



مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## عنوان طرح پژوهشی

مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

## عنوان گزارش

بررسی انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه

## مجری طرح:

عمار صفائی

## همکاران:

فاطمه چمن مطلق

دانشکده مهندسی عمران

دانشگاه صنعتی شریف

آبان ۱۳۹۹

## پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اول محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدد حاصل از طرح ملی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملی، کلیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدانه محققان تراز اول داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفایی برکات این گردش آزاد اطلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلیه تعبیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسندگان (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلیه اطلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسندگان (یا نویسندگان) آن می‌باشد.



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۲ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

### چکیده

دریاچه ارومیه یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های آب شور دنیا در معرض یک فاجعه زیست محیطی است. در سال‌های اخیر تغییر اقلیم، کشاورزی بی‌رویه، فعالیت‌های انسانی و توسعه استفاده از منابع آب منطقه‌ای باعث کاهش تراز آب دریاچه ارومیه شده‌است. از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۹۳ تراز دریاچه ارومیه با نرخ کاهشی ۰/۳۵ متر در سال افت کرده‌است. خشک شدن دریاچه ارومیه باعث افزایش خطر بیابانی شدن و افزایش گرد و غبار شده‌است. با کاهش حجم دریاچه، شوری آب دریاچه ارومیه افزایش یافته‌است. این شوری بالا به خطری برای تولید مثل گونه ارزشمند آرتمیا تبدیل شده‌است. از سال ۱۳۹۳ تا سال ۱۳۹۸ تراز آب دریاچه بر خلاف سال‌های قبل روند افزایشی داشته‌است. البته با توجه به سهم بالای تبخیر سطحی در دریاچه ارومیه و عمق کم آن در صورت بروز خشکسالی مجدد روند افزایشی تراز متوقف خواهد شد. لذا راهکارهای اکولوژیک و غیراکولوژیک زیادی برای افزایش حجم آب دریاچه ارومیه و در نتیجه آن افزایش تراز آب و کاهش شوری آب ارائه شده‌است. یکی از این راهکارها، اجرای طرح‌های انتقال آب از منابع درون و یا بیرون حوضه‌ای می‌باشد. بدین منظور پیشنهاداتی مبنی بر انتقال آب از دریای خزر، رود ارس، رودخانه زاب، دریاچه وان ترکیه و پساب تصفیه‌خانه‌های شهری ارائه شده‌است. در این پروژه پژوهشی برای بررسی اثرات طرح‌های انتقال بر خواص هیدرودینامیکی، بیولوژیکی و هیدروشیمیایی آب دریاچه از ترکیب دو مدل حجم محدود FVCOM و مدل ژئوشیمیایی PHREEQC MIX استفاده شده‌است. در این گزارش ابتدا به مرور پژوهش‌های صورت گرفته راجع به هر یک از طرح‌های انتقال آب پرداخته شده‌است. سپس برای دو دوره ده‌ساله از ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ و هفت‌ساله از ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ که تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه به ترتیب منفی و مثبت بوده است، با استفاده از مدل MIX اثرات انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه‌خانه‌های شهری تراز، شوری، خواص هیدروشیمیایی آب شامل pH و غلظت یون‌های اصلی دریاچه ارومیه مطالعه شده‌است. به منظور تحقیق در رفتار هیدرودینامیکی-کیفی دریاچه ارومیه پس از انتقال آب از دریاچه وان مدل FVCOM و MIX برای یک دوره یک‌ساله در سال ۲۰۱۶ میلادی ترکیب شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروشیمیایی آب دریاچه ارومیه در اثر اجرای طرح‌های انتقال آب نامتعارف، تا حد بسیار زیادی به دبی، خواص هیدروشیمیایی آب منتقل شده، حجم، تراز، شوری و خواص کیفی و هیدروشیمیایی اولیه دریاچه ارومیه بستگی دارد. به طوری که با تفاوت در غلظت اولیه یون‌های دریاچه ارومیه، تیپ نهایی آب دریاچه نیز در اثر ورودی آب‌های نامتعارف تغییر خواهد کرد.



مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۳ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

فهرست مطالب

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| چکیده.....                                   | ۲  |
| ۱- مقدمه و مرور ادبیات فنی.....              | ۸  |
| ۱-۱- انتقال آب از دریای خزر.....             | ۹  |
| ۱-۲- انتقال آب از رود ارس.....               | ۱۷ |
| ۱-۳- انتقال آب از دریاچه وان.....            | ۱۷ |
| ۱-۴- انتقال آب از رودخانه زاب.....           | ۲۷ |
| ۱-۵- انتقال پساب تصفیه خانه فاضلاب.....      | ۳۷ |
| ۲- مدل سازی انتقال آب های نامتعارف.....      | ۳۸ |
| ۲-۱- شبیه سازی تغییرات بلندمدت.....          | ۳۸ |
| ۲-۲- شبیه سازی تغییرات کوتاه مدت یکساله..... | ۶۲ |
| ۳- نتیجه گیری.....                           | ۷۱ |
| ۴. مراجع.....                                | ۷۳ |



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۴ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## فهرست اشکال

- شکل ۱. پروفیل طولی مسیر از دریای خزر تا دریاچه ارومیه..... ۹
- شکل ۲. مسیر انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه..... ۱۰
- شکل ۳. موقعیت ایستگاهها و رودخانههای مورد سنجش..... ۱۱
- شکل ۴. گزینههای انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه..... ۱۲
- شکل ۵. گسلهای موجود در مسیر انتقال آب..... ۱۵
- شکل ۶. روند کاهش حجم آب دریاچه آرال طی سالیان اخیر..... ۱۶
- شکل ۷. حوضه آبریز دریاچه وان..... ۱۸
- شکل ۸. پروفیل شوری، دما اکسیژن در عمق دریاچه وان..... ۲۱
- شکل ۹. املاح حاصل از خشک شدن آب دریاچه الف (وان و ب) ارومیه..... ۲۲
- شکل ۱۰. بارش برحسب زمان حوضه آبریز ارومیه..... ۲۳
- شکل ۱۱. مقایسه تراز آب دریاچه وان و ارومیه..... ۲۳
- شکل ۱۲. بسیمتری دریاچه وان..... ۲۴
- شکل ۱۳. موقعیت دو مسیر انتقال آب..... ۲۵
- شکل ۱۴. پروفایل طولی مسیر اول..... ۲۵
- شکل ۱۵. پروفایل طولی مسیر دوم..... ۲۵
- شکل ۱۶. موقعیت کلی منطقه..... ۲۸
- شکل ۱۷. بند انحرافی بادینآباد..... ۲۹
- شکل ۱۸. سد کانسیب و ابتدای تونل..... ۳۰
- شکل ۱۹. کانال ورودی به گذار و دریاچه ارومیه..... ۳۱
- شکل ۲۰. محور ساخت سد کانسیب..... ۳۲
- شکل ۲۱. نقشه همباران حوضه آبریز زاب..... ۳۳
- شکل ۲۲. طبقات ارتفاعی در حوضه آبریز زاب..... ۳۴
- شکل ۲۳. بررسی کیفی آب رودخانه زاب..... ۳۵
- شکل ۲۴. تراکم پوشش جنگلی در منطقه..... ۳۶
- شکل ۲۵. نمودار تراز آب دریاچه وان بر حسب زمان..... ۳۹
- شکل ۲۶. نمودار تراز آب دریاچه ارومیه بر حسب حجم آب ومساحت..... ۴۱
- شکل ۲۷. تبخیر خالص و ورودی رودخانههای متعارف..... ۴۳



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۵ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

- شکل ۲۸. مقدار آب منتقل شده به دریاچه توسط هر یک از جریانات نامتعارف در هر ماه..... ۴۴
- شکل ۲۹. تراز آب پیشبینی شده توسط مدل PHREQC با جریانات نامتعارف و تراز آب مشاهداتی..... ۴۴
- شکل ۳۰. نمودار حجم دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۵
- شکل ۳۱. نمودار pH در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۵
- شکل ۳۲. نمودار دمای آب دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۶
- شکل ۳۳. نمودار غلظت کربن کل شامل کربنات و بیکربنات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۶
- شکل ۳۴. نمودار غلظت کلسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۷
- شکل ۳۵. نمودار غلظت کلر در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۷
- شکل ۳۶. نمودار غلظت پتاسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۸
- شکل ۳۷. نمودار غلظت منیزیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۸
- شکل ۳۸. نمودار غلظت سدیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۹
- شکل ۳۹. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۴۹
- شکل ۴۰. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۰
- شکل ۴۱. تراز آب پیشبینی شده توسط مدل PHREQC با جریانات نامتعارف و تراز آب مشاهداتی..... ۵۴
- شکل ۴۲. نمودار حجم دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۴
- شکل ۴۳. نمودار pH در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۵
- شکل ۴۴. نمودار دمای آب دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۵
- شکل ۴۵. نمودار غلظت کربن کل شامل کربنات و بیکربنات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۶
- شکل ۴۶. نمودار غلظت کلسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۶
- شکل ۴۷. نمودار غلظت کلر در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۷
- شکل ۴۸. نمودار غلظت پتاسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۷
- شکل ۴۹. نمودار غلظت منیزیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۸
- شکل ۵۰. نمودار غلظت سدیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۸



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۶ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

- شکل ۵۱. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها. ۵۹ .....
- شکل ۵۲. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها. ۶۰ .....
- شکل ۵۳. سهم تبخیر، بارش و ورودی رودخانه ها در بیلان آب دریاچه ارومیه. ۶۲ .....
- شکل ۵۴. تراز آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۶ بدست آمده از معادلات بقای جرم. ۶۳ .....
- شکل ۵۵. شوری آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۶ بدست آمده از معادلات بقای جرم. ۶۳ .....
- شکل ۵۶. دبی ورودی از دریاچه وان به ارومیه در سال ۲۰۱۶. ۶۴ .....
- شکل ۵۷. تراز دریاچه ارومیه به طور میانگین مکانی، در شمال، جنوب و میانگذر در سال ۲۰۱۶ پیش (با رنگ قرمز) و پس (با رنگ سبز) از انتقال آب از مسیر اول. ۶۵ .....
- شکل ۵۸. کانتور میانگین ماهانه pH، غلظت کربن کل، یون های کلر، منیزیم، سدیم و سولفات. ۶۷ .....
- شکل ۵۹. تراز دریاچه ارومیه به طور میانگین مکانی، در شمال، جنوب و میانگذر در سال ۲۰۱۶ پیش (با رنگ قرمز) و پس (با رنگ سبز) از انتقال آب از مسیر دوم. ۶۸ .....
- شکل ۶۰. کانتور میانگین ماهانه pH، غلظت کربن کل، یون های کلر، منیزیم، سدیم و سولفات. ۷۰ .....



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۷ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## فهرست جداول

- جدول ۱. مشخصات گزینه های آگیری از دریای خزر..... ۱۲
- جدول ۲. مقایسه مشخصات کلی دریاچه وان و ارومیه..... ۱۸
- جدول ۳. مقایسه EC و pH آب دریاچه وان و ارومیه ..... ۱۹
- جدول ۴. نتایج اختلاط آب دریاچه وان و ارومیه در تعادل با نمک بستر..... ۱۹
- جدول ۵. مقدار فلزات سنگین در رسوبات دریاچه وان ..... ۲۲
- جدول ۶. مقایسه کلی مسیر اول و دوم انتقال آب ..... ۲۶
- جدول ۷. نتایج آزمایش حاصل از پساب تصفیه شده تصفیه خانه ارومیه..... ۳۷
- جدول ۸. مشخصات کیفی جریانات نامتعارف مورد استفاده در مدلسازی..... ۴۰
- جدول ۹. حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه از جریانات نامتعارف..... ۴۲
- جدول ۱۰. تیپ دریاچه ارومیه قبل از انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها..... ۵۱
- جدول ۱۱. تیپ دریاچه ارومیه با انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها در سناریو خشکسالی..... ۵۱
- جدول ۱۲. حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه از جریانات نامتعارف..... ۵۳
- جدول ۱۳. تیپ دریاچه ارومیه با انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها در سناریو ترسالی..... ۶۰



## ۱- مقدمه و مرور ادبیات فنی

خشک شدن دریاچه ارومیه باعث شور شدن و بیابانی شدن زمین های کشاورزی و پراکنده شدن غبار می شود. انجام اقداماتی که از این روند خشک شدن جلوگیری کند، ضروری است [۱]. ملاحظات حقوقی، اثرات زیست محیطی، اثرات تغییر اقلیم و چالش های بهره برداری این اقدامات باید به دقت بررسی شود. برای حفظ شرایط اکولوژیکی دریاچه طرح هایی برای انتقال آب از منابع خارج و داخل حوضه مطرح شده است. موضوع انتقال آب از منابع آبی خارج از حوضه، به عنوان مثال انتقال آب از دریای خزر به عنوان بزرگ ترین و در دسترس ترین منبع آبی نزدیک دریاچه ارومیه، همواره مورد بحث و تبادل نظر بوده است. کارشناسان همواره بر این نکته تأکید دارند که انتقال آب از حوضه های دیگر تنها سبب افزایش مصرف در حوضه مقصد می شود [۲]. جالب است که ارزیابی اثرات انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه صرف نظر از کیفیت آب دو منبع، برای سایر پروژه های انتقال آب نیز قابل بسط است. در رابطه با هر پروژه انتقال آبی، بایستی ارزیابی و امکان سنجی برای (۱) منبع تأمین آب، (۲) مسیر انتقال آب و (۳) مقصد انتقال آب صورت گیرد. برای هر قسمت نیز بایستی مطالعات زیست محیطی، ارزیابی اکولوژیکی و ارزیابی اقتصادی صورت پذیرد [۳]. اما از نظر کارگروه تخصصی احیای اکولوژیک دریاچه ارومیه، انتقال آب از حوضه های به حوضه دیگر با اصول اکولوژیکی سازگاری نداشته و مورد تأیید کارگروه نمی باشد [۲]! علل اصلی مخالفت و ریسک های پیش رو از نظر کارگروه احیای اکولوژیک در مورد طرح انتقال آب از حوضه های مجاور در زیر آمده است [۲]:

- انتقال آب از یک اکوسیستم به اکوسیستم دیگر می تواند هم برای مبدأ و هم مقصد اثرات جبران ناپذیری داشته باشد. زیرا آب صرفاً  $H_2O$  نیست بلکه یک اکوسیستم زنده و پویا با ترکیب فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاص خودش است.
- ورود گونه های مهاجم و خسارت فراوان اقتصادی و زیست محیطی به حوضه گیرنده. به عنوان مثال ورود آزولا به تالاب های شمال که به دلیل رقابت اکسیژن خواهی با گونه های بومی، سبب نابودی آبریان منطقه شد و یا ورود گیاه سنبل آبی به دریاچه ویکتوریای آفریقا که باعث نابودی صدها گونه آبری گردید.
- تهدید بقای گونه ارزشمند و تکامل یافته آرتمیا در دریاچه ارومیه که سالیان سال با ترکیب آب این دریاچه رشد کرده و به ترکیب آن به نوعی وابسته است. به خصوص اگر آب انتقالی (همچون آب دریای خزر) مملو از فیتوپلانکتون ها و میکرواورگانیزم های مزاحم باشد.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۹ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

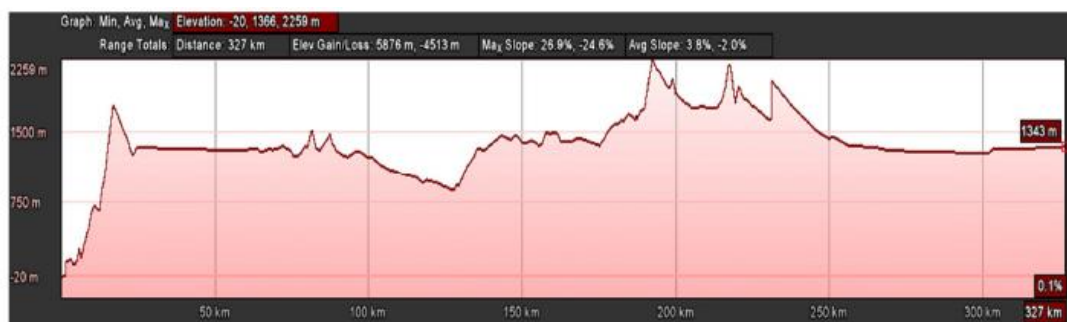
بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

- انتقال ویروس ها و باکتری ها و جهش آن ها در اکوسیستم مبدأ که باعث بیماری زایی می شوند.
- تغییرات شیمی و فیزیک آب که ممکن است سبب افزایش تبخیر سطحی شود و به تبع آن انباشت رسوبات بیشتری در مقصد دیده شود.

## ۱-۱- انتقال آب از دریای خزر

به دلیل شوری آب هر دو حوضه و امکان برداشت آب با حجم بالا از دریای خزر (حدود ۳ میلیارد مترمکعب در سال)، پیشنهاد انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه داده شد [۴]. به منظور آبرگیری از حوضه خزر، در مجموع ۹ نقطه از ساحل آستارا تا تالش مورد ارزیابی قرار گرفته است. این نقاط خارج از مراکز تحت مدیریت سازمان محیط زیست و غیر حساس از نظر اکولوژی منطقه است [۳]. مهم ترین مشکلات این طرح، هزینه های گزاف مالی، طولانی بودن زمان اجرای طرح (در حدود ۱۰ تا ۴۰ سال که ممکن است تا آن زمان دریاچه ارومیه وجود نداشته باشد) و اثرات نامطلوب بسیار (نسبت به سایر راهکارها) است [۵]. علت هزینه های مالی بالای پروژه، اختلاف رقوم ارتفاعی دو دریاچه نسبت به هم و نیاز به تجهیزات پمپاژ و ذخیره آب است. دریای خزر در حدود ۲۰ متر زیر سطح آزاد و دریاچه ارومیه در حدود ۱۳۰۰ متر بالاتر از آب های آزاد قرار دارد [۶] به طوری که اختلاف تراز آب دو دریاچه بر اساس پروفیل طولی که در شکل ۱ نشان داده شده است، چیزی حدود ۱۳۲۰ متر برآورده شده ولی به دلیل مسیر کوهستانی انتقال، ارتفاع پمپاژ تا ۲۵۰۰ متر نیز می رود. طول حدودی مسیر ۳۶۰ کیلومتر می باشد که نیازمند عبور لوله های انتقال از مناطق حفاظت شده و حساس میان دو حوضه است [۳]. مسیر انتقال آب از حوضه خزر به حوضه ارومیه نیز در شکل ۲ شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱. پروفیل طولی مسیر از دریای خزر تا دریاچه ارومیه [۳].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



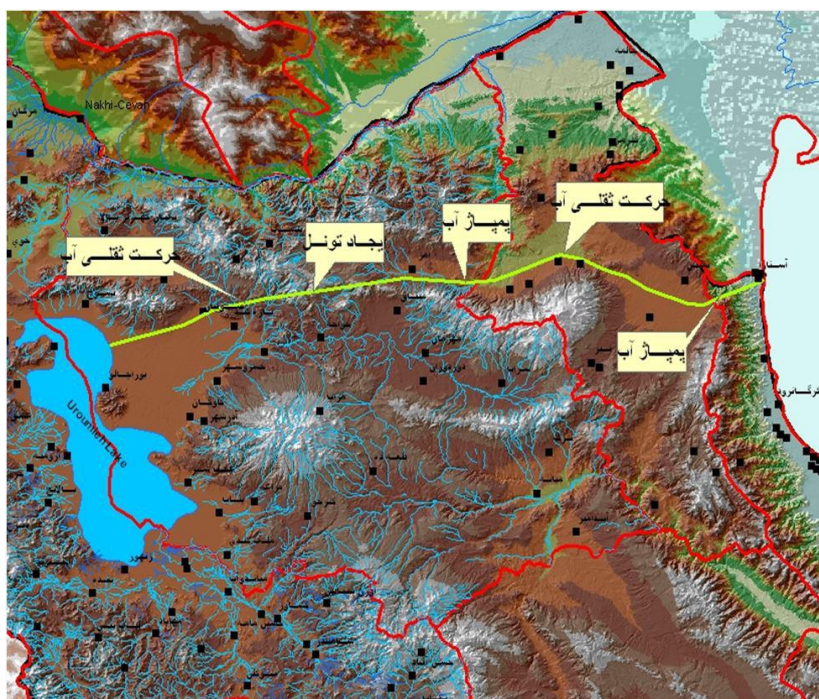
صفحه ۱۰ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

هزینه‌های اجرای یک خط لوله برای انتقال سالانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه برابر ۱۵۵۰۰ میلیارد ریال معادل ۵۴۵ میلیون دلار برآورد می‌گردد [۶]. با در نظر گرفتن مجموع هزینه‌های مطالعات، اجرا، بهره‌برداری و طول عمر پروژه، هزینه انتقال هر مترمکعب آب میان این دو حوضه، ۲/۵ دلار برآورد می‌شود که در سال به مبلغی در حدود ۷/۵ میلیارد دلار (حدوداً ۱۵۰۰۰۰۰ میلیارد ریال) می‌رسد [۳].



شکل ۲. مسیر انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه [۴].

## ۱-۱-۱- بررسی‌های انجام‌شده در خصوص انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه

- مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی حوضه‌های مبدأ و مقصد جهت تعیین سری زمانی بارش و تبخیر و استفاده از آن‌ها در مدل هیدرودینامیک دریاچه به کمک نرم‌افزار MIKE [۶]

- مطالعات کیفی اختلاط آب دو دریاچه و تبعات آن که طی ۱۲ ماه، ۵۵۰۰ آزمایش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر روی ایستگاه‌های داخل دریاچه ارومیه (۶ ایستگاه و در عمق سطحی، میانی و مجاور بستر)، ۸ رودخانه، ۴ تالاب اقماری سولدوز، گرده قیط و میمند، کانی برازان و درگه سنگی انجام گرفت. موقعیت ایستگاه‌های مورد سنجش و همچنین رودخانه‌های مورد پایش در شکل ۵۱ نشان داده شده است. تعدادی از



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



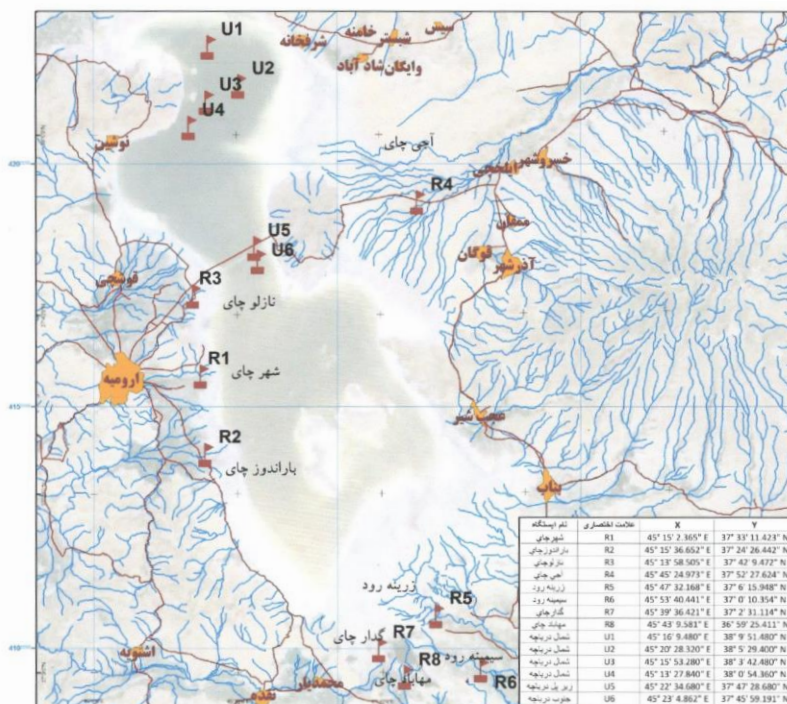
صفحه ۱۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

متغیرهای اندازه گیری شده نیز عبارتند از: دمای هوا، دمای آب، اکسیژن محلول، pH، هدایت الکتریکی، شوری، کدورت، TDS، نیتрат، سولفات، کربنات، فیتوپلانکتون و کلروفیل a [۴].



شکل ۳. موقعیت ایستگاهها و رودخانه های مورد سنجش [۴].

- طراحی گزینه های انتقال آب و نقاط مختلف آبیگری (۹ گزینه در خط ساحل غربی دریای خزر) که محل آبیگری آنها در شکل ۴ و مشخصات کلی آنها در جدول ۱ آمده است. طبق بررسی های به عمل آمده، مسیر شماره ۲، بر مبنای ملاحظات صورت گرفته، از ارجحیت بیشتری برخوردار است. این گزینه آبیگری از جنوب آستارا عبور کرده و در مجاورت مرز کشور آذربایجان می باشد [۶].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۱۲ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۴. گزینه های انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه [۶].

جدول ۱. مشخصات گزینه های آبرگیری از دریای خزر [۶].

| گزینه ها | محل آبرگیری          | طول لوله<br>(متر) | طول تونل<br>(متر) | مجموع طول<br>(متر) | ارتفاع پمپاژ<br>(متر) |
|----------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| ۱        | اسکله آستارا         | ۳۵۰۲۵             | ۰                 | ۳۵۰۲۵              | ۱۵۵۰                  |
| ۲        | شمال رودخانه کانرود  | ۴۵۱۰۷             | ۰                 | ۴۵۱۰۷              | ۱۵۵۷                  |
| ۳        | جنوب رودخانه کانرود  | ۴۵۹۷۹             | ۰                 | ۴۵۹۷۹              | ۱۵۵۸                  |
| ۴        | جنوب رودخانه لوندویل | ۱۸۹۸۹             | ۱۴۹۰              | ۲۰۴۷۹              | ۱۵۷۱                  |
| ۵        | رودخانه چلونند       | ۱۷۰۷۲             | ۲۹۹۴              | ۲۰۰۶۶              | ۱۵۷۵                  |
| ۶        | ویزنه                | ۲۰۷۴۹             | ۲۹۹۴              | ۲۳۷۴۳              | ۱۵۷۵                  |
| ۷        | شمال صیدگاه لمیر     | ۱۹۰۲۶             | ۲۹۹۴              | ۲۲۰۲۰              | ۱۵۷۱                  |
| ۸        | رودخانه چوبر         | ۱۹۲۰۱             | ۴۲۸۴              | ۲۳۴۸۵              | ۱۵۷۵                  |



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۱۳ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

|      |       |       |       |                |   |
|------|-------|-------|-------|----------------|---|
| ۱۵۷۳ | ۳۸۸۲۴ | ۱۶۷۴۵ | ۲۲۰۸۰ | صیدگاه شیرآباد | ۹ |
|------|-------|-------|-------|----------------|---|

- مطالعات اقتصادی طرح شامل تعیین مشخصات سیستم انتقال، موقعیت و تعداد ایستگاه‌های پمپاژ و خطوط لوله فلزی. با فرض استفاده از چنین تجهیزاتی با دبی ثابت در طی سال، حجم آب انتقال یافته از طریق هر خط لوله حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود [۶].

- مطالعات زیست محیطی و محدودیت‌های موجود در مسیر انتقال به ویژه که این مسیرها از نواحی جنگلی متراکم عبور می کنند. به طول کلی مناطق ممنوعه که مسیر انتقال آب می باشند یا از انتقال آب تأثیر می پذیرند، دارای مراتب گوناگون حفاظت ملی و بین المللی هستند؛ بنابراین بایستی از طرح هایی که اثر نامطلوب بر اکوسیستم طبیعی و محیط زیست منطقه دارند، اجتناب گردد [۵]. بدین منظور نقشه پوشش گیاهی منطقه و داده های خام پرنده شناسی نیز تهیه شد [۶].

صرف نظر از بحث های مالی و زمانی پروژه انتقال آب از حوضه خزر، کیفیت آب انتقال داده شده و اثرات محیط زیستی مربوط به طرح در حوضه های مبدأ، مقصد و مسیر انتقال نیز محل بحث است. مواردی از مشکلات و اثرات نامطلوب طرح عبارت اند از:

- تخریب و تجاوز به پوشش گیاهی، جنگل های مسیر و مراتع بالارزش که عمدتاً جزو مناطق حفاظت شده و پارک های ملی ارومیه هستند [۴]. با این توضیح که پارک های ملی به حفظ تعادل طبیعی، زیستگاه های منطقه (به خصوص گونه بالارزش آرتیمیا) و سلامت آب و هوا کمک می کنند؛ هم چنین سالانه مقصد بسیاری از گردشگران داخلی و خارجی می باشند [۲].

اصل ۵۰ قانون اساسی ایران می گوید: "در جمهوری اسلامی، حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل های بعد باید در آن حیات اجتماعی رو به رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی می شود. از این رو فعالیت های اقتصادی و غیر آن که با آلودگی محیط زیست یا تخریب غیر قابل جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است."

