرات قدرت یونی محلول، فعالیت یون‌ها و آب در طی دوره زمانی مورد مطالعه.....

۱۰۳.....	۲-۱-۴- انحلال پذیری و شاخص اشباع کانی های موجود در دریاچه ارومیه.....
۱۰۹.....	۱-۲-۱-۴- مقایسه شاخص اشباع نمک های منیزیم دار.....
۱۱۰.....	۲-۲-۱-۴- مقایسه شاخص اشباع نمک های سدیم دار.....
۱۱۱.....	۳-۲-۱-۴- مقایسه شاخص اشباع نمک های کلروره.....
۱۱۱.....	۴-۲-۱-۴- تاثیر عوامل محیطی بر اشباعیت کانی ها.....
۱۱۹.....	۳-۱-۴- بررسی تغییرات فعالیت یون ها نسبت به قدرت یونی برای تعیین توالی ترسیب.....
۱۲۶.....	۲-۴- مدل سازی MIX.....
۱۲۷.....	۱-۲-۴- اطلاعات ورودی به نرم افزار در مدل سازی MIX.....
۱۲۸.....	۲-۲-۴- نحوه مدل سازی و نتایج.....
۱۳۴.....	۱-۲-۲-۴- بررسی علت های اختلاف مدل و داده ها.....
۱۴۱.....	۳-۲-۴- نتیجه گیری.....
۱۴۲.....	۳-۴- مدل سازی معکوس.....
۱۴۳.....	۱-۳-۴- داده های ورودی به نرم افزار و نحوه مدل سازی.....
۱۴۴.....	۲-۳-۴- نتایج.....
۱۴۴.....	۱-۲-۳-۴- مولالیت انتقال یافته از هر فاز.....
۱۵۲.....	۲-۲-۳-۴- میزان ترسیب و انحلال هالیت.....
۱۵۶.....	۳-۲-۳-۴- محاسبه پتانسیل انباشت هالیت ناشی از املاح رودخانه های ورودی.....
۱۵۸.....	فصل ۵ : نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۵۸.....	۱-۵- جمع بندی.....
۱۵۸.....	۲-۵- نتایج پژوهش.....
۱۶۱.....	۳-۵- پیشنهادات پژوهشی.....
۱۶۳.....	مراجع.....

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۹.....	جدول ۱-۲- حجم مولی جزئی یونی در 25°C (Owen & Brinkley, 1941).....
۲۳.....	جدول ۲-۲- معادلات ترمودینامیکی Pitzer (Whitfield, 1975).....
۲۷.....	جدول ۳-۲- طبقه بندی دریاچه ها از نظر میزان شوری (Hammer, U. T. 1986).....
۸۴.....	جدول ۱-۳- محاسبه همبستگی غلظت عناصر اصلی و TDS.....

- جدول ۳-۲- تپ آب دریاچه در زمان‌های متفاوت..... ۹۰
- جدول ۴-۱- میزان مول انتقال یافته در هر کیلوگرم آب برای شش فاز (۱۳۸۶-۱۳۹۲)..... ۱۴۷

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- نمودار انحلال نمک در ۱۰۰ گرم آب در اثر افزایش دمای محیط.....	۱۴
شکل ۲-۲- وضعیت پلایا در شرایط بارش باران و افزایش تبخیر (venture,2009).....	۲۸
شکل ۲-۳- تپ‌های مختلف آب‌هایی که در اثر هوازدگی شیمیایی سنگ‌های مختلف با آب‌های طبیعی ایجاد می‌گردند (Jones and Deocampo , 2014).....	۳۱
شکل ۲-۴- فلوجارت تشکیل رسوبات به صورت ایده آل برای یک شورابه در یک محیط آبی بسته (Jones and Deocampo , 2014).....	۳۲
شکل ۲-۵- نمودار پیشنهادی تکامل شورابه (اقتباس از Hardie & Eugster, 1978).....	۳۳
شکل ۲-۶- مسیرهای ممکن برای تبخیر آب‌های طبیعی (مدل اصلاح شده Hardie & Eugster,1970 توسط Drever1982).....	۳۵
شکل ۲-۷- نمودار قدرت یونی و مولالیت یون‌های اصلی شورابه که در اثر افزایش تبخیر (براساس داده‌های Hajbi et al., 2011).....	۴۳
شکل ۳-۱- موقعیت دریاچه و حوضه آبریز ارومیه.....	۴۹
شکل ۳-۲- میانگین دمای ماهانه هوا در ایستگاه ارومیه در بازه مورد مطالعه.....	۵۱
شکل ۳-۳- میانگین دمای ماهانه دوره زمانی ۷ ساله مورد مطالعه در ایستگاه سینوپتیک ارومیه.....	۵۱
شکل ۳-۴- بارش ماهانه در دوره زمانی مورد مطالعه.....	۵۲
شکل ۳-۵- بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه در دوره زمانی مورد مطالعه.....	۵۲
شکل ۳-۶- میانگین بارش ماهانه در ایستگاه سینوپتیک ارومیه دوره زمانی ۷ ساله مورد مطالعه.....	۵۳
شکل ۳-۷- تبخیر ماهانه، ایستگاه سینوپتیک ارومیه.....	۵۳
شکل ۳-۸- میانگین تبخیر ماهانه دوره زمانی ۷ ساله مورد مطالعه در ایستگاه سینوپتیک ارومیه.....	۵۴
شکل ۳-۹- مقایسه تبخیر و بارش سالانه در ایستگاه سینوپتیک ارومیه.....	۵۴
شکل ۳-۱۰- محل ورود رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه.....	۵۵
شکل ۳-۱۱- نمودار دایره‌ای سهم رودخانه‌های ورودی متوسط ۱۸ ساله (سال آبی ۷۵-۷۴ تا ۹۲-۹۱).....	۵۶
شکل ۳-۱۲- سهم رودخانه‌های ورودی متوسط ۶ ساله (سال آبی ۸۷-۸۶ تا ۹۲-۹۱).....	۵۷
شکل ۳-۱۳- مقایسه جریان متوسط ۶ و ۱۸ ساله رودهای منتهی به دریاچه ارومیه.....	۵۷