- اثرات غیرمستقیم بر اشتغال و معیشت ساکنان به خصوص در حوضه مبدأ و مسیر انتقال (استان های اردبیل و آذربایجان شرقی) که در اثر خشک شدن و عدم تأمین حقابه، زندگی مردم مختل خواهد شد. هم چنین به دلیل عبور تأسیسات انتقال از مناطق شهری و روستایی، ارتباط بخش های مختلف



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۱۴ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

قطع می گردد و این بدان معناست که محدودیت های ارتباطی، قومیتی و امنیتی بایستی در طرح لحاظ گردد [۴]. هم چنین بایستی محل و نحوه ورود آب از دریای خزر به دریاچه از منظر منطقه ورود، توزیع زمانی و مکانی و مقدار دبی، مورد بررسی قرار گیرد.

- عدم تطابق خصوصیات اکوسیستم های مبدأ و مقصد به عنوان مثال تفاوت در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب دریای خزر با آب دریاچه ارومیه. این عامل هم چنین سبب انتقال آلودگی های صنعتی، سموم کشاورزی، هیدروکربنی، ویروس ها و باکتری های موتاژن از حوضه مبدأ به مقصد می شود. این تفاوت ترکیبات باعث ایجاد رسوب سولفات در حوضه ارومیه خواهد شد و ارزش نمک دریاچه نیز بیش از پیش کاهش خواهد یافت [۲ و ۴]. هم چنین به علت بالا رفتن تبخیر سطحی در اثر لایه بندی، میزان تبخیر سطحی از دریاچه افزایش پیدا کرده و نمک بیشتری در حوضه انباشت می شود که خود عاملی برای نابودی گونه های آرمیا می باشد. به طور کلی به دلیل آنکه دریاچه ارومیه یک محیط آبی بسته به شمار می رود، انتقال مواد آلاینده، نمک و رسوبات از دریای خزر به دریاچه ارومیه، سبب افزایش مواد محلول آب می شود و این مواد برای همیشه در حوضه ارومیه باقی خواهند ماند [۲]. در مورد ترکیبات شیمیایی آب دریای خزر در گزارش «بررسی کلان طرح انتقال آب از دریای خزر» چنین آمده است:

" آب دریای خزر یک مخلوط بیوشیمیایی پیچیده است. ترکیب شیمیایی اسمی آن شامل  $\text{NaCl}$  و  $\text{MgSO}_4$  است، اما در حقیقت حاوی مقادیر جزئی از هر ترکیب بوده و میزان خوردگی آن برای سه آلیاژ آلومینیم، آلومینیم - منیزیم و برنز آلومینیم حتی بالاتر از آب خلیج فارس است. با توجه به خوردگی بالای آب انتقالی از دریای خزر، عمر مفید لوله ها و تجهیزات انتقال آب از قبیل ایستگاه های پمپاژ کوتاه شده و همچنین تمهیدات خاصی در ارتباط با جنس و روکش تجهیزات مصرفی در پروژه باید اندیشیده شود [۴]."

هم چنین ترکیب شیمیایی آب دریای خزر سدیم و کلر کمتر ولی کلسیم و سولفات بسیار بالایی دارد. این به معنی آن است که با انتقال آب، رسوب گذاری سولفات کلسیم یا گچ در دریاچه ارومیه به شدت افزایش خواهد یافت [۲]. طبق گزارش «بررسی کلان طرح انتقال آب از دریای خزر» در آب دریای خزر فلزات سنگین و آلودگی های فاضلابی همچون منگنز، تیتان، سرب، جیوه، اورانیوم، کادمیوم، کبالت، نیکل و آرسنیک دیده شده است. هم چنین در ادامه گزارش بیان شده است که نرخ رسوب گذاری در دریای خزر بالاست که این نکته



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۱۵ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

عامل مشکلاتی در بهره‌برداری و نگهداری از طرح مانند گرفتگی لوله‌ها می‌شود. از دیگر مشکلات عدم تطابق دو حوضه، پدیده تغذیه گرایي در اثر رشد بی‌رویه جلبک و ورود مواد مغذی اضافی به حوضه ارومیه می‌باشد. از آنجاکه غلظت نیترات و سولفات در آب مبدأ بالا و آشفته‌گی جریان و غلظت اکسیژن در آب مقصد پایین است، احتمال رخداد تغذیه گرایي (Eutrophication) بالاست [۴]. این عامل در ادامه سبب رشد حشرات و عوامل بیماری‌زا (همچون مالاریا) شده و موجب آلودگی بیولوژیکی و تعفن آب می‌شود [۲].

- حقایق مشترک دریای خزر میان کشورهای همسایه و نیاز به مذاکرات حقوقی، سیاسی و دیپلماسی آب. هم‌چنین مطابق پروتکل «ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرامرزی الحاقی به کنوانسیون چارچوب حفاظت از محیط‌زیست دریایی دریای خزر»، بایستی طرح پیشنهادشده به صورت فراملی مورد ارزیابی اثرات محیط زیستی قرار گیرد [۴]. البته کنوانسیون تنوع زیستی هم (که ایران از امضاکنندگان آن بوده است) انتقال گونه‌های زیستی را ممنوع کرده است. به‌علاوه، دریاچه ارومیه از تالاب‌های ثبت‌شده در کنوانسیون رامسر است و این کنوانسیون هم دخالت‌های این‌چنینی را رد می‌کند [۲].
- محدودیت‌های مسیر انتقال از جمله تملک اراضی، تخریب اراضی کشاورزی و جنگل‌ها، خطرات ناشی از گسل‌های موجود در منطقه و لرزه‌خیزی مسیر (شکل ۵)، شکستگی لوله‌های انتقال، حفاظت از ایستگاه‌های پمپاژ و تأسیسات آبیگری [۴]



شکل ۵. گسل‌های موجود در مسیر انتقال آب [۴].



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



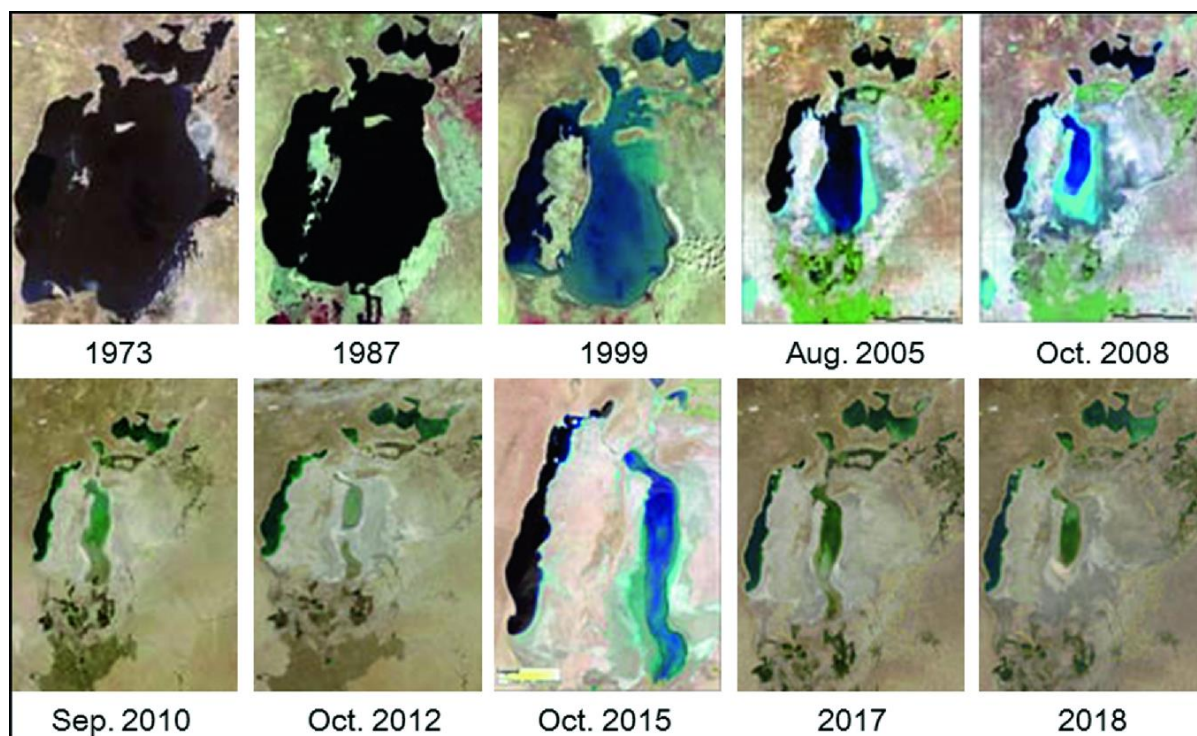
صفحه ۱۶ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

خود دریای خزر نیز مطابق پیش بینی های انجام شده در سال های آینده با افت تراز و آشفتگی جریان مواجه شده و این مانع از انتقال آب می شود. در پروژه های جهانی مشابه مانند خط لوله انتقال آب از دریای سرخ به بحرالمت و انتقال آب از سیبری به دریاچه آرال، با اینکه مطالعات و بخشی از پروژه ها انجام شد اما به علت مسائل زیست محیطی و لزوم تأمین آب از منابع درون حوضه ای، پروژه های فوق همچنان توسط مجامع بین المللی تأیید نشده است [۲ و ۴]. نکته قابل توجه در خصوص دریاچه آرال که روند خشک شدگی آن در شکل ۶ مشخص است، آن است که طوفان های شنی ناشی از خشک شدگی دریاچه تا حدود شعاع ۶۵۰ کیلومتری دریاچه آرال پیشروی کردند [۷]. برای کاهش اثرات این پدیده، ضمن احیای دریاچه آرال، کاشت گیاهان خودرو در مناطق خشک شده و شور برای بهبود وضعیت پوشش گیاهی و کاهش ریزگردها، صورت گرفت. امروزه سطح ماسه ای این دریاچه پوشیده از ۳۶۸ گونه گیاه است. از جمله این گیاهان ماسه دوست می توان به گندمیان، اسفناجیان، گز و تاغ اشاره کرد [۲].



شکل ۶. روند کاهش حجم آب دریاچه آرال طی سالیان اخیر [۸].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۱۷ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

در کل نظر کارشناسان در خصوص پروژه احیای دریاچه ارومیه از طریق انتقال آب از حوضه خزر، به دلیل مسائل محیط زیستی و صرف هزینه و زمان گزاف، منفی است که می تواند اثرات جبران ناپذیری به دنبال داشته باشد [۲ و ۴].

## ۲-۱- انتقال آب از رود ارس

با توجه به اینکه این رودخانه میان کشورهای مجاور مشترک است، انتقال آب از این حوضه، نیازمند مذاکره دیپلماتیک و سیاسی میان سران کشورها می باشد [۵].

## ۳-۱- انتقال آب از دریاچه وان

### ۱-۳-۱- معرفی دریاچه وان

دریاچه وان بزرگترین دریاچه فوق اشباع از نظر شوری جهان است. این دریاچه در طول ۴۳ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸/۵ درجه شمالی قرار دارد. میانگین تراز این دریاچه ۱۶۵۰ متر از سطح آب های آزاد است. حجم و سطح این دریاچه به ترتیب برابر ۶۰۰۰ میلیارد مترمکعب و ۳۶۰۰ کیلومتر مربع است. حوضه آبریز این دریاچه دارای مساحتی حدود ۱۲۵۰۰ کیلومتر مربع است. رودخانه های کاراسو، هسپ، گوزلسو، بندیماهی، زیلان و ینیکرو به این دریاچه می ریزند. مقدار رواناب ورودی به این دریاچه برابر ۱/۷ کیلومتر مکعب در سال است. بارندگی و تبخیر در دریاچه وان به ترتیب برابر ۲/۵ و ۴/۲ کیلو مترمکعب است [۹]. به علت وجود کوه های مرتفع حوضه آبریز وان برف گیر است. اقلیم این منطقه مدیترانه ای سودانی است. در شکل ۷ حوضه آبریز این دریاچه مشاهده می شود. مشخصات کلی دریاچه وان و ارومیه در جدول ۲ مقایسه شده است. با توجه به این جدول دریاچه وان و ارومیه بسیار شبیه هستند [۱۰ و ۱۱].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

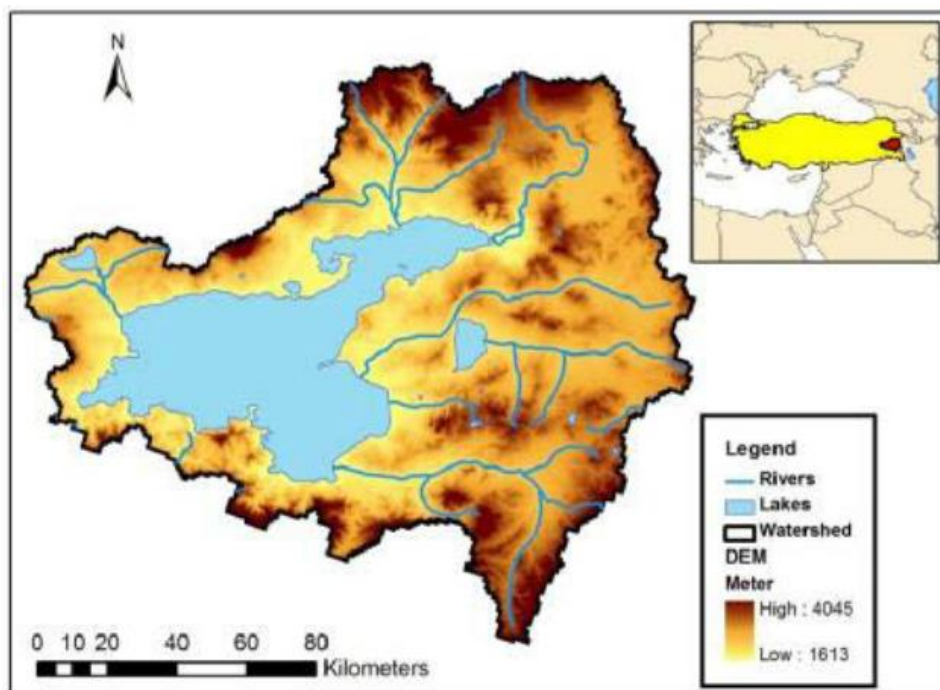


صفحه ۱۸ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۷. حوضه آبریز دریاچه وان [۱۰].

جدول ۲. مقایسه مشخصات کلی دریاچه وان و ارومیه [۱۱، ۱۲ و ۱۳].

| ردیف | پارامتر | مساحت   | حجم     | کمترین عمق | بیشترین عمق | شوری    | pH      | کدورت     | سیستم های اقلیمی مؤثر |
|------|---------|---------|---------|------------|-------------|---------|---------|-----------|-----------------------|
|      | واحد    | (sq.km) | (cu.km) | (m)        | (m)         | (g/L)   | -       | NTU       | -                     |
| ۱    | ارومیه  | ۵۰۰۰    | ۲۵      | ۵          | ۱۶          | $300 <$ | $7-7.5$ | $15/7-24$ | مدیترانه ای سودانی    |
| ۲    | وان     | ۳۶۰۰    | ۱۹      | ۵۳         | ۵۵۰         | ۲۴      | $9-7$   | $2/5-22$  | مدیترانه ای سودانی    |

## ۱-۳-۲- شرایط کیفی دریاچه وان

با افزایش تبخیر شوری و قلیائیت دریاچه افزایش می یابد. pH دریاچه هایی با خاصیت قلیایی زیاد معمولاً بین ۹ تا ۱۲ است. نمک های کربناتی بیشتر ترکیبات این دریاچه ها را شامل می شود. در جدول ۳ مقدار EC و pH چند نمونه از آب دریاچه وان و ارومیه مشاهده می شود. با رقیق نمودن آب دریاچه ارومیه با آب مقطر pH آن افزایش می یابد. در دریاچه وان وجود نمک های کربنات و بی کربنات باعث ایجاد خاصیت بافری در آب می شود؛



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۱۹ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

در نتیجه با رقیق سازی نمونه های دریاچه وان تغییر زیادی در pH آب دریاچه وان به وجود نیامده است. مقدار EC با رقیق سازی در هر دو دریاچه کم شده است [۱۱ و ۱۴].

جدول ۳. مقایسه EC و pH آب دریاچه وان و ارومیه [۱۴].

| نمونه آب      | pH اولیه | EC اولیه     | pH با رقت ۱۰ بار | EC با رقت ۱۰ بار | pH با رقت ۱۰۰ بار | EC با رقت ۱۰۰ بار |
|---------------|----------|--------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| دریاچه وان    | ۹/۵۶     | ۲۶/۵ (dS/m)  | ۹/۸۷             | ۳/۵۵ (dS/m)      | ۹/۶۵              | ۰/۴۰۹ (dS/m)      |
| دریاچه ارومیه | ۷/۰۰۲    | ۱۵۲/۵ (dS/m) | ۸/۷۵             | ۴۷/۸ (dS/m)      | ۹/۰۴              | ۶/۱۲ (dS/m)       |

در جدول ۴ نتایج اختلاط آب دریاچه ارومیه و وان با نسبت های اختلاط متفاوت در تعادل با نمک بستر آمده است. با افزایش نسبت آب دریاچه وان به ارومیه pH ترکیب افزایش یافته است. غلظت سدیم و پتاسیم در آب دریاچه ارومیه بیشتر از آب دریاچه وان است. غلظت یون های کلر و منیزیم در آب دریاچه ارومیه بسیار بیشتر از دریاچه وان است. غلظت کربنات ها و بی کربنات ها در آب دریاچه ارومیه ناچیز است. نمک های موجود در دریاچه ارومیه غالباً منیزیم و سدیم کلرید و در دریاچه وان سدیم بی کربنات و سدیم کلرید است. طبق جدول با افزایش نسبت آب دریاچه وان به ارومیه مقدار یون کلر، کلسیم، پتاسیم و سدیم کاهش پیدا کرده است. یون های کربنات و بی کربنات با افزایش نسبت آب دریاچه وان به ارومیه افزایش یافته است. به طوری که تقریباً تمام کربنات و بی کربنات موجود در ترکیب متعلق به آب دریاچه وان است. قلیائیت کربناتی دریاچه ارومیه نصف قلیائیت کربناتی دریاچه وان است. شوری آب دریاچه ارومیه تقریباً ۱۶ برابر شوری دریاچه وان است [۱۱ و ۱۱].

جدول ۴. نتایج اختلاط آب دریاچه وان و ارومیه در تعادل با نمک بستر [۱۱].

| نسبت آب<br>ارومیه به وان =<br>۶۰/۱۴۰ | نسبت آب ارومیه<br>به وان =<br>۱۰۰/۱۰۰ | نسبت آب<br>ارومیه به وان =<br>۱۴۰/۶۰ | وان  | ارومیه |    |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------|--------|----|
| ۷/۲۰                                 | ۷/۴۷                                  | ۷/۷۶                                 | ۹/۶۴ | ۷/۳    | pH |



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۲۰ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

|                        |        |      |        |        |        |
|------------------------|--------|------|--------|--------|--------|
| EC(dS/m)               | ۱۵۸    | ۲۶/۵ | ۲۱۲    | ۲۱۴    | ۲۱۰    |
| Ca(g/l)                | ۰/۳    | ۰/۰۹ | ۰/۳۹   | ۰/۳۹   | ۰/۳۹   |
| Cl(g/l)                | ۱۷۲/۷۹ | ۷/۰۴ | ۱۷۵/۳۳ | ۱۷۵/۳۳ | ۱۹۱/۴۲ |
| K(g/l)                 | ۸/۱۶   | ۰/۴۲ | ۲/۶۰   | ۲/۸۶   | ۴/۲۸   |
| Mg(g/l)                | ۳۷/۰۹  | ۰/۰۵ | ۱۰/۴۷  | ۱۷/۷۶  | ۲۵/۴۸  |
| Na(g/l)                | ۶۴/۳۸  | ۷/۶۵ | ۷۷/۲   | ۱۰۴/۱۴ | ۱۱۱/۶  |
| SO <sub>4</sub> (g/l)  | ۵۸/۶   | ۳/۳۶ | ۴۱/۷۹  | ۷۴/۴۵  | ۱۰۹/۹۹ |
| CO <sub>3</sub> (g/l)  | ۰/۸۴   | ۲/۴۴ | ۱/۳۵   | ۱/۴۱   | ۱/۷۲   |
| HCO <sub>3</sub> (g/l) | ۰/۱۲   | ۴/۴۹ | ۱/۷۳   | ۱/۵۶   | ۱/۲۸   |

پروفیل طولی تغییرات اکسیژن، شوری و دما در عمق دریاچه وان در ماه ژوئن و در دو سال میلادی پیاپی (۱۹۸۹-۱۹۹۰) به صورت شکل ۷ ارائه شده اند. پروفیل دما - شوری نشان داد که یک لایه سطحی گرم (حدود ۱۷ تا ۲۰ درجه سانتی گراد) و یک لایه سطحی با شوری کم (در حدود ۲۲ گرم در یک کیلوگرم آب) با ضخامت حدود ۱۵ متر وجود دارد. در مورد اکسیژن نیز در هر دو سال، بیشترین مقدار اکسیژن در سطح دریاچه (تا عمق ۵۰ متری) وجود داشته و با افزایش عمق به مقدار ۱۷ میکرومول بر لیتر در نزدیکی سطح رسوبات دریاچه رسیده است [۱۵].



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

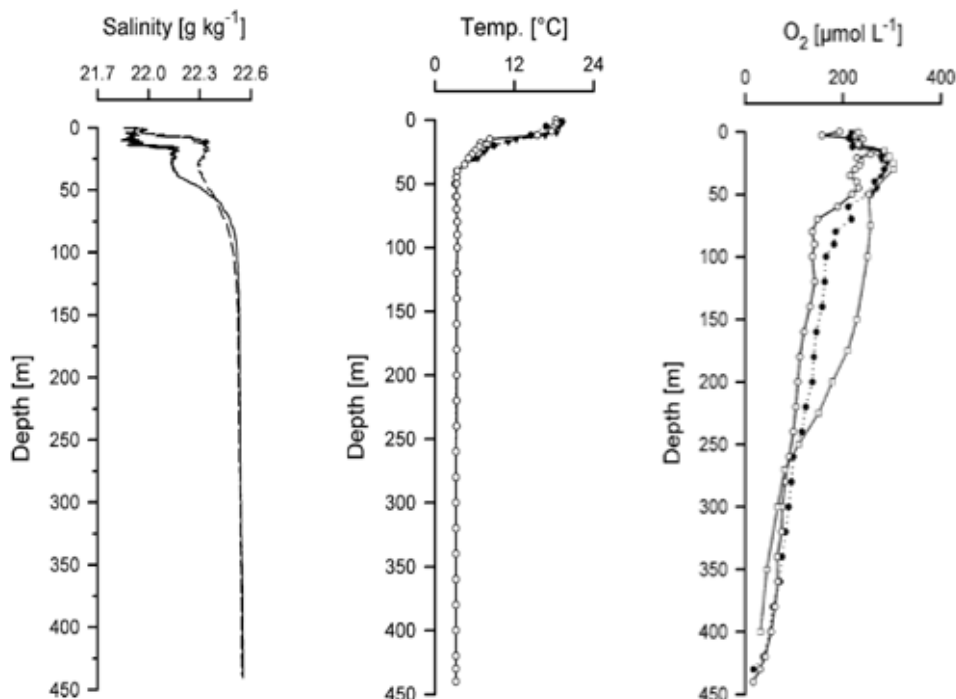


صفحه ۲۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۸. پروفیل شوری، دما اکسیژن در عمق دریاچه وان [۱۵].

رسوبات دریاچه وان ترکیه از لحاظ شیمیایی، دارای ترکیبات آهن، منگنز، سرب، مس، روی، نیکل و کادمیوم است. منبع ترکیبات گوگردی موجود در این دریاچه نیز، جلبک‌های موجود و فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های داخل آب می‌باشد. مقدار هیدروژن سولفید داخل رسوبات نیز در حدود ۶۴۰ - ۲۶۵ میکروگرم بر گرم رسوبات، اندازه‌گیری شده است. این مقدار بالای هیدروژن سولفید ناشی از فعالیت بی‌هوازی باکتری‌های آبی در اثر وجود حجم بالای مواد مغذی است و در عین حال فعالیت سایر گونه‌های دریایی را نیز با تهدید مواجه می‌کند. pH رسوبات در حدود ۹/۸ و قلیائیت آنها ۱۵۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برآورد شده است. نسبت منیزیم به کلسیم آب دریاچه وان نیز تقریباً ثابت است. مقدار فلزات سنگین موجود در رسوبات برحسب میکروگرم بر گرم رسوب از دو ایستگاه مختلف غربی دریاچه در جدول ۵ آمده است. مقدار بالای نیکل ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی در نزدیکی دریاچه است. در شکل ۹ املاح باقی‌مانده از خشک شدن آب دو نمونه مشاهده می‌شود. املاح دریاچه ارومیه دارای بلوری و سفید نباتی هستند ولی املاح باقی‌مانده از نمونه دریاچه وان بدون بلور و پودری است. این امر به علت تفاوت ترکیبات موجود در املاح دو دریاچه است [۱۵ و ۱۱].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۲۲ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

جدول ۵. مقدار فلزات سنگین در رسوبات دریاچه وان [۱۵].

| Metals<br>Station | Mn  | Pb | Cu | Zn | Ni | Cd | Cr | Fe(%) |
|-------------------|-----|----|----|----|----|----|----|-------|
| 6                 | 663 | 9  | 13 | 33 | 90 | 7  | 48 | 0.42  |
| 7                 | 415 | 15 | 6  | 29 | 54 | 4  | 29 | 3.19  |



شکل ۹. املاح حاصل از خشک شدن آب دریاچه الف) وان و ب) ارومیه [۱۱].

بیش از ۹۵ درصد از آب دریاچه ارومیه کاسته شده است. پروژه های احیای دریاچه ارومیه در سال ۱۳۹۴ از جمله لایروبی رودخانه های سیمینه رود، زرینه رود، زولاچای، نازلو، روضه چای، باراندوزچای، گادارچای، شهرچای و مهاباد و اتصال ۲ رودخانه زرینه رود و سیمینه رود باعث ورود ۱۸۶۱ میلیون مترمکعب آب به دریاچه ارومیه شده است. همچنین در اسفند ۱۳۹۴ و فروردین ۱۳۹۵ مقدار ۶۰۰ میلیون مترمکعب آب از طریق سدهای حوضه به دریاچه ارومیه تزریق شده است. ورود ۱/۵ میلیارد مترمکعب آب باعث افزایش ۴ برابری پهنه آبی نسب به سال گذشته آن شده است. با ورود این آب ها تراز آب در دریاچه ارومیه نسبت به همان زمان در سال گذشته ۱۶ سانتی متر افزایش یافته است، در حالی که بارندگی نسبت به سال قبل ۹/۳ درصد کاهش داشته است. در نتیجه علت اصلی بهبود شرایط دریاچه ورود این آب ها بوده است. در پژوهش های پیشین آرتمیا به عنوان شاخص شرایط اکولوژیکی دریاچه انتخاب شده است. برای حفظ شرایط اکولوژیکی دریاچه ارومیه لازم است سالانه ۳۰۸۶ میلیون مترمکعب آب به دریاچه وارد شود [۱۱].

مساحت حوضه آبریز ارومیه ۴ برابر مساحت حوضه آبریز دریاچه وان است. در طی سال ها عمق دریاچه وان به علت عمق زیاد آن دچار تحولات شدید نشده است ولی عمق دریاچه ارومیه به علت عمق کم آن نوسانات شدیدی داشته است. در شکل ۱۰ سری زمانی بارش در حوضه آبریز دریاچه های نزدیک به دریاچه ارومیه مشاهده می شود [۱۱].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

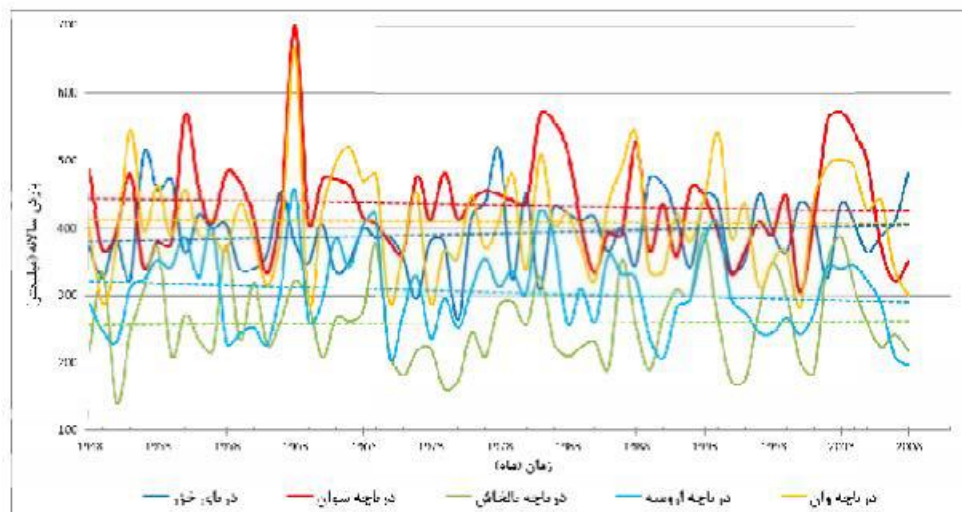


صفحه ۲۳ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

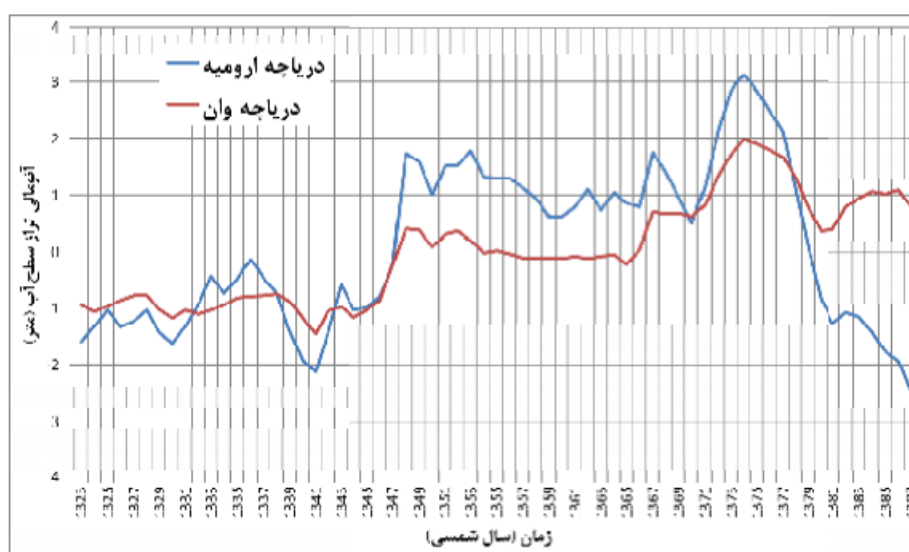
بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۱۰. بارش برحسب زمان حوضه آبریز ارومیه [۱۲].

در شکل ۱۱ تغییرات تراز آب دو دریاچه ارومیه و وان در طی سال‌های ۱۳۲۳ تا ۱۳۸۹ مشاهده می‌شود. تا قبل از سال ۱۳۸۰ تغییرات تراز آب ۲ دریاچه بسیار نزدیک به هم است. با ترسالی اواخر دهه ۱۳۴۰ و اواسط دهه ۱۳۷۰ تراز آب دو دریاچه افزایش یافته‌است. در خشک‌سالی اواخر دهه ۱۳۷۰ تراز آب دریاچه وان افزایش یافته‌است ولی تراز آب دریاچه ارومیه دچار کاهش شده‌است. پس از این سال‌ها روند تغییرات این ۲ دریاچه دیگر هیچ شباهتی به هم ندارند [۱۲].

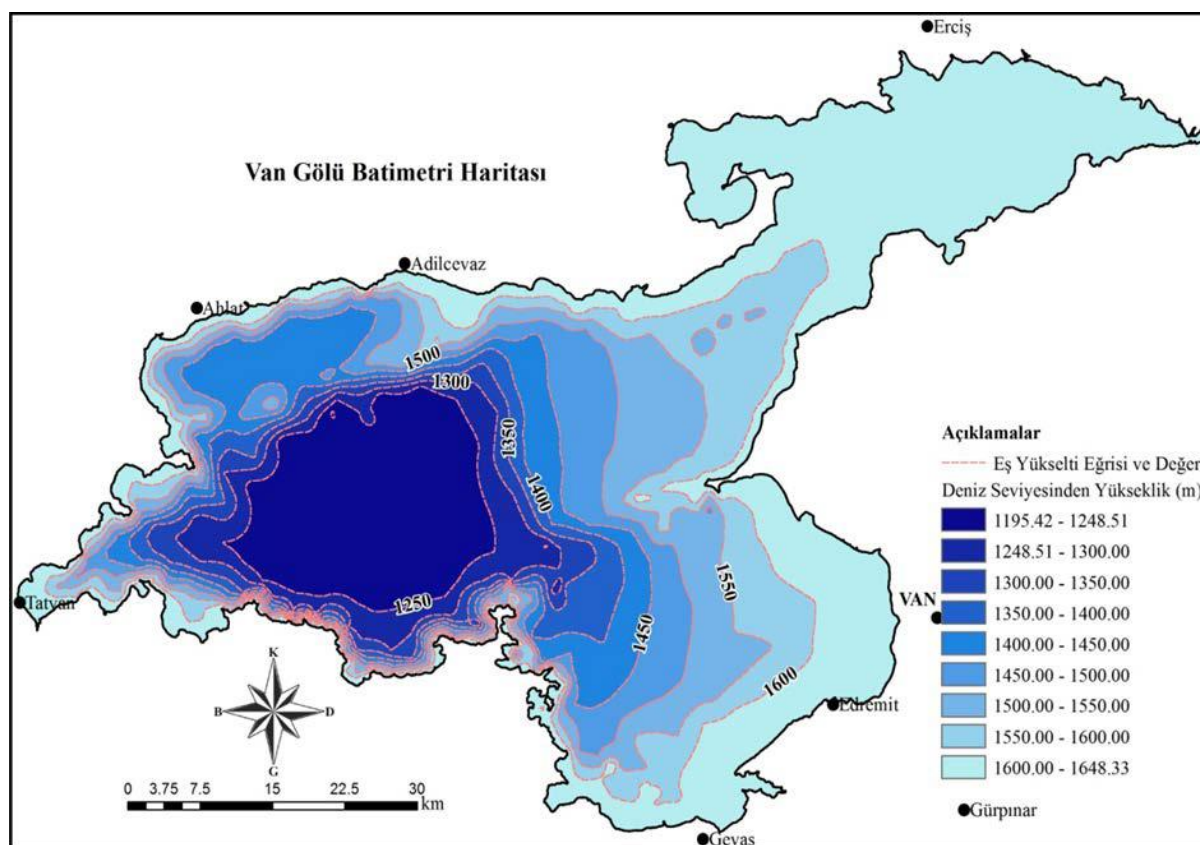


شکل ۱۱. مقایسه تراز آب دریاچه وان و ارومیه [۱۲].



### ۱-۳-۳- مسیر انتقال آب

برای انتخاب مسیر انتقال آب از دریاچه وان به ارومیه باید کوتاه ترین مسیر به نحوی انتخاب شود که از مناطق صعب العبور مانند کوه ها و مناطق مرتفع عبور نکند و مسیری انتخاب شود که برای حمل و نقل مصالح و نیروی انسانی سهل باشد. با توجه به بسیمتری دریاچه وان (شکل ۱۲)، عمق این دریاچه در شرق و شمال شرق این دریاچه کمتر از سایر نواحی است، لذا بهتر است از این قسمت های دریاچه آب منتقل نشود. همچنین به علت تخریزی ماهی ها در فصل بهار و تابستان بهتر است انتقال آب در پاییز و زمستان باشد [۱۱].



شکل ۱۲. بسیمتری دریاچه وان [۱۱].

در مطالعات قبلی دو مسیر برای انتقال آب از دریاچه وان به ارومیه انتخاب شده اند. در شکل ۱۳ این ۲ مسیر مشاهده می شود. مسیر شماره یک از منطقه دیلکایا به مناطق Van Guzelsu Bucagi و Baskale و سپس به منطقه Esendere در مرز ایران و ترکیه رفته، سپس وارد سد نازلو می شود و سرانجام با رودخانه نازلو به دریاچه ارومیه می رسد. مسیر دوم در امتداد جاده ozalp وارد ایران می شود، پس از گذشتن از روستاهای رازی، حبش علیا، ماخین، زری به شهر سلماس می رسد و سرانجام از راه روستای گل تپه به دریاچه ارومیه



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



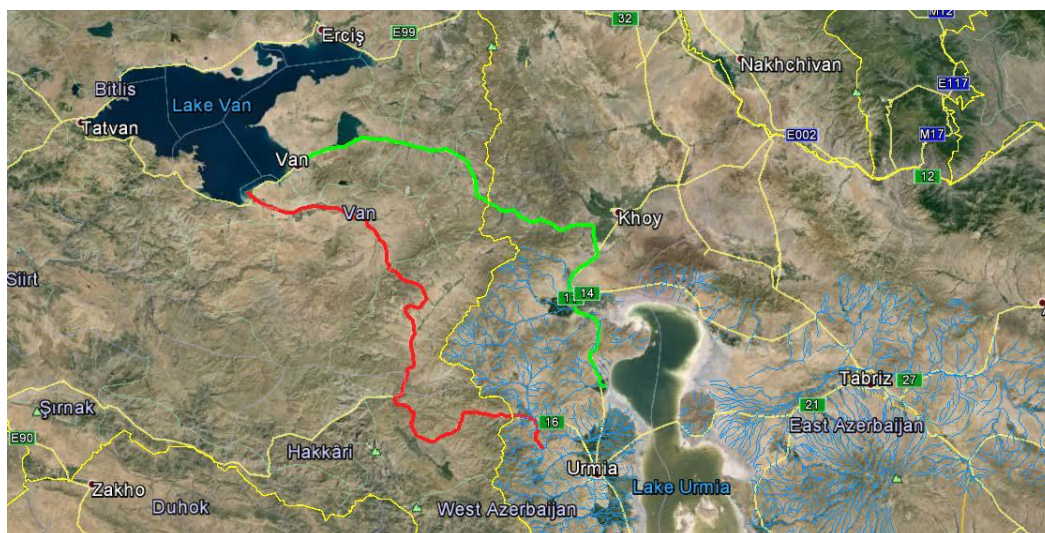
صفحه ۲۵ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

می‌رسد. در شکل ۱۴ و شکل ۱۵ پروفایل طولی این دو مسیر پیشنهادی رسم شده است. خلاصه‌ای از ویژگی‌های هر دو مسیر در جدول ۶ آمده است. مسیر دوم ۱۳ کیلومتر کوتاه‌تر از مسیر اول است. همچنین میانگین شیب مسیر دوم کمتر از مسیر اول است [۱۱].



شکل ۱۳. موقعیت دو مسیر انتقال آب [۱۱].



شکل ۱۴. پروفایل طولی مسیر اول [۱۱].



شکل ۱۵. پروفایل طولی مسیر دوم [۱۱].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۲۶ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

جدول ۶. مقایسه کلی مسیر اول و دوم انتقال آب [۱۱].

| ویژگیهای مورد بررسی | مسیر شماره یک  | مسیر شماره دو |
|---------------------|----------------|---------------|
| بازه تغییرات ارتفاع | ۲۷۷۸-۱۴۸۲      | ۲۲۸۶-۱۱۹۵     |
| میانگین ارتفاع      | ۱۹۱۲           | ۱۷۰۹          |
| طول مسیر            | ۲۵۵ کیلومتر    | ۲۴۲ کیلومتر   |
| ماکزیمم شیب         | ۱۴/۸٪<br>۱۶/۵٪ | ۱۳/۶٪<br>۱۱٪  |
| میانگین شیب         | ۲/۴٪<br>۲/۸٪   | ۲/۱٪<br>۲٪    |

نتیجه گیری کلی از پژوهش های پیشین روی انتقال آب از دریاچه وان به شرح زیر است [۱].

- نیاز به همبستگی ملی و فراملی در خصوص بازیابی دریاچه ارومیه
- توجه به بیابان زایی و ریزگردهای تولیدشده در منطقه
- توجه به گونه های باارزش منطقه همچون آرتمیا
- صرفاً انتقال آب از حوضه وان علاج کار نخواهد بود و در کنار آن بایستی سایر راه حل های احیا نیز دنبال شود. هم چنین کاهش مصرف آب در بخش های کشاورزی، صنعت و خانگی نیز باید در دستور کار قرار گیرد.
- توجه به مدیریت مصرف منابع آب منطقه به خصوص در بخش کشاورزی
- با انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه، مقدار زیاد نمک ته نشین شده در بستر دریاچه ارومیه حل خواهد شد، بنابراین شوری دریاچه ارومیه کاهش نخواهد یافت و نیز اکوسیستم موجود پیش از خشک شدن دریاچه ارومیه نیز باز نخواهد گشت. هم چنین در این طرح احیای آرتمیا نیز بعید به نظر می رسد (به دلیل عدم کاهش شوری آب).



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۲۷ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

- به نظر می‌رسد که کیفیت آب حاصل از اختلاط آب‌های دریاچه ارومیه و دریاچه وان علی‌رغم اکوسیستم منطقه، بهبود می‌یابد.
- این طرح گردوغبار و فرسایش خاک را نیز می‌تواند کنترل کند.
- پیشنهاد می‌شود آب دریاچه وان فقط به قسمت شمالی دریاچه اضافه شود تا شانس احیای بیولوژیک در جنوب دریاچه بالاتر باشد.
- در کل مزایای انتقال آب از حوضه وان به حوضه ارومیه (نسبت به سایر طرح‌های انتقال آب) بیشتر است.

### ۴-۱- انتقال آب از رودخانه زاب

انتقال آب مازاد رودخانه زاب به دریاچه ارومیه برای تسکین خشک شدن دریاچه ارومیه مطرح شده است. مراحل این طرح عبارت‌اند از احداث سد مخزنی کانی‌سیب بر رودخانه زاب، احداث سد انحرافی بادین‌آباد بر رودخانه بادین‌آباد، انتقال بخشی از جریان آبی آن توسط کانال به دریاچه کانی‌سیب، انتقال سالانه ۶۲۳ میلیون مترمکعب آب توسط تونلی به حوضه رودخانه گدارچای و سپس به دریاچه ارومیه [۱۶].

#### ۱-۴-۱- موقعیت جغرافیایی طرح

این منطقه در استان آذربایجان غربی، شهرستان پیرانشهر و نقده واقع شده است. سد کانی‌سیب در ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ۴۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی واقع شده است. شکل ۱۶، شکل ۱۷، شکل ۱۸ و شکل ۱۹ به ترتیب موقعیت جغرافیایی منطقه موردنظر، بند انحرافی بادین‌آباد و مخزن سد، ابتدای تونل انتقال آب و ورودی کانال به رودخانه گدار و دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. رودخانه زاب کوچک و سرشاخه‌های آن دارای آب بسیاری است. تنها مقدار کمی از این آب صرف کشاورزی می‌شود. سالانه ۶۲۳ میلیون مترمکعب از این آب در مسیر شمال به جنوب از کشور خارج شده و وارد عراق می‌شود. در شرق حوضه آبریز زاب حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد. دریاچه ارومیه و تالاب‌های این حوضه در سال‌های اخیر دجال کمبود آب شدیدی شده‌اند. با برنامه‌ریزی مناسب می‌توان آب مازاد حوضه زاب (۶۲۳ میلیون مترمکعب سالانه) را به ارومیه انتقال داد [۱۶].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه

## ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

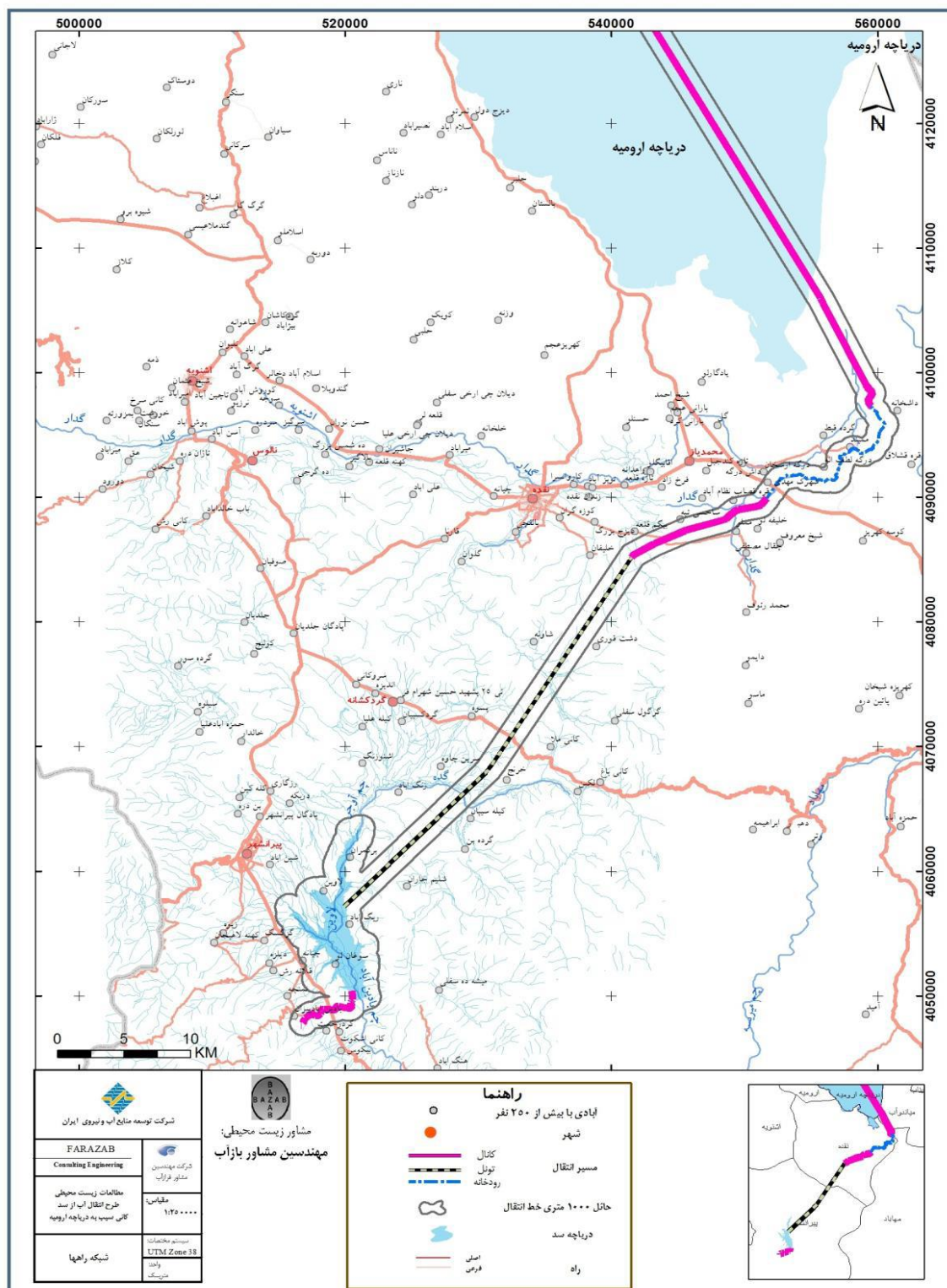


صفحه ۲۸ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۱۶. موقعیت کلی منطقه [۱۶].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

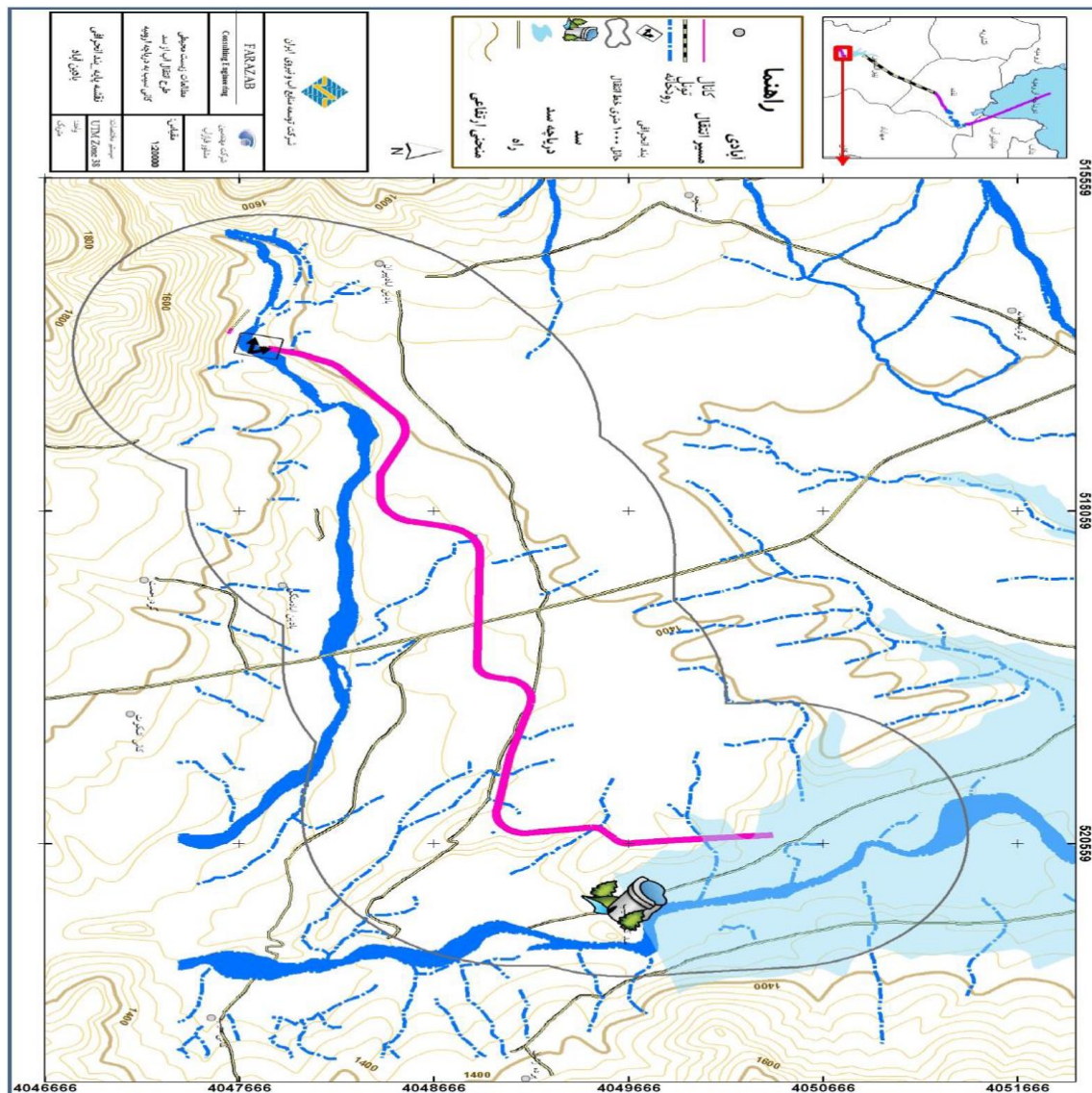


صفحه ۲۹ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۱۷. بند انحرافی بادین آباد [۱۶]



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

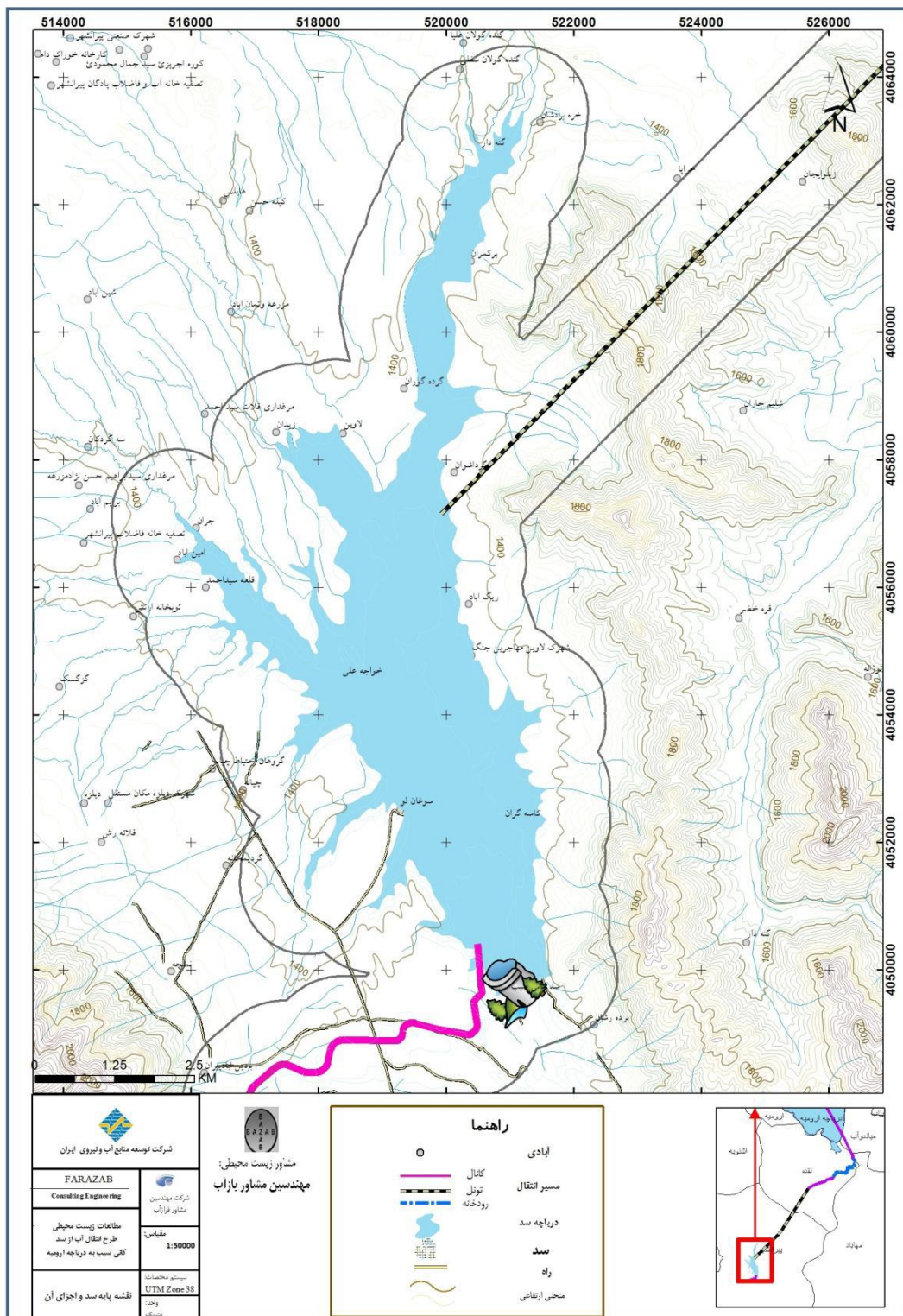


صفحه ۳۰ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۱۸. سد کانی سیب و ابتدای تونل [۱۶].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه ارومیه با در نظر گرفتن جریانانات ورودی متعارف و نامتعارف

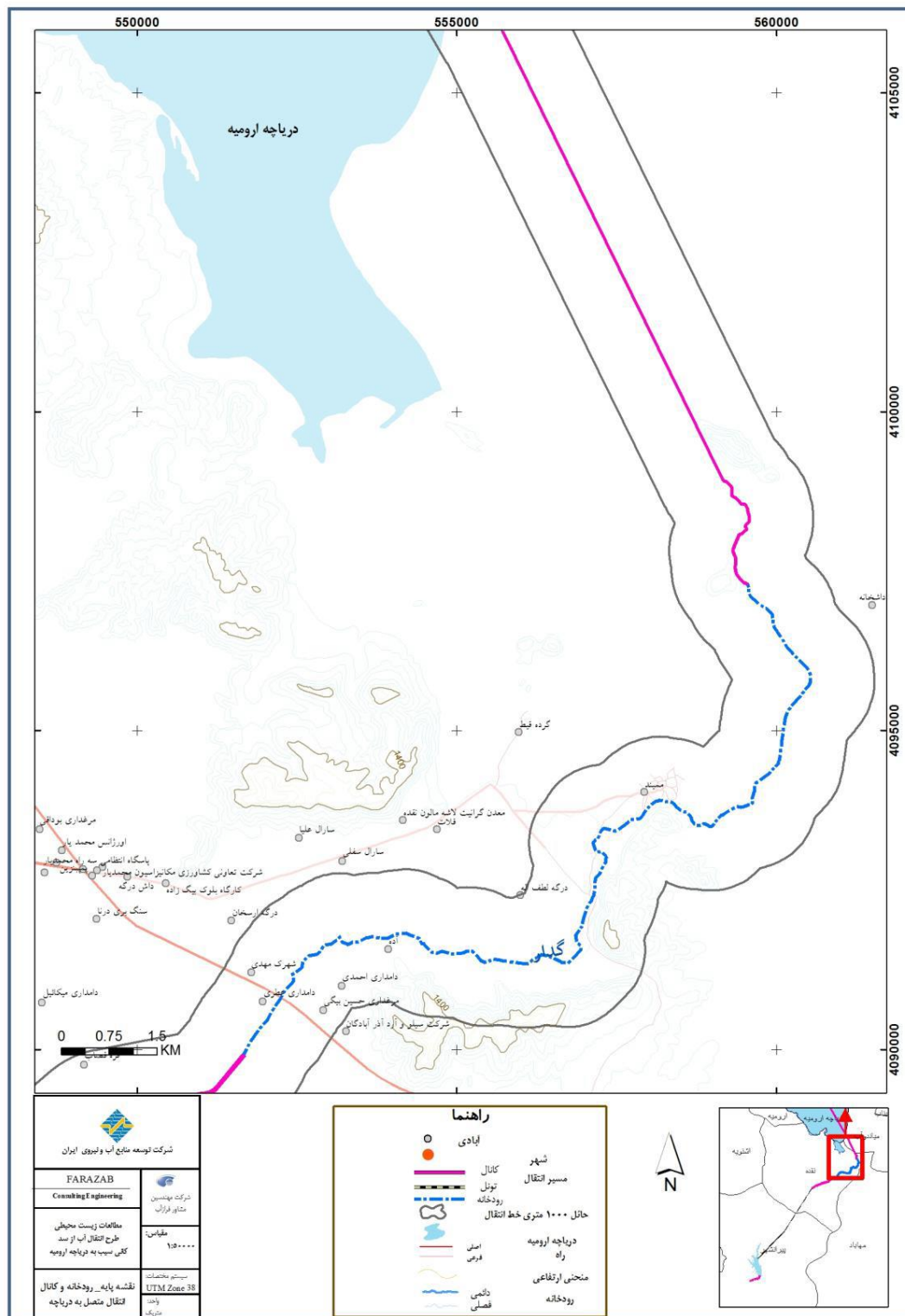


صفحه ۳۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۱۹. کانال ورودی به گذار و دریاچه ارومیه [۱۶].