- شکل ۳-۱۴- حجم رودخانه‌های ورودی به دریاچه ارومیه ۸۶-۹۲..... ۵۸
- شکل ۳-۱۵- نحوه تغییرات میانگین دمای ماهانه رودخانه‌های ورودی با زمان..... ۵۹
- شکل ۳-۱۶- دیاگرام پایپر میانگین غلظت ماهانه تمام رودخانه‌های ورودی (فرودین ۱۳۸۶ تا شهریور ۱۳۹۲)..... ۶۰
- شکل ۳-۱۷- دیاگرام چاد برای تعیین تیپ هیدروشمی نمونه آب..... ۶۱
- شکل ۳-۱۸- دیاگرام چاد برای نمونه آب رودخانه‌ها در فصل خشک در طول دوره زمانی مورد مطالعه..... ۶۲
- شکل ۳-۱۹- دیاگرام چاد برای نمونه آب رودخانه‌ها در فصل تر در طول دوره زمانی مورد مطالعه..... ۶۲
- شکل ۳-۲۰- نمودار تغییرات جریان ورودی رودخانه آجی چای به دریاچه ارومیه در هر سال آبی..... ۶۳
- شکل ۳-۲۱- نمودار تغییرات غلظت جریان ورودی رودخانه آجی چای به دریاچه ارومیه در هر سال آبی..... ۶۳
- شکل ۳-۲۲- تغییرات جریان ورودی رودخانه سیمینه رود به دریاچه ارومیه در هر سال آبی (بلند مدت)..... ۶۴
- شکل ۳-۲۳- نمودار تغییرات جریان ورودی رودخانه سیمینه رود به دریاچه ارومیه در هر سال آبی (از سال ۸۴-۸۵ تا ۹۱-۹۲)..... ۶۴
- شکل ۳-۲۴- نمودار تغییرات غلظت جریان ورودی رودخانه سیمینه رود به دریاچه ارومیه در هر سال آبی..... ۶۵
- شکل ۳-۲۵- نمودار تغییرات جریان ورودی رودخانه زرینه رود به دریاچه ارومیه در هر سال آبی (بلند مدت)..... ۶۵
- شکل ۳-۲۶- نمودار تغییرات جریان ورودی رودخانه زرینه رود به دریاچه ارومیه در هر سال آبی (۸۴-۸۵ تا ۹۱-۹۲)..... ۶۶
- شکل ۳-۲۷- تغییرات غلظت جریان ورودی رودخانه زرینه رود به دریاچه ارومیه در هر سال آبی..... ۶۶
- شکل ۳-۲۸- نمودار تغییرات جریان ورودی رودخانه باراندوزچای به دریاچه ارومیه در هر سال آبی (سال ۸۴-۸۵ تا ۹۱-۹۲)..... ۶۷
- شکل ۳-۲۹- نمودار تغییرات غلظت جریان ورودی رودخانه زرینه رود به دریاچه ارومیه در هر سال آبی..... ۶۷
- شکل ۳-۳۰- میانگین تراز ماهانه (۱۳۹۲-۱۳۸۶)..... ۶۹
- شکل ۳-۳۱- مساحت دریاچه (۱۳۹۲-۱۳۸۶)..... ۶۹
- شکل ۳-۳۲- حجم دریاچه ارومیه (۱۳۹۲-۱۳۸۶)..... ۷۰
- شکل ۳-۳۳- نمودار نحوه تغییرات ماهانه حجم دریاچه ارومیه و رودخانه‌های ورودی به آن..... ۷۱
- شکل ۳-۳۴- میانگین دمای ماهانه آب دریاچه در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۷۲
- شکل ۳-۳۵- موقعیت نمونه‌های برداشت شده از دریاچه..... ۷۳
- شکل ۳-۳۶- نمودارهای مقایسه تغییرات غلظت در شمال و جنوب دریاچه..... ۷۴
- شکل ۳-۳۷- مکان ۵ نقطه نمونه‌برداری شده در دریاچه..... ۷۶
- شکل ۳-۳۸- مکان دقیق ۵ نقطه نمونه‌برداری شده در اطراف بزرگراه..... ۷۷
- شکل ۳-۳۹- نمودار مقایسه تغییرات غلظت کلر با زمان در ۵ نقطه اندازه‌گیری شده در دریاچه..... ۸۰