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۳۲ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

### ۱-۴-۲- مشخصات سد کانی سیب

سد کانی سیب یک سد خاکی با هسته رسی است. بدنه سد، سیستم تخلیه سیلاب، سیستم آبگیری و تخلیه کننده تحتانی و جاده های دسترسی از این سد هستند. حجم رسوبات وارد شده سالانه به مخزن این سد ۰/۳۵ میلیون مترمکعب خواهد بود. سالانه ۱۳۶۶ میلی متر از محل سد کانی سیب آب تبخیر می شود. در شکل 20 محور این سد مشاهده می شود [۱۶].



شکل ۲۰. محور ساخت سد کانی سیب [۱۶].

### ۱-۴-۳- بند انحرافی بادین آباد، کانال آور به پشت سد کانی سیب و انتقال آب به دریاچه ارومیه

کانال انتقال آب دارای ظرفیت ۲۷ مترمکعب بر ثانیه است. برای انتقال آب مخزن سد کانی سیب به حوضه آبریز رودخانه گذار تونلی به طول ۳۸ کیلومتر با قطر ۵/۵ متر نیاز است. ظرفیت این تونل ۵۵ مترمکعب بر ثانیه است [۱۶].

### ۱-۴-۴- هواشناسی حوضه آبریز رودخانه زاب

به منظور جلوگیری از وقوع سیلاب و تعیین نوع کشت مناسب باید بارندگی حوضه مورد مطالعه قرار گیرد. در شکل 21 نقشه همباران حوضه آبریز مشاهده می شود. بیشترین دمای مشاهده شده در این منطقه ۴۷ درجه سانتی گراد بوده است و در مرداد سال ۱۳۸۰ رخ داده است. و کمترین دمای ثبت شده در این منطقه ۲۹- درجه سانتی گراد و در بهمن ۱۳۷۰ مشاهده شده است. ارتفاع حوضه بر مقدار بارش، دما و تبخیر و تعرق حوضه تأثیر می گذارد. شکل 22 طبقات ارتفاعی حوضه را نشان می دهد [۱۷].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

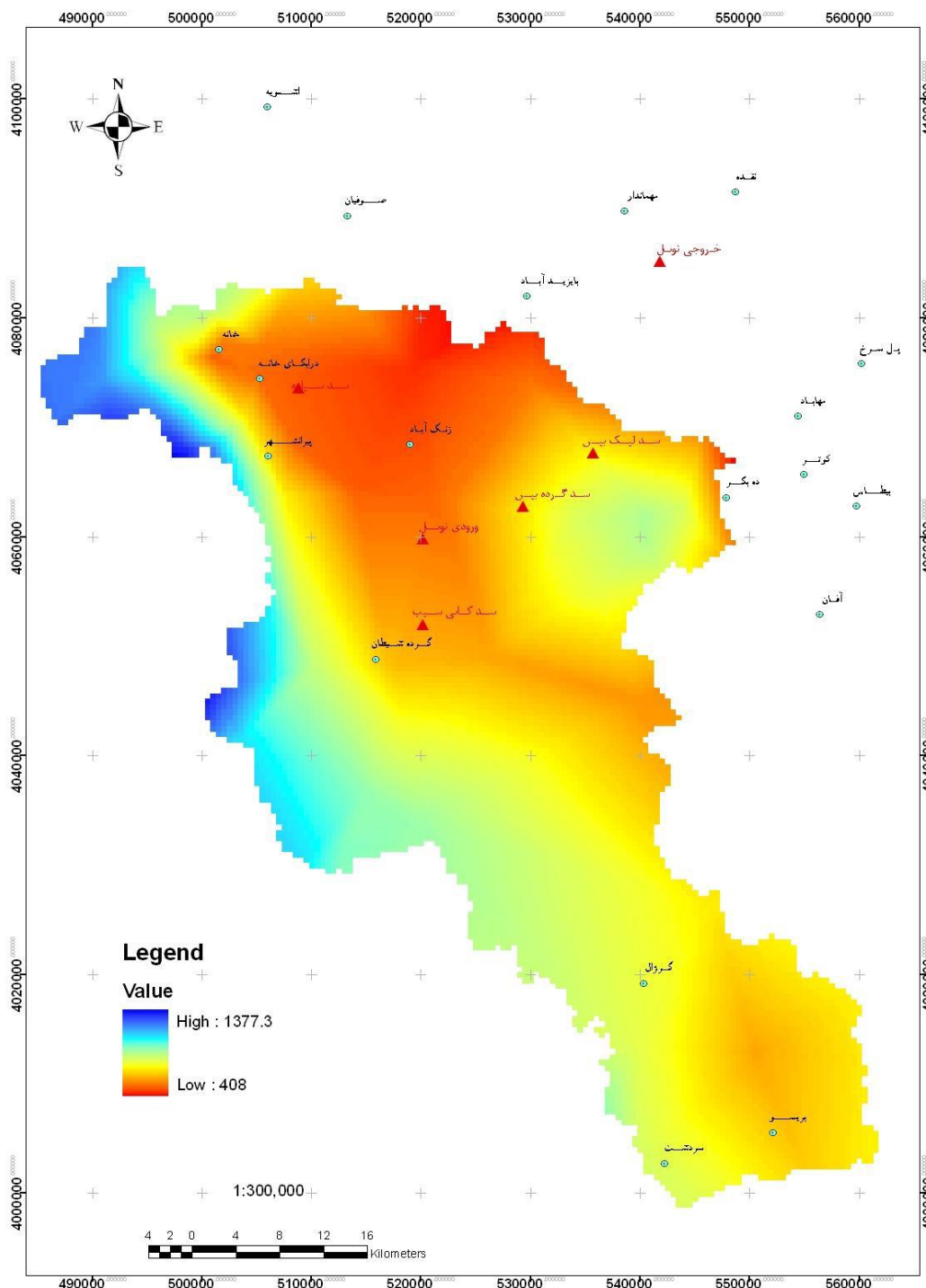


صفحه ۳۳ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۲۱. نقشه همباران حوضه آبریز زاب [۱۷].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

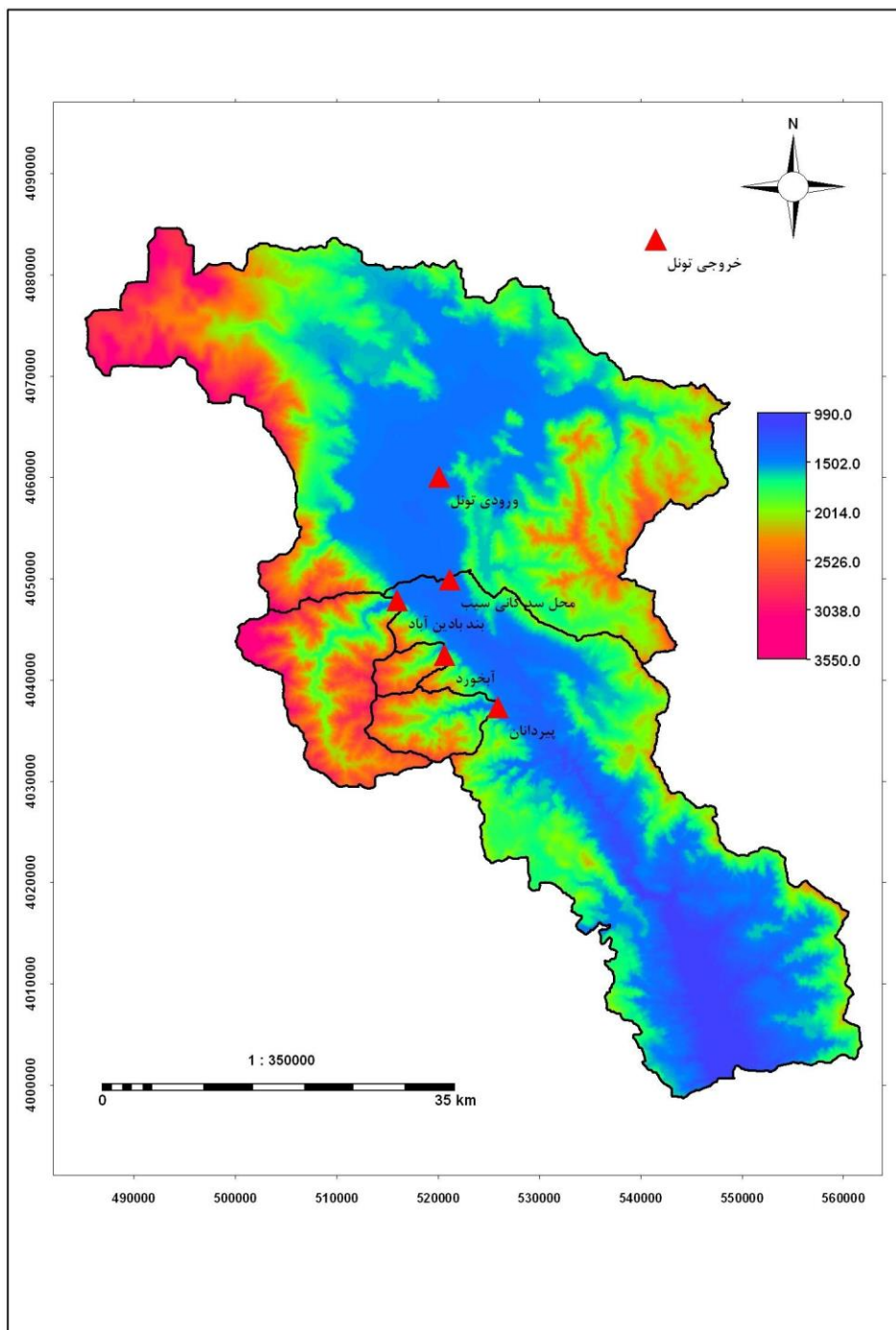


صفحه ۳۴ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۲۲. طبقات ارتفاعی در حوضه آبریز زاب [۱۷].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۳۵ از ۷۵

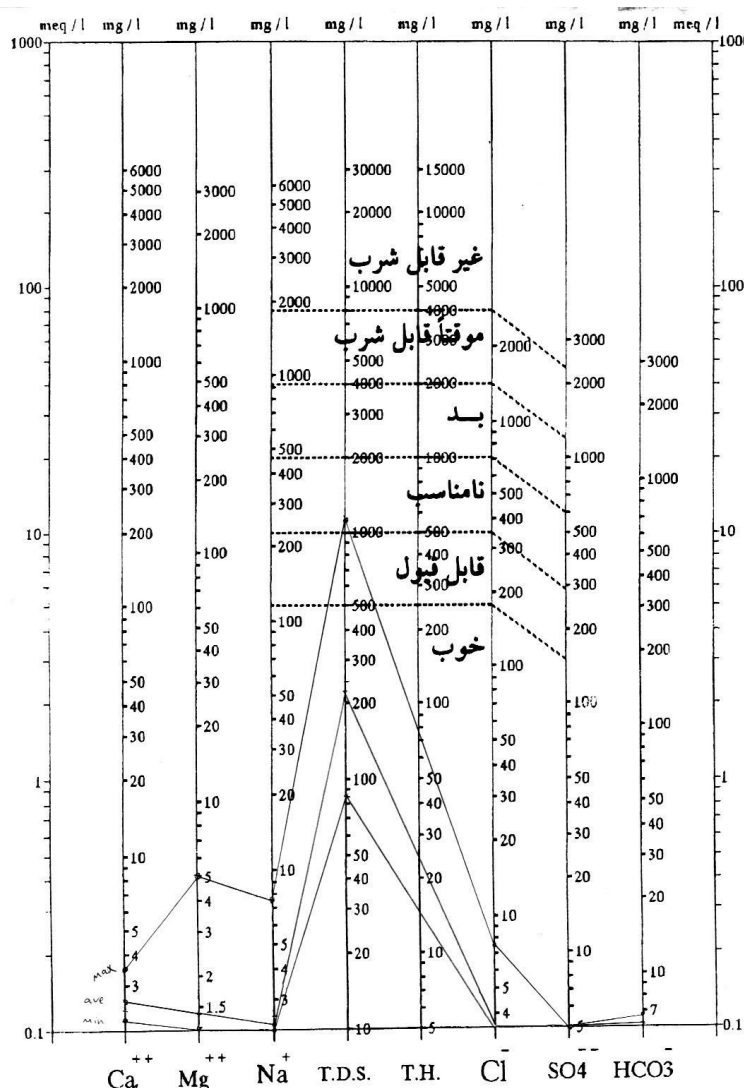
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## ۱-۴-۵- ویژگی های کیفی

با توجه به اینکه از آب سد کانی سیب برای انتقال به دریاچه ارومیه استفاده می شود ویژگی های کیفی آن حائز اهمیت است. در شکل ۲۳ آب رودخانه از نظر قابلیت استفاده به عنوان آب شرب در مواقع پرآبی و کم آبی بررسی شده است. آب این رودخانه کیفیت مناسبی برای شرب دارد [۱۷].



شکل ۲۳. بررسی کیفی آب رودخانه زاب [۱۷].

## ۱-۴-۶- ملاحظات زیست محیطی

مهم ترین زیستگاه آبی در منطقه رودخانه زاب، گذار و دریاچه ارومیه است. حاشیه رودخانه زاب پوشیده از گیاهان و زیستگاه پرندگان مهاجر آبی و ماهی های تجاری است. در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه در گذشته زیستگاه پرندگان آبی بوده است ولی با خشک شدن دریاچه تالاب های اطراف دریاچه به شورزار مبدل



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۳۶ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

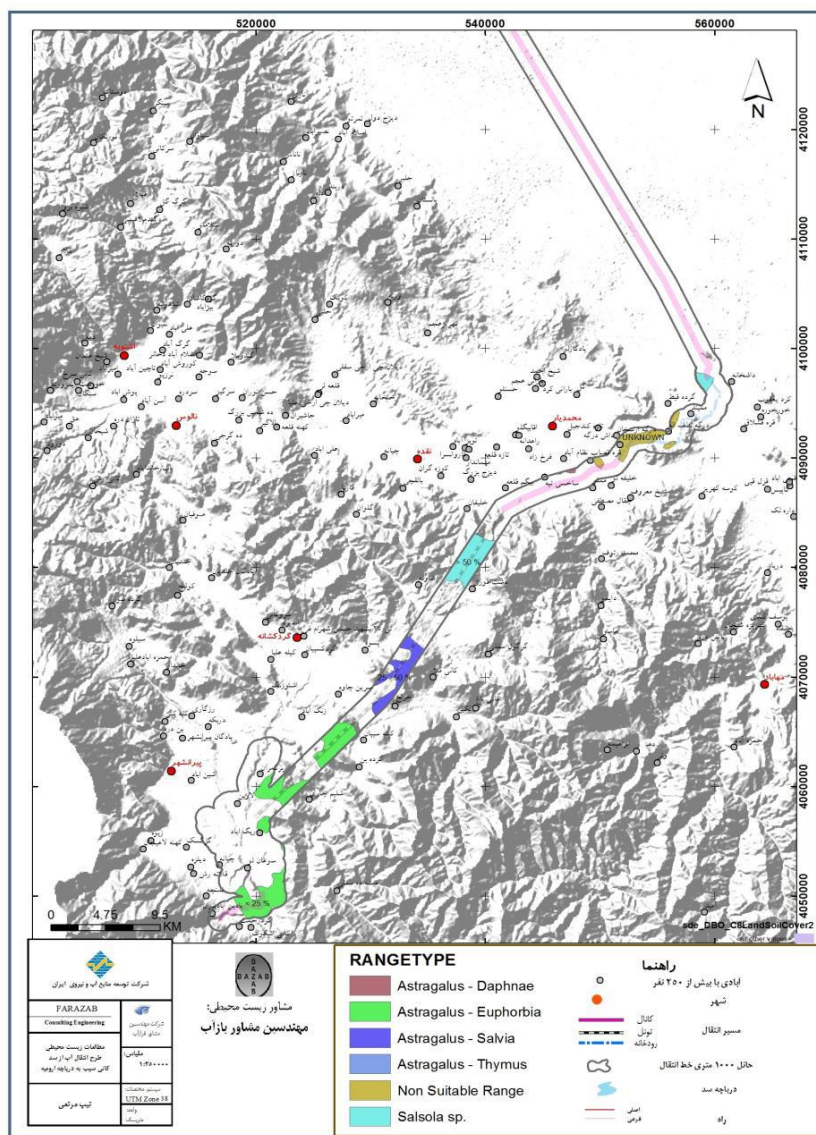
بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

گشته‌اند. با ورود آب شیرین رودخانه زاب به دریاچه ارومیه می‌توان امید داشت که پرندگان به این زیست‌بوم برگردند. در شکل ۲۴ تراکم پوشش جنگلی در حوضه رودخانه زاب مشاهده می‌شود [۱۸].

## ۷-۴-۱- ملاحظات اقتصادی و اجتماعی

در عرصه سد کانی‌سیب ۴۵۱ نفر از مردم ۱۰ آبادی دارای تملک یا حقوقی انتفاعی هستند. این آبادی‌ها در محدوده دهستان‌های پیران و لاهیجان واقع است. با احداث این سد ۲۰۰۰ هکتار از زمین‌های زراعی این منطقه به زیر آب می‌رود و باعث کاهش اشتغال ۱۰۴۰۰۰ نفر روز در یک سال می‌شود. آبرسانی به ۳۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی دیم می‌تواند باعث اشتغال شود [۱۹].



شکل ۲۴. تراکم پوشش جنگلی در منطقه [۱۸].



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۳۷ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## ۵-۱- انتقال پساب تصفیه خانه فاضلاب

یکی از راه های پیشنهادی برای افزایش آب های ورودی دریاچه ارومیه، تاسیس تصفیه خانه های شهری و انتقال پساب آن به دریاچه ارومیه است. طبق قرارداد سال ۱۳۹۳ ستاد احیای دریاچه ارومیه با شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی، باید تا سال ۱۳۹۶ حدود ۱۰۵ میلیون مترمکعب پساب تصفیه شده از تصفیه خانه های فاضلاب ارومیه، گلستان و سلماس به دریاچه ارومیه منتقل شود. در سال ۱۳۹۶ از تصفیه خانه های ارومیه، گلستان، و سلماس به ترتیب ۵۳/۵، ۱/۷۲ و ۵/۱۱ میلیون مترمکعب آب به دریاچه ارومیه وارد می شود. اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) در پساب تصفیه خانه ها بین ۱۰ تا میلی گرم بر لیتر است. استاندارد سازمان محیط زیست ایران برای BOD تا ۳۰ میلی گرم در لیتر است؛ لذا از این نظر پساب کیفیت قابل قبولی دارد. در جدول زیر نتایج آزمایش حاصل از پساب تصفیه شده تصفیه خانه ارومیه مشاهده می شود [۲۰ و ۲۱].

جدول ۷. نتایج آزمایش حاصل از پساب تصفیه شده تصفیه خانه ارومیه.

| مقدار مجاز در کشاورزی  | مقدار مجاز شرب         | مقدار موجود در پساب    |                                      |
|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| ۵۰                     | $5 >$                  | ۲/۳                    | کدورت (NTU)                          |
| -                      | ۵۰۰                    | ۲۴۷/۲                  | سختی کل (mg/l CaCO <sub>3</sub> )    |
| -                      | -                      | ۲۹۵/۲                  | قلیائیت (mg/l CaCO <sub>3</sub> )    |
| -                      | -                      | ۳۶۰/۱                  | قلیائیت (mg/l HCO <sub>3</sub> )     |
| -                      | -                      | $3/473 \times 10^{-3}$ | Ca <sup>2+</sup> (eq/l)              |
| $8/23 \times 10^{-3}$  | -                      | $1/43 \times 10^{-3}$  | Mg <sup>2+</sup> (eq/l)              |
| $10/3 \times 10^{-3}$  | $8/33 \times 10^{-3}$  | $1/152 \times 10^{-3}$ | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (eq/l) |
| $0/105 \times 10^{-3}$ | $0/079 \times 10^{-3}$ | $0/03 \times 10^{-3}$  | F <sup>-</sup> (eq/l)                |
| -                      | $8/7 \times 10^{-3}$   | $2/801 \times 10^{-3}$ | Na <sup>+</sup> (eq/l)               |
| -                      | -                      | $0/413 \times 10^{-3}$ | K <sup>+</sup> (eq/l)                |
| $0/555 \times 10^{-3}$ | $0/022 \times 10^{-3}$ | $0/03 \times 10^{-3}$  | Al <sup>3+</sup> (eq/l)              |
| $0/107 \times 10^{-3}$ | -                      | $0/009 \times 10^{-3}$ | Fe <sup>2+</sup> (eq/l)              |
| ۸-۶                    |                        | ۷/۲۹                   | pH                                   |
| -                      | -                      | ۱۲۶۲                   | EC                                   |
| -                      | -                      | ۱۰                     | BOD <sub>5</sub> (mg/l)              |
| ۲۰۰                    | -                      | ۳۳                     | COD (mg/l)                           |
| ۱۰۰                    | -                      | ۱۳                     | TSS (mg/l)                           |



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۳۸ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

|                                      |                        |                        |                       |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| TDS (mg/l)                           | ۷۱۴                    | -                      | -                     |
| DO (mg/l)                            | ۲/۵                    | -                      | ۲                     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)  | ۸/۵                    | -                      | -                     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)  | ۹/۳                    | -                      | -                     |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)  | ۰/۸                    | -                      | -                     |
| PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l) | ۷/۴                    | -                      | -                     |
| Cu <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۰/۸۷۵ \times ۱۰^{-۶}$ | $۶۲/۵ \times ۱۰^{-۶}$  | $۶/۲۵ \times ۱۰^{-۶}$ |
| Co <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۰/۰۰۹ \times ۱۰^{-۶}$ | -                      | $۱/۷۵ \times ۱۰^{-۶}$ |
| As <sup>3+</sup> (eq/l)              | $۰/۱۹۱ \times ۱۰^{-۶}$ | $۰/۴ \times ۱۰^{-۶}$   | $۴ \times ۱۰^{-۶}$    |
| Cd <sup>2+</sup> (eq/l)              | ۰                      | $۰/۰۵۳ \times ۱۰^{-۶}$ | $۰/۴۴ \times ۱۰^{-۶}$ |
| Zn <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۲/۳ \times ۱۰^{-۶}$   | -                      | $۶۱/۵ \times ۱۰^{-۶}$ |
| Pb <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۰/۱۱۴ \times ۱۰^{-۶}$ | $۰/۰۹۶ \times ۱۰^{-۶}$ | $۹/۶۶ \times ۱۰^{-۶}$ |
| Ni <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۰/۰۶۶ \times ۱۰^{-۶}$ | $۲/۴۷ \times ۱۰^{-۶}$  | $۶۸/۲ \times ۱۰^{-۶}$ |
| Hg <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۰/۰۱۸ \times ۱۰^{-۶}$ | $۰/۰۵۹ \times ۱۰^{-۶}$ | -                     |
| Cr <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۰/۰۴۹ \times ۱۰^{-۶}$ | $۲/۸۹ \times ۱۰^{-۶}$  | $۷۶/۹ \times ۱۰^{-۶}$ |
| Mn <sup>2+</sup> (eq/l)              | $۰/۰۳۹ \times ۱۰^{-۶}$ | $۱۸/۱۸ \times ۱۰^{-۶}$ | $۳۶/۳ \times ۱۰^{-۶}$ |

## ۲- مدلسازی انتقال آب های نامتعارف

### ۲-۱- شبیه سازی تغییرات بلندمدت

#### ۲-۱-۱- تعیین حجم آب قابل انتقال از دریاچه وان

طبق شکل زیر دریاچه وان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ با افزایش تراز رو به رو بوده است. حداکثر حجم قابل برداشت از دریاچه وان می بایست به اندازه ای باشد که تراز آن کاهش پیدا نکند. بنابراین دبی مناسب انتقال آب از وان بهتر است به گونه ای باشد که تراز آب در این دریاچه ثابت شود. با توجه به نوسانات تراز سطح آب دریاچه وان که در شکل ۲۵ ارائه شده است، برداشت به طور متوسط سالانه ۴۰۴ میلیون مترمکعب باعث توقف روند صعودی نوسانات تراز آب و ثابت شدن روند تغییرات بلند مدت آن می شود.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

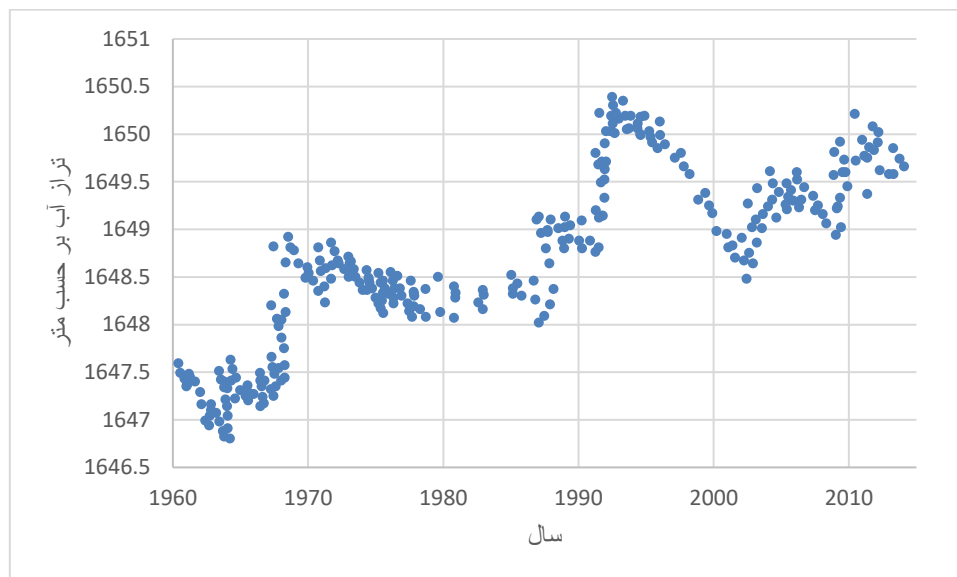


صفحه ۳۹ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۲۵. نمودار تراز آب دریاچه وان بر حسب زمان.

## ۲-۱-۲- معرفی نرم افزار PHREEQC

از نرم افزار PHREEQC برای انجام محاسبات مختلف ژئوشیمیایی استفاده می شود. مدل های متفاوتی را می تواند پیاده سازی کند. از مدل Pitzer برای محیط های آبی با شوری بسیار بالا استفاده می شود. مدل Pitzer در واقع معادلات Pitzer را حل می کند. معادلات Pitzer برای درک اندرکنش آنیون ها و کاتیون های محلول در آب های طبیعی مانند دریاچه ها اهمیت دارد. این معادلات اولین بار توسط شیمی دانی به همین نام بیان شده است. معادلات Pitzer بر اساس مفهوم انرژی آزاد گیبس که بیان گر اندرکنش بین یون ها و حلال است، بدست آمده است. پارامترهای معادلات Pitzer ترکیب خطی از پارامترهای متفاوتی مانند ضریب اسمزی، ضرایب فعالیت یونی و حلالیت نمک است. از معادلات Pitzer می توان برای محاسبه ضرایب فعالیت یونی در حالت اختلاط چندین محلول استفاده کرد [۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷].

## ۲-۱-۳- استفاده از مدل MIX

از مدل MIX برای نشان دادن تاثیر انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها بر کمیت، کیفیت و خواص هیدروشیمیایی آب دریاچه ارومیه استفاده شده است. بدین منظور مدل MIX در نرم افزار PHREEQC به صورت ماهانه برای دو سناریو ترسالی و خشکسالی استفاده شده است. به دلیل در دسترس نبودن سری زمانی برای داده های کیفی رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها فرض شده است



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۴۰ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

متغیرهای کیفی آنها مانند pH، چگالی و غلظت یون ها ثابت است. مقدار در نظر گرفته شده برای این مقادیر در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. مشخصات کیفی جریانات نامتعارف مورد استفاده در مدل سازی

| پساب تصفیه خانه ها | رودخانه زاب | دریاچه وان | مشخصه               |
|--------------------|-------------|------------|---------------------|
| 7.29               | 7           | 9.64       | pH                  |
| 0.99976            | 0.99999     | 1.0195     | density (g/ml)      |
| 0                  | 8.19E-05    | 1.20E-01   | Bicarbonate (molal) |
| 1.74E-03           | 7.49E-05    | 2.76E-03   | Ca (molal)          |
| 0.00E+00           | 5.64E-05    | 1.73E-01   | Cl (molal)          |
| 4.13E-04           | 0.00E+00    | 1.18E-02   | K (molal)           |
| 0.00E+00           | 1.23E-04    | 1.65E-03   | Mg (molal)          |
| 2.81E-03           | 8.70E-05    | 3.42E-01   | Na (molal)          |
| 5.76E-04           | 0.00E+00    | 3.01E-02   | SO4 (molal)         |

همچنین برای رودخانه های ورودی به دریاچه از ۲۶ بهمن ماه سال ۱۳۹۴ تا ۲۷ دی ماه سال ۱۳۹۵ برای ۸ رودخانه شهرچای، باراندوزچای، نازلوچای، آجی چای، زرینه رود، سیمینه رود، گذارچای و مهابادچای کمیت های کیفی مانند، دمای آب، pH و غلظت یون ها اندازه گیری شده است. در این پژوهش فرض شده است که در طول ماه این پارامترها ثابت است و برای سایر ماه هایی که اطلاعات در دسترس نبود نیز از همین اطلاعات استفاده شده است. لازم به ذکر است برای سایر رودخانه ها نیز میانگین همین کمیت ها استفاده شده است. در مدل MIX فرض بر این است که اختلاط دریاچه با رودخانه های ورودی به آن، رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها به صورت اختلاط کامل است. دریاچه از نظر خواص کیفی همگن است و از اثرات عمق و لایه بندی آب دریاچه صرف نظر شده است.

داده های کیفی رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه، رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها شامل دما، چگالی، حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه، pH، غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی مانند کلر، سولفات،



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



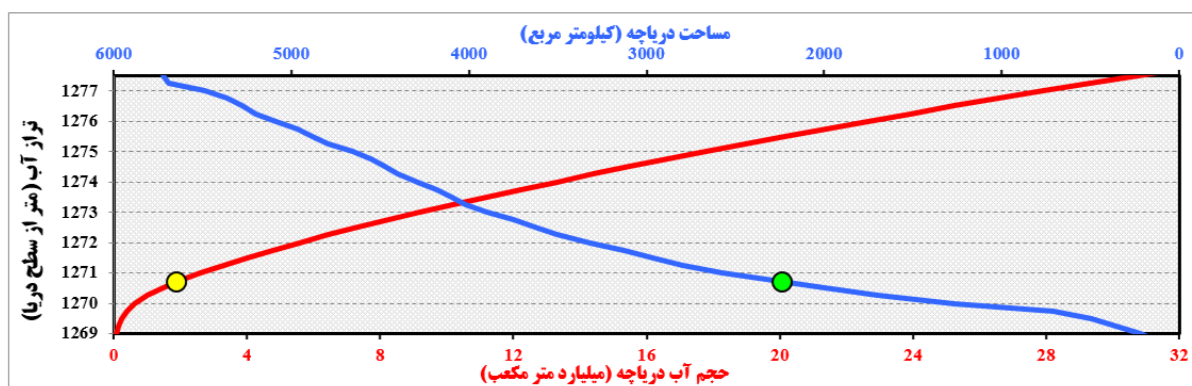
صفحه ۴۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

بی کربنات، سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم به عنوان ورودی به مدل داده شده است. به عنوان شرایط اولیه معادلات دمای آب، چگالی، حجم آب و غلظت یون های اصلی در دریاچه ارومیه در زمان اولیه به مدل داده شده است. اختلاط به این صورت است که مشخصات کیفی رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه، رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها در زمان اولیه با مشخصات دریاچه در زمان اولیه ترکیب شده است. سپس نتایج مدل زمان  $i$  به عنوان ورودی برای دریاچه ارومیه به مدل زمان  $i+1$  داده شده است. در پایان هر ماه مقدار تبخیر خالص از حجم آب خروجی کم شده است و غلظت یون های اصلی افزایش یافته است. برای مثال ابتدا مشخصات کیفی و حجم دریاچه در مهر ۱۳۸۳ با رودخانه های ورودی به دریاچه، رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها در مهر ۱۳۸۳ به عنوان ورودی به مدل داده شده است. نتایج حاصل از این مدل پس از اعمال تغییرات ذکر شده برای تبخیر خالص، به عنوان ورودی مشخصات کیفی دریاچه در آبان ۱۳۸۳ به مدل آبان ۱۳۸۳ داده می شود. در مدل MIX حجم آب دریاچه در هر زمان به عنوان خروجی ثبت می شود. با بدست آوردن حجم آب و نمودار تراز آب بر حسب حجم (شکل ۲۶)، تراز آب محاسبه می شود.



شکل ۲۶. نمودار تراز آب دریاچه ارومیه بر حسب حجم آب ومساحت.

پس از بدست آوردن غلظت یون های اصلی بر حسب اکسی والان در لیتر تیپ دریاچه تعیین می شود. مجموع اکسی والان های کاتیون ها برابر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می شود. برای آنیون ها نیز مجموع اکسی والان های آن ها برابر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می شود. از یون هایی که مقادیر آن ها کمتر از ۵ درصد است، صرف نظر می شود. مقادیر بین ۵ تا ۲۵ درصد داخل پرانتز و مقادیر بالای ۲۵ درصد به عنوان یون غالب ثبت می شود.

برای بررسی وضعیت دریاچه ارومیه پس از طرح های انتقال از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها ۲ سناریو در نظر گرفته شده است. سناریو الف) دریاچه ارومیه در حالت خشکسالی و سناریو ب) دریاچه ارومیه

[illegible]



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

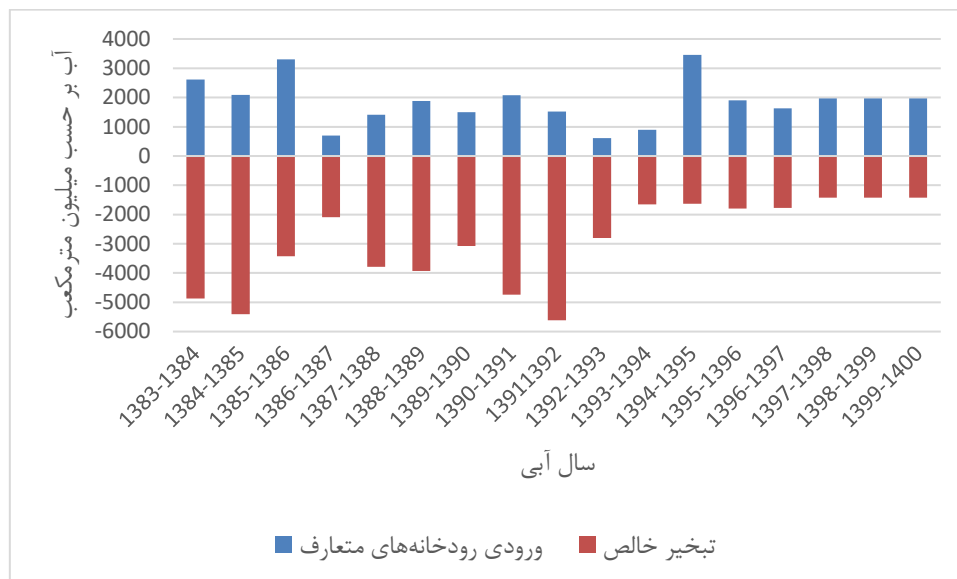


صفحه ۴۳ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۲۷. تبخیر خالص و ورودی رودخانه های متعارف.

برای دوره ۱۰ ساله خشکسالی مدل MIX به صورت ماهانه اجرا شده است. در شکل 28 مقدار آب منتقل شده به دریاچه توسط هر یک از جریانات نامتعارف در هر ماه مشاهده می شود. نمودار تراز آب در شکل 29 آمده است. در شکل 30 تا شکل 39 به ترتیب نمودار حجم آب، pH، دمای آب و غلظت یون های اصلی شامل کربن به صورت کربنات و بی کربنات، کلسیم، کلر، پتاسیم، منیزیم، سدیم و سولفات آمده است. در طول این دوره ۱۰ ساله پس از انتقال آب روند تغییرات تراز تقریباً ثابت است و در انتهای ۱۰ سال به بالای ۱۲۷۴ متر رسیده است. نوساناتی در pH آب مشاهده می شود. به دلیل قلیایی بودن دریاچه وان و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه pH دریاچه ارومیه افزایش می یابد. در زمان هایی که آب تنها از رودخانه زاب و یا پساب تصفیه خانه ها منتقل شده است، pH کاهش یافته است. در ابتدای زمان مدل سازی غلظت کربنات و بی کربنات در دریاچه ارومیه ناچیز است ولی با انتقال آب از دریاچه وان غلظت این یون ها در دریاچه ارومیه افزایش می یابد. غلظت یون کلسیم در دریاچه ارومیه بیش از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها است. با انتقال آب از این منابع غلظت کاتیون کلسیم مقداری کاهش یافته است. یون های کلر، منیزیم، پتاسیم و سولفات که یون های غالب دریاچه ارومیه بودند، با انتقال آب دچار کاهش شده اند.



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

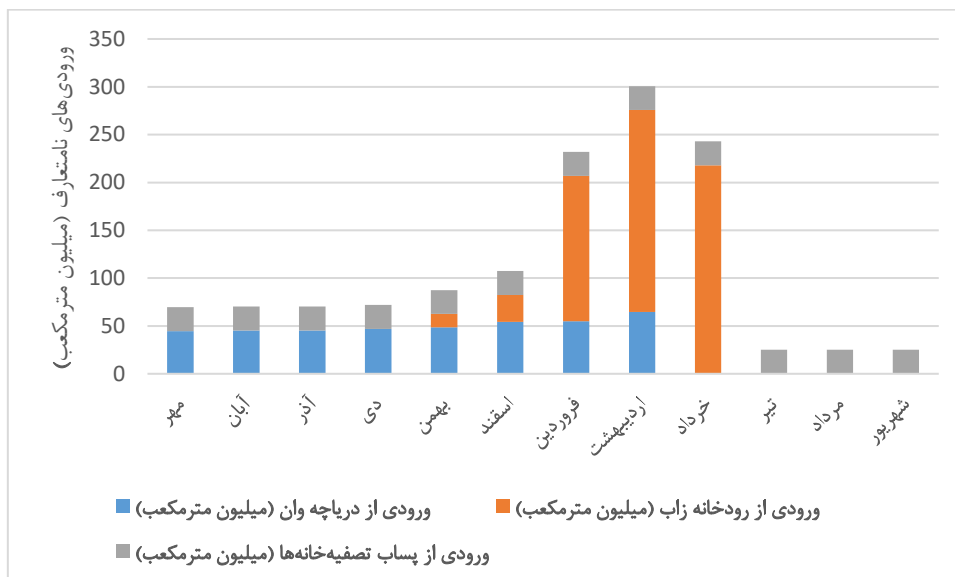


صفحه ۴۴ از ۷۵

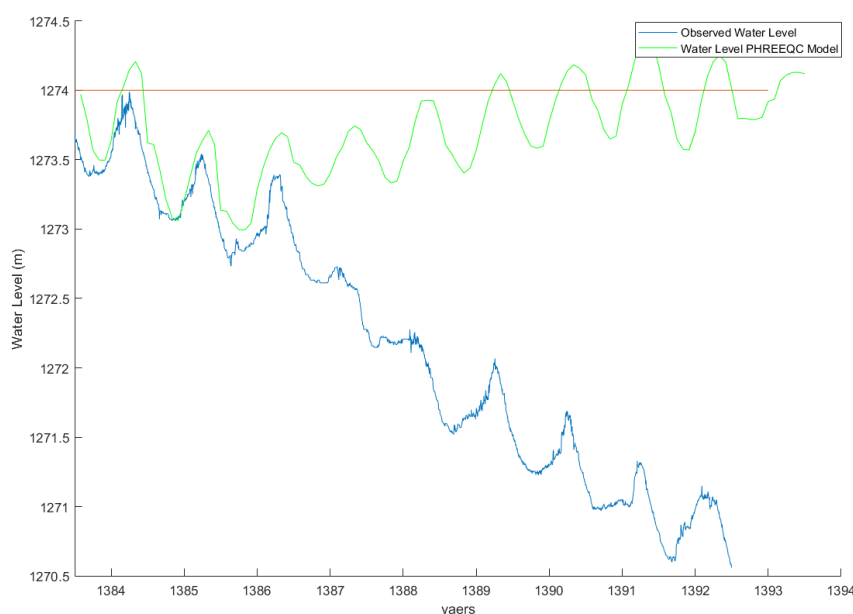
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۲۸. مقدار آب منتقل شده به دریاچه توسط هر یک از جریانات نامتعارف در هر ماه.



شکل ۲۹. تراز آب پیش‌بینی شده توسط مدل PHREEQC با جریانات نامتعارف و تراز آب مشاهداتی.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

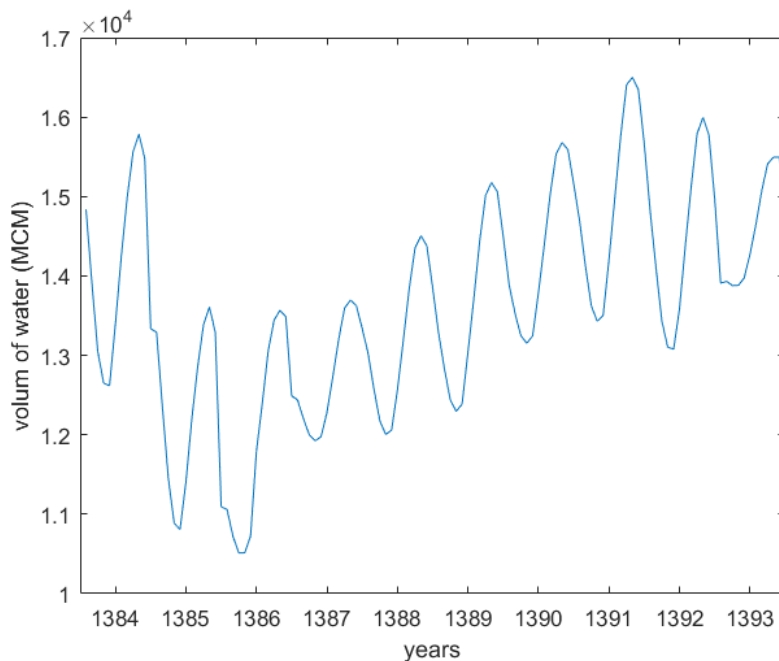


صفحه ۴۵ از ۷۵

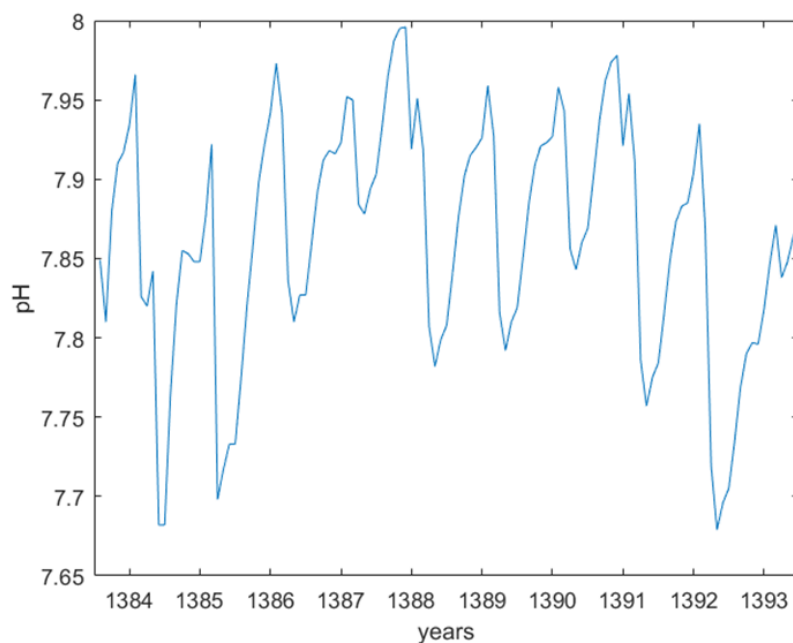
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۳۰. نمودار حجم دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۳۱. نمودار pH در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

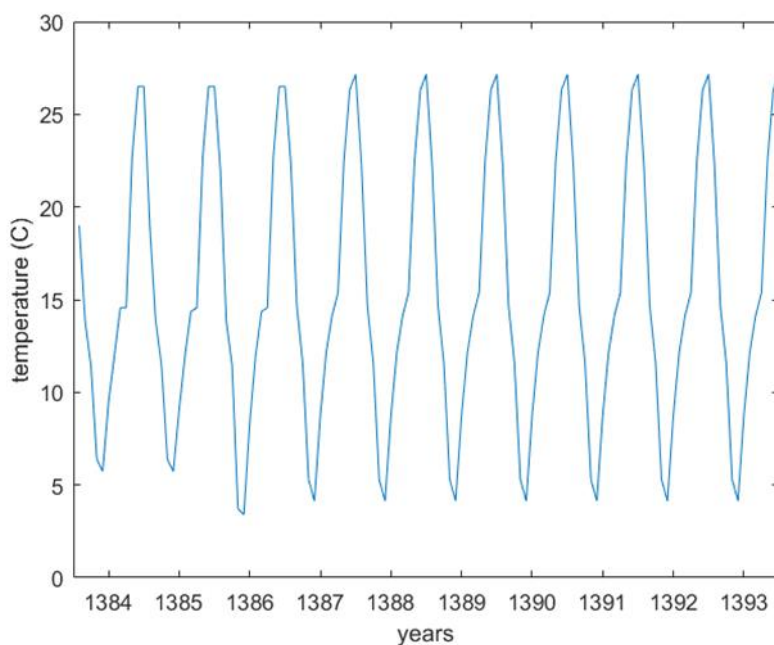


صفحه ۴۶ از ۷۵

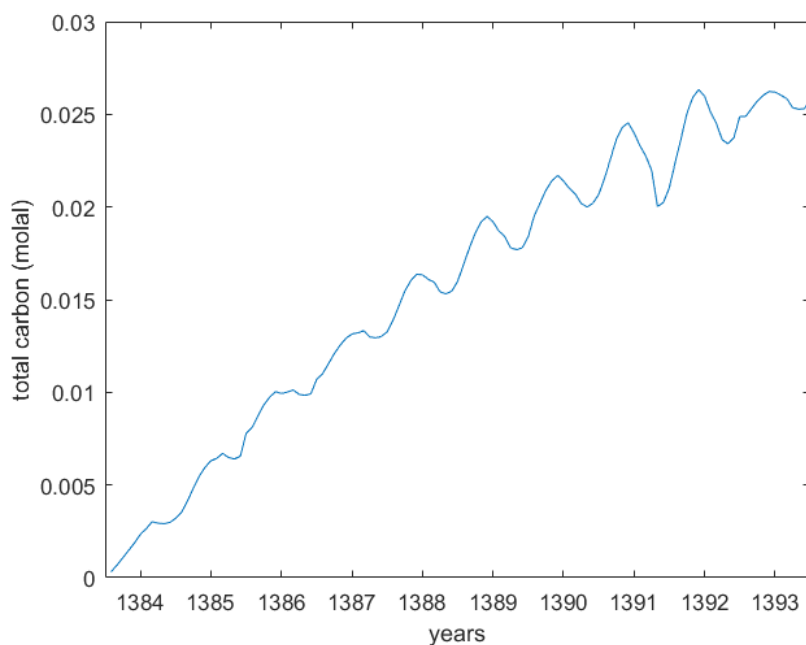
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۳۲. نمودار دمای آب دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۳۳. نمودار غلظت کربن کل شامل کربنات و بی کربنات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

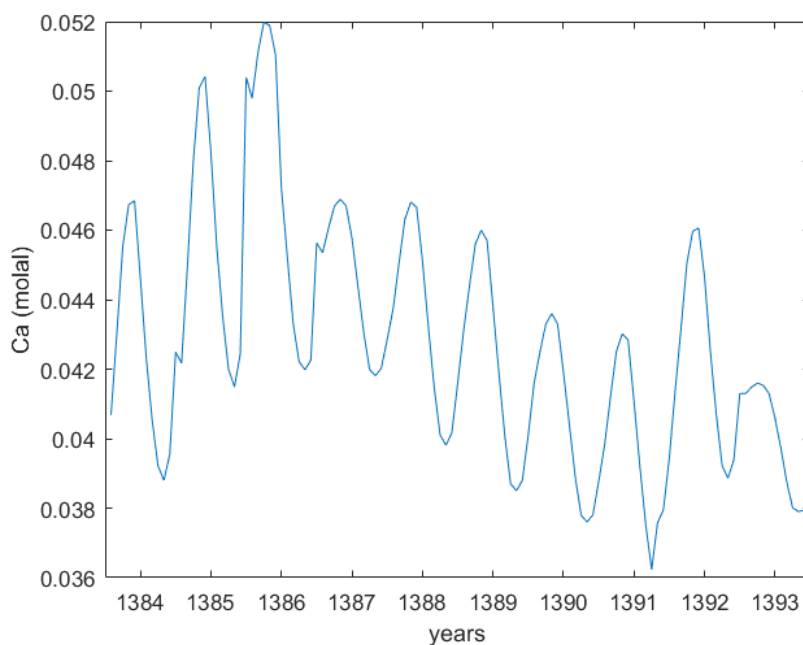


صفحه ۴۷ از ۷۵

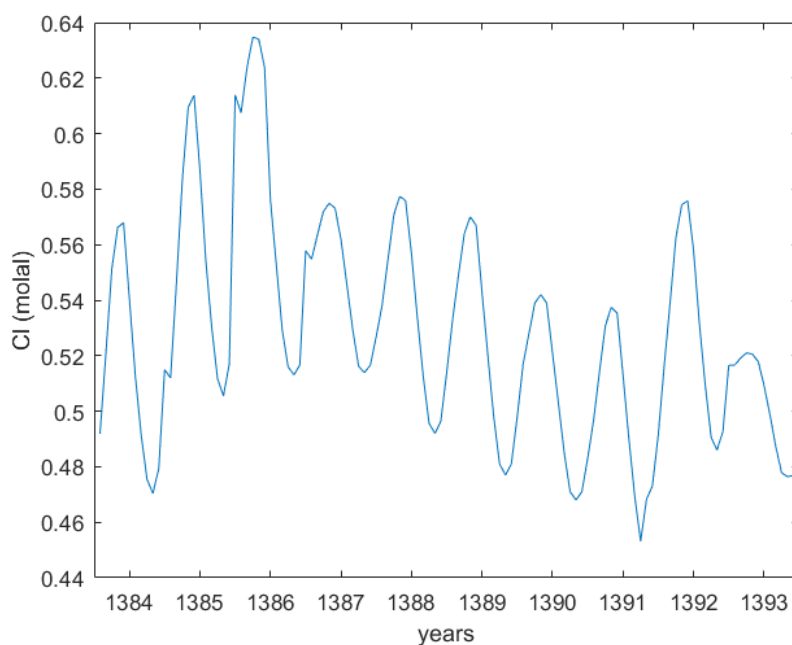
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۳۴. نمودار غلظت کلسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۳۵. نمودار غلظت کلر در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

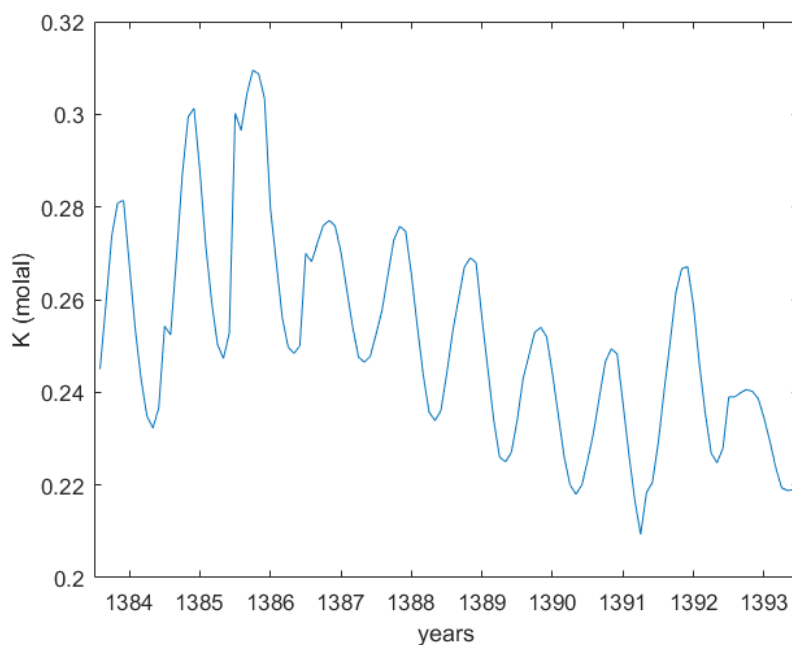


صفحه ۴۸ از ۷۵

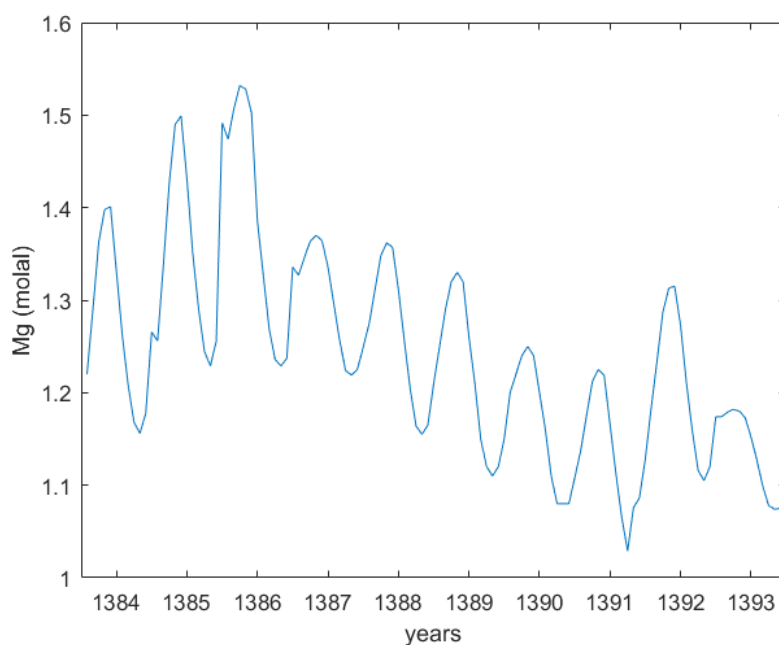
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۳۶. نمودار غلظت پتاسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۳۷. نمودار غلظت منیزیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

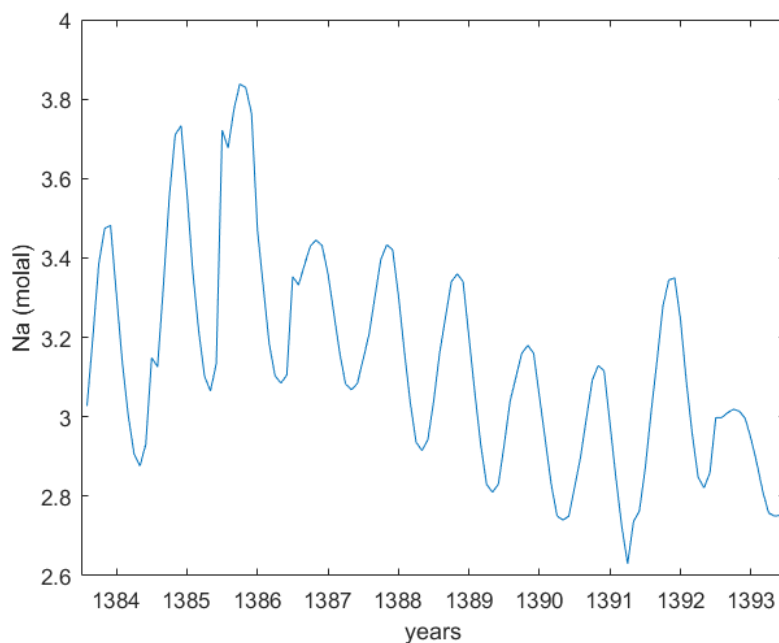


صفحه ۴۹ از ۷۵

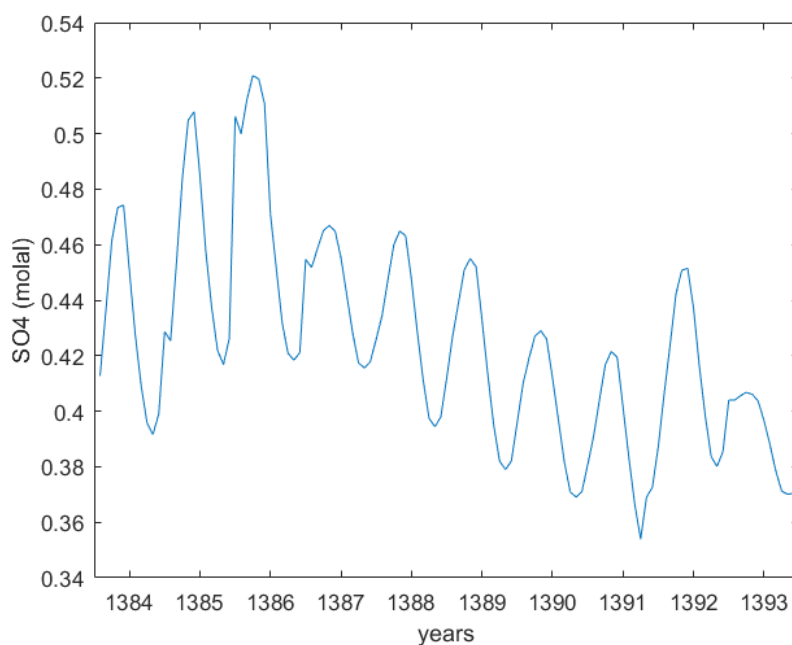
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۳۸. نمودار غلظت سدیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۳۹. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



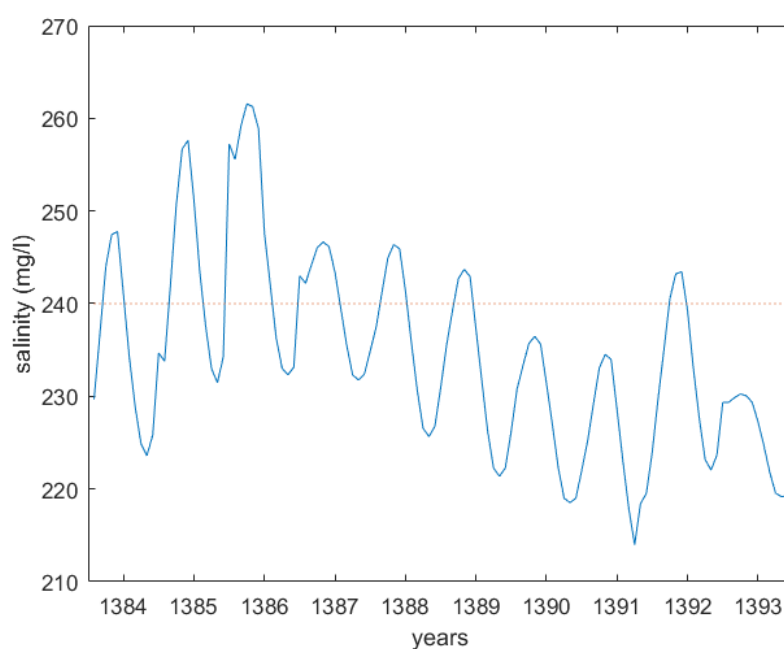
صفحه ۵۰ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

در شکل زیر نمودار شوری پس از انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها را نشان می دهد. در انتهای دوره ده ساله مدل شوری به ۲۲۱ میلی گرم در لیتر می رسد. خط نقطه چین شوری ۲۴۰ میلی گرم در لیتر را نشان می دهد؛ این مقدار بیشترین شوری است که آرتمیا برای تولید مثل می تواند تحمل کند [۲۸].