- شکل ۳-۴۰- نمودار مقایسه تغییرات غلظت سدیم با زمان در ۵ نقطه اندازه گیری شده در دریاچه..... ۸۰
- شکل ۳-۴۱- نمودار مقایسه تغییرات غلظت منیزیم با زمان در ۵ نقطه اندازه گیری شده در دریاچه..... ۸۱
- شکل ۳-۴۲- نمودار مقایسه تغییرات غلظت سولفات با زمان در ۵ نقطه اندازه گیری شده در دریاچه..... ۸۱
- شکل ۳-۴۳- نمودار مقایسه تغییرات غلظت پتاسیم با زمان در ۵ نقطه اندازه گیری شده در دریاچه..... ۸۲
- شکل ۳-۴۴- نمودار مقایسه تغییرات غلظت بی کربنات با زمان در ۵ نقطه اندازه گیری شده در دریاچه..... ۸۲
- شکل ۳-۴۵- نمودار مقایسه تغییرات غلظت کلسیم با زمان در ۵ نقطه اندازه گیری شده در دریاچه..... ۸۳
- شکل ۳-۴۶- نمودار مقایسه تغییرات میانگین TDS اندازه گیری شده و محاسبه شده با زمان در دریاچه..... ۸۴
- شکل ۳-۴۷- نمودار ارتباط تراز-TDS..... ۸۵
- شکل ۳-۴۸- شکل شماتیک تغییرات تراز و کف دریاچه..... ۸۵
- شکل ۳-۴۹- تغییرات چگالی نسبت به حجم دریاچه در دوره زمانی مورد مطالعه..... ۸۶
- شکل ۳-۵۰- نمودار تغییرات pH در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۸۷
- شکل ۳-۵۱- نمودار تغییرات درصد کاتیون ها و آنیون ها با زمان..... ۸۹
- شکل ۳-۵۲- دیاگرام استیف (۱۳۸۶-۱۳۹۱)..... ۹۲
- شکل ۳-۵۳- مراحل تشکیل کانی های تبخیری در طول تبخیر (بر اساس داده های Sonnenfeld,1984; Lepeshkov & Bodaleva , 1952; Sedel'nlkov , 1958)..... ۹۴
- شکل ۴-۱- نمودار تغییرات قدرت یونی آب دریاچه ارومیه در طی دوره مورد مطالعه..... ۹۷
- شکل ۴-۲- مقایسه تغییرات فعالیت چهار یون اصلی دریاچه با زمان..... ۹۸
- شکل ۴-۳- تغییرات فعالیت کلر با زمان..... ۹۹
- شکل ۴-۴- تغییرات فعالیت سدیم با زمان..... ۱۰۰
- شکل ۴-۵- تغییرات فعالیت منیزیم با زمان..... ۱۰۰
- شکل ۴-۶- تغییرات فعالیت سولفات با زمان..... ۱۰۰
- شکل ۴-۷- تغییرات فعالیت بی کربنات با زمان..... ۱۰۱
- شکل ۴-۸- تغییرات فعالیت کلسیم با زمان..... ۱۰۱
- شکل ۴-۹- تغییرات فعالیت پتاسیم با زمان..... ۱۰۱
- شکل ۴-۱۰- تغییرات فعالیت آب در طی دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۱- تغییرات غلظت اکی والانی منیزیم در برابر سدیم..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۲- تغییرات کلر در برابر سدیم..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۳- تغییرات سولفات در برابر منیزیم..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۴- مقایسه ضریب انحلال پذیری نمک های اصلی دریاچه..... ۱۰۶