شکل ۴۰. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.

تا قبل از مهر ۱۳۸۷ تیپ دریاچه ارومیه بدون انتقال آب از منابع غیرمتعارف  $\text{Na-(Mg)-Cl-(SO}_4\text{)}$  بوده است [۲۹]. نتایج مدلسازی بلند نشان می دهد با انتقال آب از این منابع تیپ دریاچه به حالت  $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$  درآمده است (جدول ۱۰ و جدول ۱۱).



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۵۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

جدول ۱۰. تیپ دریاچه ارومیه قبل از انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه‌ها [۲۹].

|         |                  |         |                  |         |                |
|---------|------------------|---------|------------------|---------|----------------|
| 1385/12 | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/2  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/4  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1386/1  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/3  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1390/5  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1386/2  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/4  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/6  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1386/3  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/5  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/7  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1386/4  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/6  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/8  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1386/5  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/7  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/9  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1386/6  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/8  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/10 | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1386/7  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/9  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/11 | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1386/8  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/10 | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/12 | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1386/9  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/11 | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/1  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1386/10 | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1388/12 | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/2  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1386/11 | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/1  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/3  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1386/12 | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/2  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/4  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1387/1  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/3  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1391/5  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1387/2  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/4  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/6  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1387/3  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/5  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/7  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1387/4  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/6  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/8  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1387/5  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/7  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/9  | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1387/6  | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/8  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/10 | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1387/7  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1389/9  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/11 | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1387/8  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1389/10 | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1391/12 | Mg-Na-Cl-(SO4) |
| 1387/9  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1389/11 | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1392/1  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1387/10 | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1389/12 | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1392/2  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1387/11 | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/1  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1392/3  | Na-Mg-Cl-(SO4) |
| 1387/12 | Na-(Mg)-Cl-(SO4) | 1390/2  | Na-Mg-Cl-(SO4)   |         |                |
| 1388/1  | Na-Mg-Cl-(SO4)   | 1390/3  | Na-Mg-Cl-(SO4)   |         |                |

جدول ۱۱. تیپ دریاچه ارومیه با انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه‌ها در سناریو خشکسالی.

|         |              |        |              |         |              |        |              |
|---------|--------------|--------|--------------|---------|--------------|--------|--------------|
| 1383/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/1 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/1 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1383/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/2 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/2 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1383/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/3 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/3 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1383/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/4 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/4 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1383/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/5 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/5 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1383/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/6 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/6 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/7 | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/7 | Na-Mg-SO4-Cl |



مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۵۲ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

|         |              |         |              |         |              |         |              |
|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| 1384/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/8  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/9  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/10 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/11 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1386/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1391/12 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/1  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/2  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/3  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/4  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/5  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1384/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1389/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/6  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/7  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/8  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/9  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/10 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/11 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1387/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1392/12 | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1393/1  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1393/2  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1393/3  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1393/4  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1393/5  | Na-Mg-SO4-Cl |
| 1385/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1388/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1390/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1393/6  | Na-Mg-SO4-Cl |



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۵۳ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## ب) سناریو ترسالی

از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ تراز آب دریاچه ارومیه با شیب ۰/۱۹ در سال صعودی است. این دوره به عنوان ترسالی انتخاب شده است. برای افزایش تراز دریاچه ارومیه به تراز ۱۲۷۴ متر در شبیه سازی سهم انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها به مدت ۷ طبق جدول ۱۲ در نظر گرفته شده است. مقادیر ماهانه حجم ورودی به دریاچه از جریانات نامتعارف مانند حالت خشکسالی در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۲. حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه از جریانات نامتعارف.

| سال                          | ۹۴-۹۳ | ۹۵-۹۴ | ۹۶-۹۵ | ۹۷-۹۶ | ۹۸-۹۷ | ۹۹-۹۸ | ۰۰-۹۹ |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ورودی زاب (میلیون متر مکعب)  | ۰     | ۰     | ۰     | ۶۲۳   | ۶۲۳   | ۶۲۳   | ۶۲۳   |
| ورودی پساب (میلیون متر مکعب) | ۰     | ۰     | ۵۵    | ۱۷۸   | ۳۰۰   | ۳۰۰   | ۳۰۰   |
| ورودی وان (میلیون متر مکعب)  | ۴۰۴   | ۴۰۴   | ۴۰۴   | ۴۰۴   | ۴۰۴   | ۴۰۴   | ۴۰۴   |

با فرض اینکه پس از سال ۹۷-۹۸ دبی رودخانه های ورودی به دریاچه، تبخیر و بارش مانند سال ۹۸-۹۷ باشد، با استفاده از مدل MIX تراز، حجم و شرایط کیفی آب دریاچه ارومیه از قبیل pH، دما و غلظت یون های اصلی پیش بینی شده است (شکل های ۴۱ تا ۵۱). تراز آب در ابتدای سناریو ترسالی کم تر از سناریو خشکسالی است. با انتقال آب روند تغییرات تراز آب دریاچه شبیه سازی شده صعودی می شود. در حالت ترسالی به علت قلیایی بودن آب دریاچه وان و رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه، pH افزایش پیدا کرده است. نمودار غلظت کربن در حالت ترسالی نیز صعودی است و با انتقال آب از دریاچه وان میزان کربنات و بی کربنات در دریاچه اضافه شده است. یون های کلر، منیزیم، سدیم و سولفات که یون های غالب دریاچه ارومیه هستند، کاهش قابل ملاحظه ای داشته اند.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

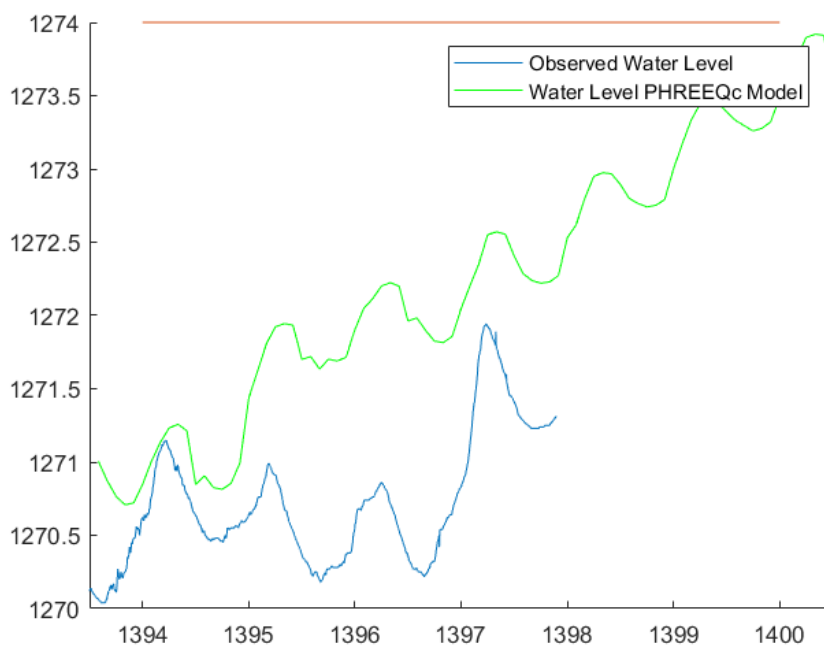


صفحه ۵۴ از ۷۵

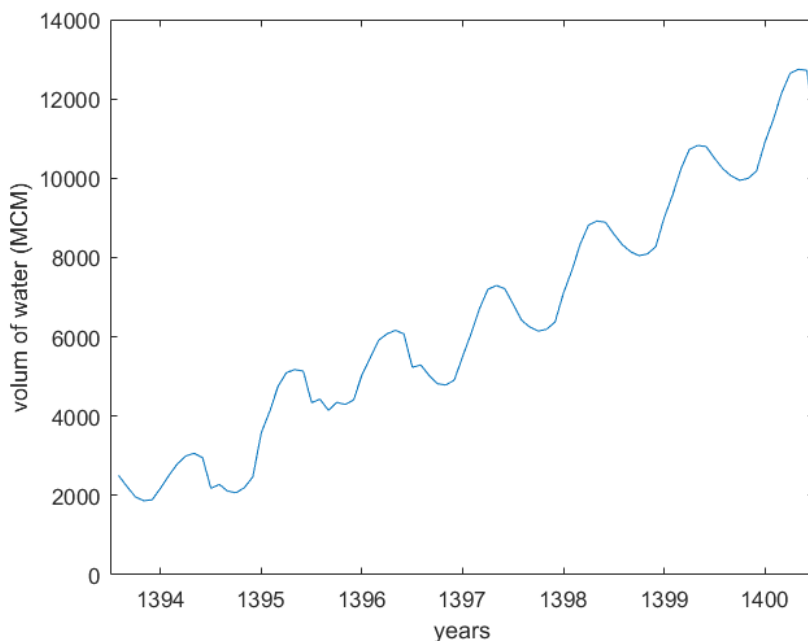
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۴۱. تراز آب پیشبینی شده توسط مدل PHREEQC با جریانات نامتعارف و تراز آب مشاهداتی.



شکل ۴۲. نمودار حجم دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

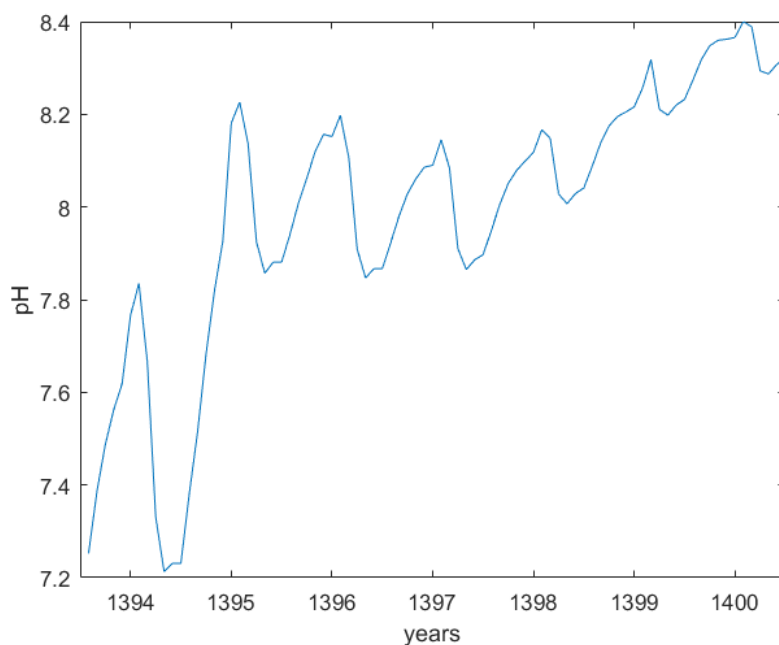


صفحه ۵۵ از ۷۵

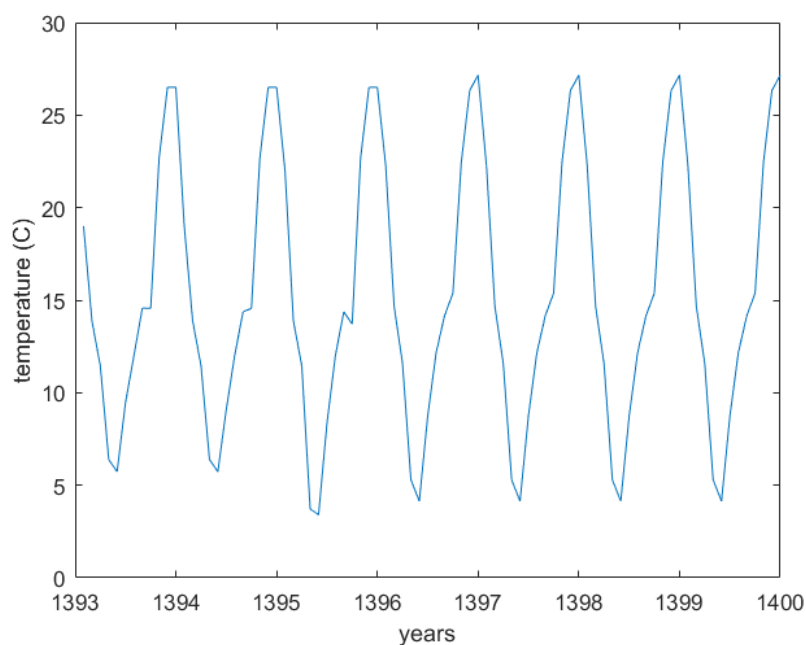
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۴۳. نمودار pH در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۴۴. نمودار دمای آب دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

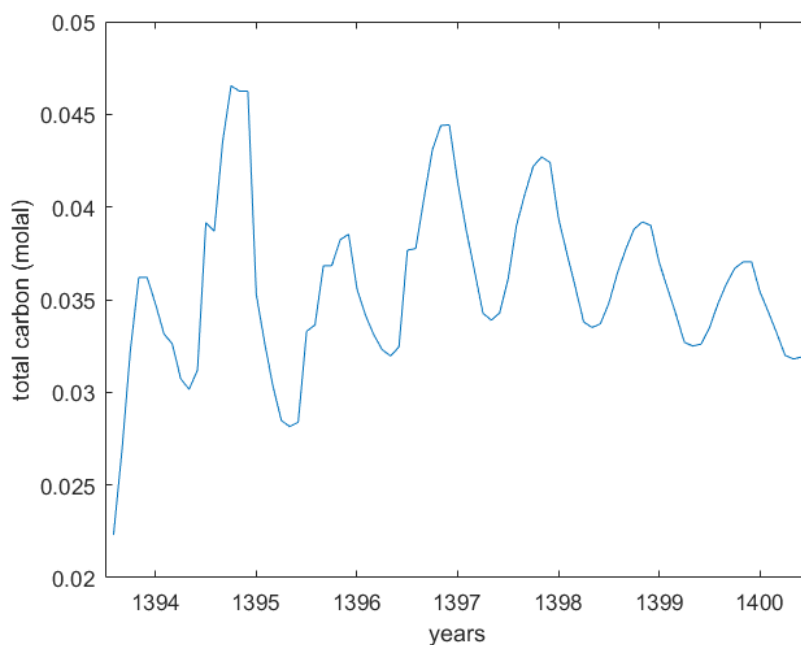


صفحه ۵۶ از ۷۵

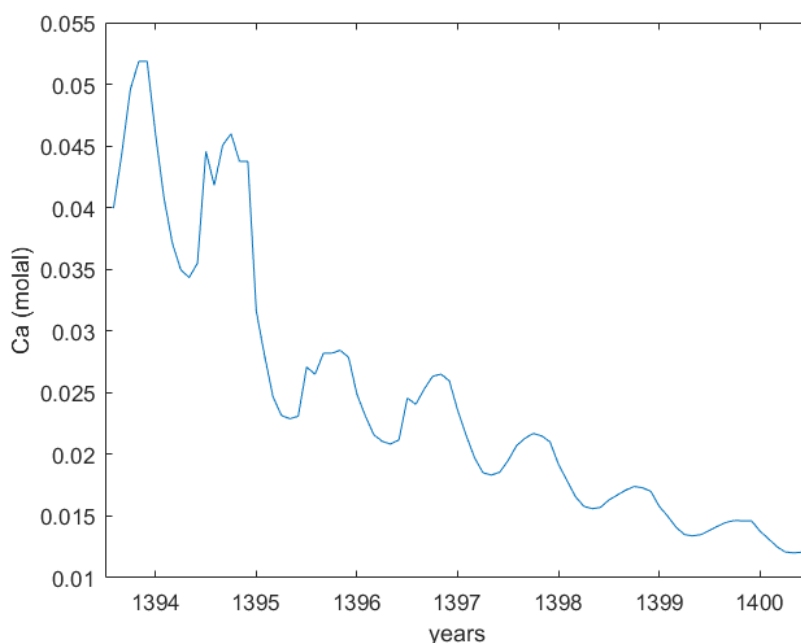
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۴۵. نمودار غلظت کربن کل شامل کربنات و بی کربنات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۴۶. نمودار غلظت کلسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

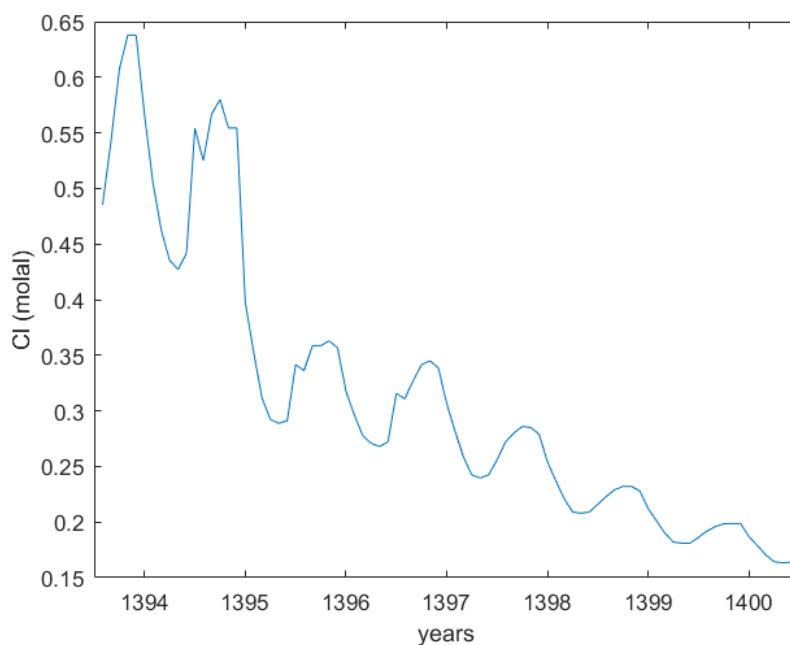


صفحه ۵۷ از ۷۵

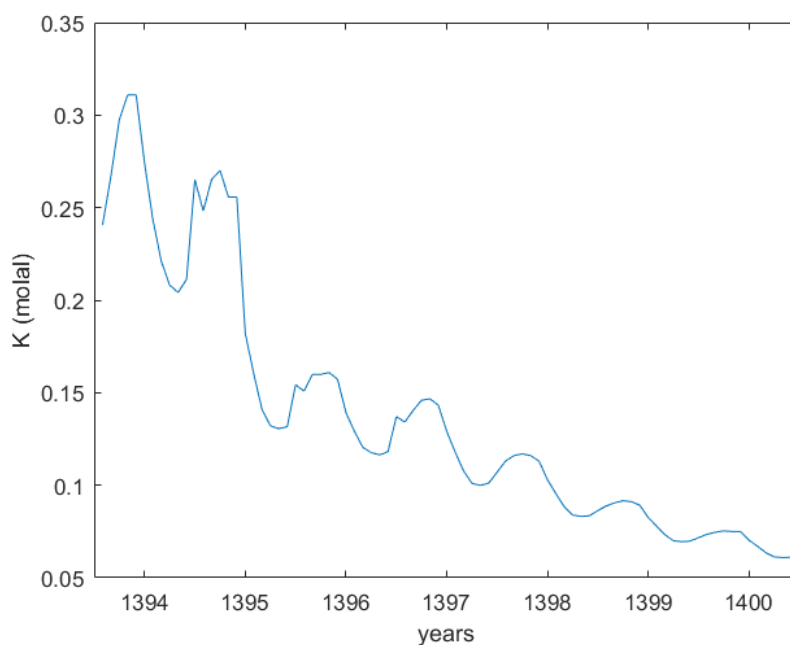
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۴۷. نمودار غلظت کلر در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۴۸. نمودار غلظت پتاسیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

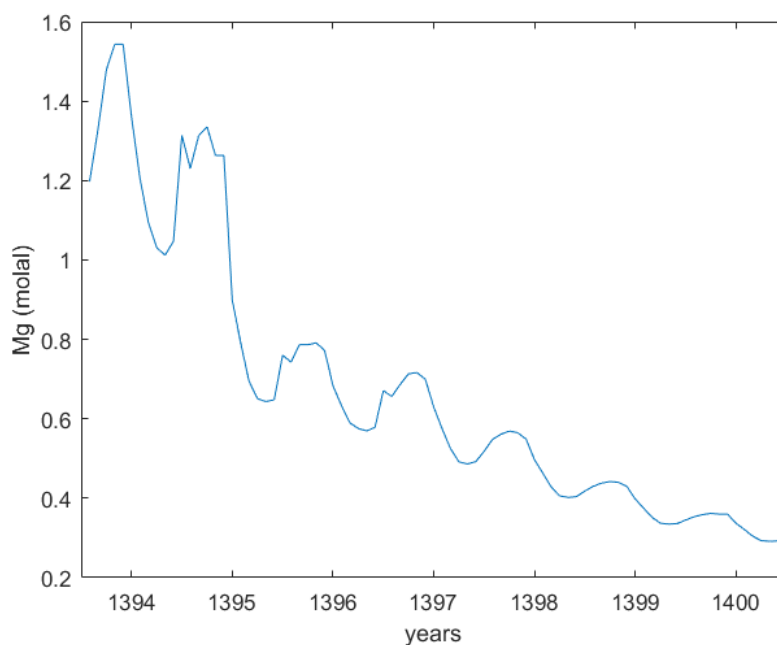


صفحه ۵۸ از ۷۵

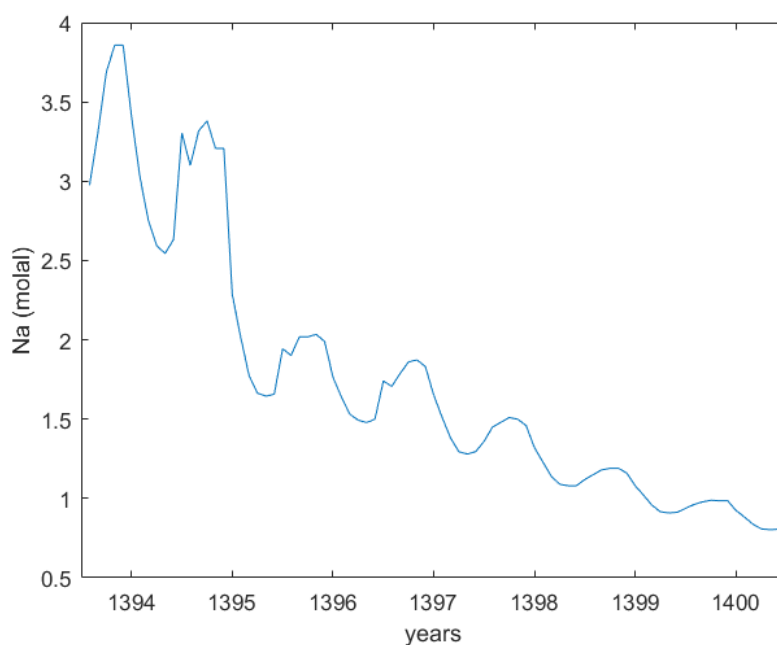
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۴۹. نمودار غلظت منیزیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



شکل ۵۰. نمودار غلظت سدیم در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

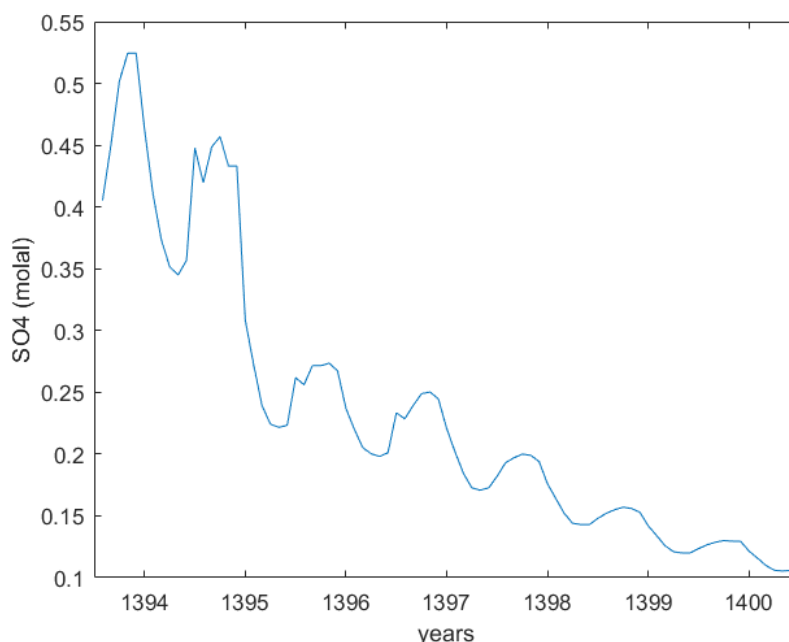


صفحه ۵۹ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۵۱. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.

در شکل زیر نمودار شوری پس از انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها را نشان می دهد. در انتهای دوره هفت ساله مدل شوری به ۱۳۴ میلی گرم در لیتر می رسد. خط نقطه چین شوری ۲۴۰ میلی گرم در لیتر را نشان می دهد؛ این مقدار بیشترین شوری است که آرتمیا برای تولید مثل می تواند تحمل کند [۲۸]. در این سناریو شوری دریاچه در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ به زیر ۲۴۰ میلی گرم در لیتر می رسد، در حالیکه تراز آب دریاچه هنوز ۲ متر پایین تر از تراز نهایی ۱۲۷۴ می باشد.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

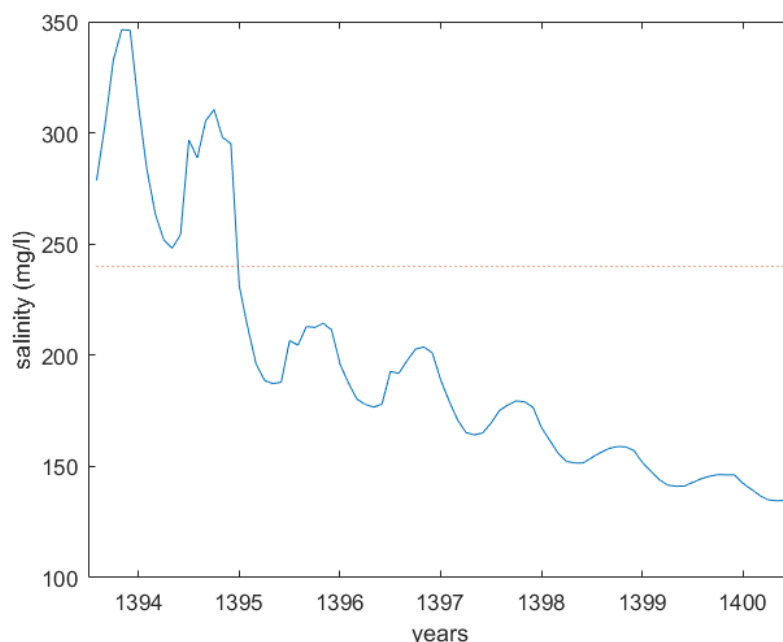


صفحه ۶۰ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۵۲. نمودار غلظت سولفات در دریاچه ارومیه با انتقال آب از رودخانه زاب، دریاچه وان و پساب تصفیه خانه ها.

تیپ دریاچه در سال ۱۳۹۲ بدون حضور جریانات نامتعارف (Na-Mg-Cl-(SO<sub>4</sub>) است [۲۹]. طبق جدول زیر با انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها تیپ دریاچه تا بهمن سال ۱۳۹۶ Na-Mg-SO<sub>4</sub>-Cl است. پس از آن از اسفند سال ۱۳۹۶ تا انتهای دوره مدل سازی تیپ دریاچه به Na-Mg-SO<sub>4</sub>-Cl-(HCO<sub>3</sub>) تغییر یافته است. این اولین باری است که بی کربنات در تیپ دریاچه ظاهر میگردد (جدول ۱۳). با توجه به اینکه نمک غالب دریاچه وان کربنات و بی کربنات است، وقوع این امر دور از ذهن نبود. در حالت ترسالی غلظت اولیه کربنات و بی کربنات بیشتر از حالت خشکسالی است. به همین دلیل در حالت خشکسالی بی کربنات در تیپ دریاچه وجود ندارد.

جدول ۱۳. تیپ دریاچه ارومیه با انتقال آب از دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها در سناریو ترسالی.

|         |                           |         |                           |        |                                               |
|---------|---------------------------|---------|---------------------------|--------|-----------------------------------------------|
| 1393/7  | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1395/11 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1398/3 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl-(HCO <sub>3</sub> ) |
| 1393/8  | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1395/12 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1398/4 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl-(HCO <sub>3</sub> ) |
| 1393/9  | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1396/1  | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1398/5 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl-(HCO <sub>3</sub> ) |
| 1393/10 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1396/2  | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1398/6 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl-(HCO <sub>3</sub> ) |
| 1393/11 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1396/3  | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl | 1398/7 | Na-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl-(HCO <sub>3</sub> ) |



مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه  
با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۶۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

|         |              |         |                     |         |                     |
|---------|--------------|---------|---------------------|---------|---------------------|
| 1393/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/4  | Na-Mg-SO4-Cl        | 1398/8  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/5  | Na-Mg-SO4-Cl        | 1398/9  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/6  | Na-Mg-SO4-Cl        | 1398/10 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/7  | Na-Mg-SO4-Cl        | 1398/11 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/8  | Na-Mg-SO4-Cl        | 1398/12 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/9  | Na-Mg-SO4-Cl        | 1399/1  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/10 | Na-Mg-SO4-Cl        | 1399/2  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/11 | Na-Mg-SO4-Cl        | 1399/3  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1396/12 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/4  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/1  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/5  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/2  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/6  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/11 | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/3  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/7  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1394/12 | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/4  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/8  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/1  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/5  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/9  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/2  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/6  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/10 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/3  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/7  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/11 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/4  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/8  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1399/12 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/5  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/9  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1400/1  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/6  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/10 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1400/2  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/7  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/11 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1400/3  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/8  | Na-Mg-SO4-Cl | 1397/12 | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1400/4  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/9  | Na-Mg-SO4-Cl | 1398/1  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1400/5  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |
| 1395/10 | Na-Mg-SO4-Cl | 1398/2  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) | 1400/6  | Na-Mg-SO4-Cl-(HCO3) |



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۶۲ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

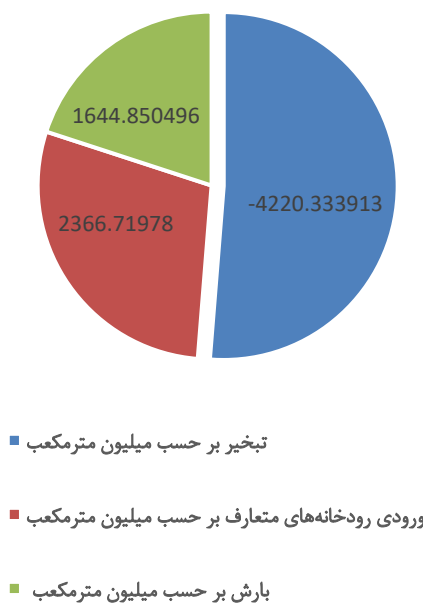
بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

### ۲-۲- شبیه سازی تغییرات کوتاه مدت یکساله

ابتدا به منظور درک بهتر از شرایط دریاچه در شکل 53 مقدار حجم تبخیر، بارش و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه نشان داده شده است. در شکل 54 خط سبز رنگ بیانگر سری زمانی تراز آب بدست آمده از معادلات یک بعدی بقای جرم آب و خط سیاه رنگ بیانگر تراز آب مشاهداتی در سال ۲۰۱۶ میلادی است. با استفاده از حل معادلات بقای جرم یک بعدی برای شوری، سری زمانی شوری آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۶ رسم شده است (شکل 55). این نتایج با نتایج مدل سه بعدی هیدرودینامیکی ارائه شده در جلد ۲ گزارشها نیز تطابق دارد.

بیان آب در سال 2016 میلادی



شکل ۵۳. سهم تبخیر، بارش و ورودی رودخانه ها در بیان آب دریاچه ارومیه.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

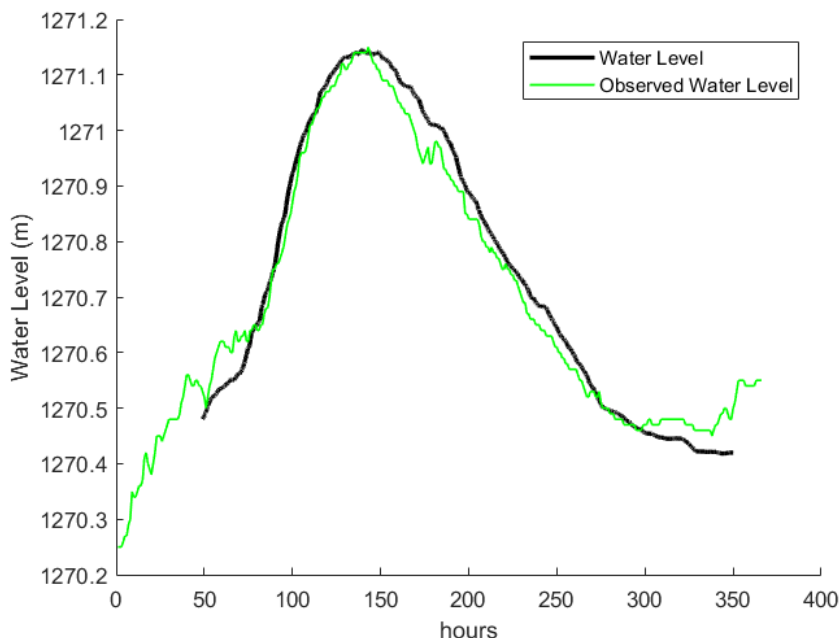


صفحه ۶۳ از ۷۵

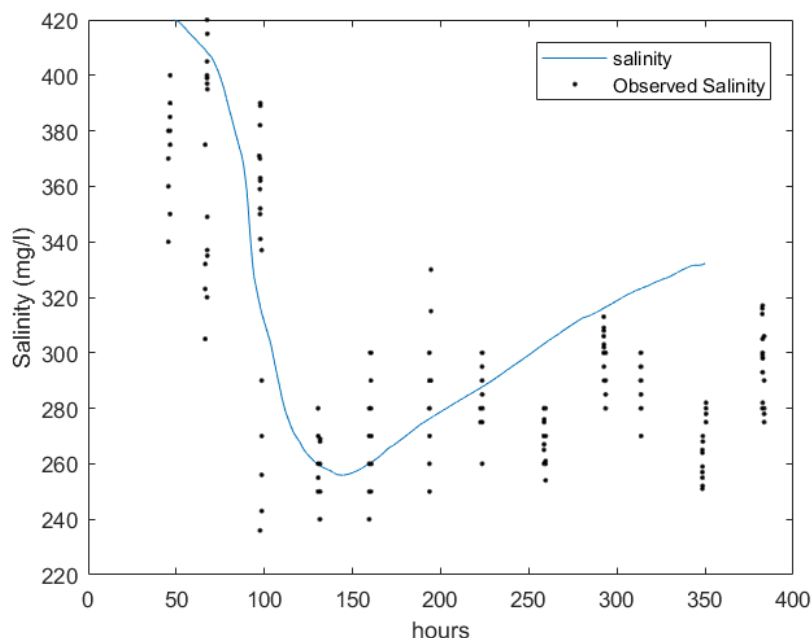
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۵۴. تراز آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۶ بدست آمده از معادلات بقای جرم.



شکل ۵۵. شوری آب دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۶ بدست آمده از معادلات بقای جرم.

با استفاده از مطالعات ردیاب در مدل سه بعدی FVCOM اثر انتقال آب از دریاچه وان در سال ۲۰۱۶ بررسی شده است. صحت سنجی و واسنجی این مدل در جلد ۲ و ۳ گزارشها ارائه شده است. با توجه به حجم بالای



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



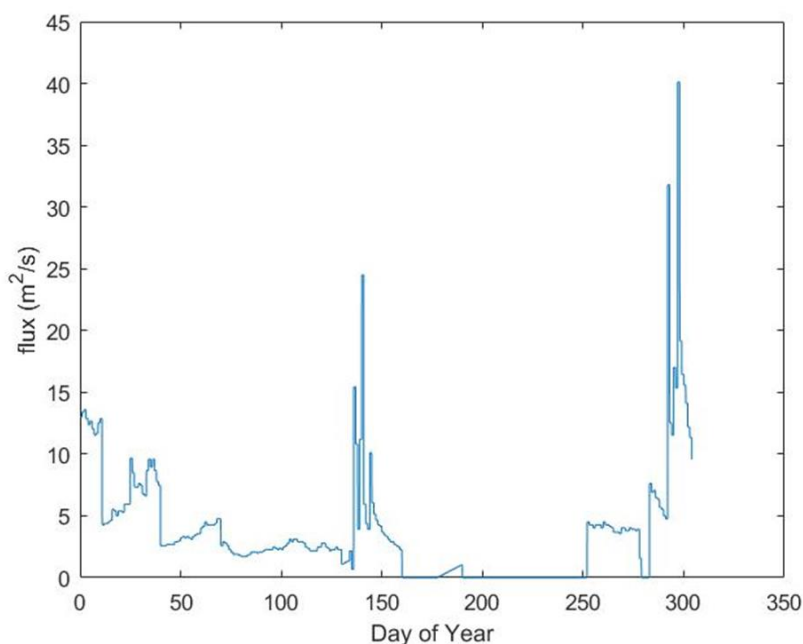
صفحه ۶۴ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

محاسبات در این مدل که با ۸۰ هسته به صورت پردازش موازی در مرکز پردازش موازی دانشگاه صنعتی شریف حدود ۴ روز طول خواهد کشید، از این مدل تنها برای بررسی تغییرات یک ساله استفاده شده است. در این مدل فرض شده است آب فقط از دریاچه وان منتقل شده است. غلظت ردیاب در دریاچه ارومیه و تمامی رودخانه های ورودی به آن صفر در نظر گرفته شده است. در مسیر انتقال آب غلظت ردیاب برابر ۱۰۰۰ فرض شده است. در تحقیقات پیشین دو مسیر برای انتقال آب از دریاچه وان پیشنهاد شده است. در قسمت معرفی طرح انتقال از دریاچه وان به تفصیل به بررسی این ۲ مسیر پرداخته شده است. برای هر دو مسیر دبی آب طبق شکل زیر وارد دریاچه ارومیه می شود. سایر ورودی ها و ملاحظات مربوط به مدل FVCOM به تفصیل در گزارش های جلد دوم و سوم آمده است.



شکل ۵۶. دبی ورودی از دریاچه وان به ارومیه در سال ۲۰۱۶.

### ۱-۲-۲- نتایج انتقال آب از مسیر اول

مسیر اول به دلیل عبور از زمین های کشاورزی مسیر احتمالی برای اجرا نمی باشد. در شکل ۵۷ میانگین مکانی تراز آب برای مسیر اول نشان داده شده است. طبق این نمودار تراز آب پس از انتقال آب از دریاچه وان حدود ۲ سانتیمتر بالا می آید.



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانانات ورودی متعارف و نامتعارف

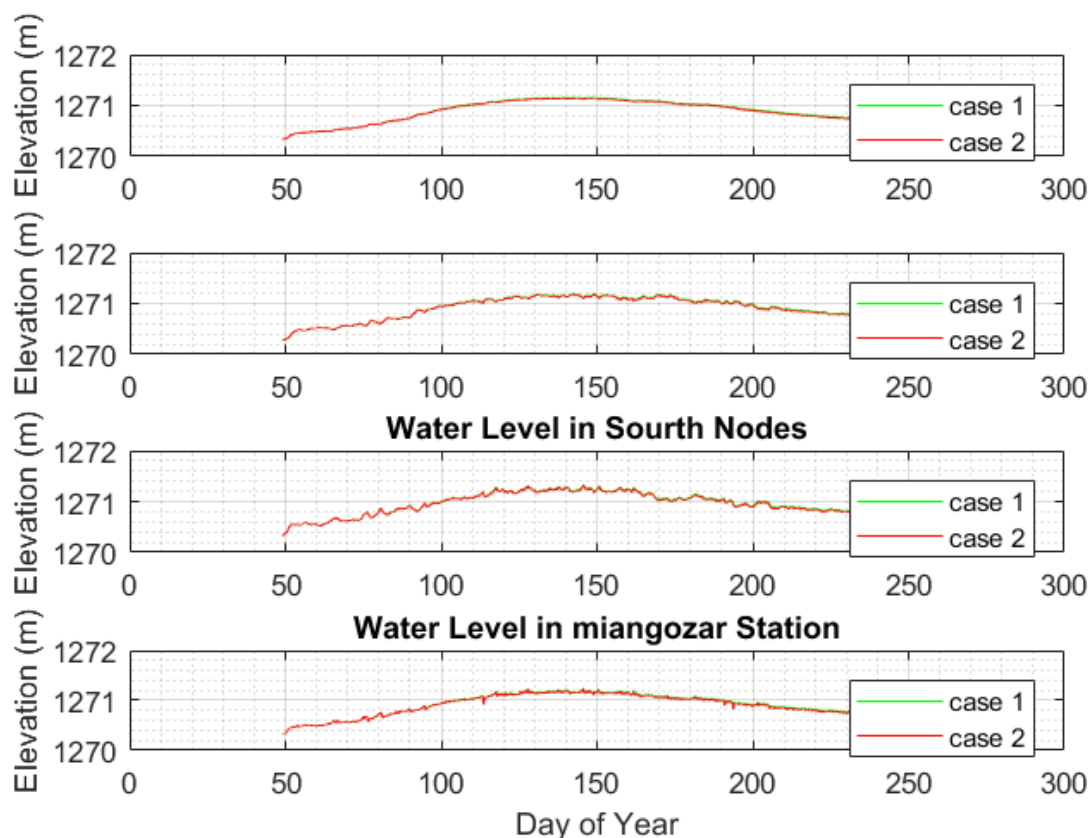


صفحه ۶۵ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴



شکل ۵۷. تراز دریاچه ارومیه به طور میانگین مکانی، در شمال، جنوب و میانگذر در سال ۲۰۱۶ پیش (با رنگ قرمز) و پس (با رنگ سبز) از انتقال آب از مسیر اول.

با داشتن کانتور غلظت ردیاب در سال ۲۰۱۶ در دریاچه ارومیه، می توان تعیین کرد که چه حجمی از آب توسط مسیر اول از دریاچه وان به هر یک از نواحی کانتور غلظت ردیاب وارد شده است. بر اساس پخش ردیاب می توان پخش مکانی هر یک از یون ها را در دریاچه ارومیه پیش بینی کرد. سپس با ترکیب این نتایج با مدل MIX در نرم افزار PHREEQC می توان غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی را در هر یک از نواحی کانتور غلظت ردیاب بدست آورد. در شکل ۵۸ کانتور میانگین ماهانه pH، غلظت کربن کل، یون های کلر، منیزیم، سدیم و سولفات مشخص شده است. در محل ورود کانال انتقال آب از دریاچه وان به دریاچه ارومیه، pH و غلظت کربن کل که از یون های غالب دریاچه وان است، از باقی نواحی بیشتر است. به طور بر عکس غلظت یون های کلر، منیزیم، سدیم و سولفات در محل ورودی کانال دریاچه وان کمتر از سایر نواحی است؛ زیرا این یون ها، یون های غالب دریاچه ارومیه هستند و با ورود آب از دریاچه وان غلظت آن ها کاهش یافته است. مطابق



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۶۶ از ۷۵

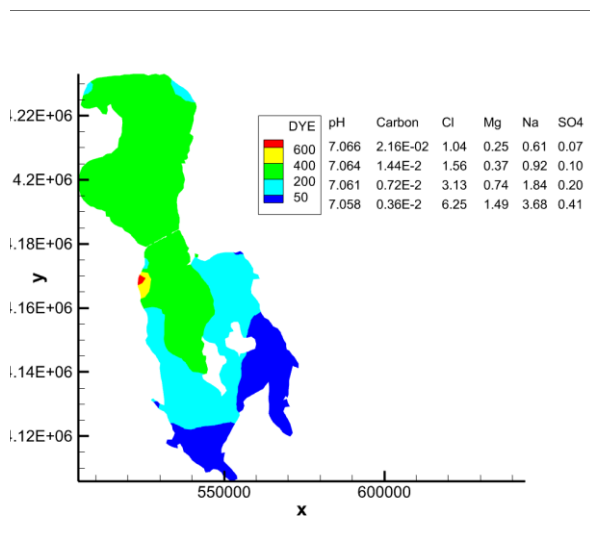
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

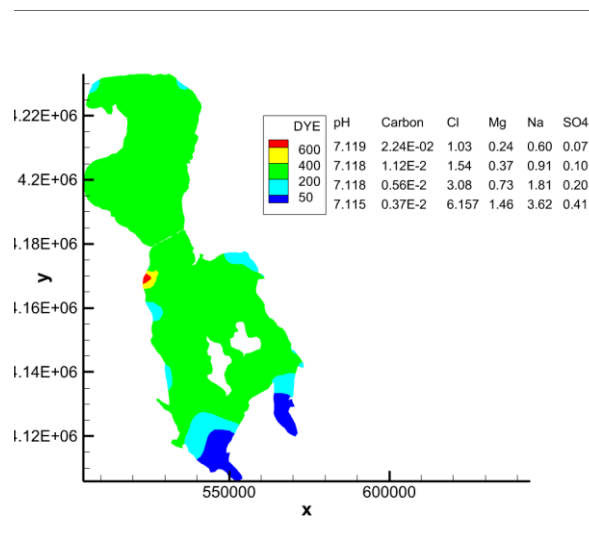
جلد ۴

کانتورها مشاهده می شود با اینکه مسیر اول به قسمت جنوبی دریاچه ارومیه متصل است، ولی شرایط قسمت شمالی دریاچه نیز تحت تاثیر این انتقال آب صورت گرفته است.

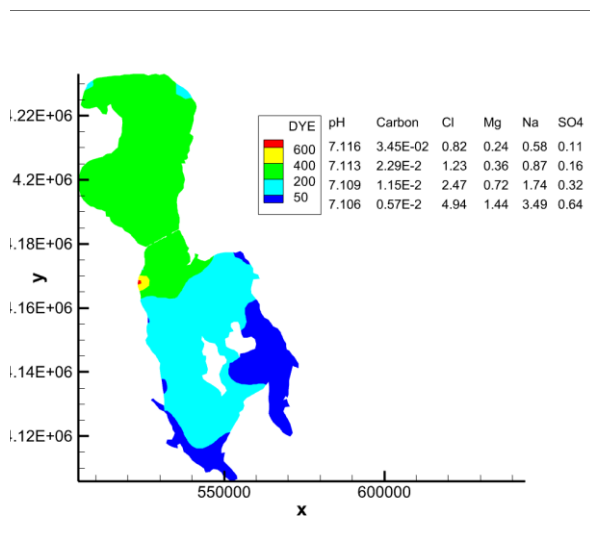
ماه دوم



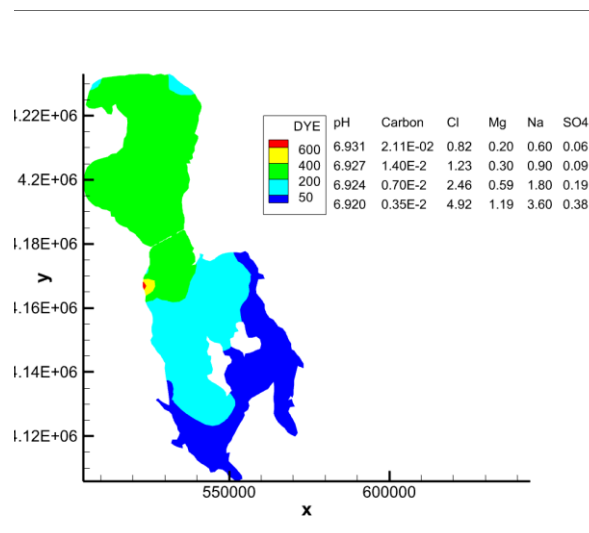
ماه اول



ماه چهارم



ماه سوم





# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



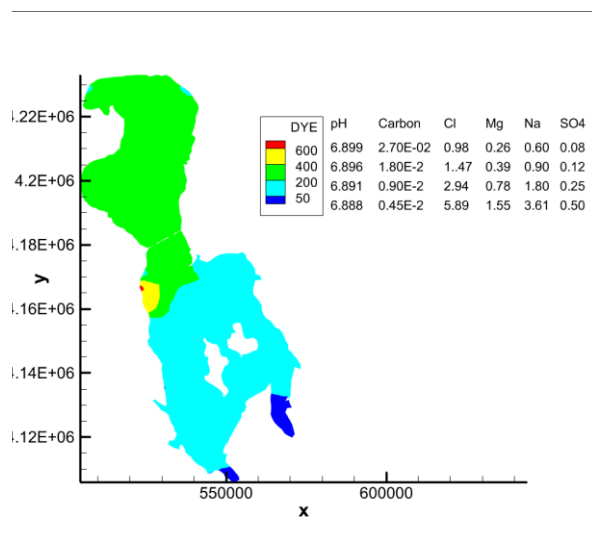
صفحه ۶۷ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

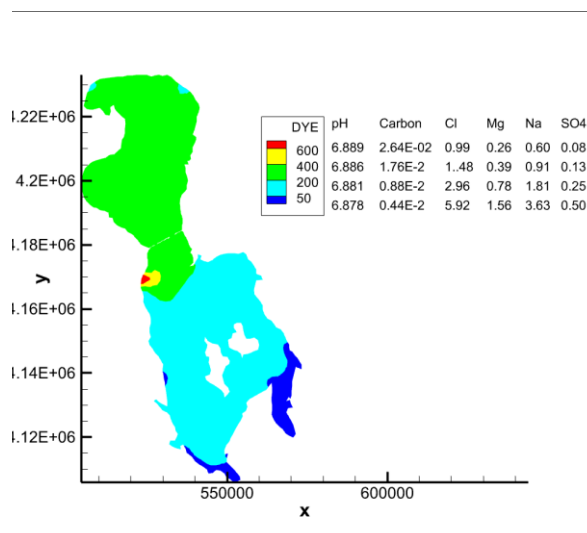
بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

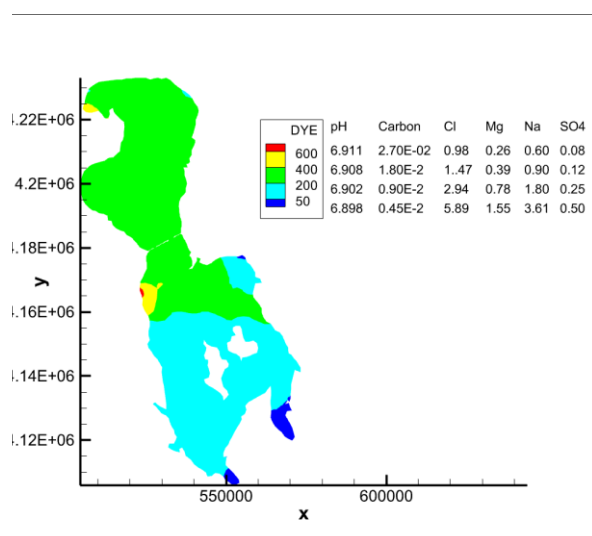
ماه ششم



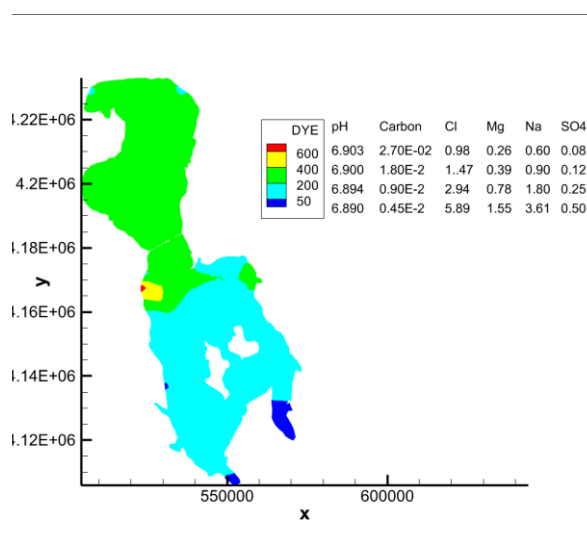
ماه پنجم



ماه هشتم



ماه هفتم



شکل ۵۸. کانتور میانگین ماهانه pH، غلظت کربن کل، یون های کلر، منیزیم، سدیم و سولفات



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۶۸ از ۷۵

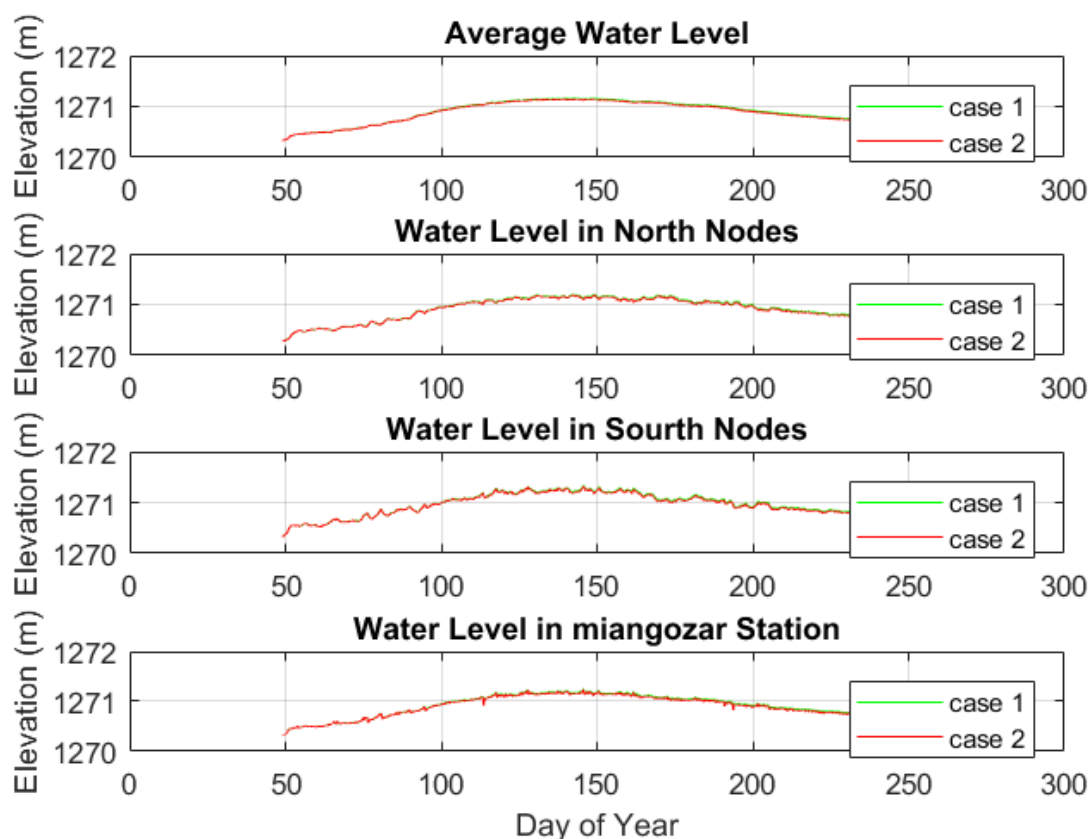
ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

### ۲-۲-۲- نتایج انتقال آب از مسیر دوم

دبی آب وارده به دریاچه ارومیه از دریاچه وان مانند مسیر یک در نظر گرفته شده است (شکل ۵۶). در شکل ۵۹ میانگین مکانی تراز آب برای مسیر اول نشان داده شده است. طبق این نمودار در مسیر دوم نیز تراز آب پس از انتقال آب از دریاچه وان حدود ۲ سانتیمتر بالا می آید. در کانتور میانگین ماهانه pH، غلظت کربن کل، یون های کلر، منیزیم، سدیم و سولفات همانند شیوه ذکر شده در مسیر اول رسم شده است. مسیر دوم از دریاچه ارومیه به قسمت جنوبی دریاچه ارومیه وارد می شود؛ با این حال غلظت یون های اصلی و تراز آب در قسمت شمالی نیز دستخوش تغییر شده است.