- شکل ۴-۱۵- مقایسه نحوه تغییرات ضریب انحلال پذیری هالیت و دمای آب ماهانه..... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۶- مقایسه نحوه تغییرات ضریب انحلال پذیری کیزریت و دمای آب ماهانه..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۷- تغییرات شاخص اشباع کانی های موجود در دریاچه ارومیه در اثر افزایش قدرت یونی محلول.. ۱۰۸
- شکل ۴-۱۸- تغییرات شاخص اشباع کانی های موجود در دریاچه ارومیه در دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۹- تغییرات شاخص اشباع کانی های منیزیم دار در دریاچه ارومیه در دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۰- تغییرات شاخص اشباع کانی های سدیم دار در دریاچه ارومیه در دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۱- تغییرات شاخص اشباع کانی های کلرور در دریاچه ارومیه در دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۲- تغییرات شاخص اشباع میرابیلیت با میانگین دمای ماهانه آب طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۳- شاخص اشباع میرابیلیت با میانگین حجم آورد ماهانه رودخانه ها طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۴- تغییرات شاخص اشباع میرابیلیت با میانگین دمای ماهانه آب طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۳
- شکل ۴-۲۵- تغییرات شاخص اشباع میرابیلیت با میانگین آورد رودخانه ها طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۴
- شکل ۴-۲۶- تغییرات شاخص اشباع انیدریت با میانگین دمای ماهانه آب طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۴
- شکل ۴-۲۷- تغییرات شاخص اشباع انیدریت با میانگین میانگین آورد رودخانه ها طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۵
- شکل ۴-۲۸- تغییرات شاخص اشباع هالیت با میانگین دمای ماهانه آب طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۶
- شکل ۴-۲۹- تغییرات فعالیت سدیم و میانگین دمای ماهانه آب طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۶
- شکل ۴-۳۰- تغییرات فعالیت کلر و میانگین دمای ماهانه آب طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۶
- شکل ۴-۳۱- تغییرات شاخص اشباع هالیت با میانگین آورد رودخانه ها طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۲- تغییرات شاخص اشباع هالیت و تبخیر در ایستگاه سینوپتیک ارومیه در بازه زمانی مورد مطالعه.. ۱۱۷
- شکل ۴-۳۳- تغییرات شاخص اشباع سیلویت با میانگین دمای ماهانه آب طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۸
- شکل ۴-۳۴- تغییرات شاخص اشباع سیلویت با میانگین آورد رودخانه ها طی دوره مورد مطالعه..... ۱۱۸
- شکل ۴-۳۵- تغییرات غلظت سدیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۰
- شکل ۴-۳۶- تغییرات فعالیت سدیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۰
- شکل ۴-۳۷- تغییرات غلظت منیزیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۱
- شکل ۴-۳۸- تغییرات فعالیت منیزیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۱
- شکل ۴-۳۹- تغییرات غلظت کلر با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۲
- شکل ۴-۴۰- تغییرات فعالیت کلر با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۲
- شکل ۴-۴۱- تغییرات غلظت سولفات با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴۲- تغییرات فعالیت سولفات با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴۳- تغییرات غلظت پتاسیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۴

- شکل ۴-۴۴- تغییرات فعالیت پتاسیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۴
- شکل ۴-۴۵- تغییرات غلظت کلسیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۵
- شکل ۴-۴۶- تغییرات فعالیت کلسیم با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۵
- شکل ۴-۴۷- تغییرات غلظت بی کربنات با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۶
- شکل ۴-۴۸- تغییرات فعالیت بی کربنات با قدرت یونی در دریاچه ارومیه..... ۱۲۶
- شکل ۴-۴۹- نمودار تغییرات نسبت حجم دریاچه و رودخانه در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۲۷
- شکل ۴-۵۰- تغییرات غلظت سدیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض اول)..... ۱۲۸
- شکل ۴-۵۱- تغییرات غلظت کلر اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض اول)..... ۱۲۹
- شکل ۴-۵۲- تغییرات غلظت منیزیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض اول)..... ۱۲۹
- شکل ۴-۵۳- تغییرات غلظت سولفات اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض اول)..... ۱۲۹
- شکل ۴-۵۴- تغییرات غلظت بی کربنات اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض اول)..... ۱۳۰
- شکل ۴-۵۵- تغییرات غلظت پتاسیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض اول)..... ۱۳۰
- شکل ۴-۵۶- تغییرات غلظت کلسیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض اول)..... ۱۳۰
- شکل ۴-۵۷- تغییرات غلظت سدیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض دوم)..... ۱۳۱
- شکل ۴-۵۸- تغییرات غلظت کلر اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض دوم)..... ۱۳۱
- شکل ۴-۵۹- تغییرات غلظت منیزیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی (فرض دوم)..... ۱۳۱
- شکل ۴-۶۰- تغییرات غلظت سدیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی در طی زمان مورد مطالعه..... ۱۳۲
- شکل ۴-۶۱- تغییرات غلظت کلر اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی در طی زمان مورد مطالعه..... ۱۳۲
- شکل ۴-۶۲- تغییرات غلظت منیزیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی در طی زمان مورد مطالعه..... ۱۳۳
- شکل ۴-۶۳- تغییرات غلظت سولفات اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی در طی زمان مورد مطالعه..... ۱۳۳
- شکل ۴-۶۴- تغییرات غلظت بی کربنات اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی در طی زمان مورد مطالعه..... ۱۳۳
- شکل ۴-۶۵- تغییرات غلظت پتاسیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی در طی زمان مورد مطالعه..... ۱۳۴
- شکل ۴-۶۶- تغییرات غلظت کلسیم اندازه گیری شده و نتایج مدل سازی در طی زمان مورد مطالعه..... ۱۳۴
- شکل ۴-۶۷- نحوه تغییرات اختلاف داده و مدل در مورد غلظت یون های غالب موجود در دریاچه..... ۱۳۵
- شکل ۴-۶۸- تغییرات فعالیت سدیم در داده های اندازه گیری شده و نتایج مدل ۱۳۵
- شکل ۴-۶۹- تغییرات فعالیت کلر در داده های اندازه گیری شده و نتایج مدل..... ۱۳۶
- شکل ۴-۷۰- تغییرات فعالیت منیزیم در داده های اندازه گیری شده و نتایج مدل..... ۱۳۶
- شکل ۴-۷۱- تغییرات فعالیت سولفات در داده های اندازه گیری شده و نتایج مدل ۱۳۶
- شکل ۴-۷۲- تغییرات فعالیت پتاسیم در داده های اندازه گیری شده و نتایج مدل..... ۱۳۷

- شکل ۴-۷۳- تغییرات فعالیت بی کربنات در داده‌های اندازه‌گیری شده و نتایج مدل..... ۱۳۷
- شکل ۴-۷۴- تغییرات فعالیت کلسیم در داده‌های اندازه‌گیری شده و نتایج مدل..... ۱۳۷
- شکل ۴-۷۵- تغییرات فعالیت آب مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده و نتایج مدل..... ۱۳۸
- شکل ۴-۷۶- مقایسه اختلاف غلظت سدیم بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده با آورد ماهانه رودخانه‌ها به دریاچه در طی دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۳۸
- شکل ۴-۷۷- مقایسه اختلاف غلظت کلر بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده با آورد ماهانه رودخانه‌ها به دریاچه در طی دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۳۹
- شکل ۴-۷۸- مقایسه اختلاف غلظت منیزیم بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده با آورد ماهانه رودخانه‌ها به دریاچه در طی دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۳۹
- شکل ۴-۷۹- مقایسه اختلاف غلظت کلسیم بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده با آورد ماهانه رودخانه‌ها به دریاچه در طی دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۰
- شکل ۴-۸۰- مقایسه اختلاف غلظت پتاسیم بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده با آورد ماهانه رودخانه‌ها به دریاچه در طی دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۰
- شکل ۴-۸۱- مقایسه اختلاف غلظت سولفات بین نتایج مدل‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده با آورد ماهانه رودخانه‌ها به دریاچه در طی دوره زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۱
- شکل ۴-۸۲- انتقال نمک‌های حاشیه دریاچه به مرکز دریاچه در زمان کاهش تراز آب..... ۱۴۲
- شکل ۴-۸۳- مقدار مول کلراید سدیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۵
- شکل ۴-۸۴- مقدار مول کیزریت انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۵
- شکل ۴-۸۵- مقدار مول سولفات کلسیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۶
- شکل ۴-۸۶- مقدار مول کلراید پتاسیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۶
- شکل ۴-۸۷- مقدار مول کربنات کلسیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۴۷
- شکل ۴-۸۸- مجموع کلراید سدیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در هر سال (۱۳۹۱-۱۳۸۶)..... ۱۵۰
- شکل ۴-۸۹- مجموع سولفات منیزیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در هر سال (۱۳۹۱-۱۳۸۶)..... ۱۵۰
- شکل ۴-۹۰- مجموع سولفات کلسیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در هر سال (۱۳۹۱-۱۳۸۶)..... ۱۵۱
- شکل ۴-۹۱- مجموع کلراید پتاسیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در هر سال (۱۳۹۱-۱۳۸۶)..... ۱۵۱
- شکل ۴-۹۲- مجموع کربنات کلسیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب در هر سال (۱۳۹۱-۱۳۸۶)..... ۱۵۱
- شکل ۴-۹۳- مقدار مول کلراید سدیم انتقال یافته در هر کیلوگرم آب و تبخیر ماهانه..... ۱۵۲
- شکل ۴-۹۴- مقایسه نحوه تغییرات رسوب و انحلال‌هالیت و فعالیت سدیم..... ۱۵۲
- شکل ۴-۹۵- مقایسه نحوه تغییرات رسوب و انحلال‌هالیت و فعالیت کلر در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۵۳

- شکل ۴-۹۶- نحوه تغییرات حجم آب و جرم کلراید سدیم با زمان..... ۱۵۴
- شکل ۴-۹۷- ارتفاع هالیت ترسیب شده و یا انحلال یافته در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۵۵
- شکل ۴-۹۸- ارتفاع هالیت ترسیب شده و یا انحلال یافته در بازه زمانی مورد مطالعه..... ۱۵۵
- شکل ۴-۹۹- پتانسیل تجمع هالیت ناشی از رودخانه‌های ورودی در هر ماه..... ۱۵۶
- شکل ۴-۱۰۰- نحوه تغییرات حجم آورد ماهانه رودخانه‌ها و پتانسیل ترسیب هالیت ۱۵۷
- شکل ۴-۱۰۱- تغییرات حجم آورد ماهانه رودخانه‌ها به دریاچه و میزان کلراید سدیم ترسیب و انحلال یافته.. ۱۵۷

۱. کلیات

۱-۱. مقدمه

دریاچه‌های شور، دریاچه‌هایی بسته^۱ با درجات متفاوت شوری با ویژگی‌های منحصر به فرد در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع هستند. دلیل این شوری، بیشتر بودن تبخیر از جریان‌های ورودی^۲، و یا ورودی آب شور و یا هر دو عامل است (Eugster & Hardie, 1978). دریاچه ارومیه به عنوان بزرگترین دریاچه فوق اشباع نمکی ایران با شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاص نه تنها در میان دریاچه‌های داخلی بلکه در میان سایر دریاچه‌های شور جهان مانند بحرالمت^۳ و دریاچه بزرگ نمک^۴ یوتا در آمریکا، از موقعیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال‌های اخیر با توجه به کمبود آب ورودی، حاشیه و بیشتر بخش جنوبی دریاچه خشک شده، به‌صورتی که دریاچه شروع به دگرگونی کرده، شوری و دمای آن مرتباً زیاد شده و سطح آب کاهش یافته است. در پی خشک شدن دریاچه، رسوبات شیمیایی، شامل رسوبات کربناته، سولفات و کلورید در بستر آن نمایان شده است.

۱-۲. بیان مسأله و ضرورت انجام تحقیق

با افزایش تبخیر و تغلیظ آب اولیه، شوری آب باقی‌مانده افزایش می‌یابد. شوری دریاچه با افزایش بارش و آورد رودخانه‌ها در فصل بهار کاهش و در اواخر تابستان و اوایل بهار مجدداً افزایش می‌یابد. آب دریاچه ارومیه

^۱-Closed lakes

2- Inflow

3- Dead sea

4- Great Salt Lake

حاوی مقادیر بالایی از یون‌های مختلف می‌باشد که شوری آب آن را به بیش از ۴۰۰ گرم در لیتر می‌رساند. شوری بالای دریاچه موجب شده که کلراید سدیم آستانه اشباع بودن را رد کند و در کف دریاچه ترسیب شود. در نتیجه با ورود آب‌های شیرین مجدداً نمک کف در آب حل می‌شود و شوری را بالا می‌برد. به طور کلی تعیین دقیق توازن آب دریاچه‌های فوق‌شور و به طور ویژه دریاچه ارومیه با توجه به دو عامل مهم زیر پیچیده‌تر از آب شیرین است:

اولاً کاهش فعالیت شیمی فیزیکی آب که منجر به کاهش تبخیر از شورابه می‌گردد. سرعت تبخیر از سطح آب شور کمتر از آب شیرین است. نمک‌های حل شده انرژی آزاد مولکول‌های آب و در نتیجه فشار بخار اشباع بالای شورابه را کاهش می‌دهند (Lensky et al., 2005). ضریب فعالیت آب^۱ در شورابه، β ، نسبت بین فشار بخار در بالای سطح شورابه و فشار بخار بالای سطح آب‌های شیرین در همان درجه حرارت است. برای فعالیت آب شیرین، $\beta=1$ تعریف شده، در حالیکه در شورابه‌ها $\beta < 1$ است. بر این اساس میزان تبخیر از چنین آبی مشابه تبخیر از آب شیرین تحت شرایط مشابه نیست.

دوماً عدم تعیین دقیق مقدار آب خالص از دست رفته می‌باشد. کاهش در سطح آب یک شورابه، تغییر واقعی حجم دریاچه را نشان نمی‌دهد، چرا که تجمع نمک به طور موثر بستر آن را افزایش می‌دهد. بنابراین، این تغییرات بزرگتر از آن است که از تغییرات ساده سطح آب مشاهده می‌شود (Lensky et al., 2005).

غلظت نمک‌های موجود در آب دریاچه با کاهش میزان آب آن و آورد رودخانه‌های تغذیه‌کننده آن رو به فزونی نهاده است. پدیده افزایش نمک می‌تواند تأثیرات مخربی بر اکوسیستم، منابع آب و پارامترهای اقلیمی داخل و اطراف آن داشته باشد. بنابراین اطلاع از میزان نمک‌ها و پیش‌بینی آن در آینده می‌تواند در مدیریت این اکوسیستم موثر باشد. پدیده افزایش املاح آب دریاچه ارومیه می‌تواند بر حیات گونه‌های زیست محیطی داخل و اطراف آن، منابع آب زیرزمینی، اراضی ساحلی، میزان رسوبگذاری و تشکیل بلورهای نمک و پارامترهای اقلیمی دریاچه و اطراف آن اثرات منفی داشته باشد (دلیر حسن‌نیا، ۱۳۹۱).

ته‌نشینی نمک باعث ایجاد تغییراتی در شوری و دانسیته می‌شود. تغییرات شوری دریاچه ارومیه بر حیات آرتمیا^۲ تأثیر می‌گذارد. با توجه به افزایش غلظت نمک شرایط زندگی برای این میگوی آب شور سخت شده و در معرض خطر نابودی است. از طرف دیگر با وارد شدن ناگهانی آب شیرین یا خروج نمک‌ها از دریاچه و

¹-Water activity coefficient

²- Artemia (Brine shrimp)

شیرین سازی آب، تحمل شرایط جدید برای آرتمیا دشوار می گردد. بنابراین هرگونه تغییر سریع اوضاع را وخیم تر می کند.

از طرف دیگر انتقال آب شیرین و کاهش شوری موجب افزایش تبخیر و خشک شدن سریع تر و همچنین موجب لایه لایه شدن آب و از بین رفتن یکپارچگی دریاچه می شود.

در برخی موارد مقدار آبی که در فرآیند هیدراتاسیون/دی هیدراتاسیون^۱ تبادل می شود، می تواند نقش قابل توجهی در محاسبات بیلان آب داشته باشد و صرف نظر از فرآیند ترسیب-انحلال در دریاچه های شور می تواند منجر به برآوردهای نادرست در بیلان آب دریاچه شود (Gamazo et al., 2011). در طی سال های گذشته تیپ آب دریاچه ارومیه از Na-Cl به Mg-Na-Cl-(SO₄) تغییر یافته است. توالی ترسیب مواد معدنی در شوراب کم عمق بسیار حائز اهمیت است، چرا که می تواند غلظت املاح محلول در آب را برای دوره های زمانی طولانی تثبیت کند.

با توجه به موارد ذکر شده، مطالعه شوری و توالی ترسیب نمک در دریاچه فوق شور ارومیه الزامی است. ترکیب شیمیایی آب دریاچه ارومیه تحت تاثیر عوامل اقلیمی تغییر می نماید. تغییرات ترکیب شیمیایی شوراب و رسوبات حاصل از آن با توجه به نقش عوامل اقلیمی به کمک مدل سازی مطالعه می شود که اطلاعات علمی و کاربردی با ارزشی را ارائه می دهد. هدف این مطالعه تعیین میزان تغییرات غلظت و ترسیب نمک های دریاچه متناسب با حجم و کیفیت آب های وارد به آن به کمک مدل سازی توسط نرم افزار PHREEQC می باشد. در این مطالعه، مدل سازی چرخه ترکیبات معدنی در محیط آب و رسوب دریاچه و تغییرات غلظت آنها در آب و انباشت نمک در رسوبات بررسی خواهد شد.

این مطالعه اطلاعات مفیدی را در اختیار مدیران و ذینفعان قرار می دهد و رویکرد جدیدی در مورد تغییرات دینامیکی و شیمیایی دریاچه ارومیه را ارائه می دهد.

۱-۳ اهداف تحقیق

اهداف این تحقیق عبارت است از:

۱- بررسی و تحلیل خصوصیات هیدروشیمی دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۲

^۱ - منظور ایجاد ترکیبات یونی آبدار و خروج آب از آن ها است. hydration/dehydration.

۲- بررسی و تحلیل تاثیر رودخانه‌ها بر کیفیت دریاچه ارومیه با کمک مدل‌سازی MIX در بازه زمانی مورد مطالعه

۳- محاسبه میزان املاح ترسیب و انحلال یافته در دریاچه ارومیه با کمک مدل سازی معکوس^۱ در بازه زمانی مورد مطالعه

۱-۴. سوالات تحقیق

۱- در بازه زمانی مورد مطالعه چه یون‌ها و ترکیباتی در دریاچه حاضر هستند و فعالیت و شاخص اشباع آنها چه مقدار است؟

۲- قدرت یونی محلول و فعالیت آب چگونه تغییر می‌کند و توالی ترسیب املاح در دریاچه چگونه است؟

۳- اختلاط رودخانه‌های ورودی به دریاچه ارومیه چه تاثیری بر کیفیت دریاچه می‌گذارد؟

۴- در چه زمان‌هایی و چه مقدار از نمک‌های محلول رسوب می‌کنند؟

۵- در صورت ورود آب شیرین چه مقدار از املاح ته‌نشین شده دوباره حل می‌گردند؟

۱-۵. مراحل تحقیق

در این تحقیق از داده‌های برداشت شده توسط سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی در اطراف بزرگراه شهید کلاتری و در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۲ استفاده شد. بازه زمانی استفاده شده در این تحقیق، ماهانه و تنها غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در نظر گرفته شد. در این تحقیق فرض می‌شود که مشخصات کیفی رودخانه‌های وارده و دریاچه، مانند دما، pH، چگالی و غلظت یون‌ها در طول یک ماه ثابت می‌مانند. آب دریاچه را از نظر شیمیایی همگن در نظر گرفته و از تغییرات عمقی صرف نظر می‌شود.

ابتدا داده‌های کیفی ماهانه دریاچه ارومیه و رودخانه‌های اصلی ورودی به دریاچه از لحاظ صحت آنالیز آزمایشگاهی و نحوه تغییرات بررسی می‌شود. در ادامه، خصوصیات منطقه از لحاظ اقلیم، ویژگی‌های رودخانه‌های ورودی، زمین‌شناسی، خصوصیات ژئوشیمیایی و رسوب‌شناسی دریاچه ارومیه بررسی می‌گردد. تخمین خصوصیات ژئوشیمیایی محیط‌های آب شور مانند دریاچه ارومیه، از طریق معادلاتی معروف به Pitzer، (Pitzer, 1973) انجام می‌شود. در این مطالعه از نرم افزار USGS PHREEQC (Parkhurst & Appelo, 1999)

برای حل معادلات Pitzer و محاسبه بسیاری از خصوصیات هیدروشیمی دریاچه مانند فعالیت یون ها و آب استفاده شده است. در ادامه نحوه اختلاط دریاچه ارومیه با رودهای ورودی و تاثیر این رودها بر غلظت، فعالیت یون ها و همچنین نمک های ترسیب شده با کمک مدل سازی MIX و با استفاده از این نرم افزار PHREEQC بررسی می شود. سپس با مدل معکوس میزان نمکی که در هر ماه ترسیب و یا انحلال می یابد مشخص می شود.

۱-۶. ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر در ۵ فصل تدوین شده است. فصل اول چنانچه گذشت شامل مقدمه، بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق، اهداف تحقیق، سوالات تحقیق و مراحل تحقیق می باشد. در فصل دوم به تئوری ترسیب و انحلال نمک در دریاچه های شور و مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته می شود. فصل سوم به معرفی منطقه مورد مطالعه و ویژگی های آن از دیدگاه اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی می پردازد. در فصل چهارم در ابتدا ویژگی های شیمیایی دریاچه ارومیه به کمک نرم افزار PHREEQC تعیین و تحلیل می شود. سپس نحوه ترسیب و انحلال نمک در دریاچه به صورت ماهانه توسط مدل MIX و Inverse تعیین و سپس نتایج تحلیل می شود. در نهایت در فصل پنجم ضمن جمع بندی نتایج این پژوهش، پیشنهادات پژوهشی و اجرایی حاصل از این مطالعه ارائه می گردد.