شکل ۵۹. تراز دریاچه ارومیه به طور میانگین مکانی، در شمال، جنوب و میانگذر در سال ۲۰۱۶ پیش (با رنگ قرمز) و پس (با رنگ سبز) از انتقال آب از مسیر دوم.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



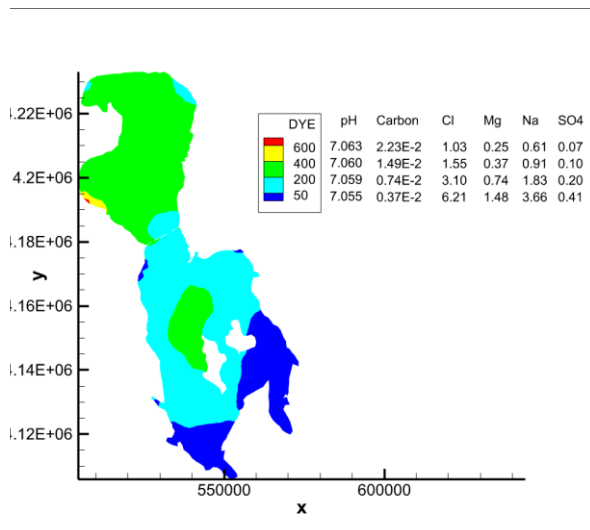
صفحه ۶۹ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

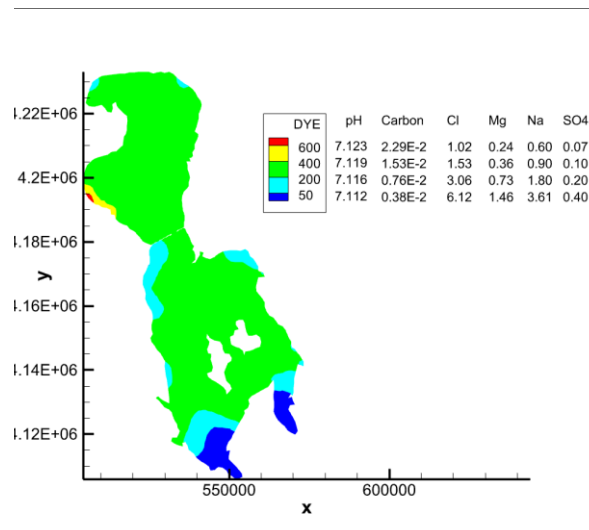
بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

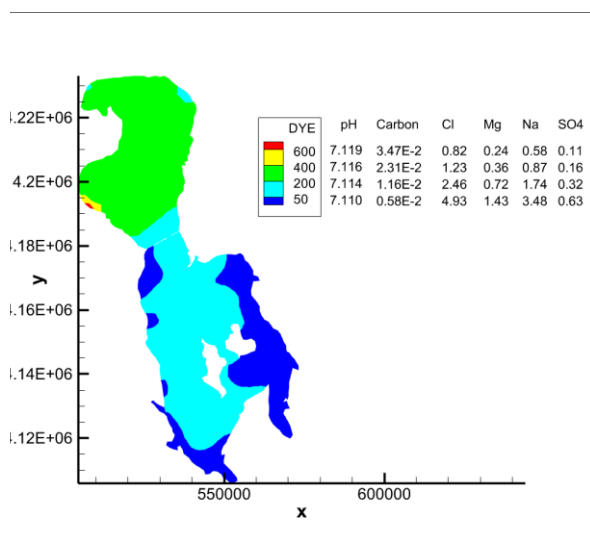
ماه دوم



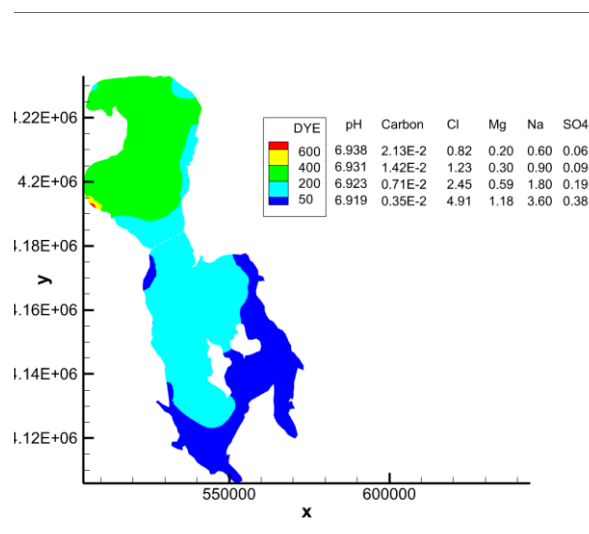
ماه اول



ماه چهارم



ماه سوم





# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



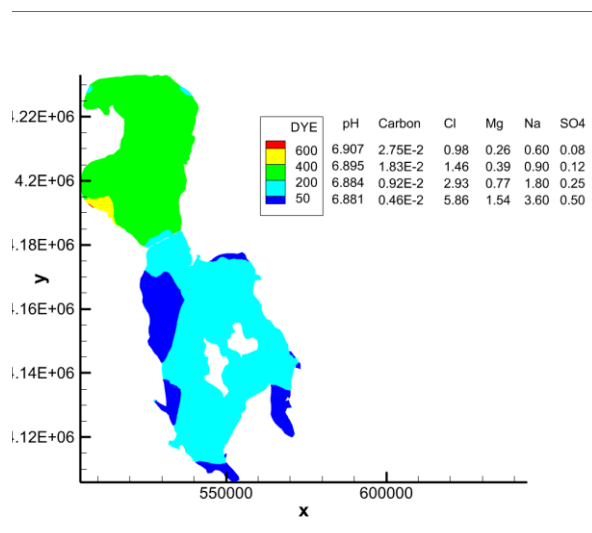
صفحه ۷۰ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

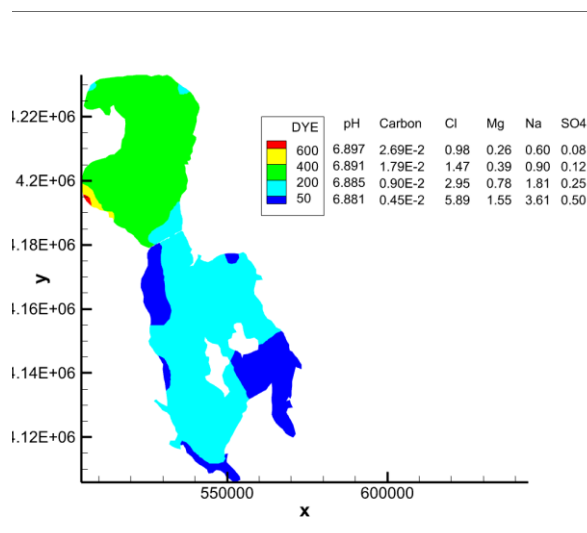
بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

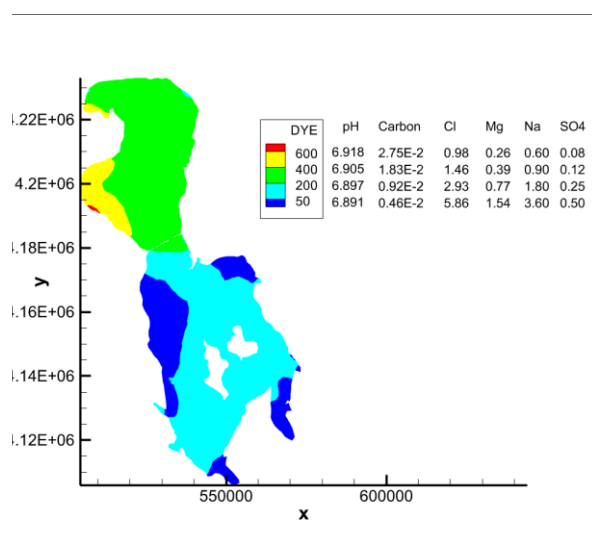
ماه ششم



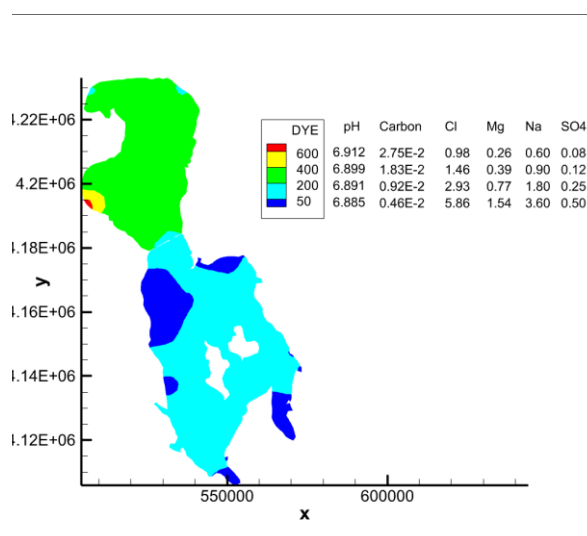
ماه پنجم



ماه هشتم



ماه هفتم



شکل ۶۰. کانتور میانگین ماهانه pH، غلظت کربن کل، یونهای کلر، منیزیم، سدیم و سولفات.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۷۱ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## ۳- نتیجه گیری

برای افزایش حجم آب دریاچه ارومیه، در مطالعات پیشین تاکنون پیشنهادات متفاوتی مبنی بر انتقال از دریای خزر، رود ارس، دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها بیان شده است. در این گزارش ابتدا خلاصه ای از پژوهش های قبلی صورت گرفته روی این طرح ها ارائه شده است. به منظور مطالعه خواص هیدرودینامیکی و هیدروشیمیایی آب دریاچه ارومیه پس از انتقال از ۳ منبع دریاچه وان، رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها از دو مدل بلند مدت و کوتاه مدت استفاده شده است. مدل بلند مدت برای دو سناریو خشکسالی و ترسالی با استفاده از نرم افزار PHREEQC شبیه سازی شده است. برای سناریو خشکسالی فرض شده است ورودی های مدل شامل حجم، pH، چگالی، غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی (کربن کل، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم و سولفات) در شرایط اولیه دریاچه و ورودی رودخانه ها مانند سال های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ است. برای سناریو ترسالی نیز فرض بر این است که پارامترهای ذکر شده منطبق بر سال های ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ است. با توجه به نرخ افزایش تراز آب در دریاچه وان حداکثر حجم انتقال آب از این دریاچه به گونه ای انتخاب شده است که در اثر انتقال آب از این دریاچه تراز آن تثبیت شده و کاهش نیابد. بنابراین ملاحظات، حداکثر حجم قابل انتقال از این دریاچه ۴۰۴ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است. این حجم حدود ۲۱۹ میلیون مترمکعب کمتر از حجم آب انتقالی از رودخانه زاب بوده و تنها حدود ۱۰۳ میلیون متر مکعب بیشتر از ورودی پساب برنامه ریزی شده بر اساس نقشه راه طرح نجات ملی دریاچه ارومیه می باشد. نتایج مدل سازی های انجام شده نشان داده اند خواص هیدروشیمیایی و تیپ دریاچه ارومیه پس از انتقال آب به شرایط اولیه دریاچه (حجم، تراز، pH، چگالی، غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی آب دریاچه) و حجم آب انتقالی از هر منبع دارد. در هر دو سناریوی ترسالی و خشکسالی به دلیل قلیایی بودن دریاچه وان و رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه pH دریاچه ارومیه افزایش می یابد. همچنین در این سناریو غلظت کربنات و بی کربنات افزایش یافته و در عین حال غلظت سایر یونهای غالب دریاچه ارومیه کاهش پیدا می کند. بررسی ها نشان می دهد در سناریوی خشک سالی تیپ دریاچه ارومیه بعد از ۱۰ سال اجرای طرح های انتقال آب متعارف و نامتعارف از تیپ  $\text{Na-Mg-Cl-(SO}_4\text{)}$  به حالت  $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$  تغییر پیدا خواهد کرد. از طرفی در سناریوی ترسالی که ۷ سال طول خواهد کشید تا تراز آب به تراز ۱۲۷۴ متر برسد، تیپ دریاچه از  $\text{Na-Mg-Cl-(SO}_4\text{)}$  بعد از چهار سال به تیپ  $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$  و سپس به تیپ  $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl (HCO}_3\text{)}$  تغییر پیدا می کند. پس از آن مدل FVCOM برای بررسی سه بعدی ویژگی های هیدرودینامیکی-کیفی دریاچه ارومیه پس از انتقال آب از دریاچه وان در سال ۲۰۱۶ به کار



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۷۲ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

گرفته شده است. با انتقال ۶۷۵ میلیون مترمکعب آب از دریاچه وان از طریق دو مسیر متفاوت، تراز دریاچه ارومیه به طور میانگین دو سانتی متر در طول دوره یک ساله مدلسازی افزایش می یابد. با ترکیب نتایج این مدل و مدل MIX، پیش بینی برای توزیع غلظت یون های اصلی و pH در دریاچه صورت گرفته است. نتایج بر این دلالت دارند که با ورود آب از دریاچه وان به جنوب دریاچه، شرایط قسمت شمالی دریاچه نیز دست خوش تغییر خواهد شد. بر اساس نتایج مدلسازی خصوصیات هیدروشیمیایی دریاچه با توجه به گردش جریان حاکم بر دریاچه، تفاوت توزیع شوری و بیسمتری در قسمت های مختلف، ورودی رودخانه ها و همچنین میزان فاصله از نقطه ورود آب انتقالی متفاوت خواهد بود.



# مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۷۳ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

## ۴. مراجع

- [۱] مصطفی کریمیان اقبال و گروه محققین، "بررسی انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه: مطالعه کانی شناسی و شیمیایی ترکیب آب دو دریاچه"، ۱۳۹۵.
- [۲] مجید نجیمی، دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه دفتر برنامه ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه، "گزارش کارگروه تخصصی احیای اکولوژیک دریاچه ارومیه"، ۱۳۹۳.
- [۳] وزارت نیرو، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، مطالعات احیای دریاچه ارومیه، "راهکار انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه"، گزارش اقدامات و مطالعات انجام یافته، دفتر برنامه ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه، ۱۳۹۵.
- [۴] ستاد احیای دریاچه ارومیه، "بررسی و ارزیابی کلان طرح انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه (جمع بندی نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته توسط کمیته ها و کارگروه های تخصصی ستاد احیای دریاچه ارومیه در خصوص طرح انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه)"، ۱۳۹۳.
- [۵] عقلمند، رضا و علی عباسی، دریاچه ارومیه: "چالش های زیست محیطی و راهکارهای کاهش اثرات آن"، چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ۱۳۹۶.
- [۶] جمهوری اسلامی ایران، وزارت نیرو، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران (آب نیرو)، "مطالعات انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه (مرحله شناخت)"، گزارش مطالعات هیدرولوژی، ۱۳۹۶.
- [۷] مهدی رجبی، سروش سراوانی، آرمین نوربخش، مسعود تجریشی، "ضرورت احیای دریاچه ارومیه و احیای دریاچه ارومیه علل خشکی و تهدیدات"، دانشگاه شریف، دبیرخانه مرکزی ستاد احیای دریاچه ارومیه کمیته اجتماعی فرهنگی ستاد احیای دریاچه ارومیه، ۱۳۹۴.
- [۸] W. Duan, K. Takara, and I. R. Assessment, Impacts of Climate and Human Activities on Water Resources and Quality, National Natural Science Foundation of China, 2020.
- [۹] Kadioğlu, M., Şen, Z. & Batur, E., The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change, Annales Geophysicae 15, 1997.
- [۱۰] کوشکی، رعنا، "دریاچه ها"، امور آب وزارت نیرو، ۱۳۹۳.
- [۱۱] امام جمعه، مهسا، "بررسی اولیه امکان سنجی انتقال آب از دریاچه وان به دریاچه ارومیه با توجه به خصوصیات فیزیوگرافی و شیمیایی"، ۱۳۹۵.
- [۱۲] وزارت نیرو، ب "ررسی تغییر شرایط محیطی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (مقایسه با دریاچه های مجاور)"، ۱۳۹۲.



## مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۷۴ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

- [۱۳] طایفه، نادره، "بررسی وضعیت دریاچه ارومیه و مقایسه همرفتاری آن با تغییرات سطح دریای خزر و دریاچه وان ترکیه و عوامل آب و هوایی منطقه"
- [۱۴] حمزه پور، نیکو، ملاعلی عباسیان، سارا، "نتایج آنالیز نمونه های آب دریاچه ارومیه و وان در نسبت های مختلف"، ۱۳۹۴
- [۱۵] B. Öztürk, N. Balk, K. C. Güven, A. Aksu, and M. Görgün, "Investigations on the Sediment of Lake VAN II . Heavy metals , sulfur , hydrogen sulfide Thiosulfuric acid S- ( 2-amino ethyl ester ) contents, vol. 11, pp. 125–137, 2005.
- [۱۶] شرکت توسعه منابع آب ایران، "مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی انتقال آب رودخانه کلاس به دریاچه ارومیه"، جلد اول، ۱۳۹۴
- [۱۷] شرکت توسعه منابع آب ایران، "مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی انتقال آب رودخانه کلاس به دریاچه ارومیه"، جلد دوم، ۱۳۹۴
- [۱۸] شرکت توسعه منابع آب ایران، "مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی انتقال آب رودخانه کلاس به دریاچه ارومیه"، جلد سوم، ۱۳۹۴
- [۱۹] شرکت توسعه منابع آب ایران، "مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی انتقال آب رودخانه کلاس به دریاچه ارومیه"، جلد چهارم، ۱۳۹۴
- [۲۰] وضعیت پروژه های انتقال پساب تصفیه خانه های استان به دریاچه ارومیه، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه دانشگاه ارومیه، <http://urmialake.urmia.ac.ir/>
- [۲۱] انتقال پساب تصفیه خانه های حوضه آبریز به دریاچه ارومیه، "ستاد احیای دریاچه ارومیه"، <http://www.ulrp.ir/fa/>
- [۲۲] K. S. Pitzer and G. Mayorga, "Thermodynamics of electrolytes. II. Activity and osmotic coefficients for strong electrolytes with one or both ions univalent," *J. Phys. Chem.*, vol. 77, no. 19, pp. 2300–2308, Sep. 1973, doi: 10/d43g36.
- [۲۳] D. L. Parkhurst and C. A. J. Appelo, "Description of input and examples for PHREEQC version 3: a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations," U.S. Geological Survey, Reston, VA, USGS Numbered Series 6-A43, 2013. doi: 10.3133/tm6A43.
- [۲۴] F. J. Millero, *Chemical oceanography*, 3rd ed. Boca Raton: CRC/Taylor and Francis, 2006.
- [۲۵] W. Stumm and J. J. Morgan, *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*, 3rd ed. New York: Wiley, 1996.



مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف



صفحه ۷۵ از ۷۵

ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0

بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه

جلد ۴

[۲۶] V. L. Snoeyink and D. Jenkins, *Water chemistry*. New York: Wiley, 1980.

[۲۷] K. S. Pitzer, Ed., *Activity coefficients in electrolyte solutions*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 1991.

[۲۸] لک، راضیه، "گزارش کمیته زمین شناسی"، ۱۳۹۵

[۲۹] امامی، ندا، "تحلیل ترمودینامیکی نحوه تغییرات زمانی غلظت نمک (مطالعه موردی: دریاچه ارومیه)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۶

# مجموعه داوری گزارش بررسی انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه

|                                                                                   |                                                                                                                      |                                           |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف |                                           |  |
| صفحه ۱ از ۷۵                                                                      | ULRP-SUT-BMAS-RPT004-REV0                                                                                            | بررسی انتقال آب نامتعارف به دریاچه ارومیه | جلد ۴                                                                               |

عنوان طرح پژوهشی

**مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف**

عنوان گزارش

**بررسی انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه**

مجری طرح:

عمار صفائی

همکاران:

فاطمه چمن مطلق

دانشکده مهندسی عمران

دانشگاه صنعتی شریف

آبان ۱۳۹۹

# داوری دور اول

## نظرات داور اول و پاسخ مجری به آن

پیوست

پاسخنامه داوری گزارش جلد ۴ پروژه مطالعات مدلسازی و تحلیل هیدرودینامیکی،  
شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

ضمن تشکر فراوان از داور محترم و نظرات ارزشمند ایشان، اصلاحات در متن گزارش چهارم اعمال شده است. در ادامه اصل نظرات همراه با پاسخ آن‌ها ارائه شده است.

| ردیف | شماره جلد | عنوان گزارش                                 | شماره مدرک           | شماره ویرایش |
|------|-----------|---------------------------------------------|----------------------|--------------|
| ۱    | چهارم     | بررسی انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه | ULRP-SUT-BMAS-RPT۰۰۴ | ۰            |

| اصلاحات انجام شده با توجه به نظر داور |      |                                                                                                                                                    |                                                                                             |
|---------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| ردیف                                  | صفحه | نظر داور                                                                                                                                           | توضیحات                                                                                     |
| ۱                                     | ۱    | با توجه به گزارش تهیه شده انتقال آب علاوه بر دریاچه وان از رودخانه زاب و پساب تصفیه خانه ها نیز صورت می پذیرد، لذا لازم است عنوان گزارش اصلاح شود. | نام گزارش به بررسی انتقال آب از منابع نامتعارف به دریاچه ارومیه تغییر یافت.                 |
| ۲                                     | ۲    | بر روی                                                                                                                                             | اصلاح شد.                                                                                   |
| ۳                                     | ۲    | در نهایت با توجه به مطالعه انجام شده چه پیشنهاد مدیریتی می توان ارائه نمود.                                                                        | در انتهای گزارش بخشی به نام راهکارهای مدیریتی و پیشنهادات برای تحقیقات آینده اضافه شده است. |
| ۴                                     | ۱۷   | با توجه به اینکه موضوع انتقال آب خزر نمی باشد پیشنهاد می گردد به صورت خلاصه تر ارائه گردد.                                                         | این بخش کوتاه تر شد.                                                                        |
| ۵                                     | ۱۹   | شماره جداول و شکل ها در داخل گزارش فارسی شود.                                                                                                      | اصلاح شد.                                                                                   |
| ۶                                     | ۱۹   | به صفحه بعد منتقل شود.                                                                                                                             | اصلاح شد.                                                                                   |
| ۷                                     | ۲۷   | پیشنهاد می شود در صورت امکان به صورت کمی و یا کیفی در انتهای این گزارش و یا همین بخش این مقایسه صورت پذیرد.                                        | در صفحه ۷۲ گزارش اصلاح شده در بخش جمع بندی شبیه سازی کوتاه مدت این توضیحات اضافه شد.        |
| ۸                                     | ۳۸   | پیشنهاد می شود در این بخش ترتیب زیر لحاظ گردد:<br>۱- ابتدا سناریوی انجام شبیه سازی ها معرفی گردد.<br>۲- مدل های استفاده شده معرفی گردد.            | اصلاح شد.                                                                                   |

|    |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    | ۳- شرایط در نظر گرفته شده برای شبیه سازی ها ارائه شود<br>۴- نتایج حاصله ارائه و بحث گردد.                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ۹  | ۵۳ | ضروری است یک جمع بندی و نتیجه گیری فنی و مدیریتی برای شبیه سازی سناریوی خشکسالی ارائه شود.                                                                                                                                                                                                                        | در گزارش اصلاح شده، در انتهای مدل بلندمدت، جمع بندی صورت گرفته است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| ۱۰ | ۶۲ | جمع بندی فنی و مدیریتی برای نتایج دوره تر سالی اضافه شود.                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ۱۱ | ۶۳ | موقعیت و دوره زمانی مشاهداتی معرفی شود.                                                                                                                                                                                                                                                                           | نتایج مربوط به دریاچه ارومیه بین تاریخ ۲۰۱۶/۲/۱۸ تا ۲۰۱۶/۱۲/۱۷ است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| ۱۲ | ۶۷ | در آخرین ویرایش جلد ۲ و ۳ انتقال آب از وان بررسی نشده است.                                                                                                                                                                                                                                                        | در گزارش های جلد دوم و سوم مدل FVCOM برای سال ۲۰۱۶ با در نظر گرفتن ورودی های متعارف (رودخانه ها) برای دریاچه ارومیه توسعه داده شده است. این مدل بدون در نظر گرفتن طرح های انتقال صحت سنجی شده است. در این گزارش به همان مدل ورودی دریاچه وان اضافه شده است.                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| ۱۳ | ۷۰ | کمی نامفهوم است، یعنی legend همگی یکی است؟                                                                                                                                                                                                                                                                        | بله، در مطالعات ردیاب فرض بر این است که پخش همه مواد مانند پخش ماده ردیاب است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ۱۴ | ۷۲ | در این بخش نیز یک جمع بندی ارائه شود. چه شد که فقط شبیه سازی انتقال آب دریاچه وان به ارومیه شبیه سازی شد؟ چرا اثر رودخانه ها و پساب به این صورت مدلسازی نشده است.                                                                                                                                                 | در این پروژه طبق خواسته کارفرما تمرکز اصلی روی انتقال آب از دریاچه وان بوده است. رودخانه زاب به علت شباهت بیشتر به دریاچه ارومیه نسبت به دریاچه وان طبق نظر کارفرما به صورت مجزا بررسی نشده است. حال آنکه دریاچه وان به علت شوری و خصوصیات شیمیایی متمایز با منابع دیگر نامتعارف متفاوت است. در صفحه ۷۲ گزارش اصلاح شده بخشی تحت عنوان جمع بندی شبیه سازی کوتاه مدت اضافه شده است. لازم به ذکر است شبیه سازی تغییرات کیفی دریاچه ارومیه در گزارش جلد ۵ با در نظر گرفتن اثرات توأم انتقال آب از تمام منابع نامتعارف شبیه سازی شده است. |
| ۱۵ | ۷۲ | پیشنهاد می شود نتایج به دست آمده توسط مطالعات تحلیل بیشتری شود و در نهایت جواب مشخصی به سوالات اصلی موضوع داده شود. به عنوان مثال: انتقال آب از حوزه های مورد بررسی چه میزان اثر بخش است؟ چه کمبودهایی برای پاسخ به سوال بالا وجود دارد؟ چه پیشنهادی برای تکمیل مطالعات جهت رسیدن به جواب مشخص میتوان ارائه نمود؟ | در صفحه ۷۵ گزارش اصلاح شده، بخشی با عنوان راهکارهای مدیریتی و پیشنهادات برای تحقیقات آینده اضافه شده است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |