



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



صفحه ۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

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

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

مجری طرح:

عمار صفائی

همکاران:

علی عالی فر

محمد علی معلمی

دانشکده مهندسی عمران

دانشگاه صنعتی شریف

مرداد 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 ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

چکیده

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مساحتی در حدود ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع، در میان سه استان آذربایجان شرقی، غربی و کردستان واقع است. این حوضه آبریز شور، بزرگترین دریاچه خاورمیانه و ازجمله مهم ترین و باارزش ترین اکوسیستم های طبیعی شور جهان به شمار می رود. دریاچه ارومیه در سال های اخیر بر اثر عوامل مختلف انسانی و طبیعی همچون عدم مدیریت درست منابع آبی حوضه، تغییرات اقلیمی مانند کاهش بارش و افزایش دما، مصارف بی رویه در بخش شرب، کشاورزی و صنعتی، اجرای طرح های زیربنایی بدون ارزیابی اثرات محیط زیستی همچون احداث پل میان گذر شهید کلانتری و در نتیجه توسعه ناپایدار منطقه، دچار خشک سالی شده و احیای آن با افزایش تراز دریاچه تنها راه چاره پیش رو می باشد. در راستای احیای دریاچه ارومیه کارشناسان علاوه بر پیشنهاد روش های احیای اکولوژیک درون حوضه ای، گزینه های متعدد بین حوضه ای دیگری از جمله انتقال آب از حوضه های آبریز وان و دریای خزر نیز پیشنهاد کرده اند. طرح های انتقال آب از حوضه های داخل و یا خارج دریاچه ارومیه، اگر چه می توانند کمبود آب دریاچه ارومیه را جبران نمایند، اما بایستی اثرات هیدرودینامیکی و کیفی آن بر حوضه مبدا و مقصد مورد ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش به منظور ارزیابی این اثرات، مدل هیدرودینامیکی-شیمیایی-کیفی دریاچه ارومیه توسعه داده شده است تا گزینه های مختلف احیای دریاچه از طریق انتقال آب های متعارف و نامتعارف، بر خصوصیات هیدرودینامیکی-شیمیایی-کیفی دریاچه ارومیه مقایسه و بررسی شوند. در این جلد از گزارش ها که مربوط به ارزیابی های کیفی است، ابتدا مشخصات حوضه آبریز دریاچه و منابع آب سطحی، زیرزمینی و رودخانه های منتهی به دریاچه مرور شده اند. سپس مطالعات پیشین کیفی در حوضه دریاچه ارومیه و رودخانه های ورودی به آن، ارائه شده اند. در ادامه مبانی مدل سازی شامل ورودی ها، مقادیر اولیه، معادلات حاکم و متغیرهای موثر بر مدل سه بعدی استفاده شده تحت عنوان Finite-Volume Community Ocean Model (FVCOM) توضیح داده شده اند. پس از مروری اجمالی بر پژوهش های به عمل آمده، نتایج شبیه سازی های انجام با استفاده از این مدل توسعه داده شده ارائه شده است. در نهایت نیز نتایج خروجی مدل با نتایج داده های میدانی اندازه گیری شده مقایسه و صحت سنجی شده است. در گزارش جلد چهارم و پنجم نیز با استفاده از این مدل هیدرودینامیکی - کیفی توسعه داده شده، سناریوهای مختلف انتقال آب بین حوضه ای و تاثیر هر کدام بر عملکرد هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه مورد بررسی قرار می گیرد.



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



صفحه ۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

فهرست مطالب

۱-مقدمه و مرور ادبیات فنی.....	۷
۱-۱- هدف و ضرورت.....	۱۱
۲-۱- مرور تاریخچه مطالعات کیفی در حوضه دریاچه ارومیه.....	۱۲
۳-۱- معرفی مدل FVCOM.....	۲۶
۴-۱- بررسی متغیرهای کیفی میدانی.....	۳۲
۵-۱- برآورد داده های کیفی مورد نیاز.....	۵۱
۲-روش انجام کار.....	۶۷
۱-۲- کوپل سازی مدل کیفی با مدل هیدرودینامیک.....	۶۷
۲-۲- مش بندی و المان های محاسباتی.....	۶۸
۳-۲- معادلات حاکم.....	۷۰
۳-نتایج مدل سازی کیفی.....	۷۴
۱-۳- کلروفیل-آ و فیتوپلانکتون.....	۷۵
۲-۳- اکسیژن محلول.....	۷۹
۳-۳- ارتوفسفات.....	۸۳
۴-۳- نیترات.....	۸۷
۵-۳- بررسی نتایج و پاسخ به سوالات شرح خدمات مرتبط با مدل سازی کیفی.....	۹۱
۴-نتیجه گیری.....	۹۶
۵-مراجع.....	۹۷



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



صفحه ۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

فهرست اشکال

- شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ایران..... ۷
- شکل ۲. نقشه رودخانه های اصلی و محل ورود آن ها به دریاچه ارومیه..... ۸
- شکل ۳. سهم رودخانه های ورودی در تأمین آب دریاچه ارومیه..... ۹
- شکل ۴. تسریع روند بیان زایی در اطراف دریاچه ارومیه طی سالیان اخیر..... ۱۰
- شکل ۵. دستگاه روتنر جهت نمونه گیری از آب دریاچه..... ۱۵
- شکل ۶. دستگاه روتنر استفاده شده برای نمونه گیری آب..... ۱۵
- شکل ۷. دستگاه اکسیژن متر..... ۱۶
- شکل ۸. موقعیت ایستگاه های اندازه گیری متغیرهای کیفی در رودخانه های ورودی به آن..... ۱۷
- شکل ۹. موقعیت ایستگاه های اندازه گیری متغیرهای کیفی در دریاچه ارومیه..... ۱۸
- شکل ۱۰. رابطه میان کل جامدات محلول دریاچه (برحسب گرم بر لیتر) با حجم آب دریاچه (میلیارد مترمکعب)..... ۲۱
- شکل ۱۱. رابطه میان کل جامدات محلول دریاچه (برحسب گرم بر لیتر) با تراز آب دریاچه (برحسب متر)..... ۲۲
- شکل ۱۲. ایستگاه های پایش کیفی رودخانه شهرچای..... ۲۴
- شکل ۱۳. دیاگرام ماژول های موجود در مدل کنونی FVCOM..... ۲۸
- شکل ۱۴. مقایسه تغییرات زمانی متغیرهای کیفی در خلیج چسپایک در ۳ ایستگاه مختلف در سال ۲۰۱۰ میلادی..... ۲۹
- شکل ۱۵. مقایسه نتایج مشاهداتی (نقاط توپر) با نتایج مدل سازی متغیر اشرشیاکی..... ۳۰
- شکل ۱۶. مقایسه نتایج مشاهداتی (نقاط توپر) با نتایج مدل سازی متغیر هدایت الکتریکی..... ۳۱
- شکل ۱۷. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U1 دریاچه ارومیه برحسب روز درسال ۲۰۱۶..... ۳۴
- شکل ۱۸. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U2 دریاچه ارومیه برحسب روز درسال ۲۰۱۶..... ۳۵
- شکل ۱۹. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U3 دریاچه ارومیه برحسب روز درسال ۲۰۱۶..... ۳۶
- شکل ۲۰. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U4 دریاچه ارومیه برحسب روز درسال ۲۰۱۶..... ۳۷
- شکل ۲۱. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U5 دریاچه ارومیه برحسب روز درسال ۲۰۱۶..... ۳۸
- شکل ۲۲. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U6 دریاچه ارومیه برحسب روز درسال ۲۰۱۶..... ۳۹
- شکل ۲۳. موقعیت ایستگاه های اندازه گیری میدانی در دریاچه و رودخانه های ورودی آن..... ۴۱
- شکل ۲۴. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R1 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۴۳
- شکل ۲۵. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R2 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۴۴
- شکل ۲۶. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R3 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۴۵
- شکل ۲۷. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R4 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۴۶
- شکل ۲۸. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R5 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۴۷
- شکل ۲۹. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R6 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۴۸
- شکل ۳۰. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R7 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۴۹
- شکل ۳۱. نمودار PO_4 , NO_3 , DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R8 برحسب زمان (روز) درسال ۲۰۱۶..... ۵۰
- شکل ۳۲. نمودار OP , ON , $Chl-a$ و NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه U1 دریاچه ارومیه برحسب روز درسال ۲۰۱۶..... ۵۳



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



صفحه ۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- شکل ۳۳. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه U2 دریاچه ارومیه برحسب روز در سال ۲۰۱۶..... ۵۴
- شکل ۳۴. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه U3 دریاچه ارومیه برحسب روز در سال ۲۰۱۶..... ۵۵
- شکل ۳۵. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه U4 دریاچه ارومیه برحسب روز در سال ۲۰۱۶..... ۵۶
- شکل ۳۶. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه U5 دریاچه ارومیه برحسب روز در سال ۲۰۱۶..... ۵۷
- شکل ۳۷. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه U6 دریاچه ارومیه برحسب روز در سال ۲۰۱۶..... ۵۸
- شکل ۳۸. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R1 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۵۹
- شکل ۳۹. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R2 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۶۰
- شکل ۴۰. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R3 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۶۱
- شکل ۴۱. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R4 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۶۲
- شکل ۴۲. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R5 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۶۳
- شکل ۴۳. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R6 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۶۴
- شکل ۴۴. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R7 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۶۵
- شکل ۴۵. نمودار $CHL-a$, OP , NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R8 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۶۶
- شکل ۴۶. فلوجارت مدل هیدرودینامیکی-شیمیایی-بیولوژیکی..... ۶۷
- شکل ۴۷. فلوجارت فرایندهای بیولوژیکی..... ۶۸
- شکل ۴۸. مش بندی و المان های دریاچه به همراه بسیمتری..... ۶۹
- شکل ۴۹. نمودار کلروفیل-آ در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۷۵
- شکل ۵۰. نتایج ۲ بعدی فیتوپلانکتون در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶..... ۷۶
- شکل ۵۱. نتایج ۳ بعدی فیتوپلانکتون در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶..... ۷۷
- شکل ۵۲. نتایج ۳ بعدی فیتوپلانکتون در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶..... ۷۸
- شکل ۵۳. نمودار اکسیژن محلول در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۷۹
- شکل ۵۴. نتایج ۲ بعدی اکسیژن محلول در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۰
- شکل ۵۵. نتایج ۳ بعدی اکسیژن محلول در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۱
- شکل ۵۶. نتایج ۳ بعدی اکسیژن محلول در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۲
- شکل ۵۷. نمودار ارتوفسفات در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۸۳
- شکل ۵۸. نتایج ۲ بعدی ارتوفسفات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۴
- شکل ۵۹. نتایج ۳ بعدی ارتوفسفات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۵
- شکل ۶۰. نتایج ۳ بعدی ارتوفسفات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۶
- شکل ۶۱. نمودار نترات در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶..... ۸۷
- شکل ۶۲. نتایج ۲ بعدی نترات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۸
- شکل ۶۳. نتایج ۳ بعدی نترات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶..... ۸۹
- شکل ۶۴. نتایج ۳ بعدی نترات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶..... ۹۰



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



صفحه ۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

فهرست جداول

- جدول ۱. میانگین مقادیر pH و هدایت الکتریکی در نمونه آب دریاچه ارومیه (بدون سانتریفیوژ)..... ۱۳
- جدول ۲. میانگین مقادیر pH و هدایت الکتریکی در نمونه آب دریاچه ارومیه (پس از سانتریفیوژ)..... ۱۳
- جدول ۳. متوسط غلظت یون های مختلف اندازه گیری شده در آب دریاچه ارومیه ۱۴
- جدول ۴. مشخصات کیفی آب تالاب های حوضه دریاچه ارومیه ۱۶
- جدول ۵. نمونه داده های اندازه گیری شده کیفی ۱۹
- جدول ۶. مشخصات کیفی آب دریاچه ارومیه در ایستگاه رحمانلو ۲۰
- جدول ۷. متغیرهای کیفی اندازه گیری شده توسط آق و همکاران برحسب گرم بر لیتر در عمق ۱ متر ۲۳
- جدول ۸. مقایسه برخی از متغیرهای کیفی دریاچه ارومیه طی ۵۰ سال اخیر برحسب گرم بر لیتر ۲۳
- جدول ۹. میانگین سالیانه متغیرهای کیفی اندازه گیری شده در طول رودخانه شهرچای در ۶ ایستگاه ۲۵
- جدول ۱۰. متغیرهای کیفی موجود برای ۶ ایستگاه دریاچه ۳۲
- جدول ۱۱. دبی روزانه رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه ۴۰
- جدول ۱۲. متغیرهای موجود در فایل ورودی رودخانه ها ۴۲



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



صفحه ۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۱- مقدمه و مرور ادبیات فنی

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مساحتی در حدود ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع، در میان ۳ استان آذربایجان شرقی، غربی و کردستان واقع است. این حوضه آبریز شور، بزرگترین دریاچه خاورمیانه و ازجمله مهم ترین و بالارزش ترین اکوسیستم های طبیعی شور جهان به شمار می رود [۱]، [۲]. شکل ۱ موقعیت این حوضه آبریز را در شمال غربی ایران نشان می دهد.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ایران [۱]

دریاچه ارومیه واقع در این حوضه آبریز، در سال ۱۳۴۶ به عنوان پارک ملی و جزو مناطق حفاظت شده قرار گرفت. مشخصات حوضه آبریز ارومیه در جلد ۱ گزارشها ارائه شده است. تراز اکولوژیک دریاچه نیز ۱۲۷۴/۱ متر می باشد که در سال های اخیر به حدود ۱۲۷۰ متر و میزان نمک محلول در دریاچه نیز به رقم ۵۰۰ گرم بر لیتر رسیده است [۱]. این تغییرات در کیفیت آب و اکوسیستم دریاچه تأثیر بسزایی داشته و می بایست به صورت دقیق مورد پایش قرار گیرند.



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



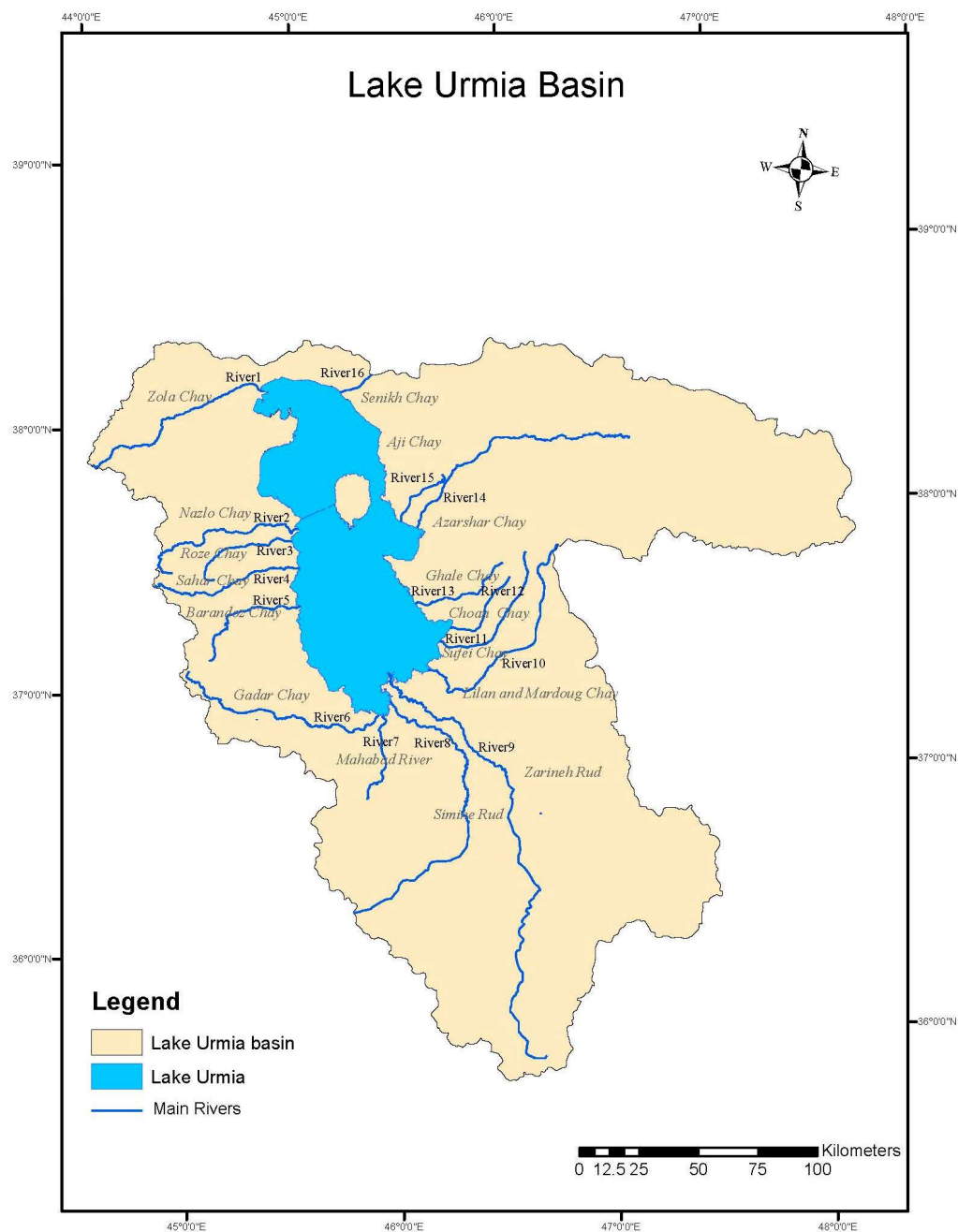
صفحه ۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

مهم ترین منابع آب ورودی به دریاچه، بارش باران و رودخانه های ورودی به دریاچه می باشند [۱]. شکل ۲ رودخانه های اصلی ورودی به دریاچه ارومیه را نشان می دهد.



شکل ۲. نقشه رودخانه های اصلی و محل ورود آن ها به دریاچه ارومیه



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



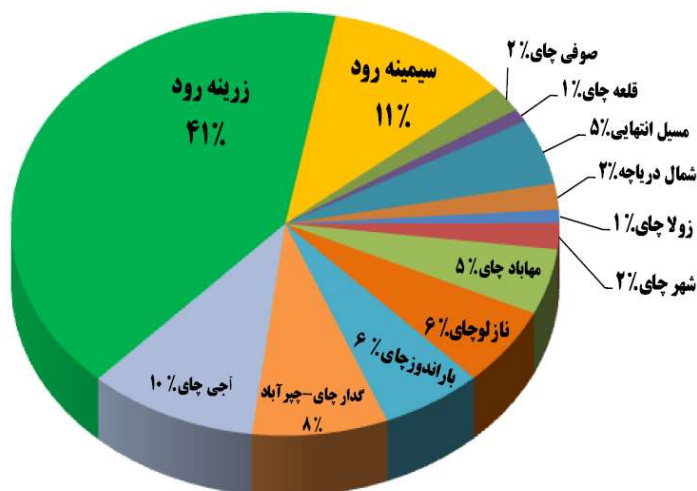
صفحه ۹ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

رودخانه های آجی چای، چوان چای، سنخ چای، آذرشهر چای، قلعه چای، صوفی چای، مردوق چای، لیلان چای، زرينه رود، سيمينه رود، مهاباد چای، گادار چای، باراندوز چای، شهر چای، روضه چای، نازلو چای و زولا چای. آورد این رودخانه ها تأثیر زیادی در میزان شوری و وضعیت کیفی دریاچه دارند و کیفیت آب دریاچه را تعیین می کنند. رودخانه های جنوبی از جمله زرينه رود و سيمينه رود سهم قابل توجهی در تأمین آب دریاچه دارند (شکل ۳). به گونه ای که در مجموع در حدود ۵۰٪ آب دریاچه را تأمین می کنند [۱]. مهم ترین منبع شوری دریاچه نیز، جریان سطحی ورودی به دریاچه عنوان شده است که بر اثر تجمع این املاح در داخل محیط آبی بسته دریاچه ارومیه، به تدریج بر شوری دریاچه افزوده می شود. بیشترین آورد سالانه مربوط به رودخانه آجی چای با آورد سالانه ۱۲۷۱ هزار تن مواد محلول می باشد. میزان نمک دریاچه نیز طی دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۴۴ برابر ۲۰۵ گرم بر لیتر (معادل ۶/۶ میلیارد تن) برآورد شده است. میانگین EC (هدایت الکتریکی) دریاچه نیز در حدود ۳۸۲۷۴۰ میکروموس بر سانتی متر می باشد. میزان TDS (جامدات محلول کل) نیز بر اساس روابط تجربی میان EC و TDS چیزی در حدود ۲۲۰ گرم بر لیتر بدست آمده است [۳].



شکل ۳. سهم رودخانه های ورودی در تأمین آب دریاچه ارومیه [۱]



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



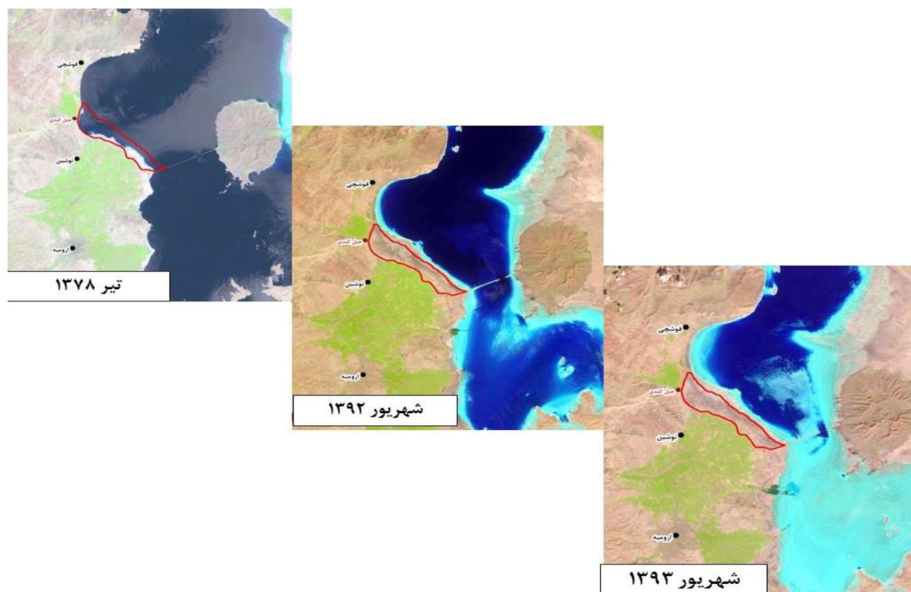
صفحه ۱۰ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

روند نزولی تراز آب دریاچه ارومیه نیز در سال ۱۳۷۴ آغاز شده و تا امروز با افت حدود ۸ متر ادامه پیدا کرده است. به طور متوسط سالانه در حدود ۴۰ سانتی متر از تراز آب دریاچه کاسته می شود. روند خشکی دریاچه طی سالیان اخیر در شکل زیر به وضوح مشخص است به طوری که در سال ۱۳۹۳ قسمت جنوبی دریاچه به طور کامل خشک شده است [۱]. یکی از مهم ترین نتایج مخرب این خشکیدگی، بیابان زایی و ایجاد کانون ریزگرد در منطقه می باشد [۲]. در شکل ۴ روند تغییرات تراز آب دریاچه و به تبع آن خشکیدگی و بیابان زایی منطقه به خوبی پیداست.



شکل ۴. تسریع روند بیابان زایی در اطراف دریاچه ارومیه طی سالیان اخیر [۱]

مجموعه عوامل انسانی و اقلیمی در خشکی و تغییر کیفیت آب دریاچه ارومیه دخیل هستند؛ مهم ترین این عوامل عبارتند از [۱]:

- اجرای طرح های توسعه منابع آب بدون ملاحظات و مطالعات زیست محیطی
- توسعه ناپایدار بخش کشاورزی و ورود مواد آلاینده از این بخش به داخل رودخانه ها
- بهره وری پایین آب



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



صفحه ۱۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- نوسانات اقلیمی همچون کاهش بارش، افزایش دما و تبخیر

- برداشت غیرمجاز از منابع آب ورودی به دریاچه ارومیه

به طور کلی میزان مصرف آب در حوضه آبریز دریاچه نیز حدود ۴۸۵۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است که ۴۱٪ درصد آن مربوط به آب های زیرزمینی، ۵۹٪ آن مربوط به آب های سطحی و مابقی سهم برداشت مستقیم از منابع حوضه است. بیشترین درصد مصرف نیز (در حدود ۹۰٪) به بخش کشاورزی تعلق دارد این در حالی است که بخش های شرب، بهداشت و صنعت روی هم حدود ۱۰٪ سهم دارند. استان آذربایجان غربی نیز با ۶۸٪ مصرف، بیشترین مصرف منابع آب را به خود اختصاص داده و استان های آذربایجان شرقی و کردستان به ترتیب با ۳۰٪ و ۲٪ پس از آن قرار دارند [۲].

۱-۱- هدف و ضرورت

هدف از این گزارش در ابتدا بررسی متغیرهای کیفی اندازه گیری شده در جریان های ورودی به رودخانه سپس مرور تاریخچه مطالعات کیفی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می باشد. در ادامه نیز پس از کوپل سازی مدل هیدرودینامیک و مدل کیفی، روند انجام مدل سازی کیفی شامل مقادیر ورودی، مقادیر مرزی و معادلات حاکم بر مسئله ارائه داده می شود. پس از مدل سازی نیز کالیبراسیون و صحت سنجی مدل صورت می گیرد. ارائه نتایج مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه با استفاده از مدل ¹FVCOM و مقایسه نتایج بدست آمده از مدل با مقادیر اندازه گیری شده میدانی نیز برای واسنجی مدل توسعه داده شده استفاده می شود. پس از اطمینان از عملکرد مدل، با استفاده از مدل توسعه داده شده سناریوهای مختلف انتقال آب بین حوضه ای از جمله انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه، انتقال آب رودخانه زاب به دریاچه ارومیه و انتقال پساب تصفیه خانه ها در جلدهای بعدی گزارش بررسی خواهد شد. نتایج این پروژه پژوهشی می تواند تأثیر هرکدام از این سناریوها را بر احیای دریاچه ارومیه و تغییر احتمالی خصوصیات هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه مشخص نماید.

¹ Finite Volume Community Ocean Model



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



صفحه ۱۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۲-۱- مرور تاریخچه مطالعات کیفی در حوضه دریاچه ارومیه

خشک سالی سال های اخیر حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران، زندگی حدود ۶ میلیون نفر را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین لازم است تا اقدامات لازم جهت احیای این اکوسیستم با ارزش طبیعی انجام گیرد. این خشک سالی بایستی از جهات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مورد بررسی قرار گیرد [۴]. از جمله مباحثی که در بحث محیط زیست دریاچه و حوضه آبریز مربوط به آن اهمیت دارد، تغییرات متغیرهای کیفی رودخانه های ورودی و دریاچه ارومیه می باشد. شناخت متغیرهای کیفی به ما کمک می کند تا با دانش کافی و مطالعه لازم به دنبال راه حل های مناسب جهت احیای دریاچه باشیم. در ادامه خلاصه ای از مطالعات انجام شده در زمینه کیفیت آب در حوضه دریاچه ارومیه آورده شده است.

در سال ۱۳۹۵ کریمیان اقبال به همراه گروه محققین، جهت بررسی انتقال آب از دریاچه وان به دریاچه ارومیه گزارشی تهیه کرده و در آن به برخی از متغیرهای کیفی دریاچه ارومیه اشاره نمودند. این متغیرها جزو عوامل تأثیرگذار در اختلاط آب دو دریاچه به شمار می رفتند. در این مطالعه به منظور حذف ذرات معلق از آب دریاچه، نمونه های ۱۰۰۰ دور در ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند و سپس مقادیر pH و EC آن ها در نمونه خالص، ۱۰ و ۱۰۰ بار رقیق شده با آب مقطر، اندازه گیری شد. با توجه به نتایج داده شده در جداول ۱ و ۲، سانتریفیوژ کردن نمونه ها تأثیری در pH و EC نمونه ها نداشت. با رقیق نمودن نمونه ها نیز، هدایت الکتریکی آب دریاچه ارومیه، به صورت غیرخطی کاهش یافت. همچنین این رقیق سازی سبب افزایش pH آب دریاچه شد [۴].



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



صفحه ۱۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

جدول ۱. میانگین مقادیر pH و هدایت الکتریکی در نمونه آب دریاچه ارومیه (بدون سانتیفریوژ) [۴]

مقدار	نسبت رقیق سازی با آب مقطر	متغیر
۷/۰۴	۱	pH
۹/۰۳	۱۰	
۹/۱۶	۱۰۰	
۱۵۳/۳۶	۱	EC (ds/m)
۴۸/۲۲	۱۰	
۶/۸۶	۱۰۰	

جدول ۲. میانگین مقادیر pH و هدایت الکتریکی در نمونه آب دریاچه ارومیه (پس از سانتیفریوژ) [۴]

مقدار	نسبت رقیق سازی با آب مقطر	متغیر
۷/۰۶	۱	pH
۸/۸۸	۱۰	
۹/۲۱	۱۰۰	
۱۵۷/۴۷	۱	EC (ds/m)
۴۸/۱۷	۱۰	
۶/۸۶	۱۰۰	



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



صفحه ۱۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

از آنالیز شیمیایی آب دریاچه ارومیه نیز مشخص شد غلظت یون های سدیم و پتاسیم در آب دریاچه بالاست. در مقابل غلظت منیزیم و کلسیم ناچیز است. با توجه به pH آب دریاچه و اندازه گیری های انجام شده، میزان یون HCO_3^- و CO_3^{2-} ناچیز بود. همچنین به علت نمک بستر دریاچه، در کنار سدیم، غلظت کلر آب دریاچه نیز بالاست. در کل ترکیبات یونی غالب دریاچه ارومیه، MgCl و NaCl می باشند [۴]. متوسط غلظت یون های مختلف اندازه گیری شده در آب دریاچه ارومیه بر حسب گرم بر لیتر در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. متوسط غلظت یون های مختلف اندازه گیری شده در آب دریاچه ارومیه [۴]

غلظت متغیر کیفی (گرم بر لیتر)	متغیر کیفی
۰/۳۰	Ca^{2+}
۳۷/۰۹	Mg^{2+}
۶۴/۳۸	Na^{+}
۸/۱۶	K^{+}
۱۷۲/۷۹	Cl^{-}
۰/۱۲	HCO_3^{-}
۰/۸۴	CO_3^{2-}
۵۸/۶۰	SO_4^{2-}

در مطالعه ای دیگر، آق و همکاران به بررسی خصوصیات کیفی دریاچه ارومیه و تالاب های آقماری حوضه آبریز آن پرداختند. به منظور نمونه گیری از آب، از دستگاه روتنر (شکل ۵ و ۶) استفاده شده است. pH و درجه حرارت آب در محل و به وسیله دستگاه مالتی متر مدل CRISON MM40 صورت گرفت. همچنین DO آب توسط دستگاه اکسیژن متر (شکل ۷) اندازه گیری گردید. اندازه گیری مستقیم شوری آب نیز به علت شوری بالای آب دریاچه به صورت مستقیم امکان پذیر نبود و بایستی از نمونه رقیق شده استفاده می شد [۵].



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



صفحه ۱۵ از ۹۹

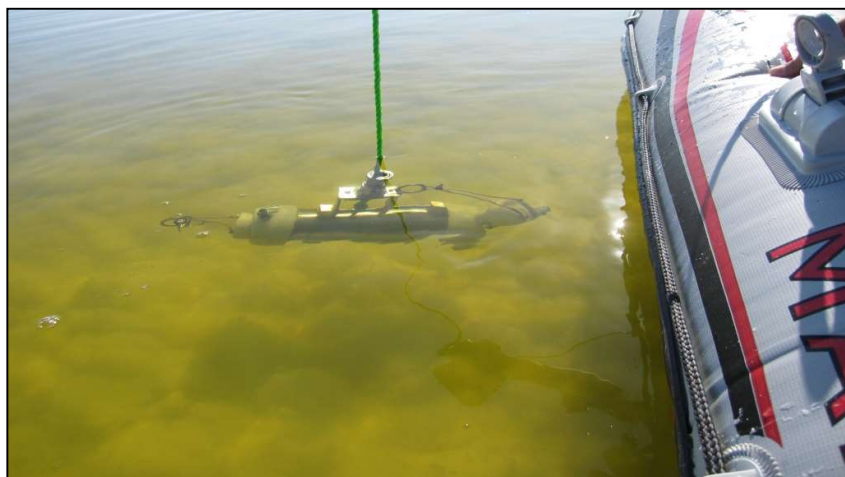
ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۵. دستگاه روتنر جهت نمونه گیری از آب دریاچه (<http://bescoh.ir>)



شکل ۶. دستگاه روتنر استفاده شده برای نمونه گیری آب [۵]



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



صفحه ۱۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۷. دستگاه اکسیژن متر [۵]

متغیرهای نیتريت، نترات، فسفات، سيليكات، آمونوم، نيتروژن كل و فسفر كل نيز با استفاده از دستگاه فتومتر اندازه گيري شدند. غلظت كاتيون هاي فلزاتي همچون سدیم، پتاسیم، كلسیم و منیزیم و همچنین آنیون های كلريد و سولفات نيز با استفاده از روش کروماتوگرافي يونی بر اساس توصیه EPA مشخص شدند. به منظور محاسبه كربنات و بی كربنات آب (قلیائیت) نيز كه در pH آب نقش مهمی را ایفا می كنند از روش تیتراسیون با اسیدسولفوریک ۰/۰۲ نرمال و شناساگر متیل اورانژ و فنل فتالئین استفاده گردید [۵]. برای تالاب های سولدوز، دورگه سنگی و كانی برازان در حوضه دریاچه ارومیه نيز متغیرهای کیفی pH، كل جامدات محلول (TDS) و عمق آب اندازه گيري شد كه در جدول ۴ مقادیر آنها آورده شده است.

جدول ۴. مشخصات کیفی آب تالاب های حوضه دریاچه ارومیه [۵]

	pH		TDS(g/lit)		(سانتیمتر) عمق آب	
تالاب سولدوز	۸/۱۵		۴/۱۲		۱۰۵	
تالاب دورگه سنگی (ایستگاه شمال - ایستگاه جنوب)	۱۰/۲	۸/۸۸	۵/۱	۲/۵۲	۳۰	۷۰
تالاب كانی برازان	۸/۷		۵/۶		۷۰-۳۰	



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



صفحه ۱۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

در مطالعات راهکارهای احیای دریاچه ارومیه و به طور مشخص راهکار انتقال آب از دریای خزر به دریاچه ارومیه که توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران صورت گرفته است، متغیرهای کیفی آب حوضه دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در این پروژه علاوه بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب دریاچه، اندازه‌گیری‌هایی بر روی تالاب‌های حاشیه‌ای سولدوز، گرده قیط، کانی برازان و درگه سنگی و همچنین ۸ رودخانه اصلی ورودی به دریاچه ارومیه انجام گرفت. موقعیت رودخانه‌ها (از R1 تا R8) و موقعیت ایستگاه‌های دریاچه (از U1 تا U6) به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است.



شکل ۸. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای کیفی در رودخانه‌های ورودی به آن [۶]



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

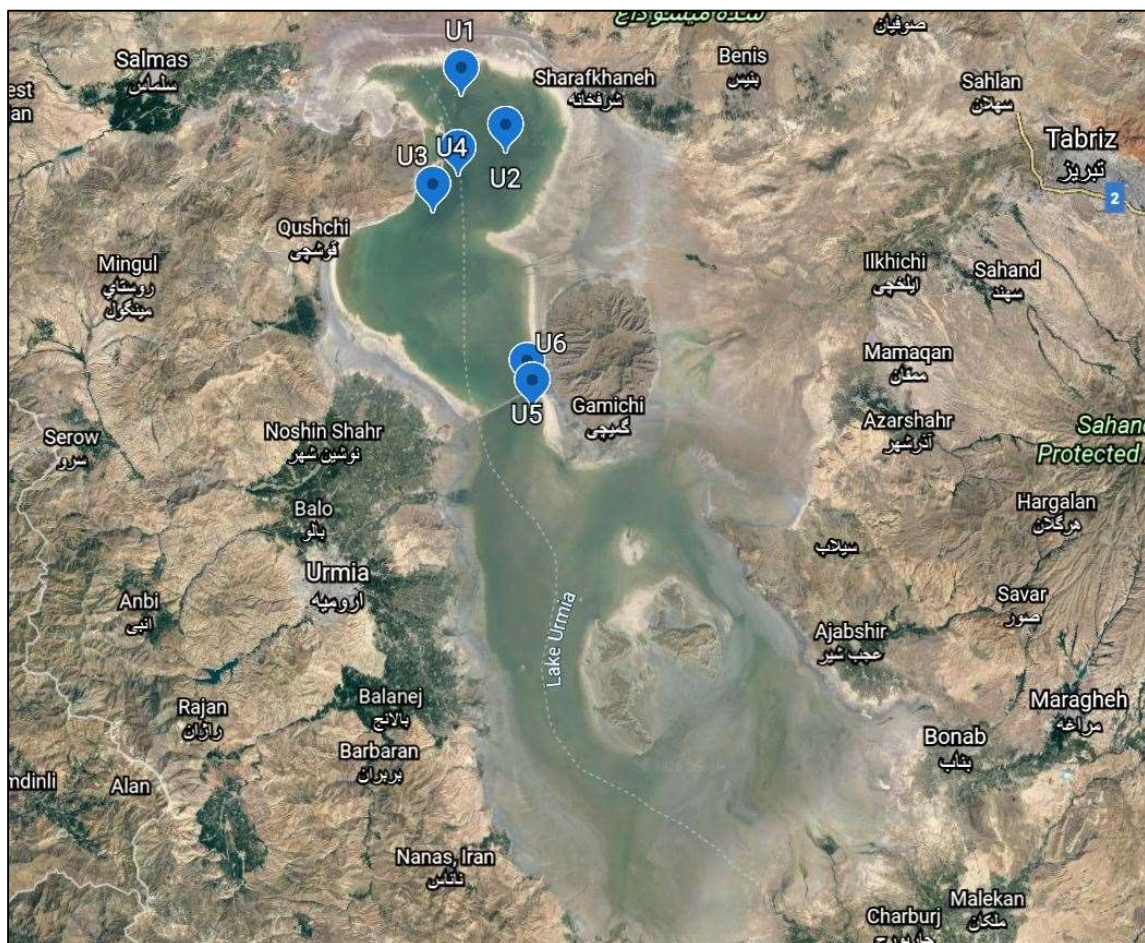


صفحه ۱۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۹. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای کیفی در دریاچه ارومیه [۶]

برخی از مهم‌ترین متغیرهای کیفی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها عبارت‌اند از [۶]:

دمای آب، دمای هوا، عمق سکی، کل جامدات محلول (TDS)، شوری، کدورت، کل جامدات معلق (TSS)، سولفات، کلرید، کربنات، بی‌کربنات، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آمونیوم، فسفرکل، نیتروژن کل، فسفات، نترات، فیتوپلانکتون، کلروفیل a، اکسیژن محلول، pH، هدایت الکتریکی و قلیائیت. نمونه‌ای از جداول کیفی موجود برای دریاچه ارومیه در جدول ۵ نشان داده شده است.



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



صفحه ۹۹ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

جدول ۵. نمونه داده های اندازه گیری شده کیفی

Station	Date	Roman date	Time	E	N	Station Depth (cm)	Sampling Depth (cm)	Weather Temp. (°C)	Water Temp. (°C)	DO (mg/l) - Winkler	DO (mg/l) - Probe	DO (%) - probe	pH	EC (mS/cm) - Calculated	EC (mS/cm) - Measured
U1	94-11-26	2016-02-15	13:30	45 16 9.5	38 9 51.5	208	20	11	8.8	1.6	8.66	87.7	7.83	194.1	161.4
U1	94-11-26	2016-02-15	13:40	45 16 9.5	38 9 51.5	208	100	11	7.9	1.5	9.04	88.4	8.64	186.8	156.6
U1	94-11-26	2016-02-15	13:45	45 16 9.5	38 9 51.5	208	200	11	8.1	1.5	9.28	90.7	8	198.7	154.2
U2	94-11-26	2016-02-15	12:32	45 20 28.3	38 5 29.4	232	20	6.5	7.7	1.7	8.7	85	7.3	190.8	157.4
U2	94-11-26	2016-02-15	12:45	45 20 28.3	38 5 29.4	232	115	6.5	7.5	2	9.4	91.2	7.6	195.7	158
U2	94-11-26	2016-02-15	12:55	45 20 28.3	38 5 29.4	232	225	6.5	8.8	1.7	8.32	84.5	7.08	201.1	153.3
U3	94-11-26	2016-02-15	11:45	45 15 53.3	38 3 42.5	223	20	8	7.1	2	9.31	88.6	6.97	197.2	165.6
U3	94-11-26	2016-02-15	11:50	45 15 53.3	38 3 42.5	223	110	8	7.3	2.2	9.07	89.9	7.08	203.5	159.1
U3	94-11-26	2016-02-15	12:00	45 15 53.3	38 3 42.5	223	210	8	7.4	2.2	9.23	89.3	7.03	207.4	156.3
U4	94-11-26	2016-02-15	10:45	45 13 27.8	38 0 54.4	186	20	7	5.2	1.8	9.47	89.8	7.35	187.3	167
U4	94-11-26	2016-02-15	11:00	45 13 27.8	38 0 54.4	186	80	7	6.4	2	10.37	97.7	7.55	194.4	160
U4	94-11-26	2016-02-15	11:05	45 13 27.8	38 0 54.4	186	175	7	7.4	1.9	9.55	92.4	7.01	195.3	163.8
U5	94-11-25	2016-02-14	11:10	45 22 34.7	37 47 28.7	152	20	6	5.2	2.5	10.4	94.4	7.78	142	172
U5	94-11-25	2016-02-14	11:30	45 22 34.7	37 47 28.7	152	75	7	9.6	2.5	8.43	93.3	7.39	153	166
U5	94-11-25	2016-02-14	12:15	45 22 34.7	37 47 28.7	152	140	9	10	2.2	9.22	86.3	7.33	147.3	168
U6	94-11-25	2016-02-14	12:55	45 23 4.9	37 45 59.2	38	10	7	7.8	2.5	9.47	92.2	7.79	136.1	175



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



صفحه ۲۰ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

در نوشتار سال ۱۳۹۵، شمشکی و کرمی روند تغییرات کمی و کیفی آب دریاچه ارومیه را بر اساس نمونه های آب جنوب شرقی دریاچه (ایستگاه رحمانلو) مورد بررسی قرار دادند. بر پایه این تحقیق، با افزایش تراز آب دریاچه به بیش از ۱۲۸۶ متر، آب دریاچه از حالت شور خارج شده و به حالت لب شور و تا حدی شیرین نزدیک می شود؛ درحالی که تراز کنونی دریاچه در حدود ۱۲۷۰ متر گزارش شده است. در جدول ۶ کیفیت آب دریاچه در ۶ نقطه مختلف از جنوب شرق اندازه گیری شده است (واحد اندازه گیری تمامی متغیرها میلی گرم بر لیتر و واحد اندازه گیری هدایت الکتریکی زیمنس بر سانتی متر است).

جدول ۶. مشخصات کیفی آب دریاچه ارومیه در ایستگاه رحمانلو [۷]

	EC	TDS	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
ایستگاه ۱	۳۱۰۰۰۰	۲۱۵۰۲۰	۷/۹	۳۴/۰	۴۳۰/۰	۳۰۴۳/۵	۳۵/۹	۳۲/۸	۳۵۲۱/۱	۲۲۴/۰
ایستگاه ۲	۱۷۴۰۰۰	۱۱۳۸۰۰	۷/۸	۳۴/۰	۴۲۹/۰	۳۱۲۳/۰	۳۱/۰	۵/۰	۳۳۳۶/۰	۴۱۲/۰
ایستگاه ۳	۳۷۰۰۰۰	۲۵۵۵۰۰	۷/۷	۳۷/۰	۴۱۷/۵	۳۱۴۵/۷	۳۴/۶	۵/۷	۳۴۴۱/۷	۲۰۸/۸
ایستگاه ۴	۳۷۰۰۰۰	۳۲۵۰۰۰	۷/۷	۴۸/۱	۱۰۴۵/۴	۴۷۵۵/۴	۵۱/۳	۶/۶	۵۰۶۴/۸	۳۹۰/۶
ایستگاه ۵	۲۳۶۰۰۰	۱۷۰۰۰۰	۷/۷	۱۹/۰	۳۴۱/۰	۲۱۵۰/۰	۵۰/۳	۹/۵	۲۶۵۰/۰	۴۶۲/۱
ایستگاه ۶	۴۰۰۰۰۰	۳۷۷۰۰۰	۷/۸	۲۷/۱	۹۵۰/۰	۵۴۳۴/۸	۶۳/۳	۲۲/۶	۶۰۰۰/۰	۴۵۶/۳
میانگین	۳۱۰۰۰۰	۲۴۲۷۲۰	۷/۸	۳۳/۲	۶۰۲/۲	۳۶۰۸/۷	۴۴/۴	۱۳/۷	۴۰۰۲/۳	۳۵۸/۹
ماکزیمم	۴۰۰۰۰۰	۳۷۷۰۰۰	۷/۹	۴۸/۱	۱۰۴۵/۴	۵۴۳۴/۸	۶۳/۳	۳۲/۸	۴۰۰۰/۰	۴۶۲/۱
مینیمم	۱۷۴۰۰۰	۱۱۳۸۰۰	۷/۷	۱۹/۰	۳۴۱/۰	۲۱۵۰/۰	۳۱/۰	۵/۰	۲۶۵۰	۲۰۸/۷۵



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



صفحه ۲۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

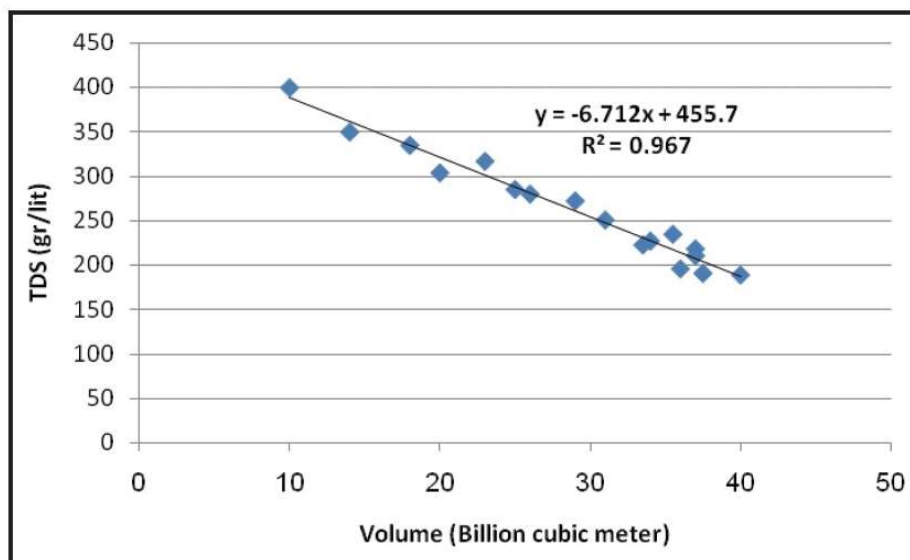
مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

همچنین بر پایه اطلاعات بدست آمده، روند تغییرات کل جامدات محلول دریاچه ارومیه با حجم و تراز آب دریاچه بدست آمده است. نمودار مربوط به TDS برحسب حجم و TDS برحسب تراز در شکل های ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده است. از این دو نمودار نیز می توان رابطه میان حجم آب دریاچه (V) برحسب تراز (L) آن را به صورت تجربی به دست آورد [۷]:

$$V (\text{میلیمتر مکعب}) = 9.9L (\text{متر}) - 12600 \quad (۱)$$

البته در رابطه فوق و در تراز ۱۲۷۲/۷ متر، حجم آب دریاچه به صفر میل می کند که این به معنای تغییر حالت دریاچه به پلایا می باشد. همچنین در این تراز نسبت یونی Mg/Ca به طور چشم گیری افزایش می یابد. این در حالی است که نسبت Na/Cl تقریباً ثابت و به طور متوسط برابر ۰/۹ اندازه گیری شده است [۷].



شکل ۱۰. رابطه میان کل جامدات محلول دریاچه (برحسب گرم بر لیتر) با حجم آب دریاچه (میلیمتر مکعب) [۷]



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

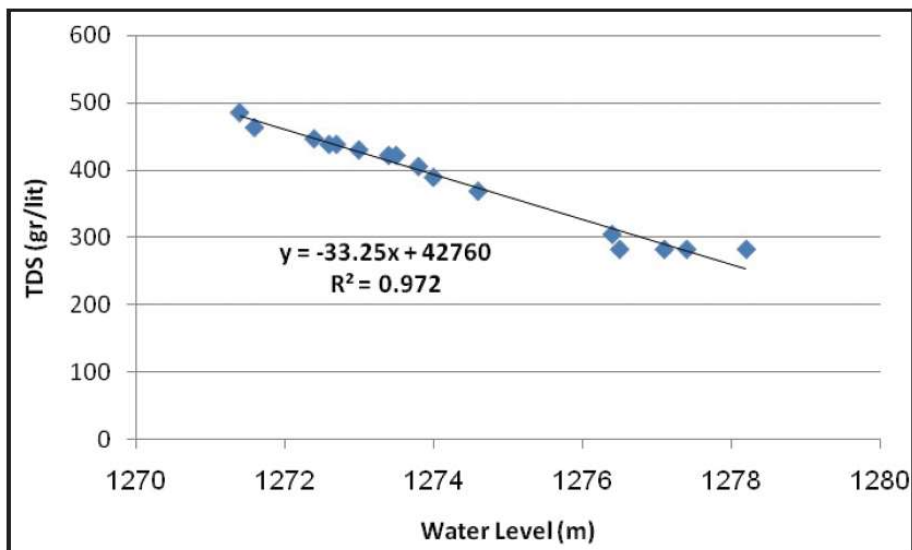


صفحه ۲۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۱۱. رابطه میان کل جامدات محلول دریاچه (برحسب گرم بر لیتر) با تراز آب دریاچه (برحسب متر) [۷]

آق و همکاران^۲، در گزارشی برخی از پارامترهای کیفی دریاچه ارومیه را اعلام کردند. در این نوشتار بیان شده است که کیفیت آب دریاچه ارومیه طی دهه اخیر به شدت کاهش پیدا کرده که علت آن فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم می‌باشد. بر روی نمونه‌های آب که در تاریخ ۱۸ سپتامبر ۲۰۱۵ از ۴ ایستگاه مختلف گرفته شده‌اند، آزمایش کروماتوگرافی یونی جهت اندازه‌گیری یون‌های کلراید، سولفات، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم صورت گرفته است. یون کربنات نیز از طریق تیتراسیون با بروموکروزول سبز تخمین زده شده است. نیتрат، نیتريت، آمونیوم و فسفات نیز با فتومتر اندازه‌گیری شدند. جدول ۷ مربوط به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در عمق یک متری آب دریاچه توسط آق و همکاران، در زیر آمده است [۸].

² Agh et al.



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



صفحه ۲۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

جدول ۷. متغیرهای کیفی اندازه گیری شده توسط آق و همکاران برحسب گرم بر لیتر در عمق ۱ متر [۸]

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
ایستگاه ۱	۱۳/۴۸	۱۲/۷۹	۹۸/۵۰	۲/۰	۲۶۶/۳۶	۷۵/۳۰	۰/۴۰	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۶	۵/۸۵	۰/۰۱۵
ایستگاه ۲	۱۲/۱۶	۱۵/۷۷	۱۱۹/۰۹	۴/۰	۲۹۸/۰۵	۱۰۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۰۴	۵/۹۷	۰/۰۱۵
ایستگاه ۳	۱۴/۸۹	۲۲/۶۰	۱۰۱/۲۳	۳/۵	۲۸۵/۰۲	۵۳/۸۳	۰/۴۰	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۲	۵/۱۲	۰/۰۲
ایستگاه ۴	۱۲/۷۹	۱۸/۸۵	۸۳/۷۶	۲/۵	۲۶۵/۶۴	۳۹/۸۶	۰/۴۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۵/۰۳	۰/۰۱۳

در ادامه این تحقیق نیز جدول ۸ ارائه شده است که برخی از خصوصیات کیفی دریاچه را از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۰ میلادی (۱۳۵۳ تا ۱۳۸۹ شمسی) در طول دوره حیات دریاچه، مقایسه می کند.

جدول ۸. مقایسه برخی از متغیرهای کیفی دریاچه ارومیه طی ۵۰ سال اخیر برحسب گرم بر لیتر [۸]

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
اکتبر ۱۹۷۴	۹۰/۸۵	۱/۵۶	۲۹/۰۷	۸۴۰/۸۰	۱۴۱/۰۲	۱۰/۹۱	۱۰/۴۳	۱/۵۰	-	۰/۴۵	۱/۸۰
جولای ۱۹۸۵	۷۰/۰۰	۱/۴۰	۵/۱۶	۰/۶۸	۱۲۵/۰۰	۱۰/۷۵	۳/۶۶	۲/۵۰	-	۰/۱۶	۱/۴۰
آوریل ۱۹۹۱	۸۸/۳۳	۱/۸۵	۶/۸۰	۰/۶۰	۱۳۸/۶۴	۱۳/۴۲	-	-	-	-	-
ژوئن-نوامبر ۱۹۹۲	۷۳/۶۲	۱/۶۸	۵/۵۱	۰/۵۴	۱۳۶/۴۸	۱۰/۷۵	-	-	-	-	-
اکتبر ۲۰۰۹	۸۶/۶۵	۵/۸۸	۲۵/۵۵	۰/۱۷	۱۶۰/۵۳	۴۴/۶۲	۱/۳۸	-	-	-	-
می ۲۰۱۰	۹۸/۳۲	۲/۹۲	۲۲/۰۵	۰/۰۹	۱۷۵/۲۲	۳۳/۲۵	۰/۹۰	-	-	-	-
جولای ۲۰۱۰	۱۰۲/۸۷	۳/۵۶	۲۵/۳۱	۰/۰۹	۱۸۸/۱۶	۳۶/۷۵	۶/۵۸	-	-	-	-



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



صفحه ۲۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

زینال زاده و رضایی^۳ نیز در پژوهشی به بررسی متغیرهای کیفی در طول رودخانه شهرچای، در ۶ ایستگاه منتهی به دریاچه ارومیه پرداختند. طول این رودخانه که از کوه های زاگرس سرچشمه می گیرد ۷۲/۵ کیلومتر است و به منظور مصارف کشاورزی، صنعت و شهری مورد استفاده قرار می گیرد. متوسط دبی سالانه رودخانه نیز در حدود ۱۷۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است. محل ایستگاه های اندازه گیری در این مطالعه، در شکل ۱۲ آمده است [۹].



شکل ۱۲. ایستگاه های پایش کیفی رودخانه شهرچای [۹]

تمامی اندازه گیری ها مربوط دسامبر ۲۰۰۹ تا ژانویه ۲۰۱۱ می باشد. دما، اکسیژن محلول، pH و هدایت الکتریکی با دستگاه پرتابل YSI اندازه گیری شدند. کدورت آب با استفاده از دستگاه کدورت سنج تخمین زده شده است. یون کلسیم، منیزیم و کلراید نیز به روش تیتراسیون و یون سولفات نیز به روش اسپکتروفتومتری سنجیده شدند. سدیم و پتاسیم با فلیم فتومتر و آمونیوم و نیترات با روش فنات بدست آمدند. نیتروژن کل و فسفر کل نیز به ترتیب با روش کاهش کادمیوم (پس از حذف پرسولفات) و آسکوربیک اسید تخمین زده شدند. همان طور که در جدول ۹ مشخص است، مقادیر BOD، COD، Na و آمونیوم در طول رودخانه به سمت پایین دست (دریاچه) افزایش پیدا کردند. منبع یون آهن موجود در آب رودخانه نیز ترکیبات زمین شناسی موجود در بستر رودخانه است و هیچ گونه کارخانه و تشکیلات صنعتی با پساب حاوی آهن در طول رودخانه دیده نمی شود. کدورت رودخانه نیز با دبی رودخانه

³ Kamran Zeinalzadeh and Elnaz Rezaei



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



صفحه ۲۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

رابطه مستقیم داشته و در ایستگاه های پایین دست افزایش را نشان می دهد. بیشترین افزایش کلیفرم نیز در ایستگاه ۳ مشاهده شده است زیرا در این ایستگاه جمعیت بیشتری زندگی کرده و در نتیجه تخلیه فاضلاب بیشتری رخ می دهد. عدم وجود زیرساخت های لازم جهت جمع آوری و تصفیه فاضلاب در منطقه، مهم ترین عامل افزایش میکروارگانیسم های بیماری زا در طول رودخانه شهرچای می باشد [۹].

جدول ۹. میانگین سالیانه متغیرهای کیفی اندازه گیری شده در طول رودخانه شهرچای در ۶ ایستگاه [۹]

	واحد	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	ایستگاه ۶
pH	—	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۸/۶	۸/۱
دما	درجه سلسیوس	۶/۶	۷/۰	۹/۲	۹/۸	۱۰/۸	۶/۴
کدورت	NTU	۱۶/۸	۲۸/۹	۱۲/۶	۷۲/۸	۱۱۷/۱	۱۳۱/۸
هدایت الکتریکی	Micromhos/cm	۲۴۶/۸	۲۵۲/۳	۲۵۳/۲	۲۷۷/۱	۳۴۷/۸	۴۸۹/۹
دبی	L/s	۳۹۶۶/۵	۵۲۶۴/۲	۳۲۵۶/۲	۲۳۵۹	۱۶۹۸/۸	۱۱۵۱/۹
اکسیژن محلول	ppm	۱۰/۸	۱۱/۰	۱۰/۴	۱۰/۱	۹/۵۳	۹/۲۲
BOD ₅	ppm	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۶/۸	۱۵/۵	۲۱/۲
COD	ppm	۸/۷	۸/۳	۹/۳	۱۴/۶	۲۵/۱	۲۳/۷
SO ₄ ²⁻	ppm	۲۰/۶	۲۱/۳	۱۹/۴	۲۲/۰	۲۷/۸	۵/۳
Cl ⁻	ppm	۴۲/۱	۴۶/۸	۴۱/۹	۴۴/۳	۵۴/۲	۳۲/۸
CO ₃ ²⁻	ppm	۴/۹	۱/۳	۶/۳	۴/۶	۱/۳	۳/۲
HCO ₃ ⁻	ppm	۷۹/۷	۷۹/۷	۷۶/۸	۷۶/۶	۸۴/۶	۲۷/۰
Ca ²⁺	ppm	۳۹/۵	۳۹/۴	۳۸/۶	۳۷/۴	۴۲/۴	۱۲/۱
Na ⁺	ppm	۷/۳	۵/۷	۶/۰	۷/۱	۱۵/۲	۲۵/۸
K ⁺	ppm	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۲/۰	۲/۸
Mg ²⁺	ppm	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۰/۴	۱۲/۷	۱۲/۵	۵/۳
NO ₃ ⁻	ppm	۲/۸	۳/۳	۳/۶	۳/۹	۳/۹	۱/۷
TN	ppm	۲/۴	۲/۰	۲/۳	۲/۱	۳/۰	۱/۳
TP	ppm	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۶
NH ₄ ⁺	ppm	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۵	۰/۹
Fe	ppm	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲
FC	Colonies/100mL	۲۲/۲	۳۳/۸	۲۰/۹	۳۲۶/۳	۵۸۸/۶	۵۹۲/۴
TC	Colonies/100mL	۸۸/۸	۹۰/۲	۸۵/۲	۱۱۹۵/۷	۱۴۰۹/۲	۱۴۸۸/۲



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



صفحه ۲۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه کیفیت آب دریاچه ارومیه و همچنین کیفیت آب تالابها و رودخانه های ورودی به دریاچه، می توان دریافت که تاکنون پژوهشی جامع در خصوص مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه (به جز متغیر شوری) صورت نگرفته است. پژوهشی که با تکیه بر هر دو مکانیزم هیدرودینامیک و کیفیت آب دریاچه و اندرکنش متقابل آنها، بتواند شرایط این اکوسیستم بالارزش و خدادادی را تحت سناریوهای مختلف احیا به خوبی نشان دهد و در تصمیم گیری های کلان و مدیریتی صاحب نظران را یاری نماید. در این گزارش سعی شده است تا مدل سازی کیفیت آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل ۳ بعدی FVCOM به طور جامع انجام شود و در نهایت نتایج این مدل سازی با اندازه گیری های میدانی مقایسه و تحلیل شود. در پایان نیز پیشنهادات و اقدامات لازم جهت پیشبرد احیای دریاچه ارومیه ارائه شده است.

۳-۱- معرفی مدل FVCOM

در سراسر جهان مدل سازی جریان (هیدرودینامیک) و کیفیت آب اقیانوس ها و دریاچه ها که ورودی های مختلفی همچون رودخانه، بارش، رسوبات و ... دارند مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. ۲ روش عددی در مدل های این چنینی مورد استفاده قرار می گیرند [۱۰]:

روش اول: روش تفاضل محدود (finite-difference) که از نظر کدنویسی و محاسباتی مزیت دارد.

روش دوم: روش المان محدود (finite-element) که از نظر مش بندی و هندسه مسئله، انعطاف دارد.

در این پروژه مدل سه بعدی هیدرودینامیکی-شیمیایی-بیولوژیکی دریاچه ارومیه توسعه داده شده است. بدین منظور مدل انتخابی می بایست قابلیت شبیه سازی پدیده های موجود در دریاچه ارومیه را داشته باشد. در این پروژه از مدل Finite-Volume Community Ocean Model (FVCOM) استفاده شده است. این مدل به صورت منبع باز بوده و از نظر فنی ویژگی های دو روش بالا را با هم ترکیب می کند. همچنین با توجه به مطالعه موردی و در صورت نیاز می توان کد آن را بهبود بخشید [۱۰]. مش بندی این مدل به صورت شبکه نامنظم مثلثی بوده که می تواند ویژگی های پیچیده سواحل را با دقت بیشتری نسبت به شبکه های منظم مدل سازی کند. در این مدل معادلات



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



صفحه ۲۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

ناویر-استوکس، پیوستگی، دما و شوری به صورت هم‌زمان در هر گره از شبکه محاسباتی به روش حجم محدود حل خواهد شد. این مدل توانایی مدل سازی فرآیندهای پیچیده بیوفیزیکی زیادی را دارد و کاربر می‌تواند براساس سوال تحقیقاتی خود و مشخصات منطقه مطالعاتی گزینه‌های زیر را جهت مدل سازی به کاربر ببرد:

- ۱- انتخاب سیستم مختصات دکارتی یا کروی
- ۲- شبیه سازی فرآیند سیلاب و خشک شدگی با استفاده از پایستگی جرم
- ۳- مدل آشفتگی عمومی اقیانوس (GOTM)^۴
- ۴- مدل کیفیت آب برای شبیه سازی اکسیژن محلول و سایر متغیرهای زیست محیطی
- ۵- استفاده از تکنیک داده گزاری فیلتر کالمن مجموعه ای-کاهشی
- ۶- مدل کاملاً غیر خطی شبیه سازی یخ
- ۷- مدل انتقال رسوب ۳ بعدی (بر اساس مدل حمل و نقل رسوب ملی آمریکا موسوم به USGS)^۵
- ۸- مدل بیولوژیکی انعطاف پذیر به منظور مطالعه و بررسی مواد مغذی، مواد آلی و باکتری‌ها.

شکل شماره ۱۳ ماژول‌های موجود در مدل FVCOM را جهت مدل سازی هیدرودینامیک و کیفی نمایش می‌دهد. تاکنون مدل FVCOM با موفقیت در دریاچه‌های بزرگ آمریکا مثل دریاچه میشیگان [۱۱]، رودخانه‌های بزرگی از جمله رودخانه St. Clair [۱۲] و همچنین در خورها و مصب رودخانه‌ها مانند خور رودخانه Satilla [۱۰] به کار گرفته شده است. صفایی و همکاران، در مطالعات خود با توسعه مدل FVCOM نشان دادند نتایج این مدل در پیش بینی گردش آب، ساختار دما و شوری آب قابل اعتماد بوده و قادر خواهد بود با محاسبه تبخیر و در نظر گرفتن سایر ترم‌های بیلان آبی دریاچه از جمله آب زیرزمینی نوسانات ساعتی تراز سطح آب دریاچه را با دقت بسیار خوبی پیش بینی نمایند [۱۳].

⁴ General Ocean Turbulent Model

⁵ United States Geological Survey



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

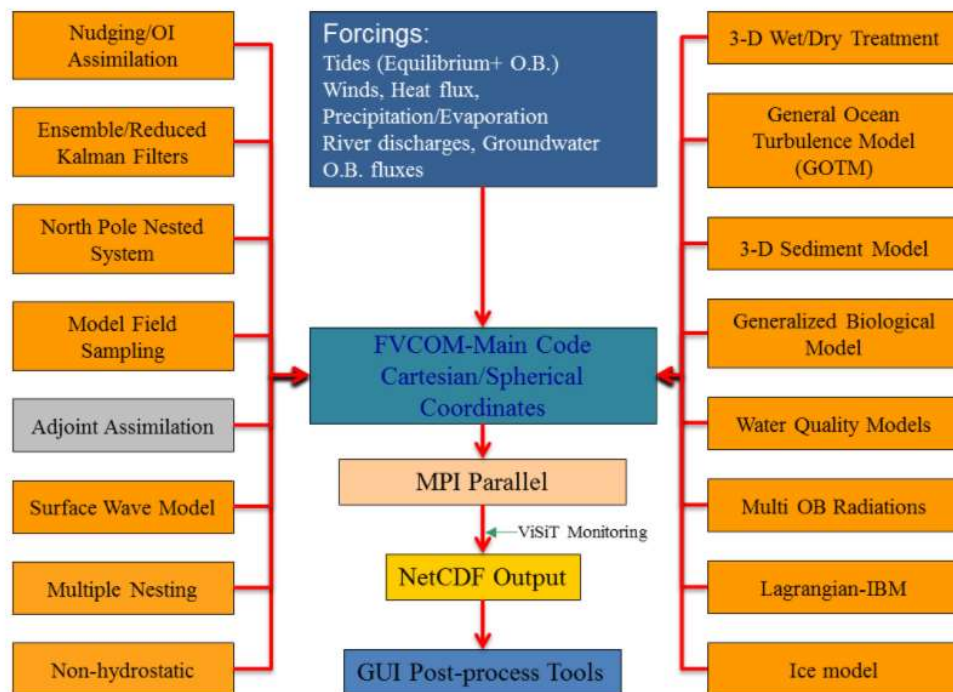


صفحه ۲۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۱۳. دیاگرام ماژول های موجود در مدل کنونی FVCOM (<http://fvcom.smast.umassd.edu/fvcom/>)

بای و همکاران^۶ در سال ۲۰۱۷ به بررسی تغییرات دمایی در قسمت شمال غربی اقیانوس اطلس با استفاده از مدل FVCOM بین سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ پرداختند. مقایسه کلی بین خروجی های مدل و داده های مشاهده شده نشان می دهد که مدل FVCOM قابل اعتماد است ($R^2 = 0.72$) و میانگین خطای مربعات $= 2/28$ درجه سانتی گراد بدست آمده است. در این مطالعه خروجی های فصلی مدل، میانگین خطاهای بالاتری را در بهار، پاییز و زمستان نسبت به تابستان نشان می دهند. سری های زمانی نشان می دهند که شباهت بین داده های مدل شده و مشاهده شده در عرض های جغرافیایی بالاتر، بیشتر است [۱۴].

در مطالعه ای دیگر، ژانگ و همکاران^۷ در سال ۲۰۱۶، خور رودخانه گوان در استان جیانگسو چین را جهت کنترل و مدیریت بار آلاینده ورودی، توسط مدل مش آزاد و حجم محدود FVCOM مورد بررسی قرار دادند. این رودخانه در

^۶ Bai Li et al.

^۷ ZHANG Li et al.



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



صفحه ۲۹ از ۹۹

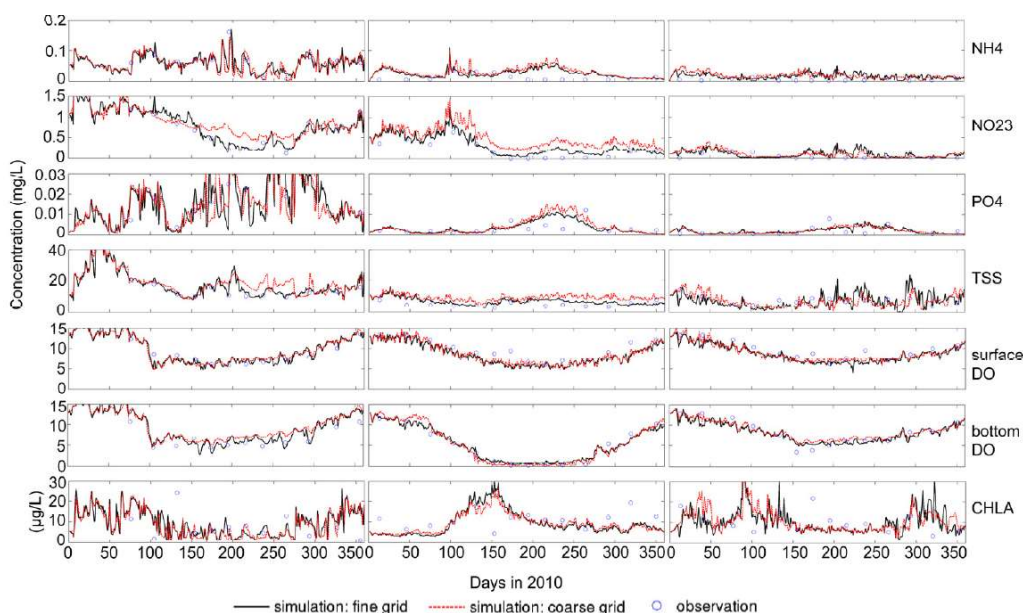
ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

سال های اخیر از مشکل آلودگی و فرسایش رنج می برد. مدل FVCOM کمک می کند تا کاهش بار آلاینده از طریق مدل سازی هیدرودینامیکی و کیفیت آب در سال های مدل سازی ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ صورت گیرد. متغیرهای کیفی مدل سازی شده نیز در این مطالعه عبارت اند از: نیتروژن معدنی محلول، فسفر واکنش پذیر محلول، فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون، ریزه، نیتروژن آلی محلول، فسفر آلی محلول و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD). مقایسه نتایج شبیه سازی و داده های موجود رودخانه نشان می دهد که مدل به خوبی جریان و کیفیت آب منطقه را نشان می دهد و جهت بهبود کیفیت آب نیز می توان از آن بهره برد [۱۵].

مینگ و لانگ^۸ نیز در تحقیقی در سال ۲۰۱۶ از مدل FVCOM به منظور مدل سازی کیفیت آب در خلیج چسپایک و اقیانوس ساحلی مجاور آن استفاده کردند. نمونه ای از نتایج مدل سازی متغیرهای کیفی مختلف (NH_4 ، نترات، نیتريت، PO_4 ، TSS، DO و کلروفیل- a) در سال میلادی ۲۰۱۰ و در ۳ ایستگاه مختلف در شکل ۱۴ آمده است [۱۶].



شکل ۱۴. مقایسه تغییرات زمانی متغیرهای کیفی در خلیج چسپایک در ۳ ایستگاه مختلف در سال ۲۰۱۰ میلادی [۱۶]

⁸ Meng Xia and Long Jiang



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



صفحه ۳۰ از ۹۹

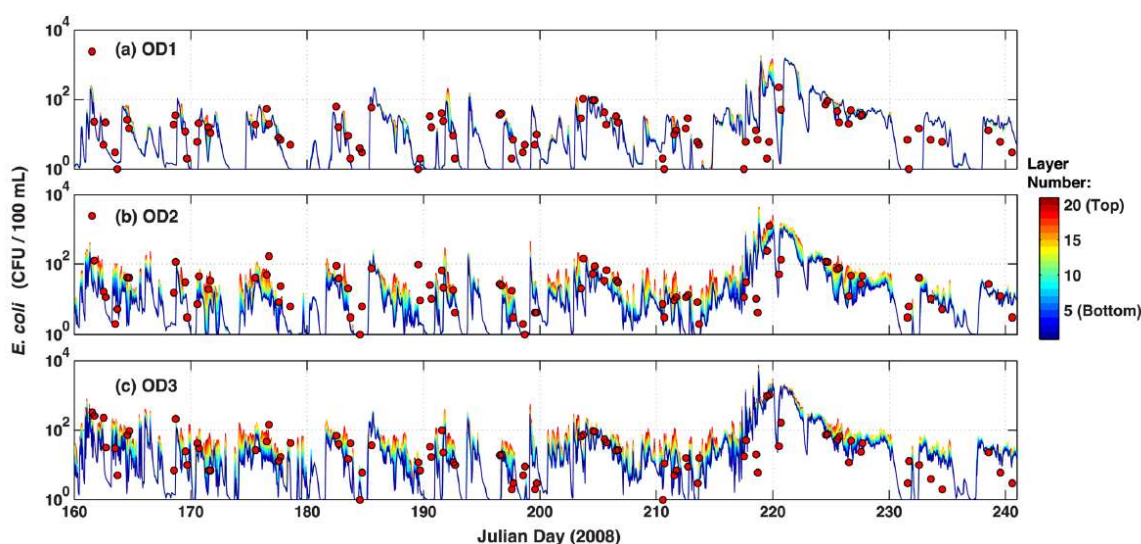
ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

در این مطالعه با در نظر گرفتن عوامل مختلف همچون سرعت و جهت باد، ورود مواد آلاینده و چرخه مواد مغذی، مشخص شد که FVCOM در مدل سازی دینامیک کیفیت آب طی ۱۰ سال (از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ میلادی) و همچنین توزیع و انتشار کلروفیل-آ دقت و منطق لازم را داراست. این مدل هم چنین می تواند جهت تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای کیفی آب به منظور پیش بینی وضعیت آینده منبع آبی مورد استفاده قرار گیرد.

صفایی و همکاران^۹ نیز در سال ۲۰۱۶ جهت مقایسه مقادیر مدل سازی آماری و مکانیکی باکتری بیماری زا (اشریشیاکلی^{۱۰}) در سواحل جنوبی دریاچه میشگان، از مدل FVCOM استفاده کردند. در این مطالعه مدل های آماری به عنوان مبنایی برای ارزیابی مدل های مکانیکی مورد استفاده قرار گرفته اند. نتایج مدل با استفاده از توزیع احتمال برای تولید داده ها (به صورت سری زمانی و با دقت بالا)، مدل انتقال ردیاب (Tracer) در بلندمدت بر اساس هدایت الکتریکی مشاهداتی، بهبود یافته است. در شکل های ۱۵ و ۱۶ مقایسه نتایج مدل سازی و مقادیر مشاهداتی دو متغیر کیفی اشریشیاکلی (با واحد CFU/100ml) و هدایت الکتریکی (با واحد میکروزیمنس بر سانتی متر) در ۳ ایستگاه مجاور دریاچه میشگان و براساس سال ۲۰۰۸ میلادی، قابل مشاهده است [۱۱].



شکل ۱۵. مقایسه نتایج مشاهداتی (نقاط توپر) با نتایج مدل سازی متغیر اشریشیاکلی [۱۱]

^۹ Safaie et al.

^{۱۰} Escherchia coli



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

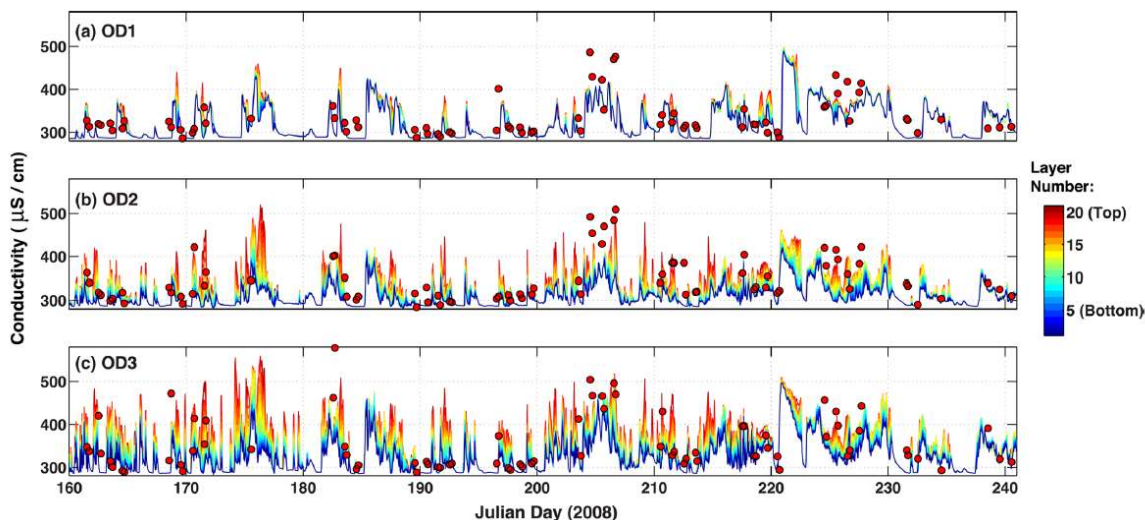


صفحه ۳۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۱۶. مقایسه نتایج مشاهداتی (نقاط توپر) با نتایج مدل سازی متغیر هدایت الکتریکی [۱۱]

با توجه به قابلیت و توانایی های مدل FVCOM در این پروژه پژوهشی از این مدل برای شبیه سازی رفتار هیدرودینامیکی و کیفی دریاچه ارومیه استفاده شده است. برای آماده سازی مدل هیدرودینامیکی لازم است از داده های هواشناسی مانند سرعت و جهت باد، دمای هوا، میزان پوشش ابر، نقطه شبنم، رطوبت نسبی، تابش موج کوتاه و موج بلند خورشید از برای محاسبه تنش باد و شار حرارتی بر روی شبکه محاسباتی استفاده شود. از دیگر ورودی های مورد نیاز برای مدل سازی دریاچه ارومیه، دبی، دما و شوری رودخانه های ورودی و همچنین میزان بارش و تبخیر در سطح دریاچه می باشد. بسیمتری دریاچه نیز با توجه به آخرین داده برداری انجام شده قبل از زمان مدلسازی درون یابی و به عنوان شرایط مرزی در مدل استفاده می شود. خروجی های مدل با توجه به نیاز و سؤالات مورد مطالعه سرعت جریان در سه بعد، امواج سطحی، دما و فشار آب، شوری، چگالی آب، هدایت الکتریکی، میزان تبخیر سطحی و نوسانات سطح آب و متغیرهای کیفی می باشد. برای صحت سنجی و اطمینان از عملکرد مناسب مدل توسعه یافته، نتایج مدل با داده های میدانی مقایسه خواهند شد. در گزارش جلد دوم توضیحات مربوط به نحوه آماده سازی ورودی های مدل هیدرودینامیکی، توسعه این مدل و صحت سنجی مدل هیدرودینامیکی با استفاده از داده های میدانی ارائه شده اند. در این گزارش مدل هیدرودینامیکی توسعه داده شده که عملکرد خوبی برای پیش بینی دما، شوری و نوسانات تراز آب داشته است با مدل کیفی کوپل شده است.



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



صفحه ۳۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۴-۱- بررسی متغیرهای کیفی میدانی

۴-۱-۱ داده های کیفی دریاچه ارومیه

همان طور که گفته شد داده های اندازه گیری شده برای دریاچه ارومیه، شامل ۶ ایستگاه از U1 تا U6 بوده و در هر ایستگاه نیز سعی شده است تا از ۳ عمق مختلف سطح، میانه و کف دریاچه اندازه گیری صورت گیرد. این اندازه گیری ها از تاریخ ۹۴/۱۱/۲۵ تا ۹۵/۴/۲۲ برای ۶ ایستگاه و در ۶ زمان مختلف موجود می باشند. طول و عرض جغرافیایی ایستگاه های مختلف اندازه گیری نیز در گزارش شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران آمده است [۶]. سایر اطلاعات میدانی داده شده که در جدول ۱۰ نیز آمده است، به شرح زیر می باشد:

دمای هوا، وضعیت هوا، دمای آب، عمق سکی، اکسیژن محلول (DO) به روش probe، اکسیژن محلول (DO) به روش winkler، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، شوری (Salinity)، کل جامدات معلق (TSS)، کدورت (Turbidity)، چگالی (Density)، NO_3^- ، NO_2^- ، نیتروژن کل (TN)، PO_4^{3-} ، فسفر کل (TP)، SiO_2 ، Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، CO_3^{2-} ، HCO_3^- ، NH_4^+ ، Chl-a، Br^- ، کل کربن آلی (TOC)، قلیائیت و توده آرتمیا [۶].

جدول ۱۰. متغیرهای کیفی موجود برای ۶ ایستگاه دریاچه [۶]

Water Temp. (°C)	SiO_2 (mg/l)	NO_2^- (mg/l)
Secchi Depth (cm)	Na^+ (g/l)	NO_3^- (mg/l)
DO (mg/l)	K^+ (g/l)	TN (mg/l-N)
pH	Mg^{2+} (g/l)	PO_4^{3-} (mg/l)
EC (mS/cm)	Ca^{2+} (g/l)	TP (mg/l-P)
TDS (g/l)	Cl^- (g/l)	Chl a (µg/l)
Salinity (p.s.u)	SO_4^{2-} (g/l)	Br^- (mg/l)
TSS (mg/l)	CO_3^{2-} (g/l)	TOC (mg/l)
Turbidity (NTU)	HCO_3^- (g/l)	Alkalinity (g caco3/lit)
Density (kg/L)	NH_4^+ (mg/l)	Artemia Cyst (Per liter)



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



صفحه ۳۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

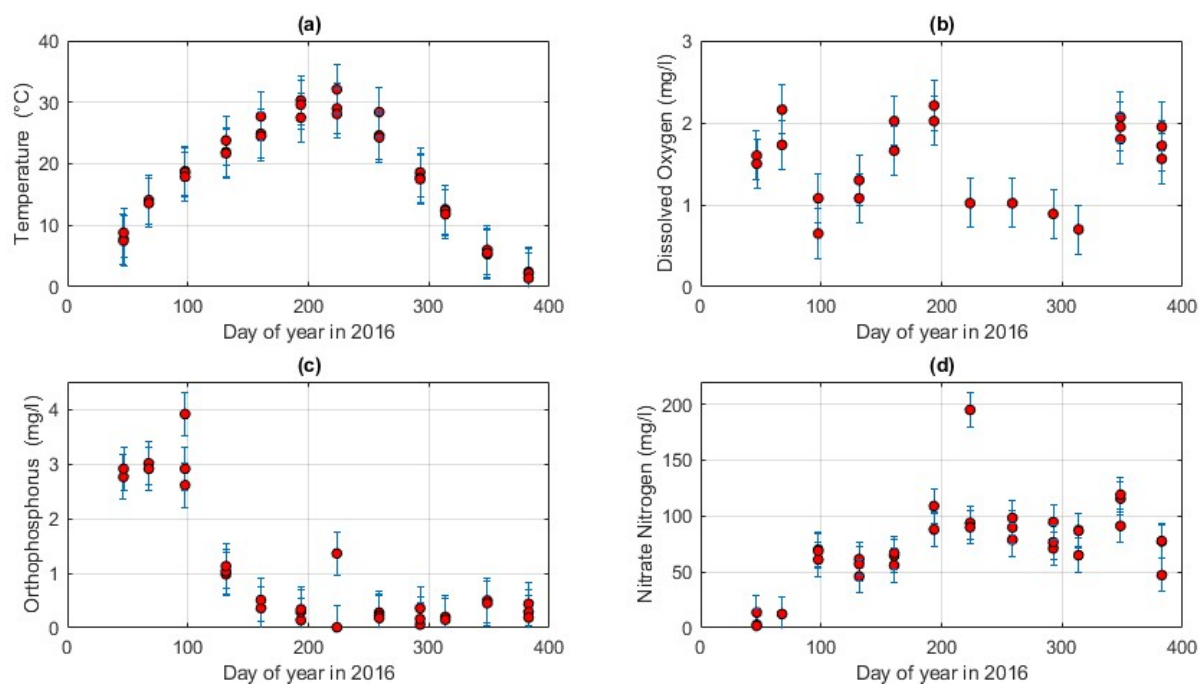
مدل FVCOM نیز از ۱۰ متغیر کیفی ورودی جهت مدل سازی استفاده می کند. این متغیرها عبارتند از: اکسیژن محلول (DO) با واحد میلی گرم اکسیژن بر لیتر، اکسیژن خواهی بیولوژیکی مربوط به ترکیبات کربنی (CBOD) با واحد میلی گرم کربن بر لیتر، فیتوپلانکتون با واحد میلی گرم کربن بر لیتر، نیتروژن آمونیاکی (NH_3) با واحد میلی گرم نیتروژن بر لیتر، نیترات با واحد میلی گرم نیتروژن بر لیتر، نیتروژن آلی با واحد میلی گرم نیتروژن بر لیتر، اورتوفسفات یا فسفر غیرآلی (PO_4^{3-}) با واحد با واحد میلی گرم فسفر بر لیتر، فسفر آلی با واحد میلی گرم فسفر بر لیتر، کلیفرم گوارشی با واحد CFU/100ml و ردیاب. در پروژه مدل سازی دریاچه ارومیه ۸ متغیر کیفی اول مدل سازی شده اند.

از میان داده های اندازه گیری شده، سه داده اکسیژن محلول (DO) به روش Winkler و با واحد میلی گرم بر لیتر، یون نیترات (NO_3^-) با واحد میلی گرم بر لیتر و اورتوفسفات (PO_4^{3-}) با واحد میلی گرم بر لیتر به طور مستقیم و پس از تبدیل واحد مناسب در مدل FVCOM به عنوان ورودی داده می شوند. سایر متغیرهای ورودی مدل نیز با استفاده از روابط موجود که در بخش های آینده توضیح داده می شوند، قابل محاسبه هستند. علت استفاده از داده های اکسیژن محلول به روش Winkler نیز توصیه کارفرما و نزدیک بودن اعداد گزارش شده به واقعیت می باشد. در روش Winkler نمونه های آب دریاچه به آزمایشگاه برده شده و در آنجا اندازه گیری اکسیژن صورت می گیرد ولی در روش Probe با استفاده از دستگاه پرتابل در محل میزان اکسیژن محلول در آب اندازه گیری می شود. در صورت کالیبره نبودن سنسورهای این دستگاه ممکن است نتایج اندازه گیری خطای زیادی داشته باشد.



در ادامه نمودارهای مقادیر کیفی اندازه گیری شده در ایستگاه های اندازه گیری ارائه شده اند:

- ایستگاه U1: این ایستگاه در مختصات جغرافیایی ۳۸° ۵۱' ۹" شمالی و ۴۵° ۱۶' ۹" شرقی قرار گرفته است. نمودارهای مربوط به اندازه گیری DO ، NO_3 ، PO_4 و دما در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه اول به صورت شکل ۱۷ خواهد بود.



شکل ۱۷. نمودار DO ، NO_3 ، PO_4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U1 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



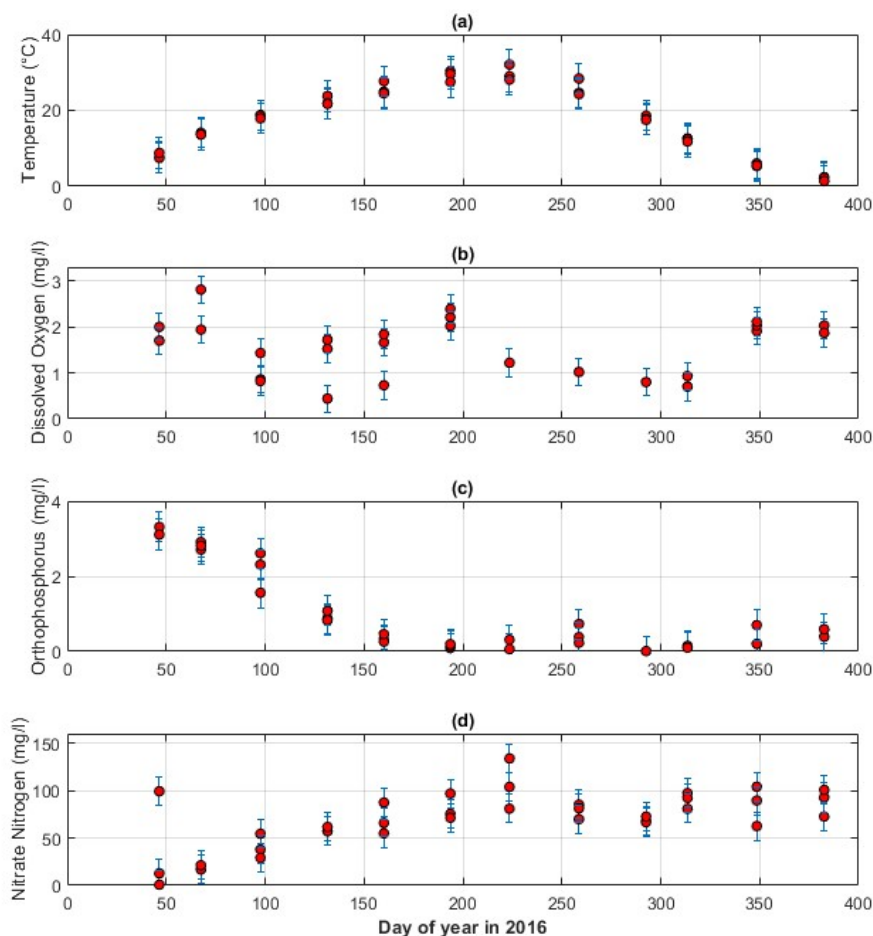
صفحه ۳۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U2: این ایستگاه در مختصات جغرافیایی $38^{\circ}5'29''$ شمالی و $45^{\circ}20'28''$ شرقی قرار گرفته است. نمودارهای مربوط به اندازه گیری DO ، NO_3 ، PO_4 و دما در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه دوم به صورت شکل ۱۸ خواهد بود.



شکل ۱۸. نمودار DO ، NO_3 ، PO_4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U2 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



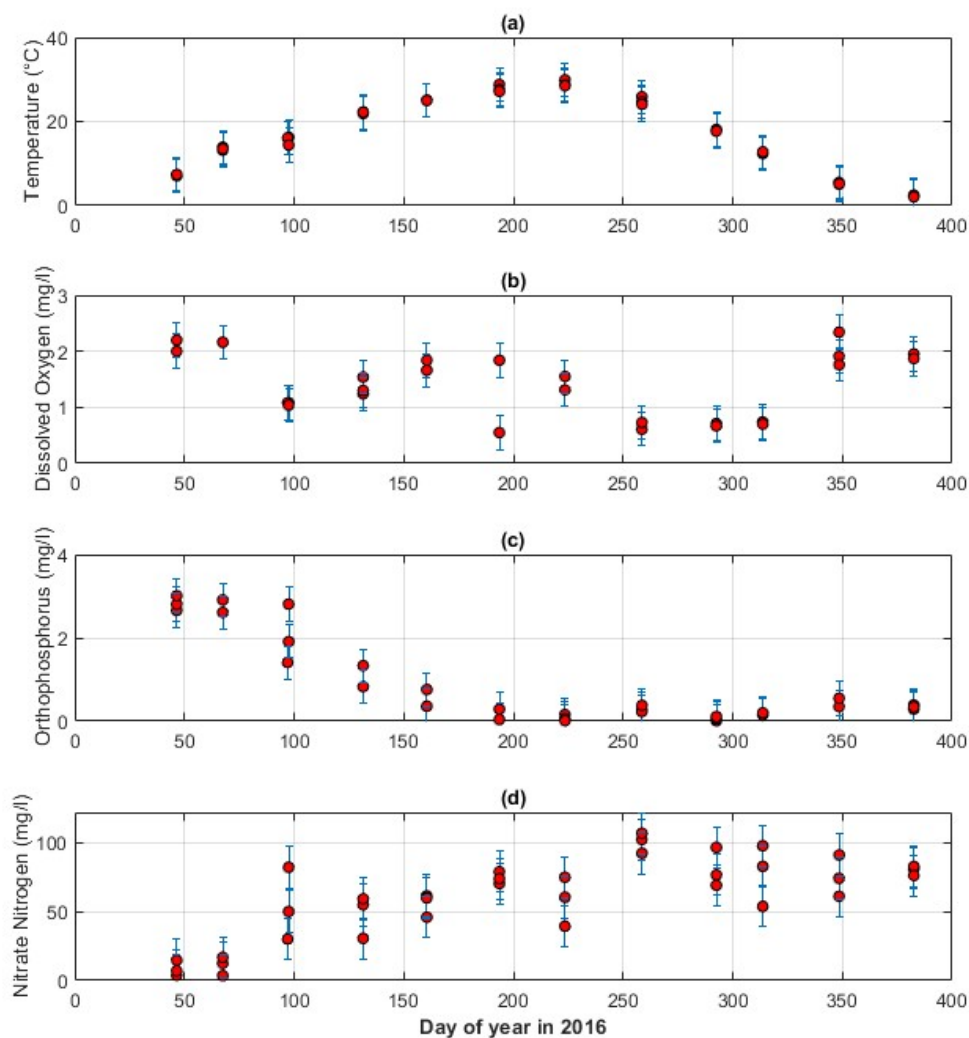
صفحه ۳۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U3: این ایستگاه در مختصات جغرافیایی $38^{\circ}3'42.5''$ شمالی و $45^{\circ}15'53.3''$ شرقی قرار گرفته است. نمودارهای مربوط به اندازه گیری DO ، NO_3 ، PO_4 و دما در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه سوم به صورت شکل ۱۹ خواهد بود.



شکل ۱۹. نمودار دما و اندازه گیری شده در ایستگاه U3 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



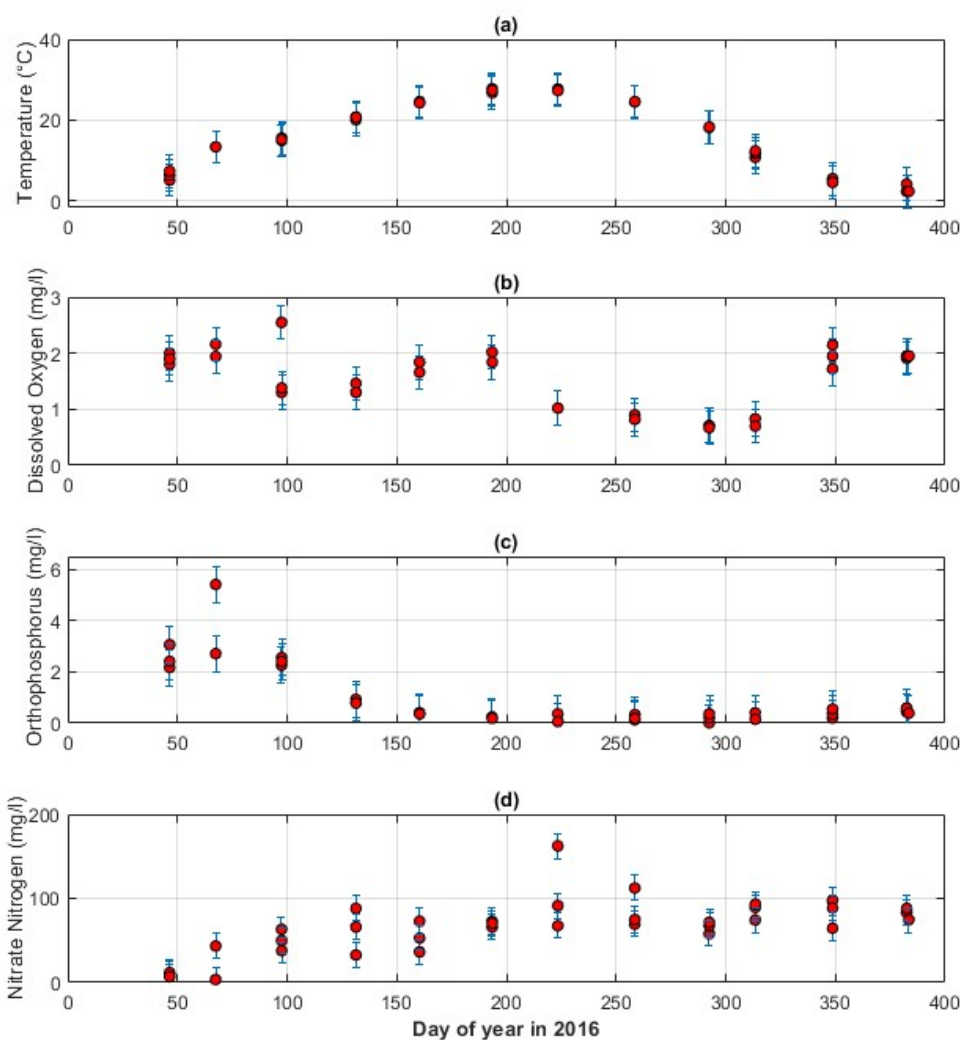
صفحه ۳۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U4: این ایستگاه در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 04'$ شمالی و $45^{\circ} 13' 27''$ شرقی قرار گرفته است. نمودارهای مربوط به اندازه گیری DO ، NO_3 ، PO_4 و دما در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه چهارم به صورت شکل ۲۰ خواهد بود.



شکل ۲۰. نمودار DO ، NO_3 ، PO_4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U4 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



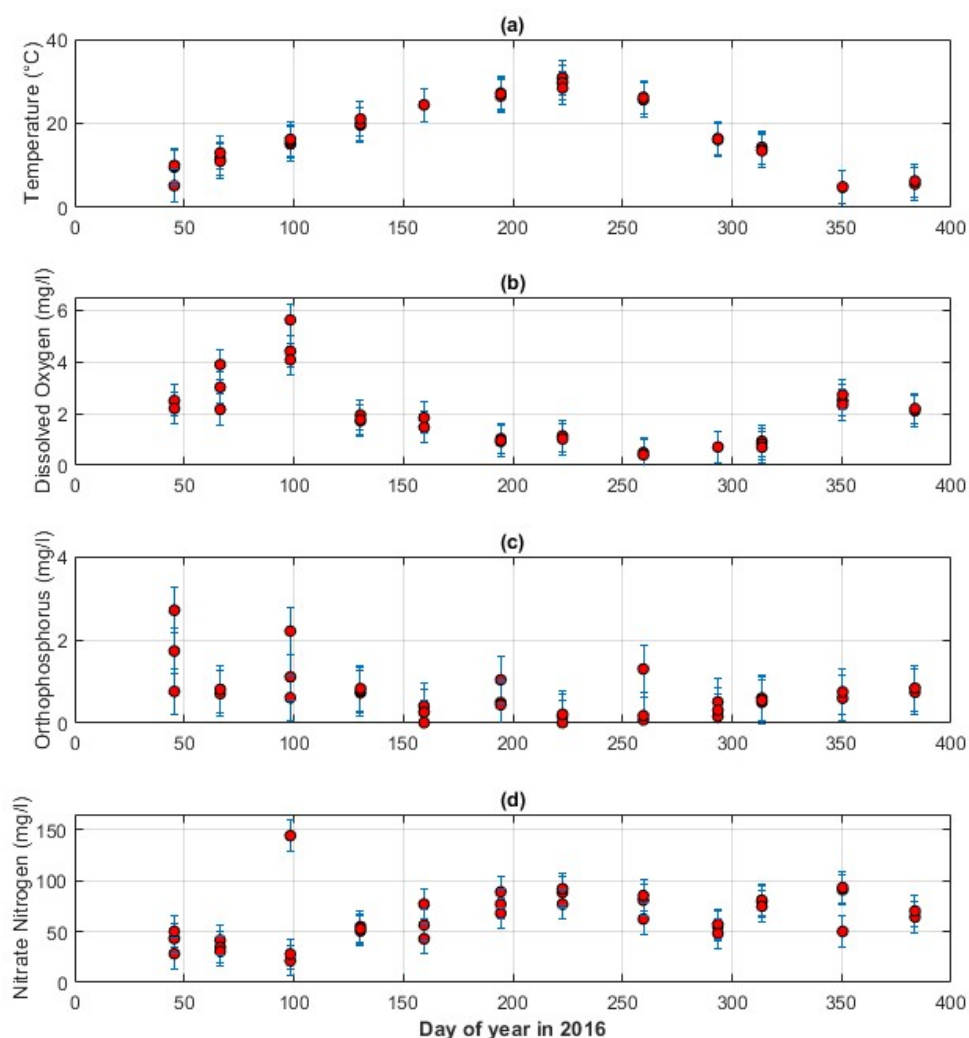
صفحه ۳۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U5: این ایستگاه در مختصات جغرافیایی $37^{\circ}47'28''$ شمالی و $45^{\circ}22'34''$ شرقی قرار گرفته است. نمودارهای مربوط به اندازه گیری DO ، NO_3 ، PO_4 و دما در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه پنجم به صورت شکل ۲۱ خواهد بود.



شکل ۲۱. نمودار DO ، NO_3 ، PO_4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U5 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



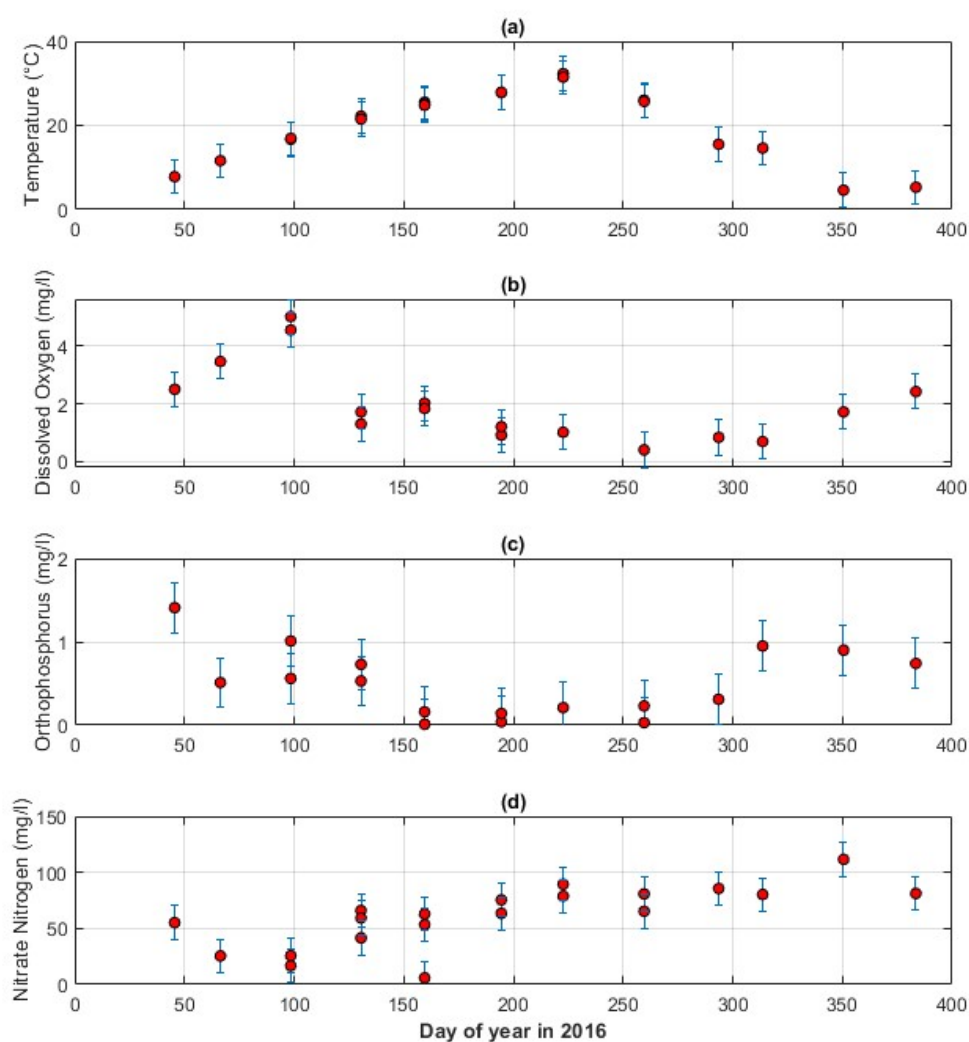
صفحه ۳۹ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U6: این ایستگاه در مختصات جغرافیایی ۳۷° ۴۵' ۵۹/۲ شمالی و ۴۵° ۲۳' ۴/۹ شرقی قرار گرفته است. نمودارهای مربوط به اندازه گیری DO ، NO_3 ، PO_4 و دما در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه ششم به صورت شکل ۲۲ خواهد بود.



شکل ۲۲. نمودار DO ، NO_3 ، PO_4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه U6 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



صفحه ۴۰ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۱-۴-۲ داده های کیفی رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه

همان طور که گفته شد، ۱۶ رودخانه اصلی به صورت دائمی یا فصلی به دریاچه ارومیه می ریزند. دبی میانگین، حداکثر و حداقل دبی برخی از این رودخانه ها در جدول ۱۱ آمده است. همان طور که مشخص است بیشترین دبی مربوط به زرینه رود در جنوب دریاچه می باشد [۱۷].

جدول ۱۱. دبی روزانه رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه [۱۷]

رودخانه	دبی متوسط (مترمکعب بر ثانیه)	دبی مینیمم (مترمکعب بر ثانیه)	دبی ماکزیمم (مترمکعب بر ثانیه)	رودخانه	دبی متوسط (مترمکعب بر ثانیه)	دبی مینیمم (مترمکعب بر ثانیه)	دبی ماکزیمم (مترمکعب بر ثانیه)
آذرشهرچای	۰/۳	۰	۵/۸	زرینه رود	۲۶/۹۶۹	۰	۹۹۴/۸
چشمه دول	۰/۰۹۶	۰	۱	گادارچای	۶/۵۵۷	۰	۱۴۵
آجی چای	۵/۲۵۵	۰	۲۵۰	باراندوزچای	۵/۳	۰	۹۹/۸
صوفی چای	۲/۹۳۴	۰/۳۲	۳۵/۹	شهرچای	۱/۳۶۲	۰	۳۶/۰۲
چکان	۰/۶۵	۰	۲۰/۸	نازلوچای	۴/۲۶۳	۰	۹۳/۳
قلعه چای	۰/۸۷۶	۰	۳۵/۶	روضه چای	۰/۷	۰	۱۶/۲
مردوق چای	۱/۸۶	۰/۰۰۲	۳۸	دریان چای	۰/۴۵۳	۰/۰۰۶	۱۱/۷
لیلان چای	۱/۴۵۵	۰	۲۷	زولاچای	۱/۳۳۴	۰	۵۴/۴
سیمینه رود	۱/۴۳۴	۰	۴۸	مهابادچای	۳/۵۱۹	۰	۸۴/۹

داده های اندازه گیری شده برای رودخانه ها توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، شامل ۸ رودخانه شهرچای، باراندوزچای، سیمینه رود، زرینه رود، نازلوچای، آجی چای، گدارچای و مهابادچای از R1 تا R8 می باشد. این اندازه گیری ها از تاریخ ۹۴/۱۱/۲۷ تا ۹۵/۴/۲۴ برای ۸ ایستگاه و در ۶ زمان مختلف انجام شده است. البته در بسیاری از زمان ها رودخانه ها خالی از آب بوده است. طول و عرض جغرافیایی رودخانه های مختلف اندازه گیری شده نیز در گزارش فوق آمده است [۶].



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



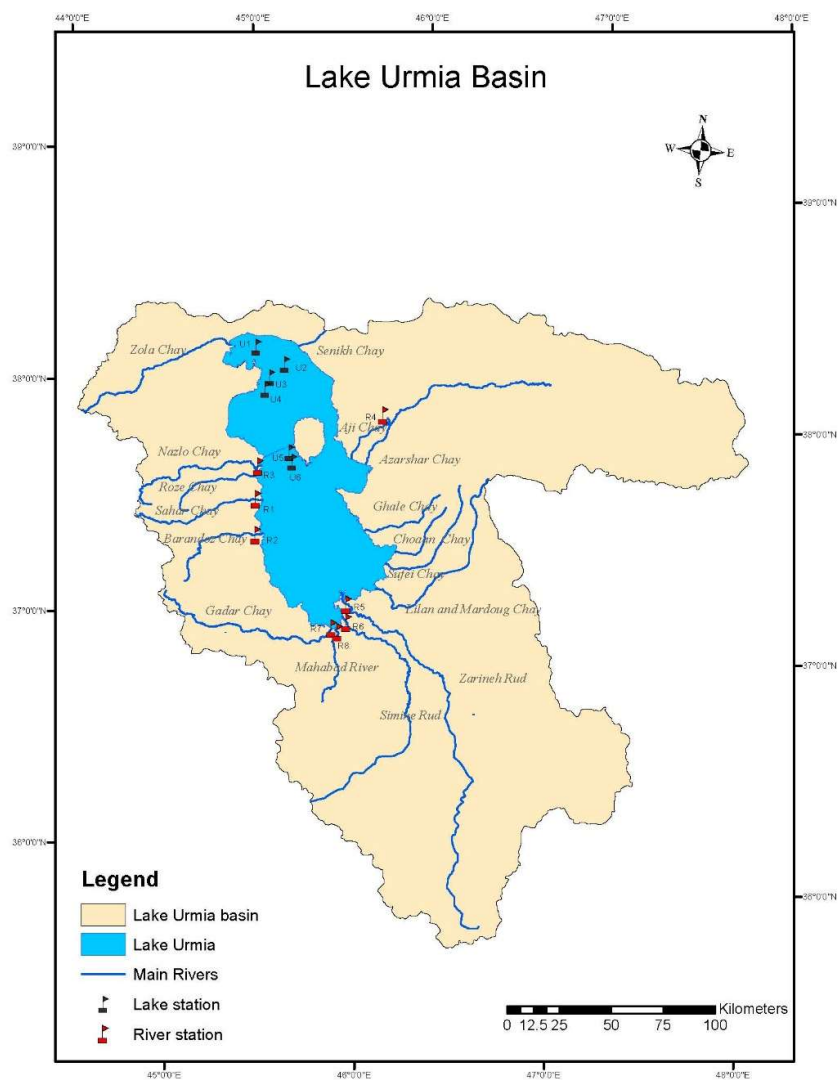
صفحه ۴۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای کیفی رودخانه‌های ورودی و دریاچه در شکل ۲۳ مشخص است. ایستگاه‌های R1 تا R8 مربوط به رودخانه‌ها و ایستگاه‌های U1 تا U6 مربوط به دریاچه می‌باشند.



شکل ۲۳. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری میدانی در دریاچه و رودخانه‌های ورودی آن [۶]

سایر اطلاعات میدانی اندازه‌گیری شده در این ایستگاه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

دبی، دمای هوا، دمای آب، عمق سکی، اکسیژن محلول (DO) به روش probe، اکسیژن محلول (DO) به روش winkler، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، شوری (Salinity)، کل جامدات معلق



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



صفحه ۴۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

(TSS)، کدورت (Turbidity)، رسوب، NO_2^- ، NO_3^- ، نیتروژن کل (TN)، PO_4^{3-} ، فسفر کل (TP)، SiO_2 ، Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، CO_3^{2-} ، HCO_3^- ، NH_4^+ ، Chl a ، Br^- ، کل کربن آلی (TOC)، قلیائیت و دانه بندی [۶].

برای مدل سازی با استفاده از FVCOM سری زمانی این داده های میدانی پردازش شده و فایل ورودی ۱۴ رودخانه برای اجرای مدل ساخته شد. همان طور که قبلاً ذکر شد، تنها داده های ۸ رودخانه در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ به طور مستقیم اندازه گیری شده است، بنابراین برای تخمین مشخصات کیفی ۶ رودخانه دیگر از میانگین داده های اندازه گیری شده استفاده شده است. ۹ متغیر کیفی رودخانه به صورت سری زمانی مانند مقادیری که در دریاچه اندازه گیری شده بود و مطابق زیر در فایل های ورودی رودخانه ها تعریف شده اند:

اکسیژن محلول (DO) با واحد میلی گرم اکسیژن بر لیتر، اکسیژن خواهی بیولوژیکی مربوط به ترکیبات کربنی (CBOD) با واحد میلی گرم کربن بر لیتر، فیتوپلانکتون با واحد میلی گرم کربن بر لیتر، نیتروژن آمونیاکی (NH_3) با واحد میلی گرم نیتروژن بر لیتر، نترات با واحد میلی گرم نیتروژن بر لیتر، نیتروژن آلی با واحد میلی گرم نیتروژن بر لیتر، اورتوفسفات یا فسفر غیر آلی (PO_4^{3-}) با واحد با واحد میلی گرم فسفر بر لیتر، فسفر آلی با واحد میلی گرم فسفر بر لیتر و ردیاب. در پروژه مدل سازی دریاچه ارومیه ۸ متغیر کیفی اول همانند جدول ۱۲ مدل سازی خواهند شد.

جدول ۱۲. متغیرهای موجود در فایل ورودی رودخانه ها

ردیف	نام متغیر کیفی (نام اختصاری)	واحد
۱	اکسیژن محلول (DO)	mg O ₂ /lit
۲	اکسیژن خواهی بیولوژیکی ترکیبات کربنی (CBOD)	mg C/lit
۳	فیتوپلانکتون (PHYT)	mg C/lit
۴	نیتروژن آمونیاکی (NH_3)	mg N/lit
۵	نترات (NO_3^-)	mg N/lit
۶	اورتوفسفات یا فسفر غیر آلی (PO_4^{3-})	mg P/lit
۷	نیتروژن آلی (ON)	mg N/lit
۸	فسفر آلی (OP)	mg P/lit
۹	ردیاب (Tracer)	-



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



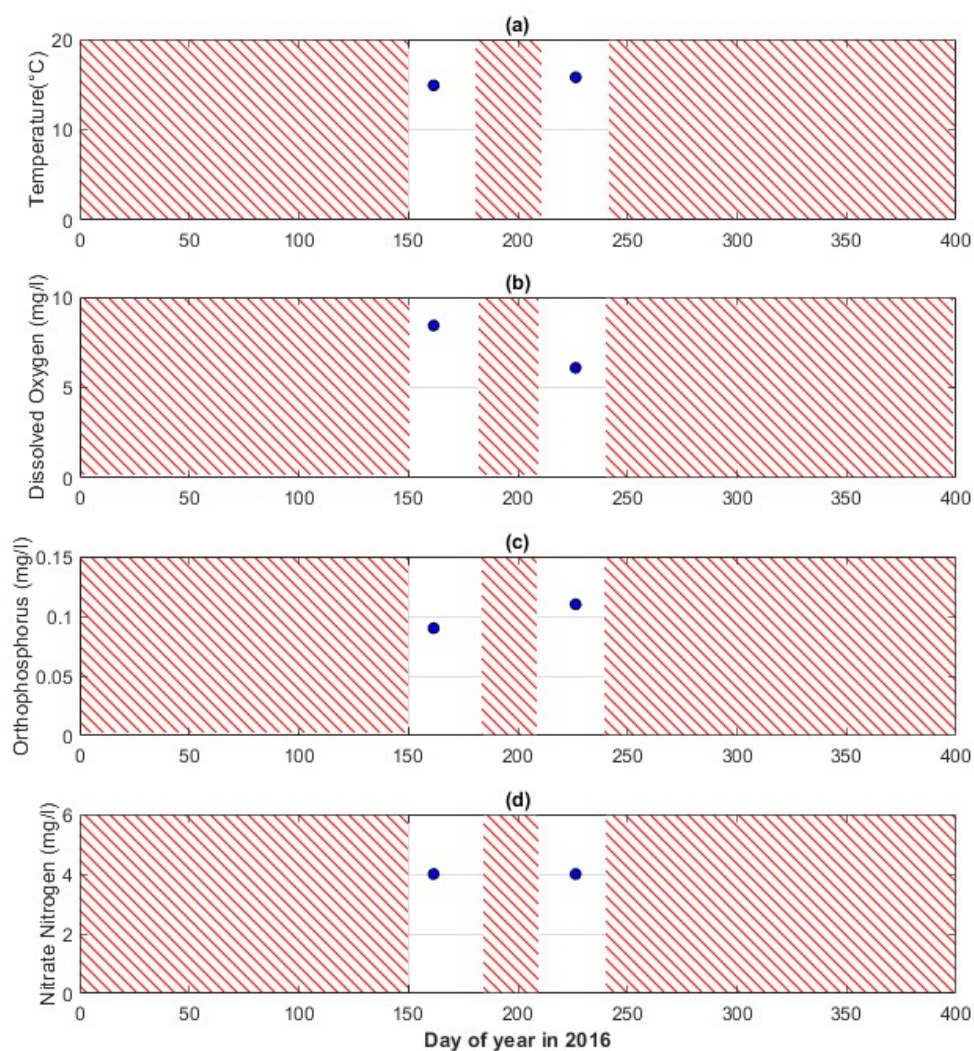
صفحه ۴۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه شهرچای: این رودخانه در موقعیت جغرافیایی $33^{\circ}33'11''$ شمالی و $45^{\circ}15'2''$ شرقی قرار دارد. این رودخانه در بیشتر ماه های سال خشک است. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۲۴ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۲۴. نمودار DO، NO₃، PO₄ و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R1 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



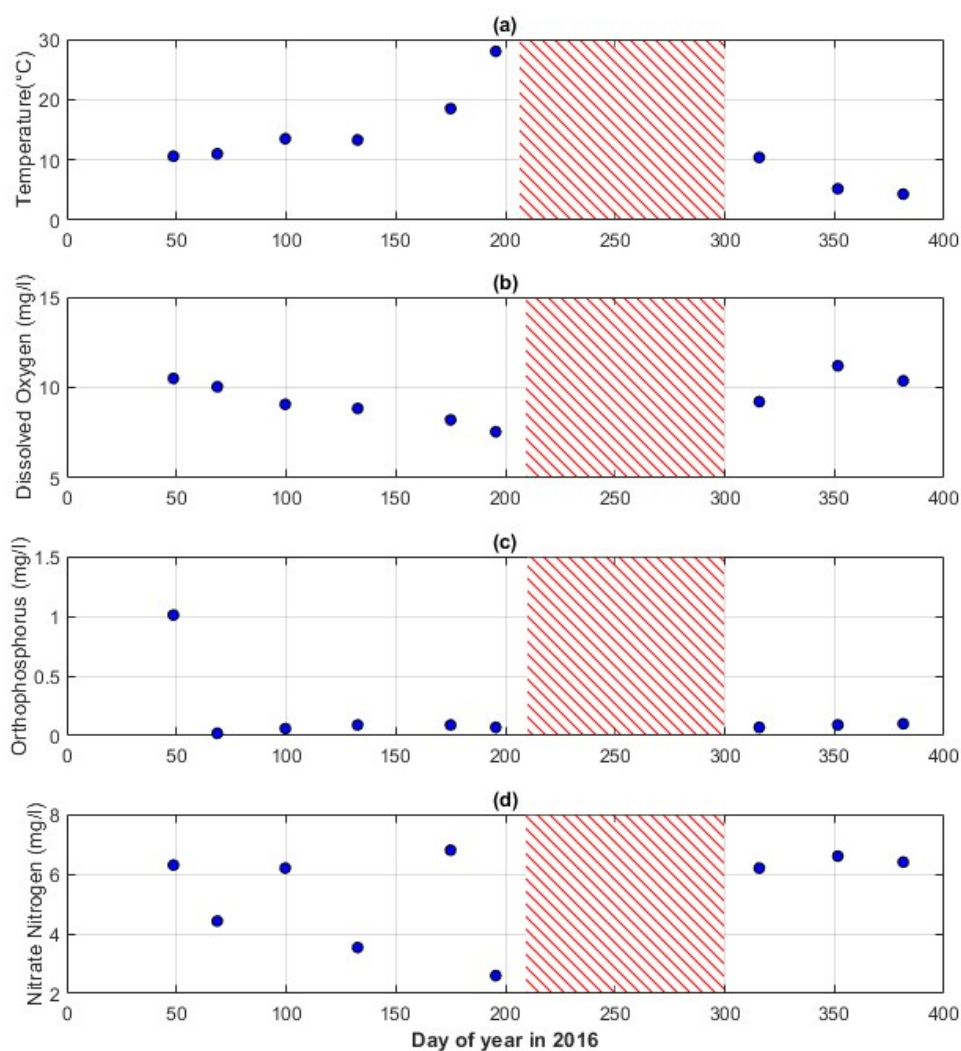
صفحه ۴۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه باراندوزچای: این رودخانه در موقعیت جغرافیایی ۲۶/۴ ۳۷ شمالی و ۳۶/۶ ۴۵ شرقی قرار دارد. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۲۵ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیانگر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۲۵. نمودار DO، NO₃، PO₄ و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R2 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



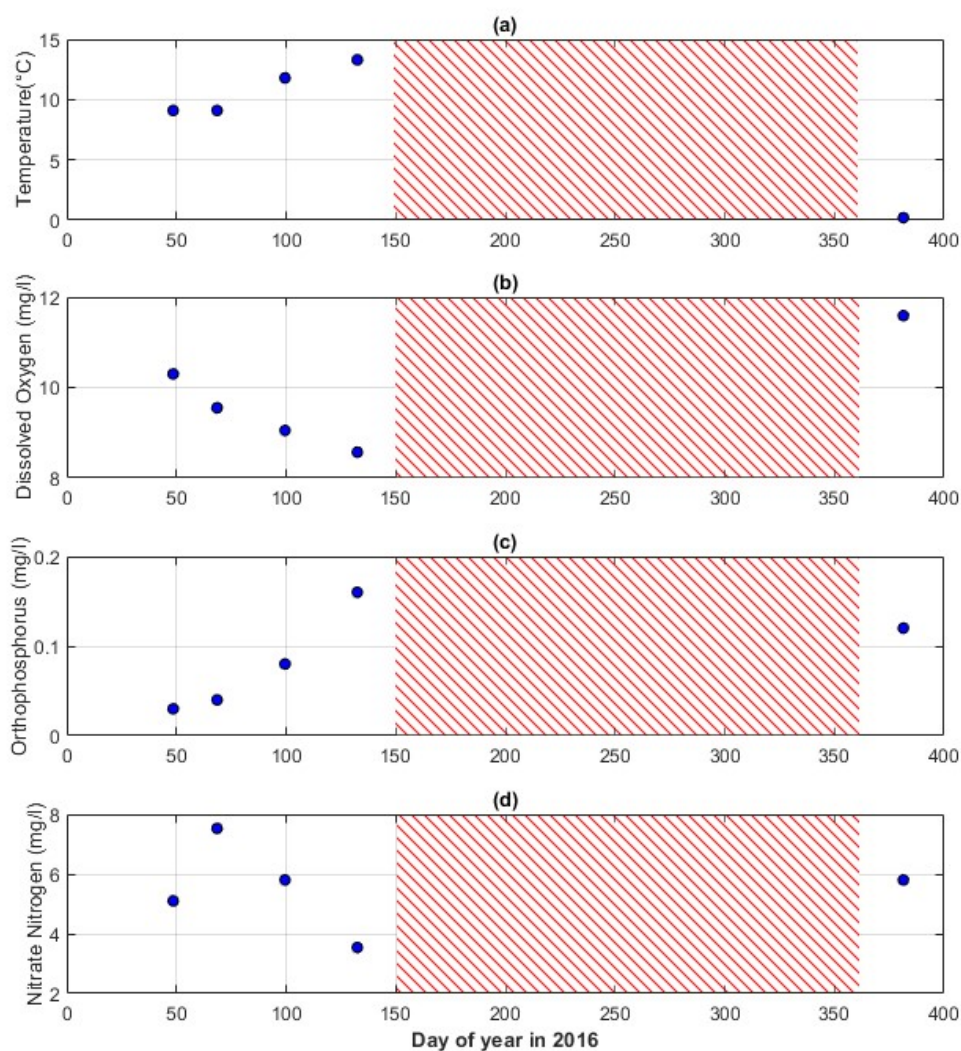
صفحه ۴۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه نازلوچای: این رودخانه در موقعیت جغرافیایی ۳۷° ۴۲' ۹/۵ شمالی و ۴۵° ۱۳' ۵۸/۵ شرقی قرار دارد. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۲۶ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیانگر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۲۶. نمودار DO، NO3، PO4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R3 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



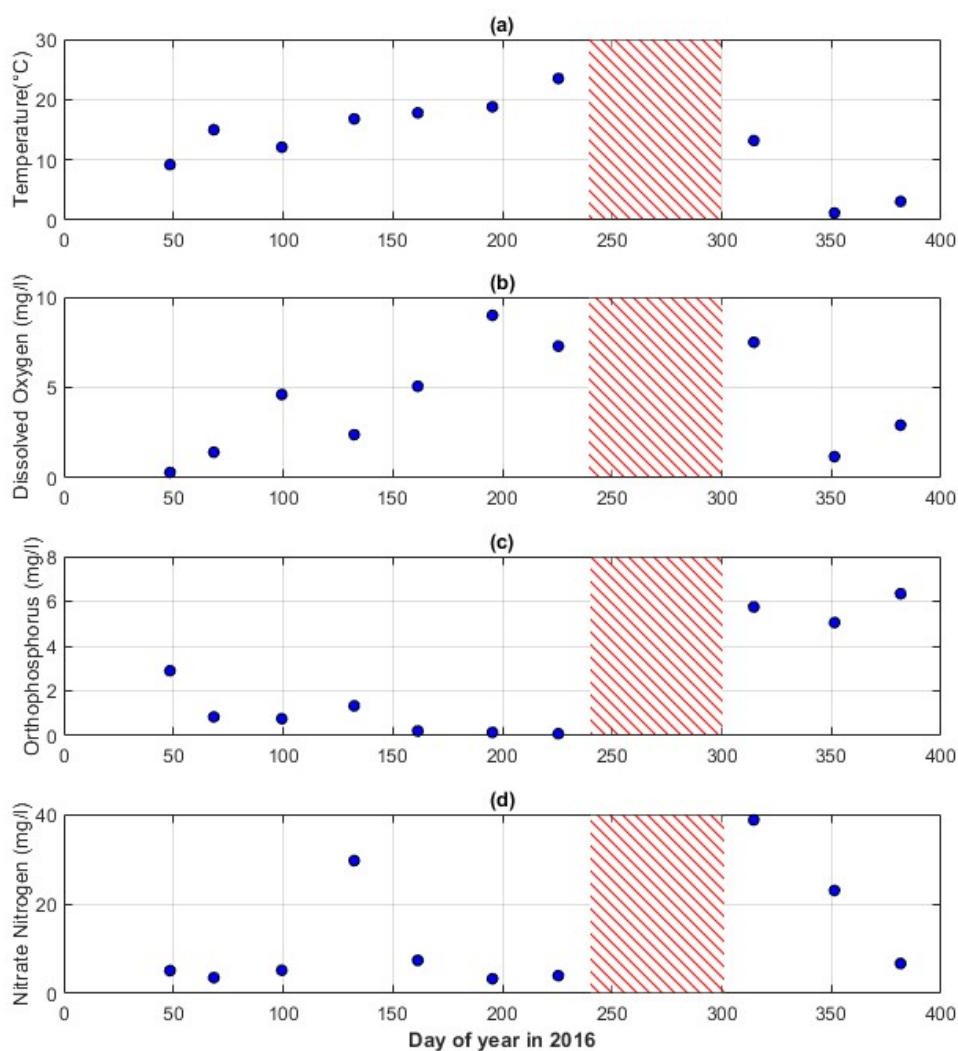
صفحه ۴۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه آجی چای: این رودخانه در موقعیت جغرافیایی ۲۷/۶ ۵۲ ۳۷ شمالی و ۲۵/۰ ۴۵ ۴۵ شرقی قرار دارد. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۲۷ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۲۷. نمودار DO، NO₃، PO₄ و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R4 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



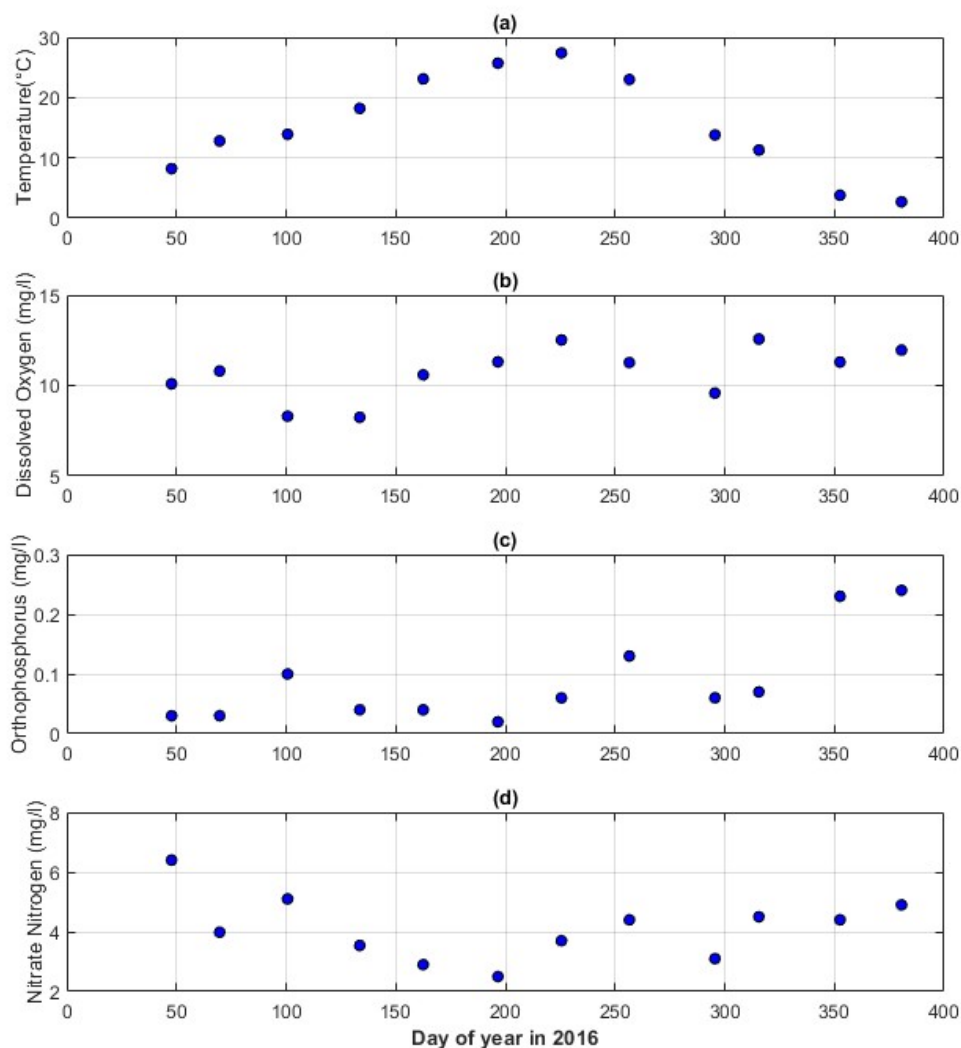
صفحه ۴۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه زرينه رود: اين رودخانه در موقعيت جغرافيايي ۱۶/۰ ۳۷ ۶ شمالی و ۳۲/۲ ۴۷ ۴۵ شرقی قرار دارد. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۲۸ آمده است.



شکل ۲۸. نمودار PO_4 ، NO_3 ، DO و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R5 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



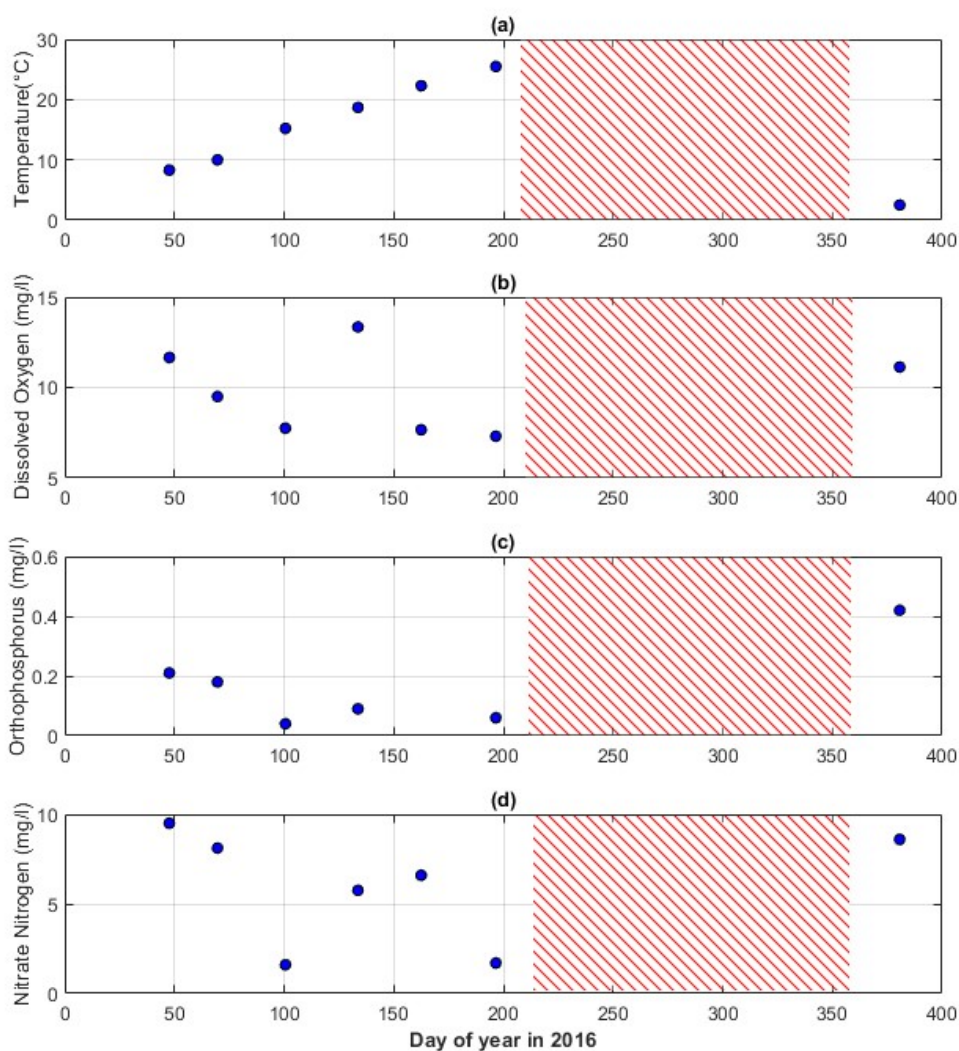
صفحه ۴۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه سیمینه رود: این رودخانه در موقعیت جغرافیایی ۳۷° ۰' ۱۰" شمالی و ۴۵° ۵۳' ۴۰" شرقی قرار دارد. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۲۹ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیانگر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۲۹. نمودار DO، NO3، PO4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R6 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



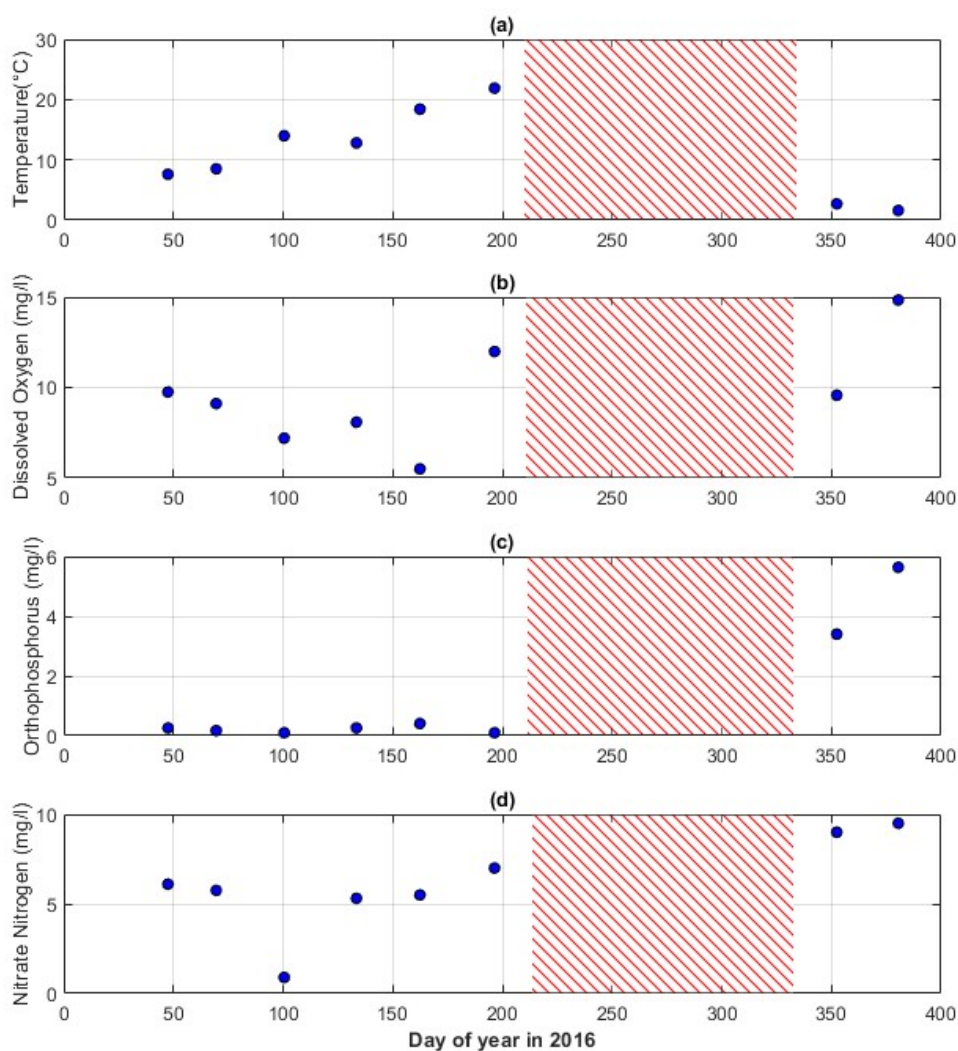
صفحه ۴۹ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه گدارچای: این رودخانه در موقعیت جغرافیایی ۳۷° ۲' ۳۱/۱ شمالی و ۴۵° ۳۹' ۳۶/۴ شرقی قرار دارد. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۳۰ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیانگر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۳۰. نمودار DO، NO3، PO4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R7 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



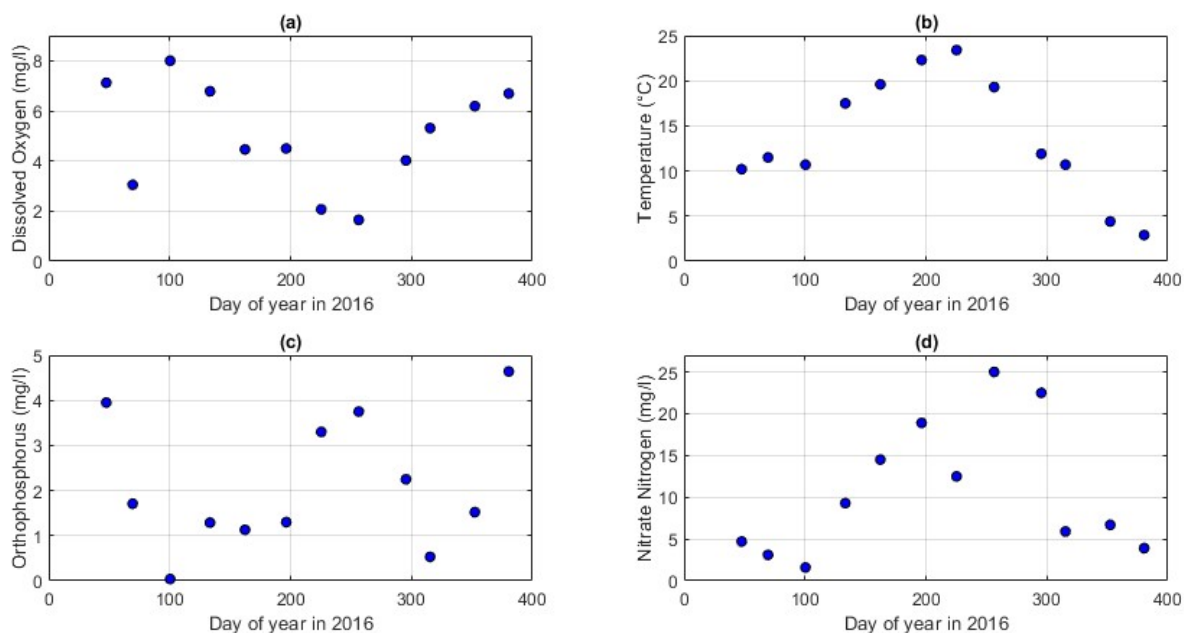
صفحه ۵۰ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه مهابادچای: این رودخانه در موقعیت جغرافیایی ۲۵/۴ ۵۹ ۳۶ شمالی و ۹/۶ ۴۳ ۴۵ شرقی قرار دارد. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۳۱ آمده است.



شکل ۳۱. نمودار DO، NO3، PO4 و دما اندازه گیری شده در ایستگاه R8 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶

اطلاعات کیفی مربوط به ۶ رودخانه دیگر از روی متوسط داده های فوق، مربوط به رودخانه های اندازه گیری شده، بدست آمده اند. لازم به ذکر است ورودی های مدل می بایست به صورت ساعتی باشند. بنابراین با استفاده از درونیابی سری زمانی داده های اندازه گیری شده به صورت ساعتی تخمین زده شد.



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



صفحه ۵۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۵-۱- برآورد داده های کیفی مورد نیاز

برای استفاده از مدل کیفی FVCOM به متغیرهای کیفی نیتروژن آلی (ON)، فسفر آلی (OP)، آمونیاک (NH_3)، فیتوپلانکتون (PHYT)، نترات (NO_3)، اورتوفسفات (PO_4)، اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن خواهی بیولوژیکی کربن (CBOD) نیاز است. داده های اندازه گیری شده توسط "شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران" فاقد اطلاعات متغیرهای نیتروژن آلی، فسفر آلی، آمونیاک و فیتوپلانکتون هستند. این متغیرها با استفاده از روابط تجربی و متغیرهای اندازه گیری شده ی وابسته، به شکل زیر بدست آورده شده است.

۱-۵-۱ نیتروژن آلی

متغیر نیتروژن کل معرف تمام نیتروژن موجود در محیط می باشد، نیتروژن موجود در محیط به دو گروه کلی نیتروژن آلی و نیتروژن غیر آلی تقسیم می شود. برای بدست آوردن نیتروژن آلی باید نیتروژن غیر آلی که حاصل جمع مقادیر آمونیم، نترات و نیتريت است، از مقدار نیتروژن کل کسر گردد. رابطه ی نیتروژن کل و نیتروژن آلی و نیتروژن غیر آلی در رابطه شماره ۲ و رابطه نیتروژن غیر آلی در رابطه شماره ۳ نمایش داده شده است [۱۸].

$$Total\ Nitrogen\ (TN) = Inorganic\ Nitrogen\ (ION) + Organic\ Nitrogen\ (ON) \quad (2)$$

$$Inorganic\ Nitrogen\ (ION) = Ammonium\ (NH_4^+) + Nitrate\ Nitrogen\ (NO_3^-) + Nitrite\ Nitrogen\ (NO_2^-) \quad (3)$$

با توجه به اندازه گیری نترات، نیتريت، آمونیوم و نیتروژن کل توسط "شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران"، متغیر نیتروژن آلی برای استفاده در مدل برآورد شد.

۲-۵-۱ فسفر آلی

متغیر فسفر آلی نیز مشابه متغیر نیتروژن آلی در عنوان یاد شده قبلی، از کسر فسفر غیر آلی یا اورتوفسفات از فسفر کل بدست می آید. فسفر کل معرف تمام فسفر موجود در محیط می باشد، فسفر موجود در محیط به دو دسته فسفر آلی و



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



صفحه ۵۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

فسفر غیرآلی تقسیم می شود. برای بدست آوردن فسفرآلی باید فسفر غیرآلی از مقدار فسفر کل کسر گردد. رابطه ی فسفر کل و فسفرآلی و فسفر غیرآلی در رابطه شماره ۴ نمایش داده شده است [۱۹].

$$\begin{aligned} \text{Total Phosphorus (TP)} = \\ \text{Inorganic Phosphorus (IOP) or Orthophosphorus (PO}_4^{-3}) + \\ \text{Organic Phosphorus (OP)} \end{aligned} \quad (۴)$$

متغیر فسفر آلی نیز با توجه به اندازه گیری اورتوفسفات و فسفر کل توسط " شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران " برای استفاده در مدل برآورد شد.

۳-۵-۱ آمونیاک

آمونیاک کل که از آمونیاک و آمونیم تشکیل شده است، حاصل از بین رفتن و تجزیه مواد آلی موجود در محیط می باشد. برای برآورد آمونیاک از رابطه شماره ۵ استفاده شده است. این رابطه، ارتباط بین آمونیاک، آمونیاک کل، دمای محیط و pH را نشان می دهد [۲۰].

$$\begin{aligned} \text{Ammonia Nitrogen (NH}_3) \\ = \text{Total Ammonia (NH}_3 + \text{NH}_4^+) / \left(1 + 10^{((0.0902 - \text{pH}) + (27 - (273.2 + \text{Temperature})))} \right) \end{aligned} \quad (۵)$$

۴-۵-۱ فیتوپلانکتون

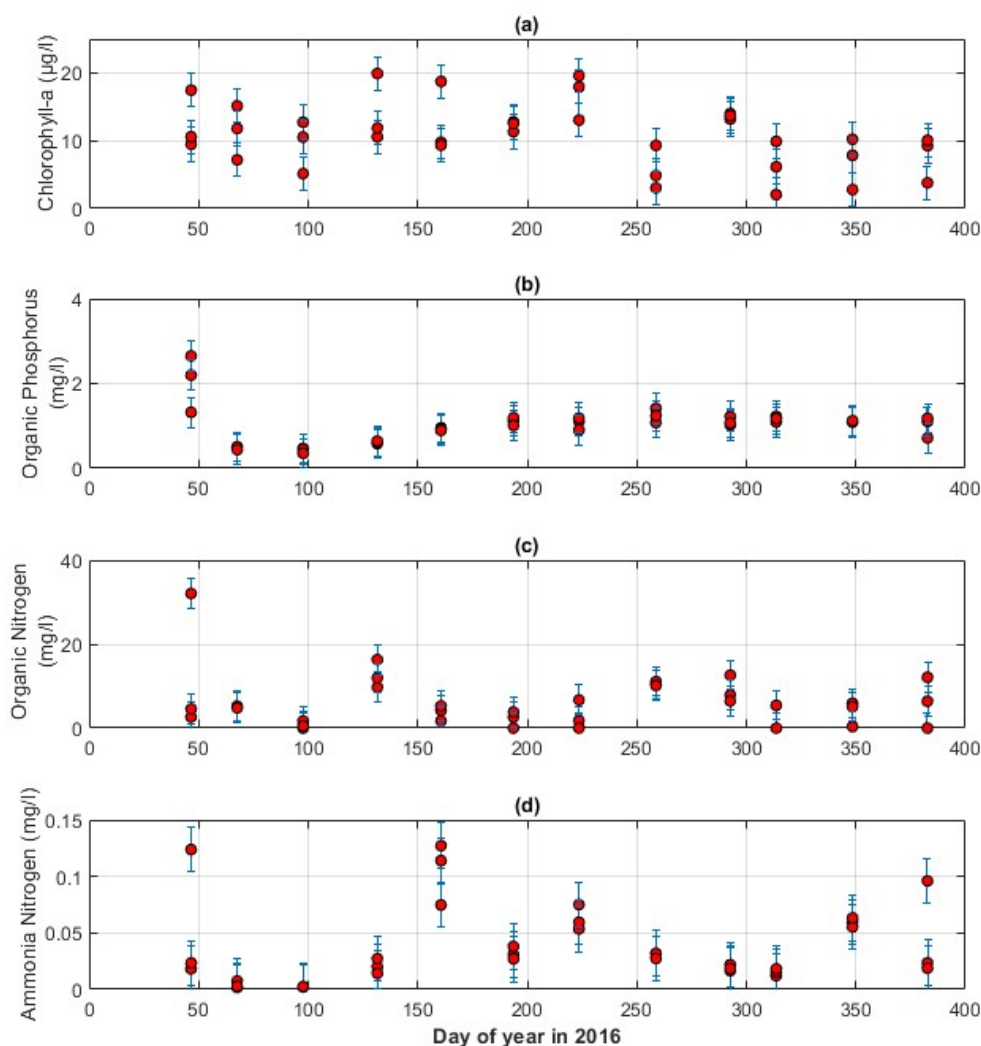
جلبک های میکروسکوپی (microalgae) یا فیتوپلانکتون ها که از قدیمی ترین ساکنان اقیانوس ها و آب های شیرین می باشند، در آب های سطحی و مناطقی که نور خورشید وجود دارد، رشد و فتوسنتز نموده و نقشی بسیار مهم و کلیدی را به عنوان موجودات تولید کننده در زنجیره غذایی و اکوسیستم ایفا می کنند. این متغیر را می توان با استفاده از رابطه شماره ۶ از مقدار کلروفیل-آ اندازه گیری شده در محیط بدست آورد. براساس این رابطه مقدار فیتوپلانکتون از تقسیم مقدار کلروفیل-آ اندازه گیری شده بر نرخ تبدیل کربن به کلروفیل حاصل می گردد [۲۱].

$$\text{Phytoplankton (mg/l)} = \frac{1000 * chl - a (\mu\text{g/l})}{\text{Carbon to chl} - a \text{ ratio}} \quad (۶)$$



۵-۵-۱ متغیرهای برآورد شده دریاچه ارومیه در ایستگاههای مختلف

- ایستگاه U1: نمودارهای مربوط به اندازه گیری NH_3 ، OP ، ON ، Chl-a در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه اول به صورت شکل ۳۲ خواهد بود.



شکل ۳۲. نمودار NH_3 ، OP ، ON ، Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه U1 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



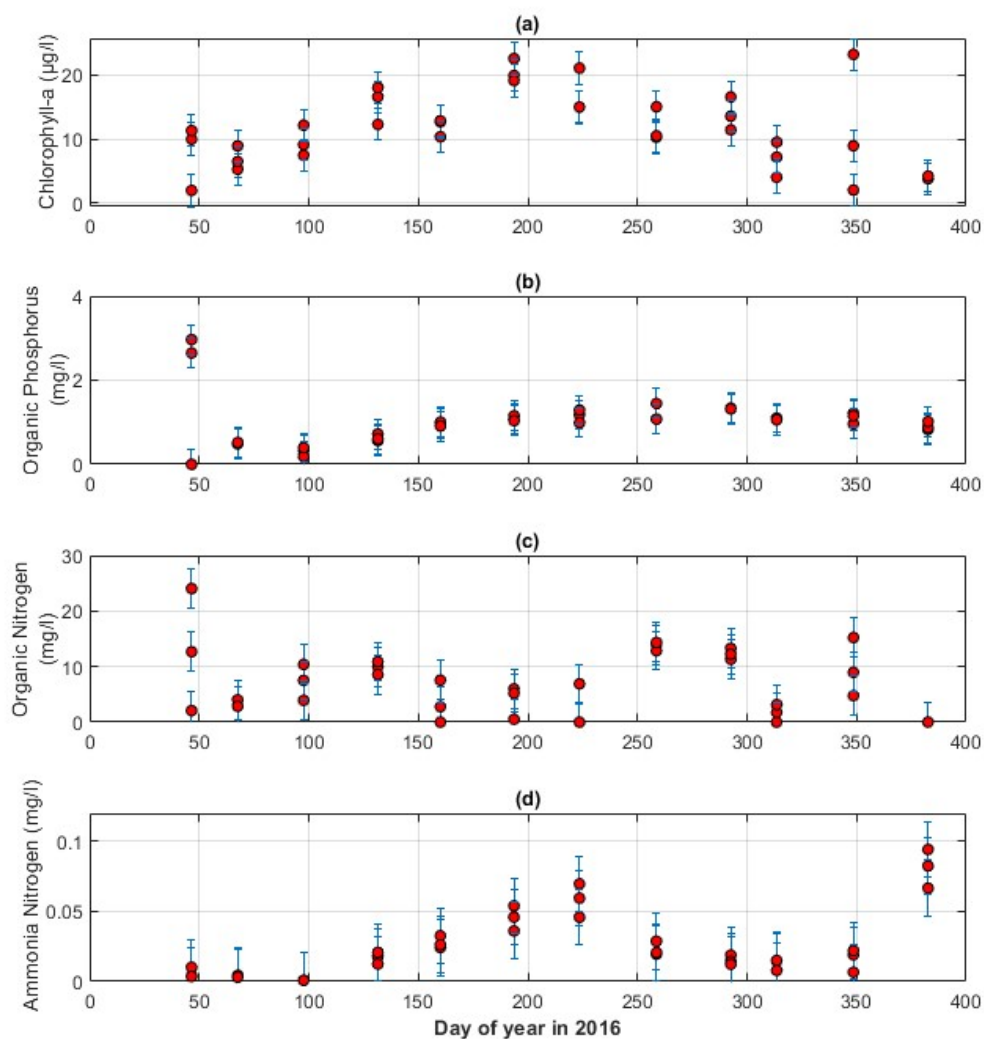
صفحه ۵۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U2: نمودارهای مربوط به اندازه گیری NH_3 و OP, ON, Chl-a در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه دوم به صورت شکل ۳۳ خواهد بود.



شکل ۳۳. نمودار NH_3 و OP, ON, Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه U2 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



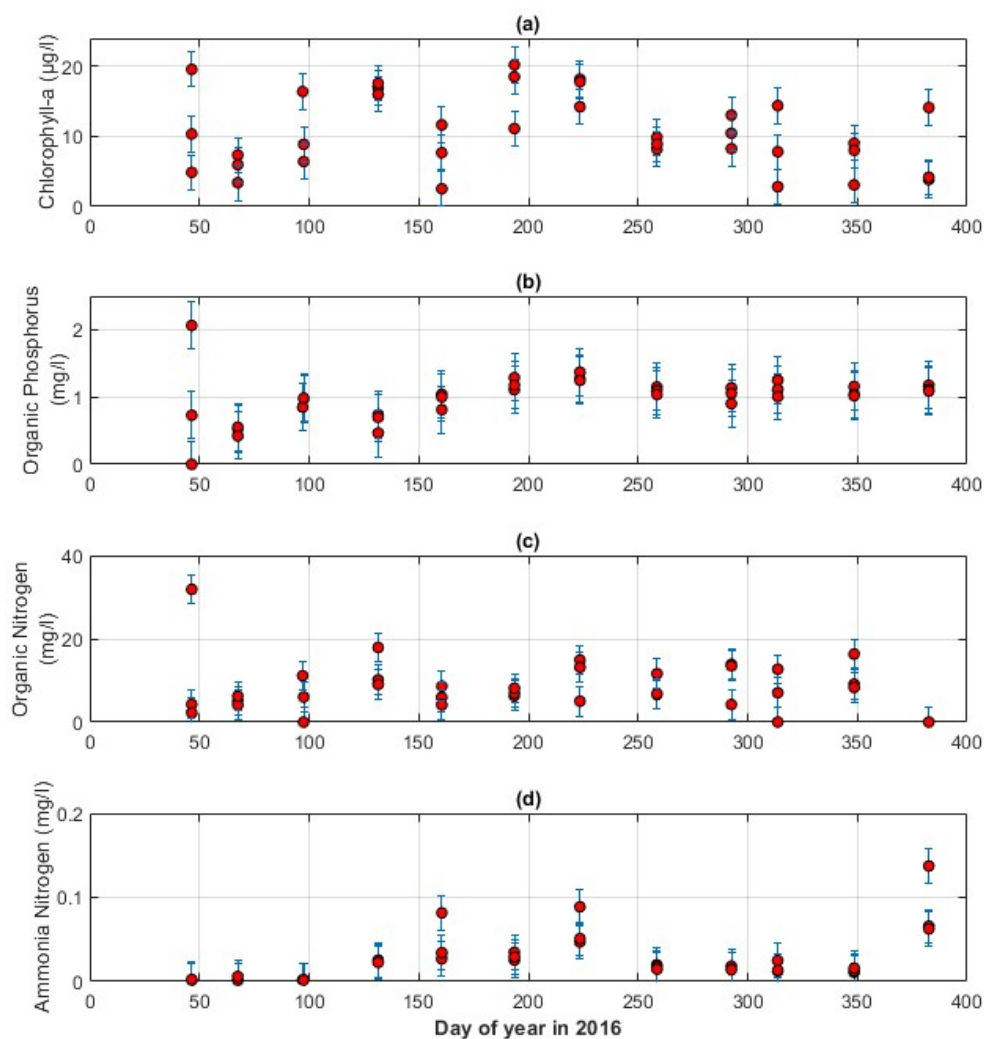
صفحه ۵۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U3: نمودارهای مربوط به اندازه گیری NH_3 و OP, ON, Chl-a در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه سوم به صورت شکل ۳۴ خواهد بود.



شکل ۳۴. نمودار NH_3 و OP, ON, Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه U3 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



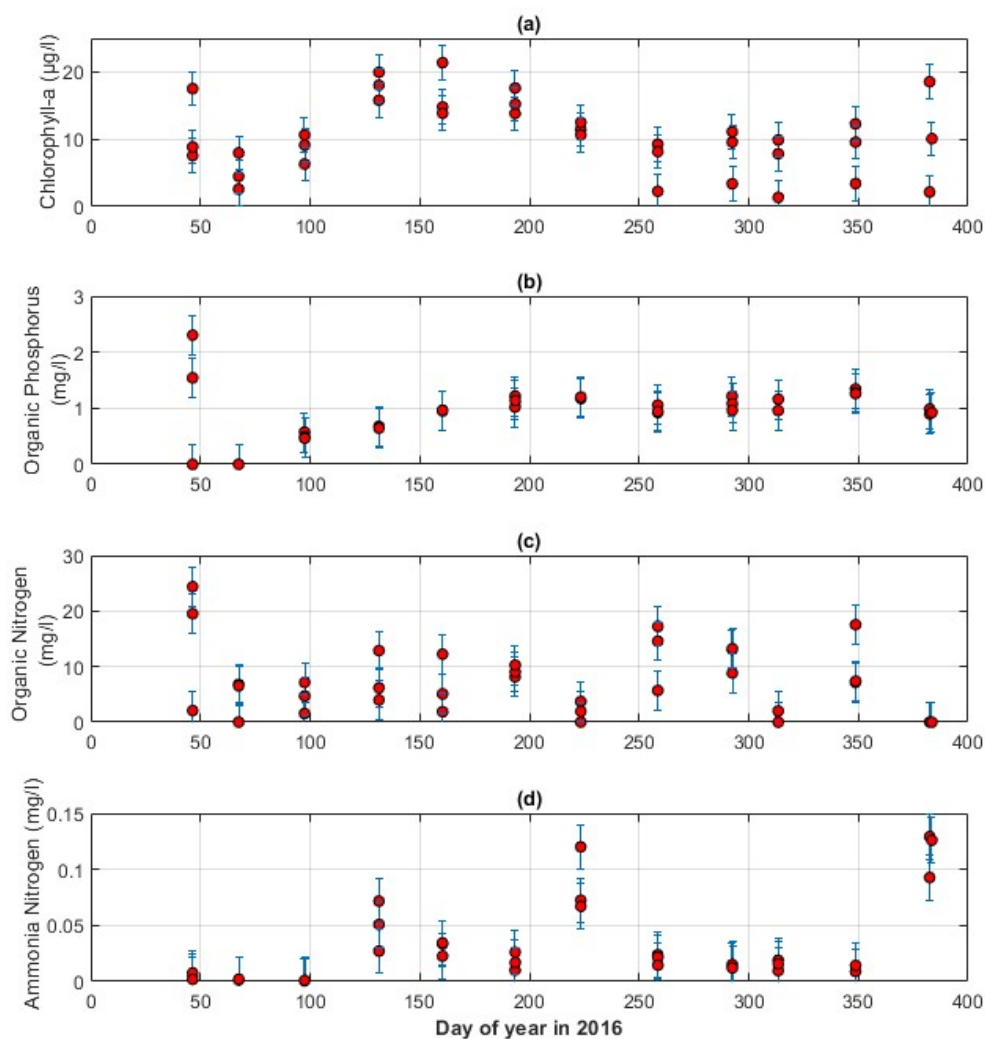
صفحه ۵۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U4: نمودارهای مربوط به اندازه گیری NH_3 و OP, ON, Chl-a در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه چهارم به صورت شکل ۳۵ خواهد بود.



شکل ۳۵. نمودار NH_3 و OP, ON, Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه U4 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



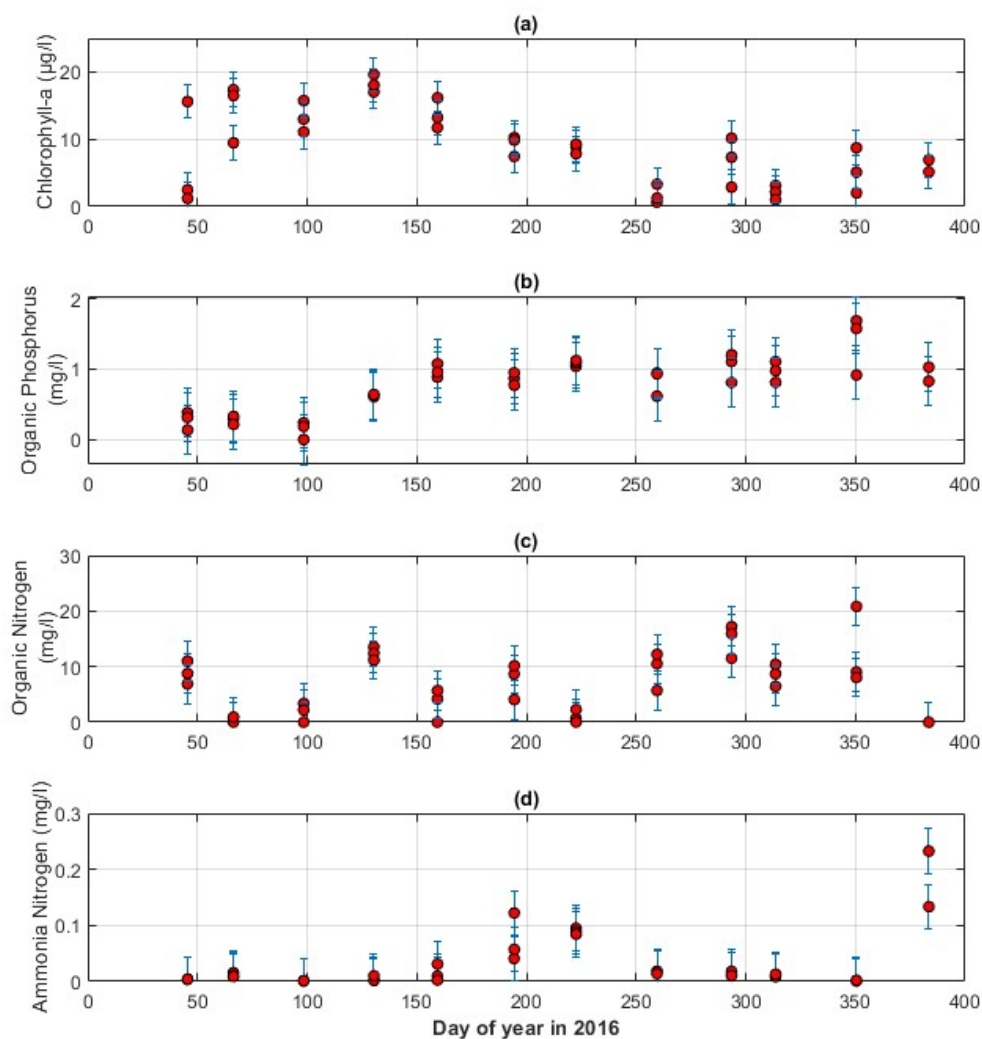
صفحه ۵۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U5: نمودارهای مربوط به اندازه گیری NH_3 ، OP، ON، Chl-a در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه پنجم به صورت شکل ۳۶ خواهد بود.



شکل ۳۶. نمودار NH_3 ، OP، ON، Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه U5 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



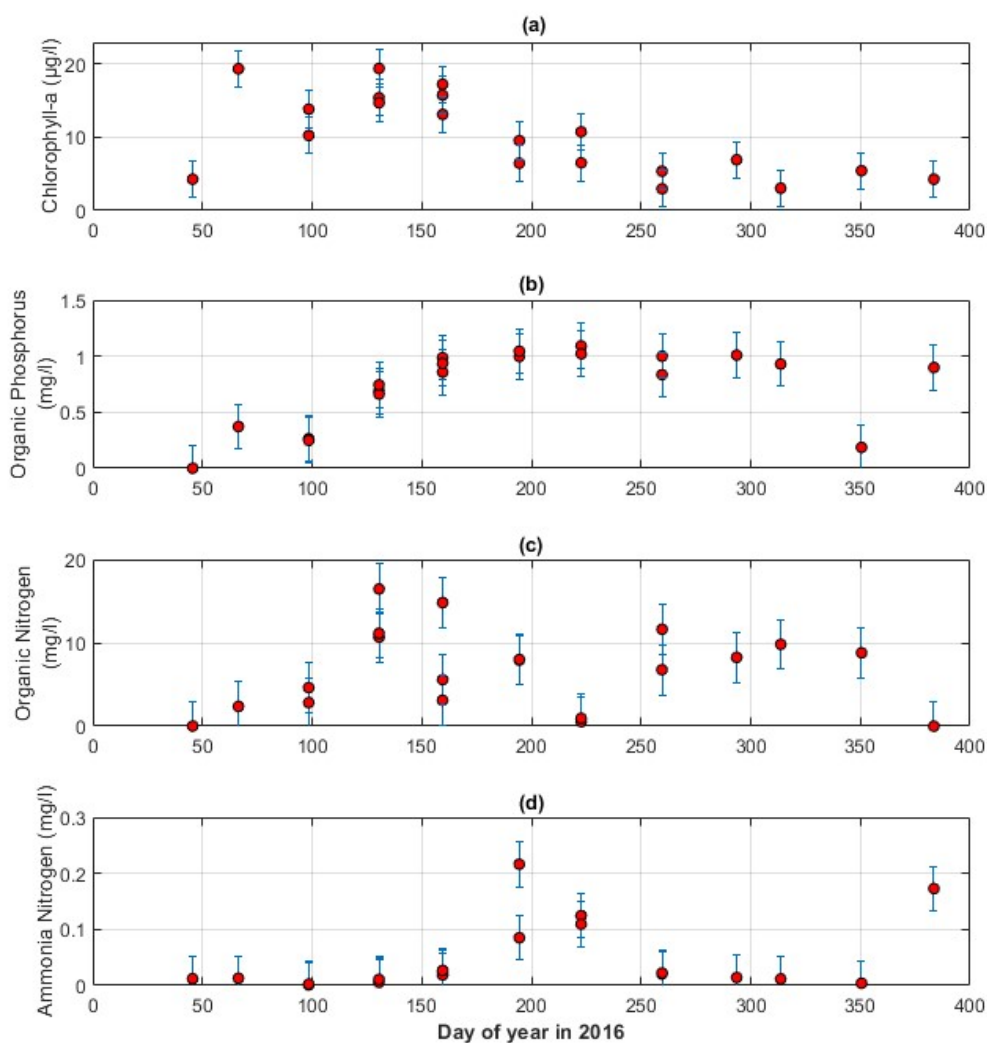
صفحه ۵۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- ایستگاه U6: نمودارهای مربوط به اندازه گیری NH_3 ، OP، ON، Chl-a در طول زمان مدل سازی برحسب زمان (روز) برای ایستگاه ششم به صورت شکل ۳۷ خواهد بود.

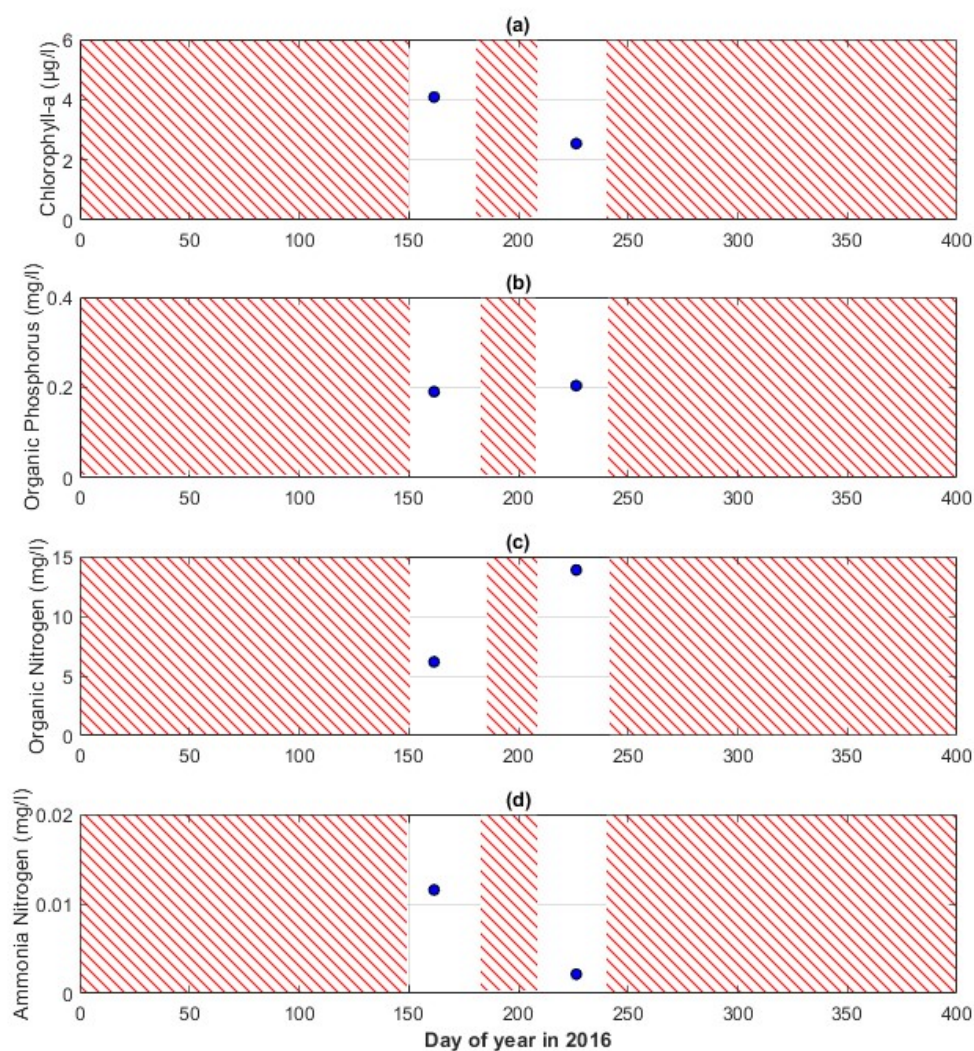


شکل ۳۷. نمودار NH_3 ، OP، ON، Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه U6 دریاچه ارومیه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



۱-۵-۶ متغیرهای برآورد شده برای رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه

- رودخانه شهرچای: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۳۸ آمده است. ناحیه هاشور خورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۳۸. نمودار OP، ON، Chl-a، NH₃ اندازه گیری شده در ایستگاه RI برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



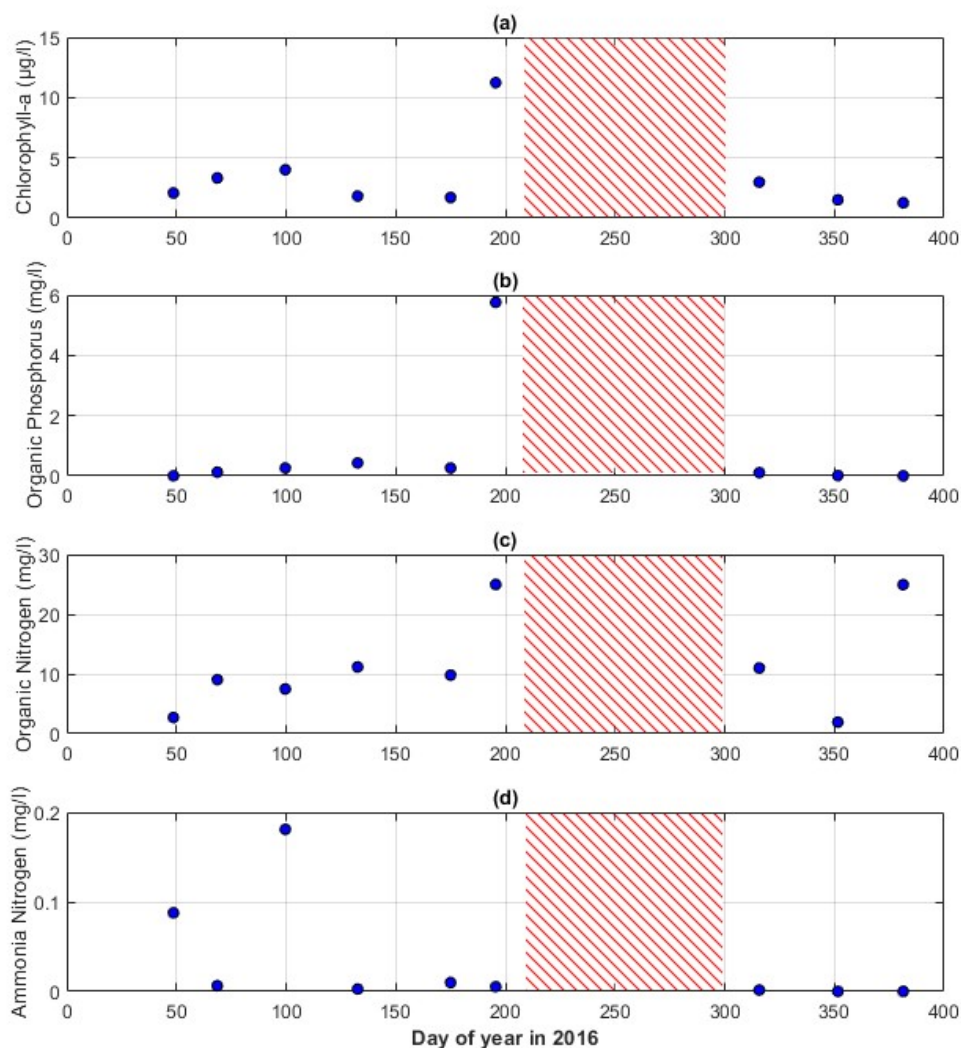
صفحه ۶۰ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه باراندوزچای: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۳۹ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۳۹. نمودار NH_3 و OP ، ON ، Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه R2 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



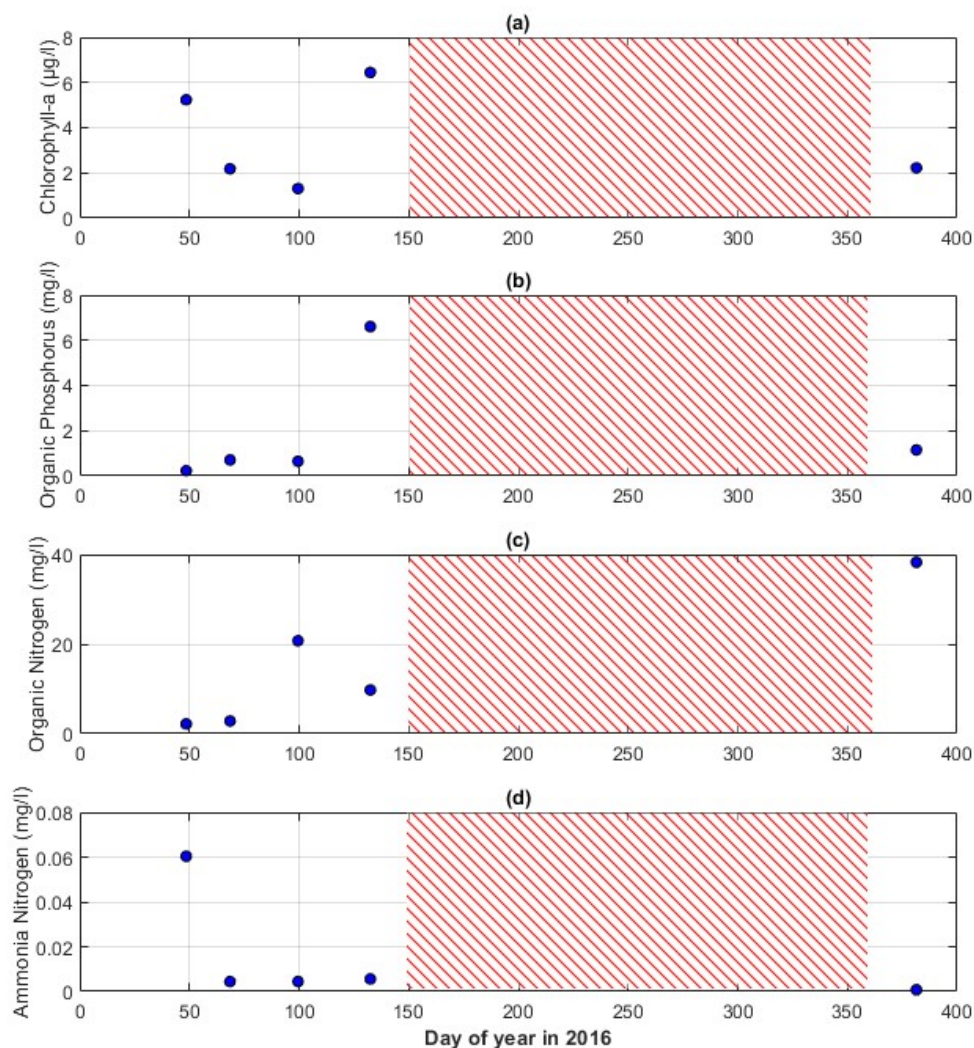
صفحه ۶۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه نازلوچای: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۴۰ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۴۰. نمودار NH_3 و OP ، ON ، Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه R3 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



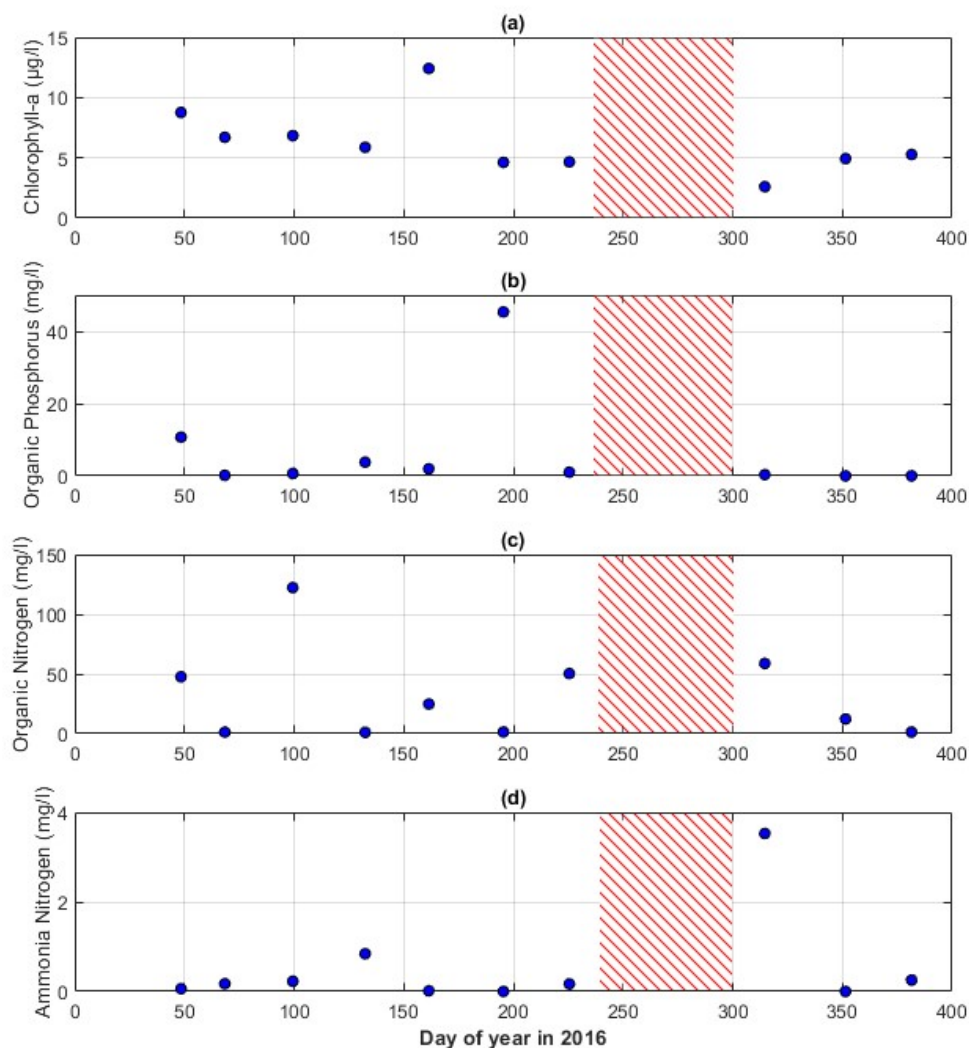
صفحه ۶۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه آجی چای: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۴۱ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۴۱. نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۴۱ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



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



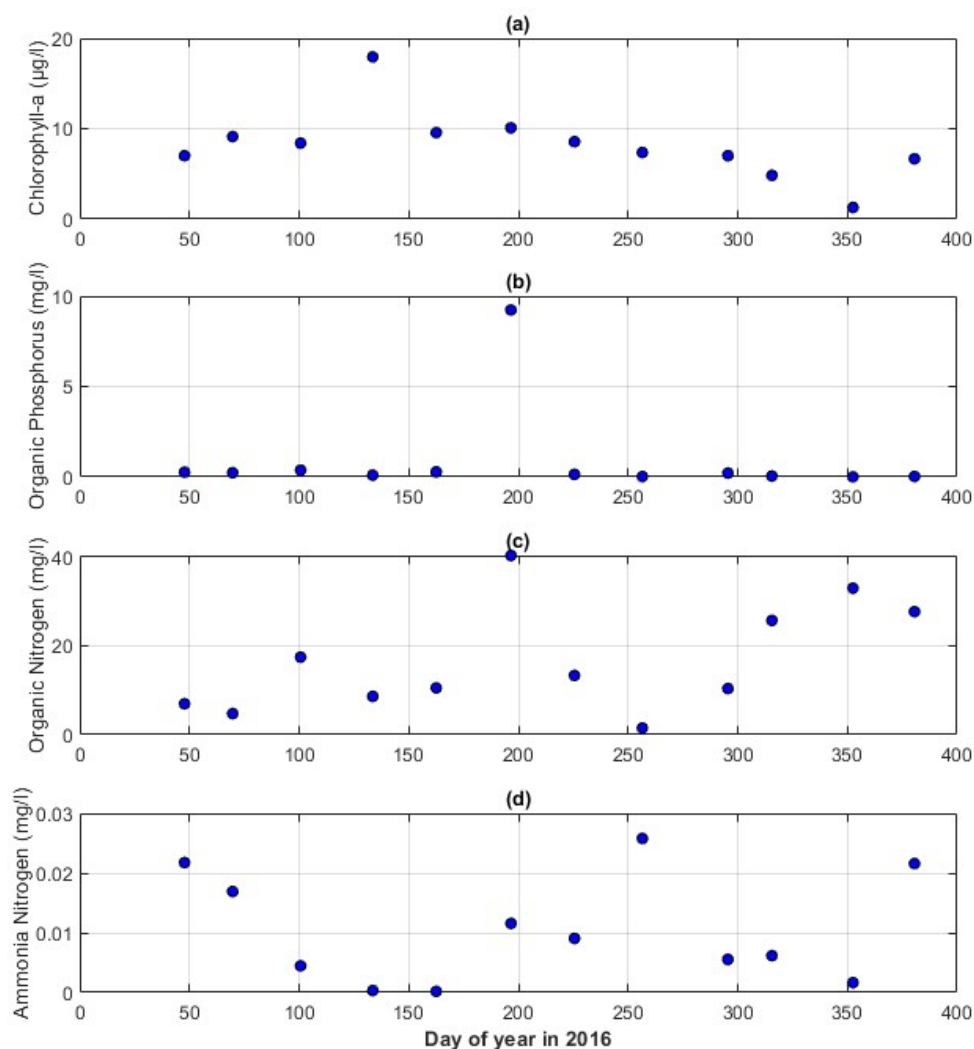
صفحه ۶۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه زرينه رود: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۴۲ آمده است.



شکل ۴۲. نمودار Chl-a ، ON ، OP و NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R5 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



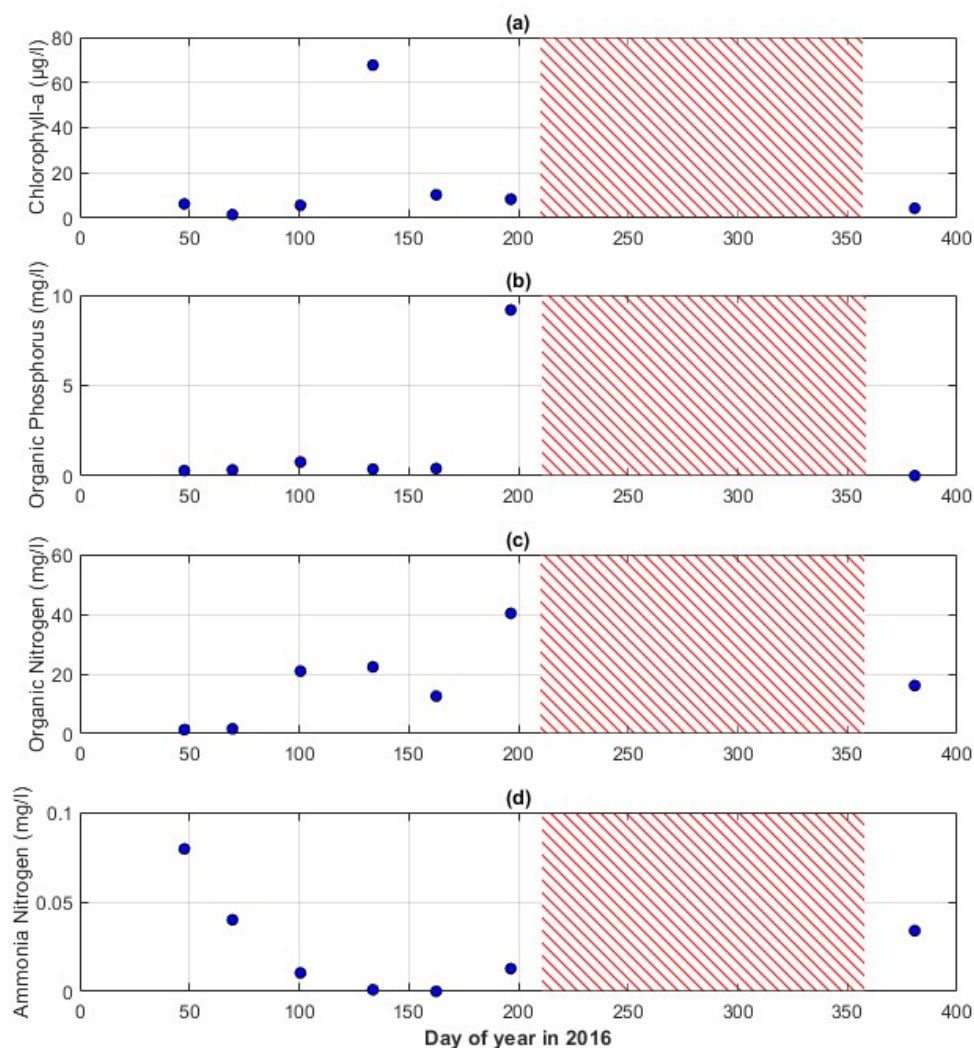
صفحه ۶۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه سیمینه رود: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۴۳ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۴۳. نمودار Chl-a ، ON ، OP و NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R6 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



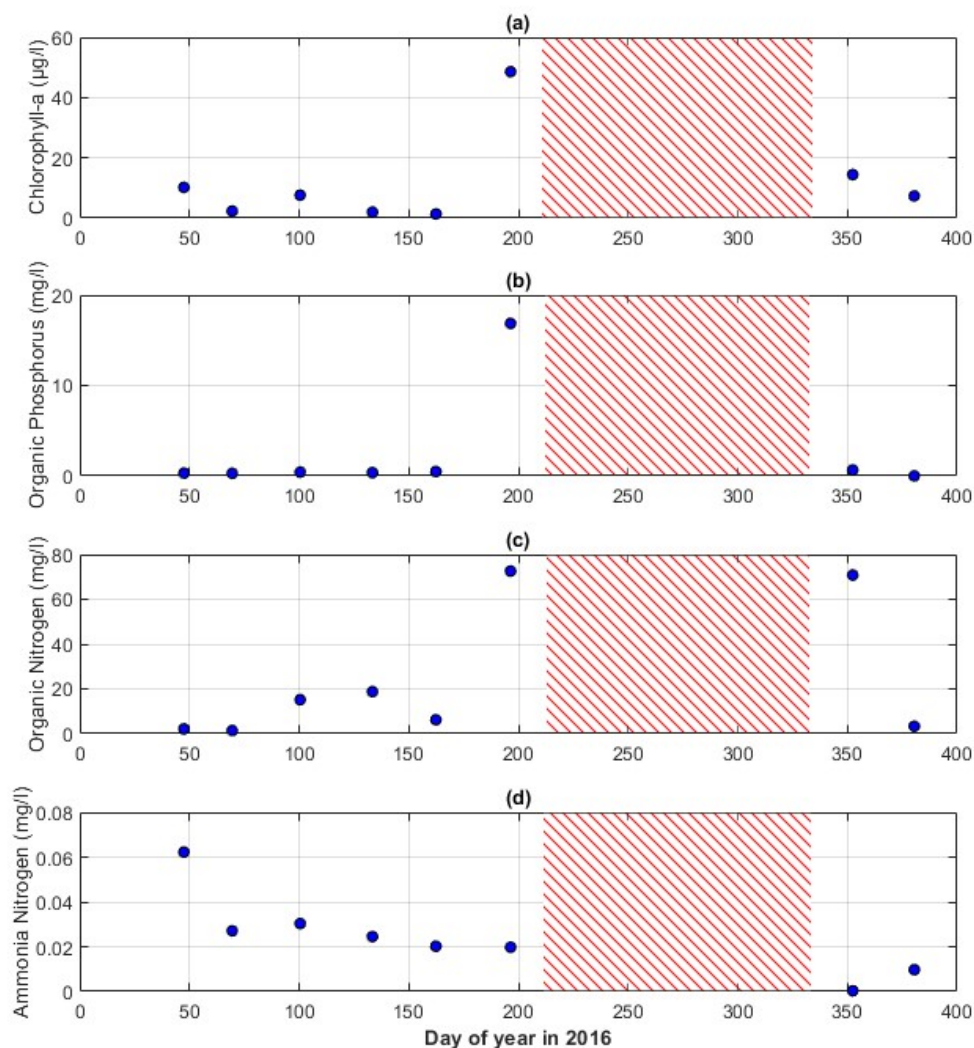
صفحه ۶۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه گدارچای: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۴۴ آمده است. ناحیه هاشورخورده بیان گر خشک بودن رودخانه می باشد.



شکل ۴۴. نمودار NH_3 و OP ، ON ، Chl-a اندازه گیری شده در ایستگاه R7 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



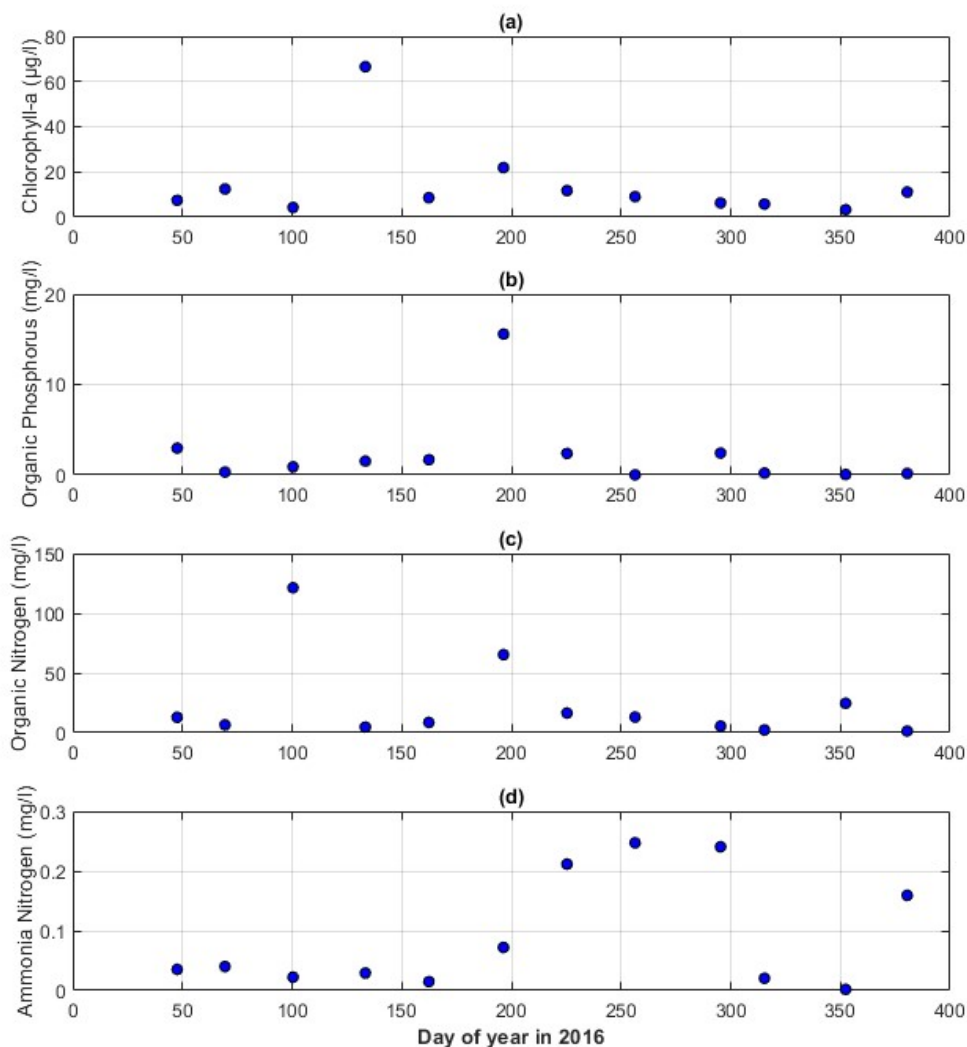
صفحه ۶۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- رودخانه مهابادچای: نمودار سری زمانی متغیرهای کیفی مورد نظر در این رودخانه، در شکل ۴۵ آمده است.



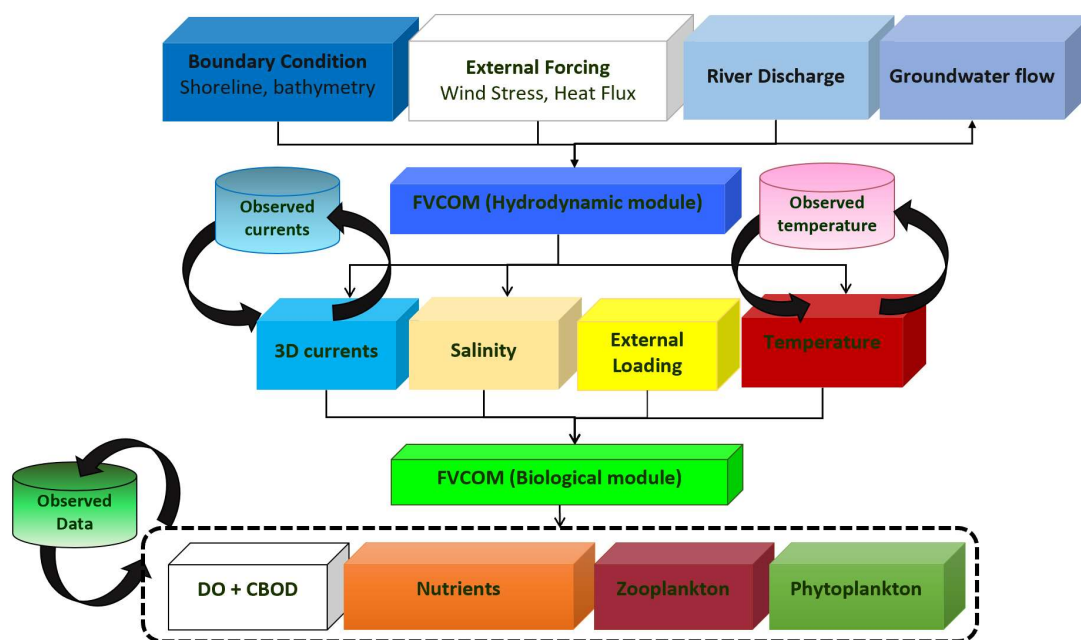
شکل ۴۵. نمودار Chl-a ، ON ، OP و NH_3 اندازه گیری شده در ایستگاه R8 برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



۲- روش انجام کار

۲-۱- کوپل سازی مدل کیفی با مدل هیدرودینامیک

شکل ۴۶ فلوجارت ساختار مدل را ارائه می دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است با کوپل کردن مدل هیدرودینامیکی و مدل کیفی می توان رفتار کیفی را نیز شبیه سازی کرد.

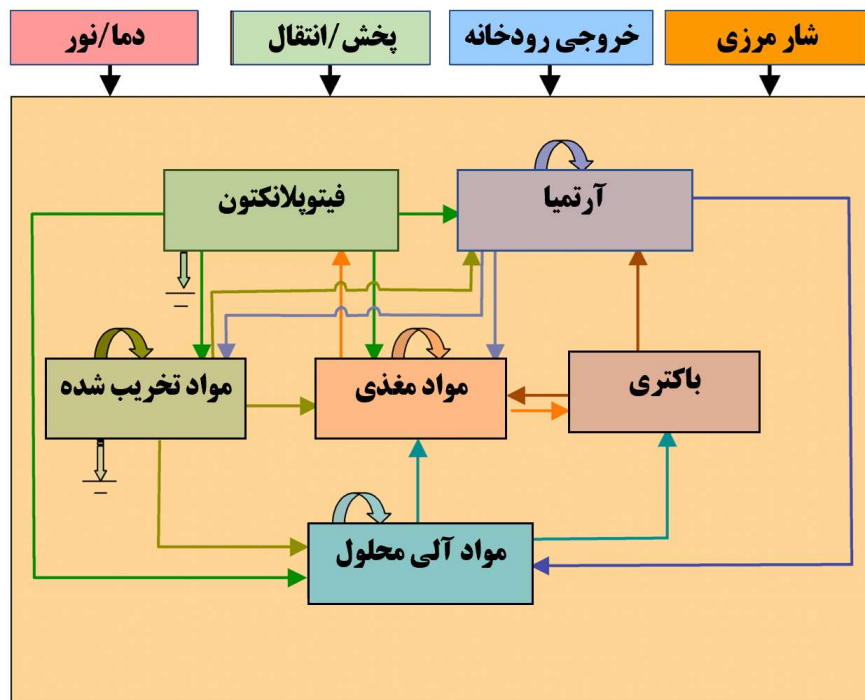


شکل ۴۶. فلوجارت مدل هیدرودینامیکی-شیمیایی-بیولوژیکی

مدل کیفی دریاچه به طور همزمان می تواند چرخه اکسیژن و مواد مغذی را همراه با فیتوپلانکتون ها و زئوپلانکتون ها مدل سازی نماید. این مدل در پیش بینی فرایندهای بیولوژیکی آب های شیرین [۱۳] و شور [۲۲] عملکرد خوبی داشته است. پارامترهای کیفی در رودخانه ها نیز به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته خواهد شد. علاوه بر فرایندهای هیدرودینامیکی دریاچه که در انتقال و پخش فیتوپلانکتون ها و زئوپلانکتون ها نقش دارند، تاثیر دما، شوری و نور خورشید نیز بر روی فرایندهای بیولوژیکی مدل سازی خواهد شد. لازم به ذکر است در دریاچه ارومیه تنها



ژئوپلانکتون آرتمیا می باشد. فلوچارت فرایندهای بیولوژیکی و روابط بین آن ها به زبان ساده در شکل ۴۷ ارائه شده است.



شکل ۴۷. فلوچارت فرایندهای بیولوژیکی

۲-۲- مش بندی و المان های محاسباتی

نوع مش بندی به صورت شبکه نامنظم مثلثی انجام شده و در عمق نیز مش مثلثی در ده لایه به صورت Terrain - following گسترده شده است. تعداد گره های محاسباتی ۱۷۰۹ و تعداد المان برای مدل سازی دریاچه در نظر گرفته شده است. برای دقت بیشتر کمترین مقدار طول اضلاع المان های مش در محدوده پل میان گذر حدود ۳۰۰ متر و حداکثر آن در وسط دریاچه به حدود ۳ کیلومتر می رسد. مش بندی و المان های دریاچه به همراه بسیمتری آن در شکل ۴۸ نمایش داده شده است.



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

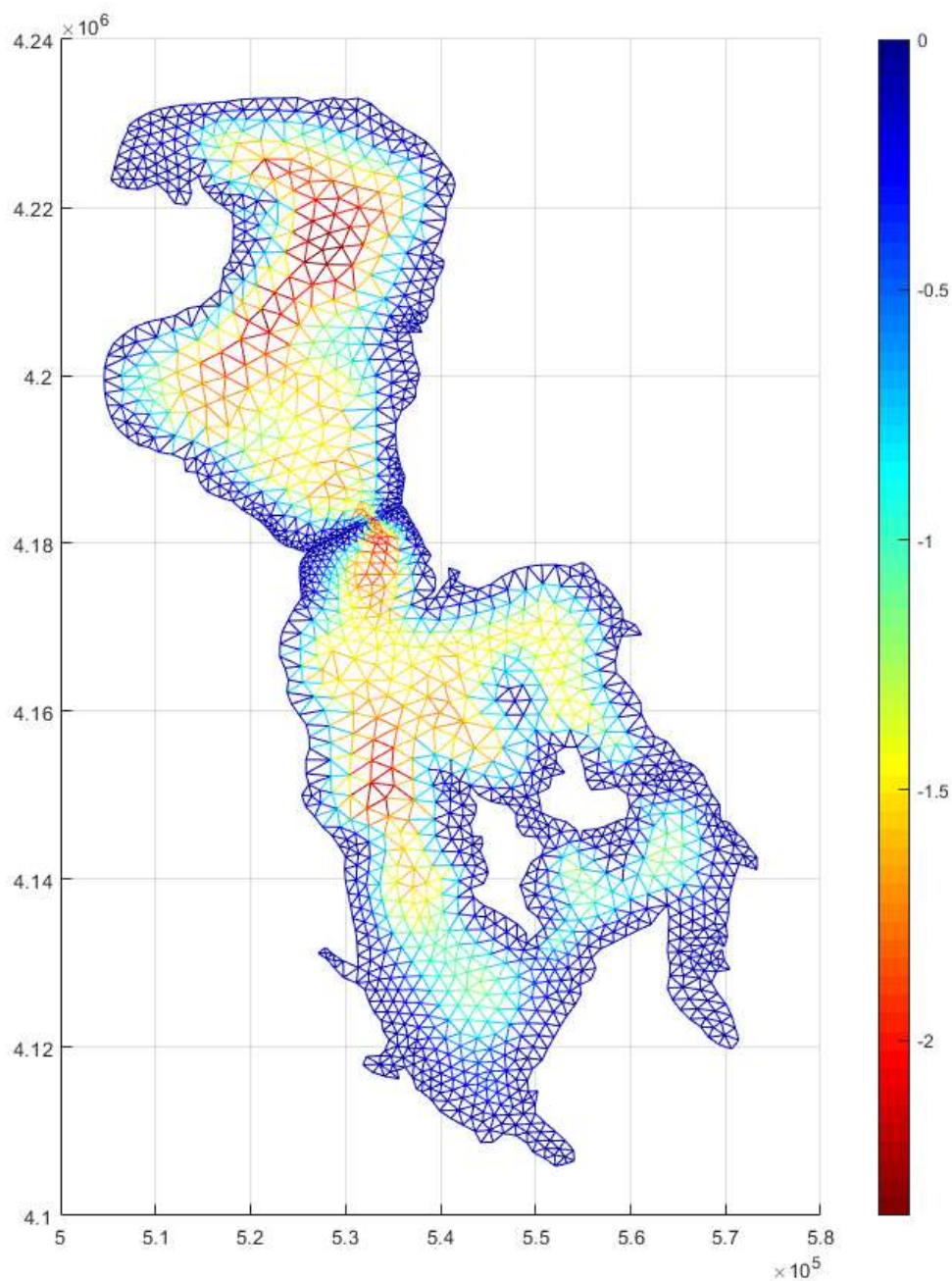


صفحه ۶۹ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۴۸. مش بندی و المان های دریاچه به همراه بسیمتری



۳-۲- معادلات حاکم

معادله تعادل جرم (انتقال و انتشار) برای المان های کیفی آب به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial (u C_i)}{\partial x} + \frac{\partial (v C_i)}{\partial y} + \frac{\partial (w C_i)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + S_i \quad (7)$$

در این معادله C_i ($i = 1, \dots, 8$) غلظت متغیرهای کیفی آب است که به ترتیب عبارتند از، اکسیژن محلول (mg O_2/L)، اکسیژن خواهی بیولوژیکی کربن (mg C/L)، فیتوپلانکتون (mg C/L)، آمونیاک (mg N/L)، نترات (mg N/L)، نیتروژن آلی (mg N/L)، اورتوفسفات (mg P/L) و فسفر آلی (mg P/L).

رابطه S_i ($i = 1, \dots, 8$) نیز بیانگر روابط منبع/خروجی^{۱۱} داخلی محیط مدل سازی هستند. از آنجا که ترم انتقال و انتشار برای همه معادلات یکسان است، منبع/خروجی تمام متغیرهای کیفی به صورت زیر تعریف می شود.

• اکسیژن محلول (C_1)

اکسیژن محلول توسط فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی زیر کنترل می شود: (۱) هوادهی، (۲) دی اکسیداسیون، (۳) نیتریفیکاسیون، (۴) از بین رفتن فیتوپلانکتون، (۵) رشد فیتوپلانکتون، (۶) اکسیژن خواهی رسوب، و (۷) تنفس باکتریایی. ترمی که شامل همه این مراحل می شود به شرح زیر می باشد:

$$S_1 = k_{reae} \theta_{reae}^{(T-20)} (C_s - C_1) - k_{deox} \theta_{deox}^{(T-20)} \frac{C_1 C_2}{K_{BOD} + C_1} - \frac{64}{14} k_{nitr} \theta_{nitr}^{(T-20)} \frac{C_1 C_2}{K_{nitr} + C_1} - \frac{32}{12} D_p C_3 + G_p \left[\frac{32}{12} + \frac{48}{14} a_{nc} (1 - P_{NH3}) \right] C_3 - k_{bresp} \quad (8)$$

در معادله ترم بالا k_{reae} ضریب هوادهی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد است. θ_{reae} ضریب دمای هوادهی می باشد. K_{BOD} ثابت نیمه اشباع اکسیداسیون در اکسیژن خواهی بیولوژیکی کربن را نشان می دهد و C_s غلظت اکسیژن اشباع است. k_{deox} نیز ضریب دی اکسیداسیون در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و θ_{deox} ضریب دمای دی اکسیداسیون می باشد. k_{nitr} و θ_{nitr} به ترتیب ضریب نیتریفیکاسیون در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و θ_{nitr}

¹¹ Source/Sink



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



صفحه ۷۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

ضریب دمای نیتریفیکاسیون می باشد. G_p و D_p به ترتیب نرخ رشد و نرخ از بین رفتن فیتوپلانکتون هستند. P_{NH3} ثابت ترجیح آمونیاک و k_{bresp} نرخ از بین رفتن باکتری است. a_{nc} نیز نسبت استوکیومتری نیتروژن به کربن در فیتوپلانکتون است.

• اکسیژن خواهی بیولوژیکی کربن (C_2)

میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی کربن (CBOD) در بدنه آب به موارد زیر بستگی دارد: (۱) از بین رفتن فیتوپلانکتون، (۲) دی اکسیداسیون، (۳) دینیتریفیکاسیون و (۴) ته نشینی. این فرایندها را می توان با معادله زیر شرح داد:

$$S_2 = \frac{32}{12} D_p C_3 - k_{deox} \theta_{deox}^{(T-20)} \frac{C_1 C_2}{K_{BOD} + C_1} - \frac{5}{4} \frac{32}{14} k_{deni} \theta_{deni}^{(T-20)} \frac{K_{NO3} C_5}{K_{NO3} + C_1} - (1 - f_{D2}) v_{S2} \frac{\partial C_2}{\partial z} \quad (9)$$

در این ترم k_{deni} ضریب دینیتریفیکاسیون در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد است. θ_{deni} ضریب دمای دینیتریفیکاسیون می باشد. K_{NO3} غلظت نیمه اشباع برای محدود کردن اکسیژن دینیتریفیکاسیون و f_{D2} و v_{S2} به ترتیب کسری از محلول CBOD و سرعت ته نشینی مواد آلی هستند.

• فیتوپلانکتون (C_3)

منابع و سینک های فیتوپلانکتون ها عمدتاً توسط فرایندهای زیر توصیف می شوند: (۱) رشد فیتوپلانکتون، (۲) از بین رفتن فیتوپلانکتون، و (۳) ته نشینی فیتوپلانکتون.

$$S_3 = G_p C_3 - D_p C_3 - v_{S3} \frac{\partial C_3}{\partial z} \quad (10)$$

$$G_p = k_{grow} R_N R_I \theta_{grow}^{(T-20)} \quad (11)$$

$$D_p = k_{resp} \theta_{resp}^{(T-20)} k_{mort} \theta_{mort}^{(T-20)} \quad (12)$$



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



صفحه ۷۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

در این ترم k_{grow} ضریب رشد فیتوپلانکتون در دمای 20°C درجه سانتی گراد است. θ_{grow} ضریب دمای رشد فیتوپلانکتون می باشد. R_N با استفاده از مدل Michaelis-Menten برای مواد مغذی غیر آلی تعیین می شود. R_I کاهش سرعت رشد را به دلیل محدودیت دریافت نور را نشان می دهد و v_{S3} سرعت ته نشینی فیتوپلانکتون می باشد.

• آمونیاک (C_4)

آمونیاک، با تعادل برقرار کردن بین فرآیندهای زیر تعیین می شود: (۱) از بین رفتن فیتوپلانکتون، (۲) معدنی شدن نیتروژن آلی، (۳) جذب فیتوپلانکتون و (۴) نیتریفیکاسیون.

$$S_4 = a_{nc}D_p(1 - f_{ON})C_3 + k_{mine1}\theta_{mine1}^{(T-20)}\frac{C_3C_6}{K_{mPC}C_3} - a_{nc}G_pP_{NH3}C_3 - k_{nitr}\theta_{nitr}^{(T-20)}\frac{C_1C_4}{K_{nitr}+C_1} \quad (13)$$

k_{mine1} ضریب معدنی شدن نیتروژن آلی در دمای 20°C درجه سانتی گراد است. θ_{mine1} ضریب دمای معدنی شدن نیتروژن آلی می باشد. f_{ON} نیز کسری از فیتوپلانکتون های مرده و تنفس یافته که به نیتروژن آلی بازیافت می شوند، است.

• نیترات (C_5)

اکسیدهای نیتروژن، از جمله نیترات و نیتريت، ترکیبات معدنی نیتروژن هستند که از طریق فرآیندهای زیر قابل توصیف هستند: (۱) نیتریفیکاسیون، (۲) جذب فیتوپلانکتون، (۳) دینیتریفیکاسیون:

$$S_5 = k_{nitr}\theta_{nitr}^{(T-20)}\frac{C_1C_4}{K_{nitr}+C_1} - a_{nc}G_p(1 - P_{NH3})C_3 - k_{deni}\theta_{deni}^{(T-20)}\frac{K_{NO3}C_5}{K_{NO3}+C_1} \quad (14)$$

• نیتروژن آلی (C_6)



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



صفحه ۷۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

منابع و سینک های نیتروژن آلی (ON) با (۱) از بین رفتن فیتوپلانکتون ، (۲) معدنی شدن نیتروژن آلی و (۳) ته نشینی تعیین می شود. این فرایندها را می توان به شرح زیر توصیف کرد:

$$S_6 = a_{nc} D_p f_{ON} C_3 - k_{mine1} \theta_{mine1}^{(T-20)} \frac{C_3 C_6}{K_{mPC} C_3} - (1 - f_{D6}) v_{S6} \frac{\partial C_6}{\partial z} \quad (15)$$

در این ترم f_{D6} ضریب کسر نیتروژن آلی و v_{S6} سرعت ته نشینی ON است.

• اورتوفسفات (C_7)

میزان فسفر غیر آلی یا اورتوفسفات در بدنه آب وابسته به (۱) از بین رفتن فیتوپلانکتون، (۲) معدنی شدن فسفر آلی، و (۳) جذب فیتوپلانکتون است. این فرایندها به شکل زیر تعیین می شوند:

$$S_7 = a_{pc} D_p (1 - f_{ON}) C_3 + k_{mine2} \theta_{mine2}^{(T-20)} \frac{C_3 C_8}{K_{mPC} C_3} - a_{pc} G_p C_3 \quad (16)$$

k_{mie} ضریب معدنی شدن فسفر آلی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد است. θ_{mine2} ضریب دمای معدنی شدن فسفر آلی می باشد.

• فسفر آلی (C_1)

منابع و سینک های فسفر آلی (OP) ، در یک بدنه آب شامل موارد (۱) از بین رفتن فیتوپلانکتون ، (۲) معدنی شدن فسفر آلی و (۳) سرعت ته نشینی فسفر آلی است. این فرایندها توسط معادله زیر شرح داده شده است:

$$S_8 = a_{nc} D_p f_{ON} C_3 - k_{mine2} \theta_{mine2}^{(T-20)} \frac{C_3 C_8}{K_{mPC} C_3} - (1 - f_{D8}) v_{S8} \frac{\partial C_8}{\partial z} \quad (17)$$

در این ترم نیز f_{D6} ضریب کسر فسفر آلی و v_{S6} سرعت ته نشینی OP می باشد.



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



صفحه ۷۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳- نتایج مدل سازی کیفی

در این قسمت از گزارش نتایج خروجی مدل کیفی FVCOM به صورت نمودارهای متغیرهای کلروفیل-آ، اکسیژن محلول، ارتوفسفات و نترات در اطراف ایستگاه های اندازه گیری بر حسب روزهای سال ۲۰۱۶ رسم شده و با داده های اندازه گیری شده در این ایستگاه ها مقایسه شده است. با این توضیح که در این خروجی ها، نقاط قرمز توپر مربوط به اندازه گیری های میدانی برای هر ایستگاه و برای هر متغیر کیفی است و نمودار شبیه سازی شده شامل تغییرات متغیرهای کیفی برای هر ۱۰ لایه (از کف تا سطح دریاچه) است که با رنگ های مختلف نشان داده شده است. همچنین در ادامه نتایج ۲ بعدی و ۳ بعدی مدل کیفی دریاچه برای متغیرهای نام برده نمایش داده شده است. در پایان این بخش نیز به بررسی نتایج مدل کیفی و پاسخ به سوالات و خواسته های شرح خدمات مرتبط با جلد سوم گزارش پرداخته شده است.



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



صفحه ۷۵ از ۹۹

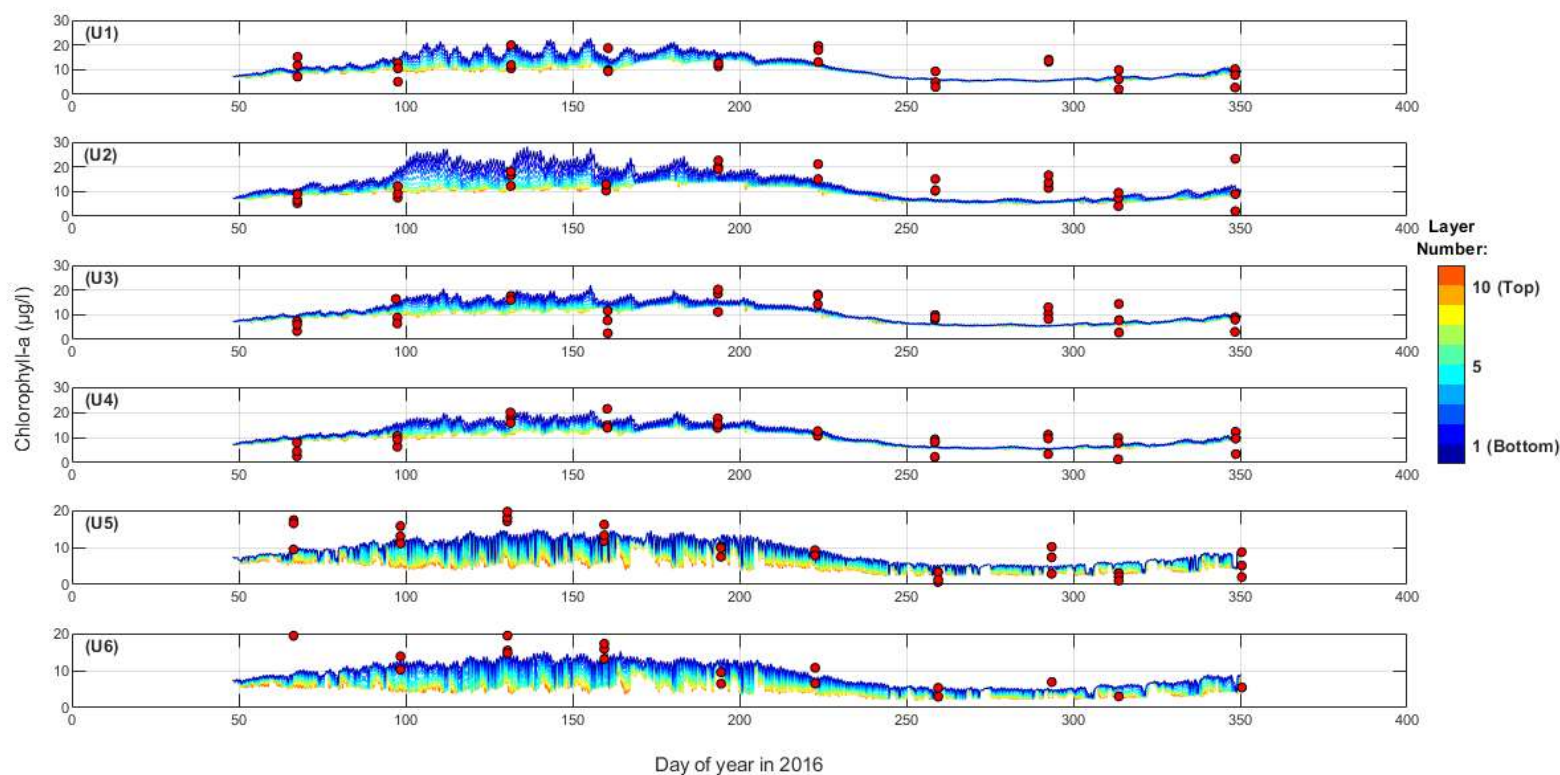
ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۱-۳- کلروفیل-آ و فیتوپلانکتون

۱-۱-۳ نمودار کلروفیل-آ و داده های اندازه گیری شده



شکل ۴۹. نمودار کلروفیل-آ در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



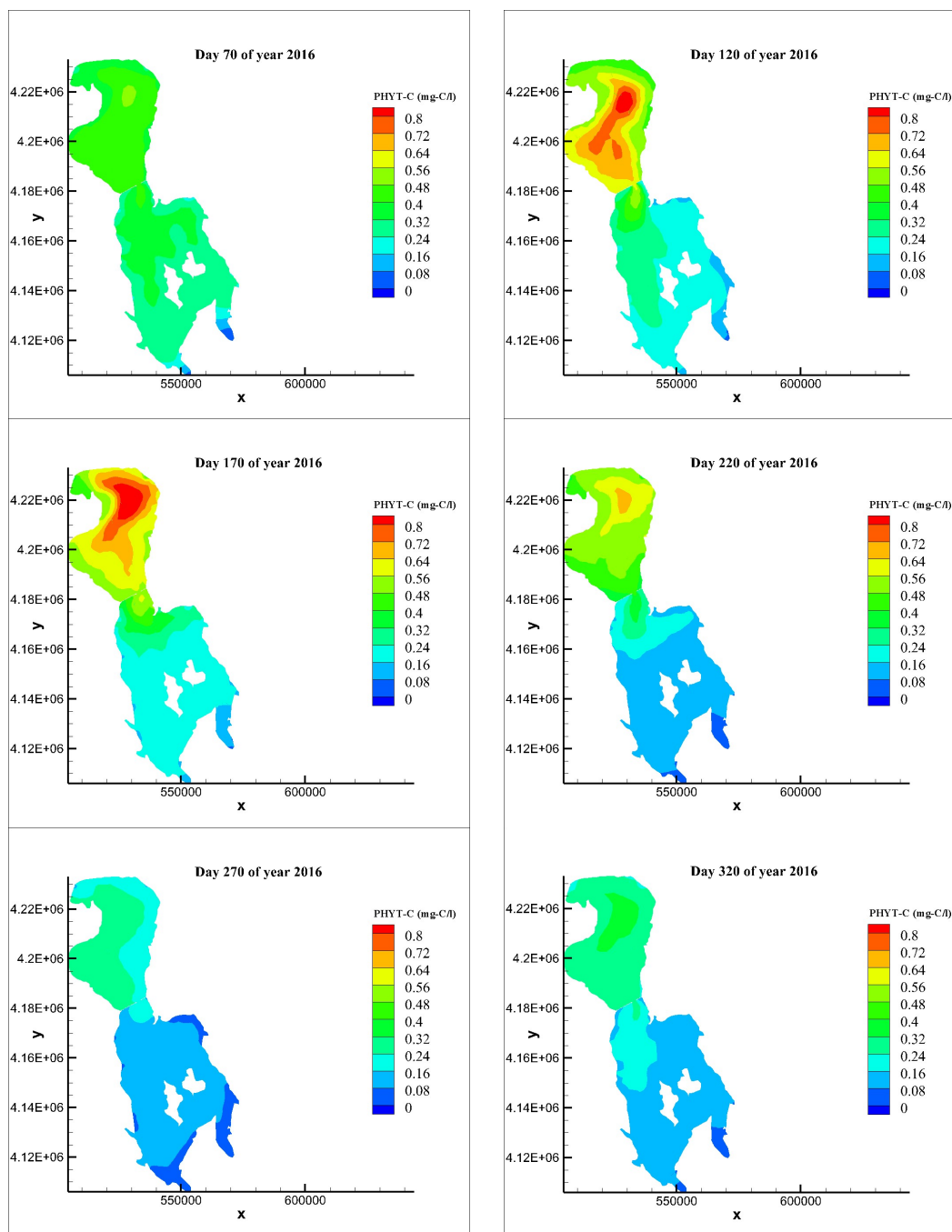
صفحه ۷۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۱-۲ نتایج ۲ بعدی فیتوپلانکتون



شکل ۵۰. نتایج ۲ بعدی فیتوپلانکتون در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶



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



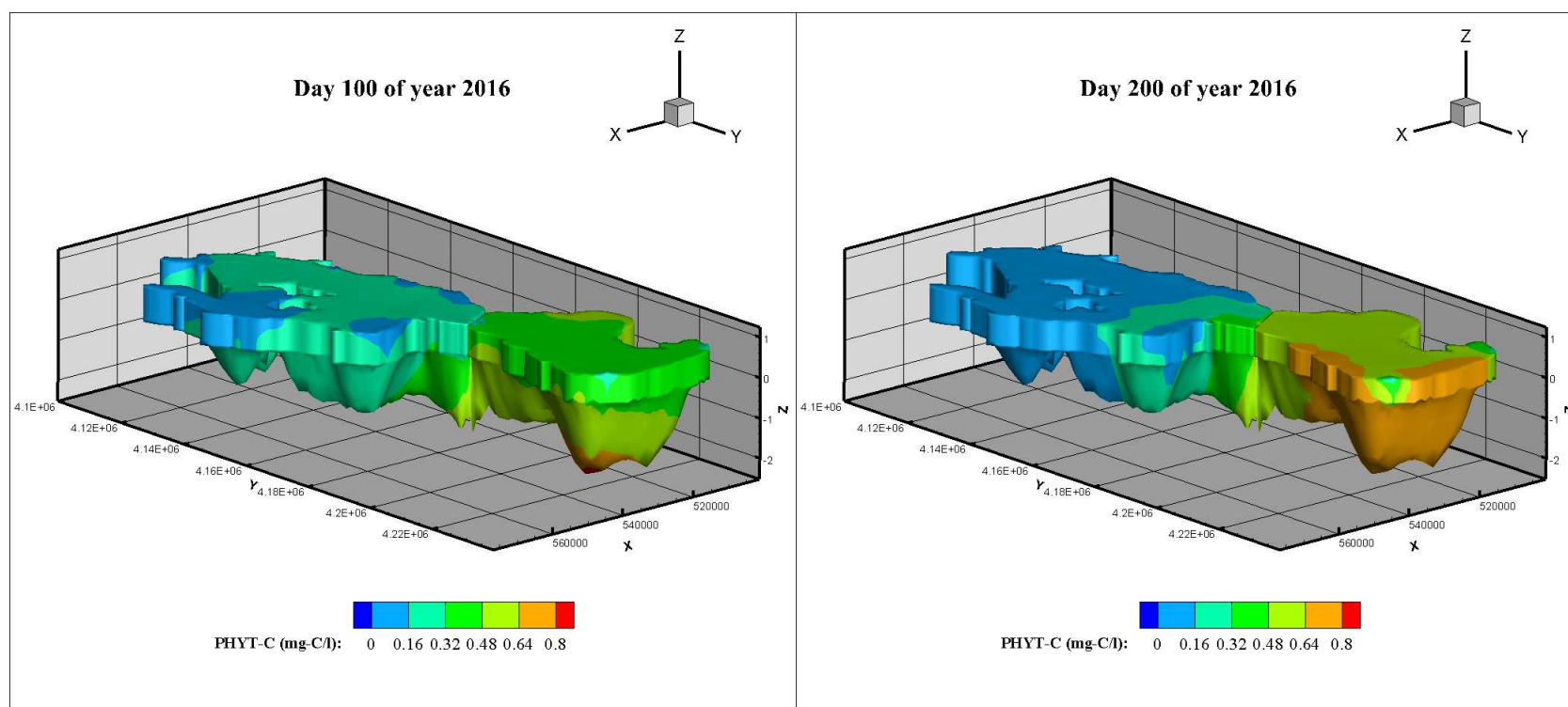
صفحه ۷۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۱-۳ نتایج ۳ بعدی فیتوپلانکتون



شکل ۵۱. نتایج ۳ بعدی فیتوپلانکتون در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶



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

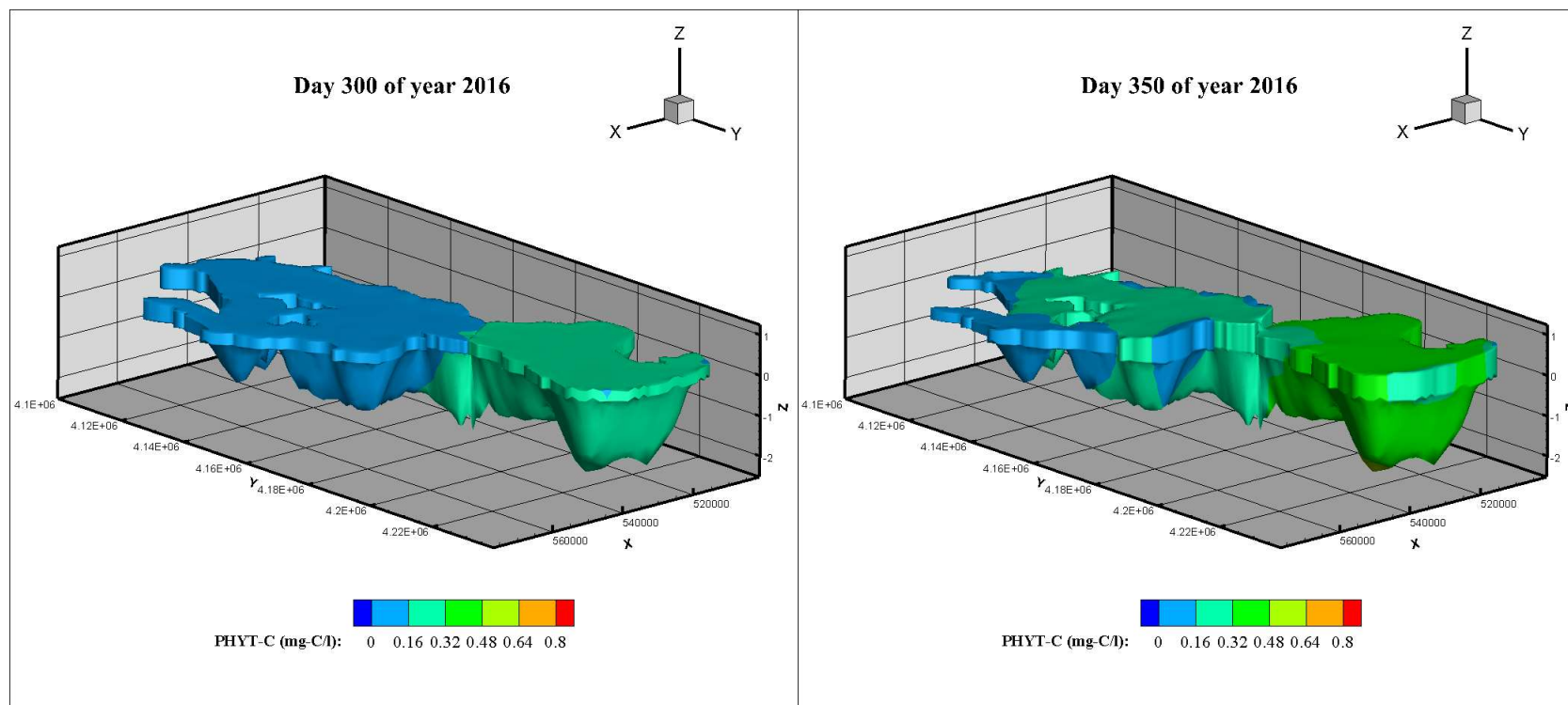


صفحه ۷۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۵۲. نتایج ۳ بعدی فیتوپلانکتون در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶



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



صفحه ۷۹ از ۹۹

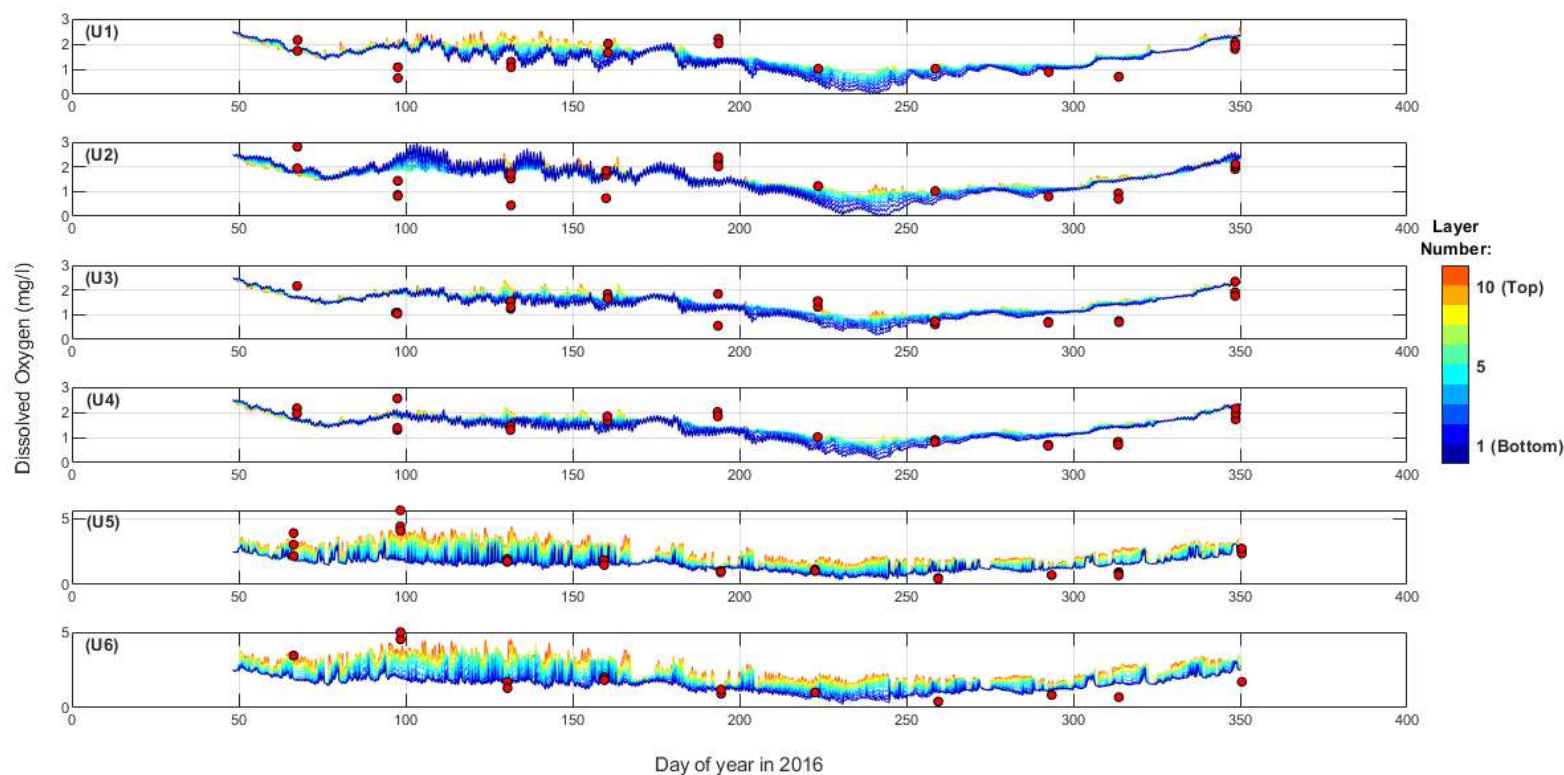
ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۲- اکسیژن محلول

۳-۲-۱ نمودار اکسیژن محلول و داده های اندازه گیری شده



شکل ۵۳. نمودار اکسیژن محلول در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



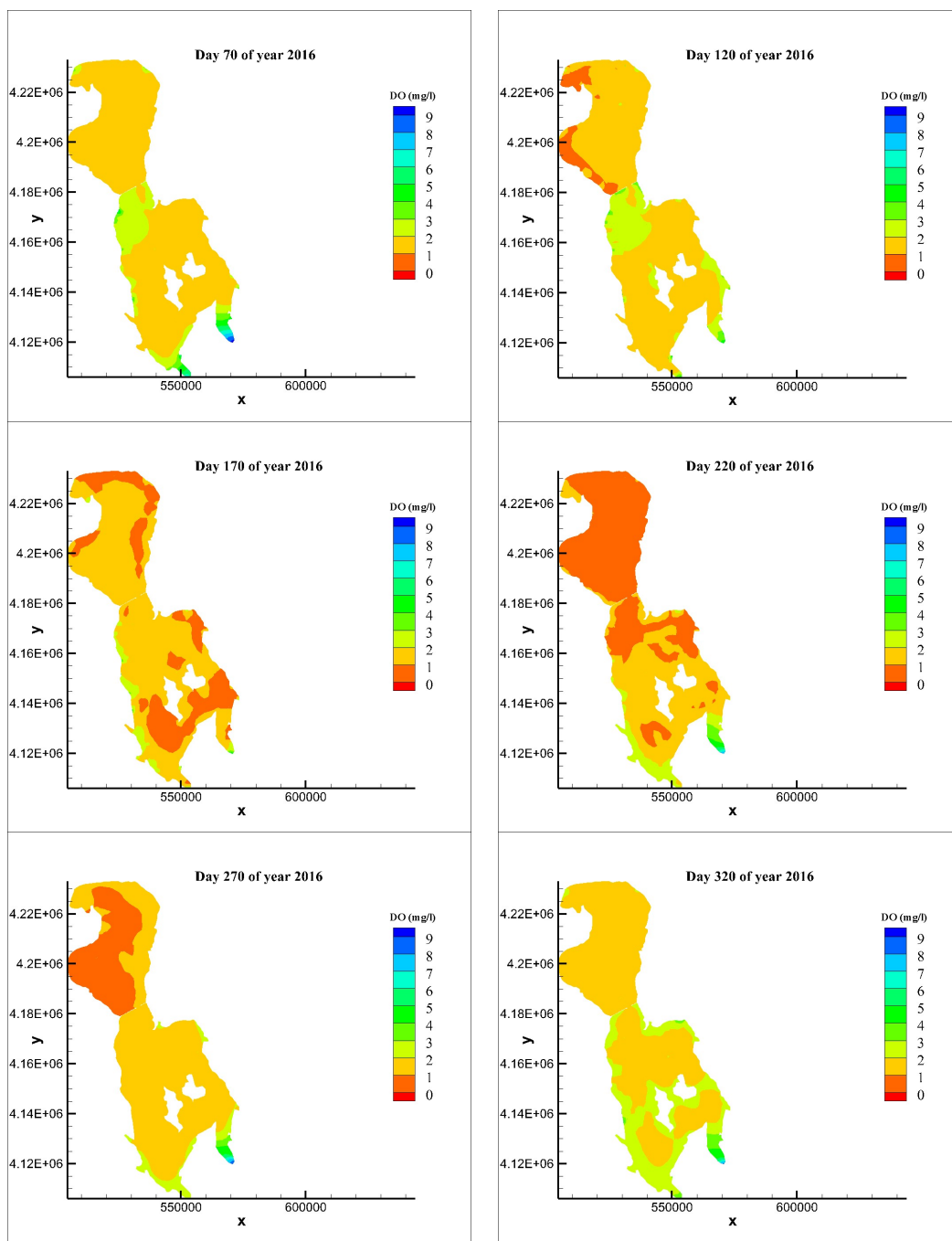
صفحه ۸۰ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۲-۲-۳ نتایج ۲ بعدی اکسیژن محلول



شکل ۵۴. نتایج ۲ بعدی اکسیژن محلول در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶



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



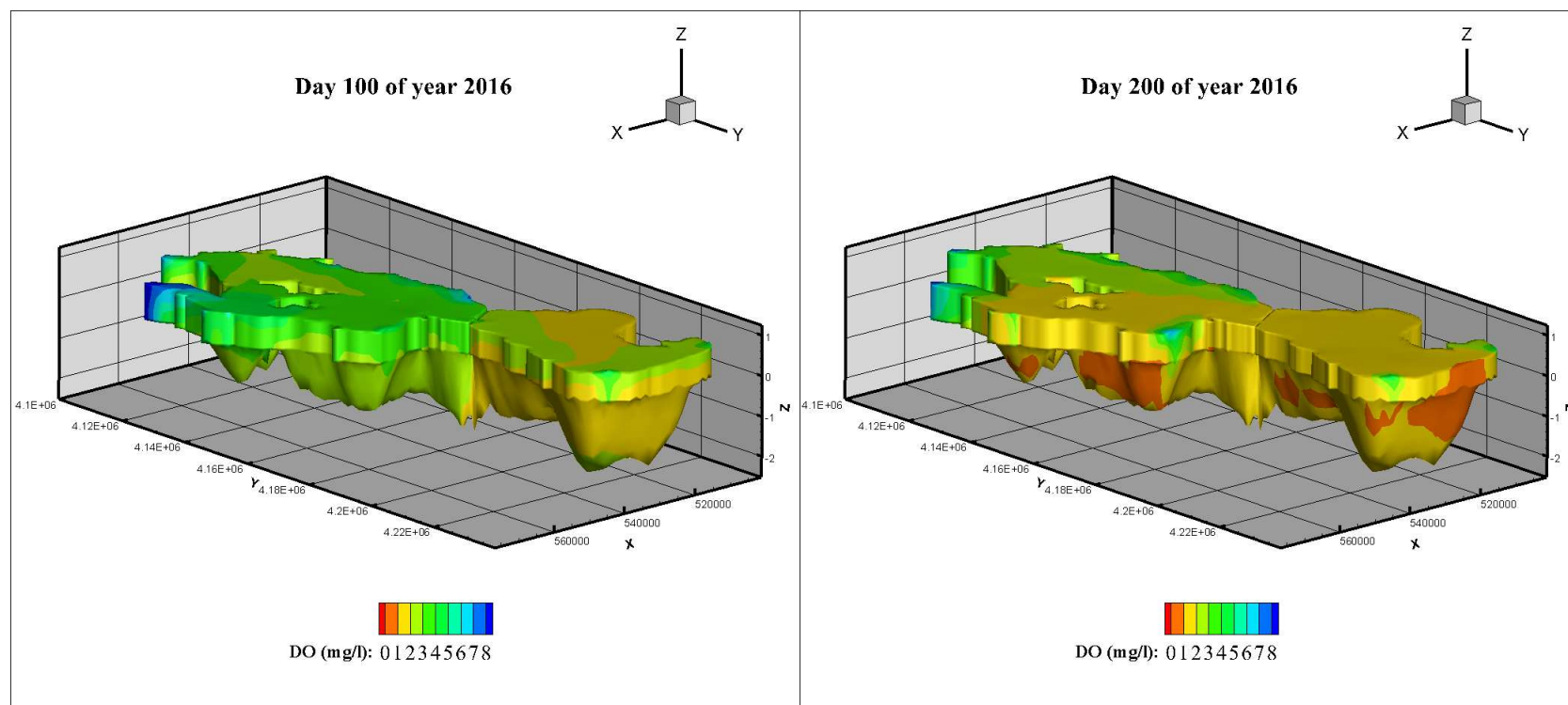
صفحه ۸۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۲-۳ نتایج ۳ بعدی اکسیژن محلول



شکل ۵۵. نتایج ۳ بعدی اکسیژن محلول در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶



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

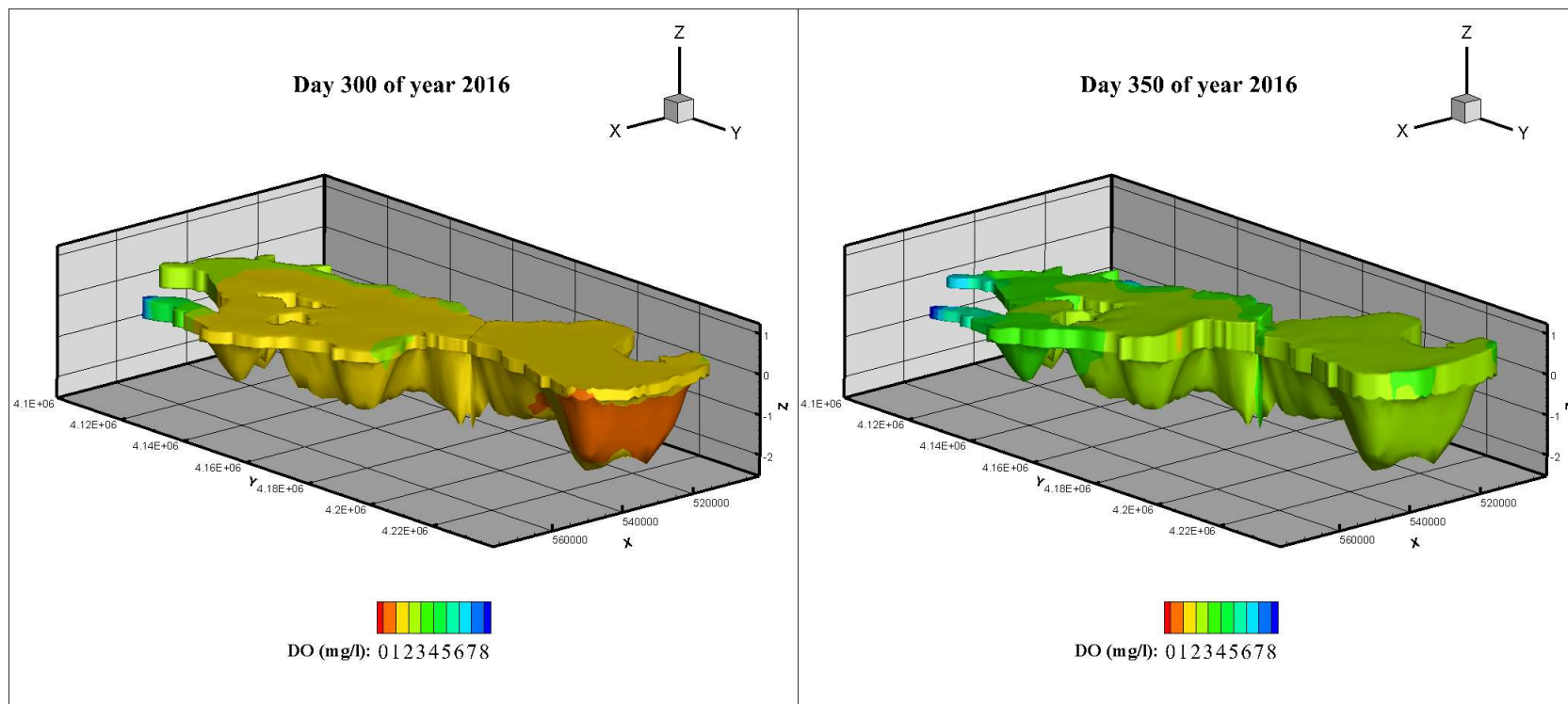


صفحه ۸۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۵۶. نتایج ۳ بعدی اکسیژن محلول در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶



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



صفحه ۸۳ از ۹۹

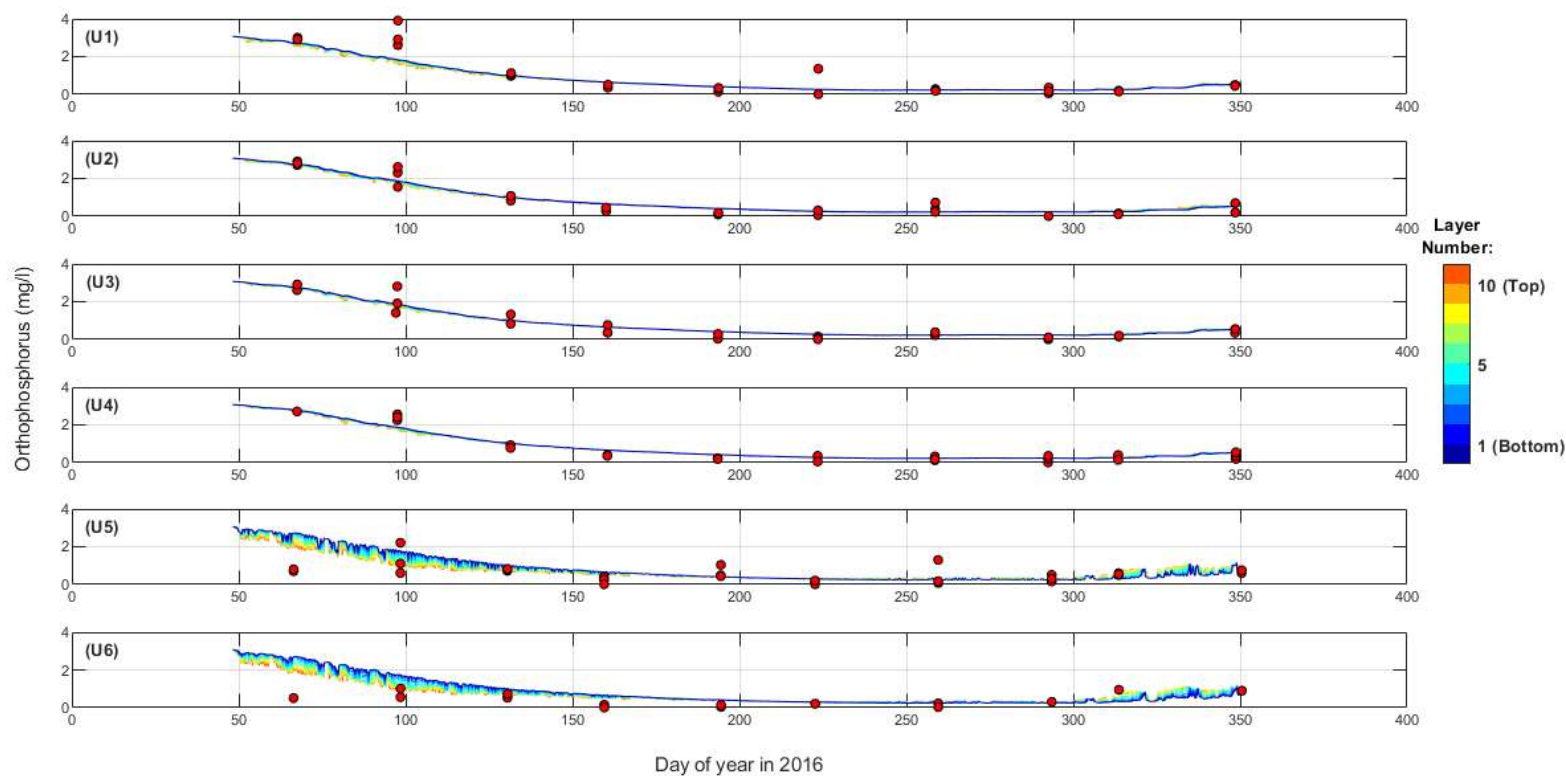
ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۳- ارتوفسفات

۱-۳-۳ نمودار ارتوفسفات و داده های اندازه گیری شده



شکل ۵۷. نمودار ارتوفسفات در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



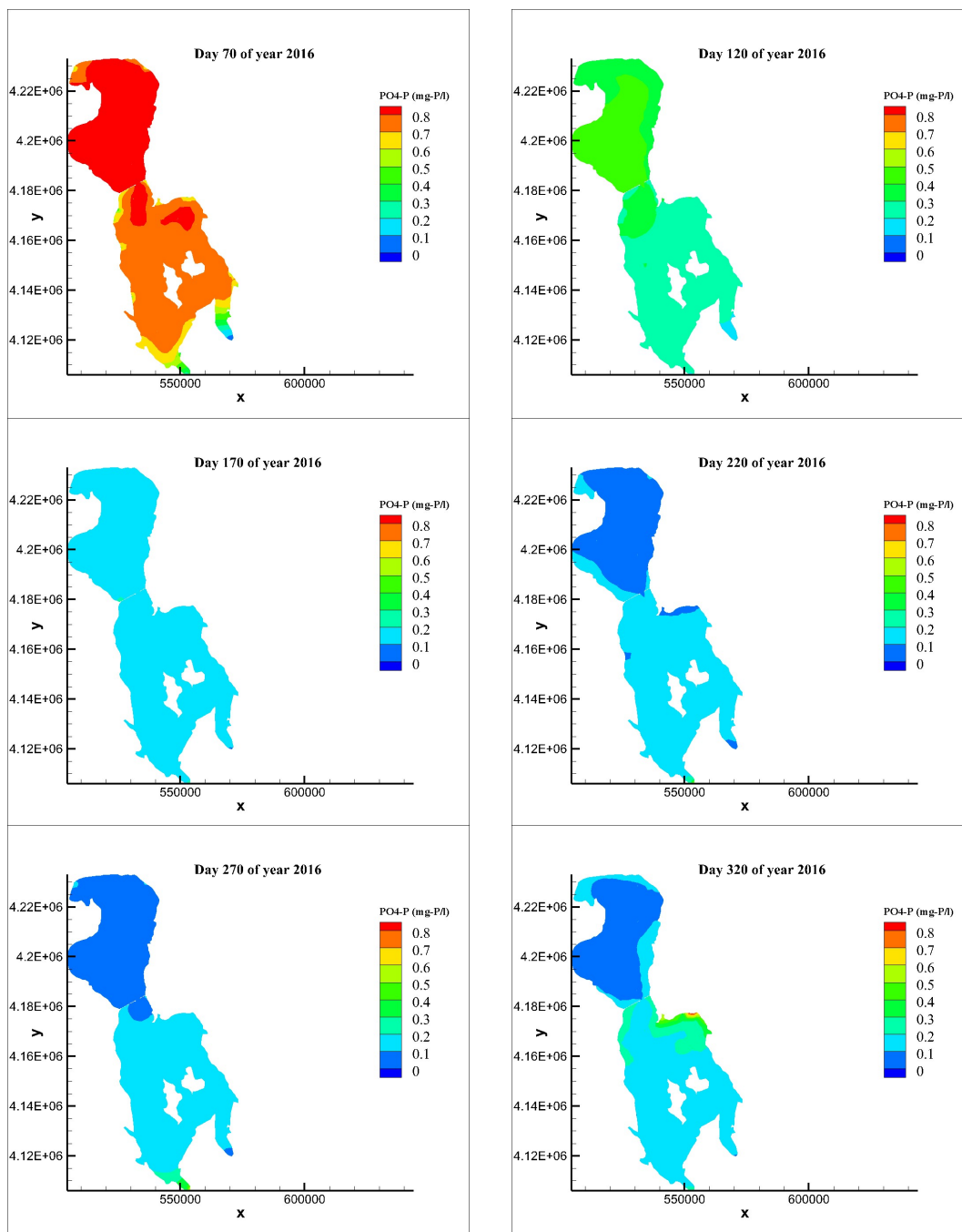
صفحه ۸۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۲-۳-۳ نتایج ۲ بعدی ارتوفسفات



شکل ۵۸. نتایج ۲ بعدی ارتوفسفات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶



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



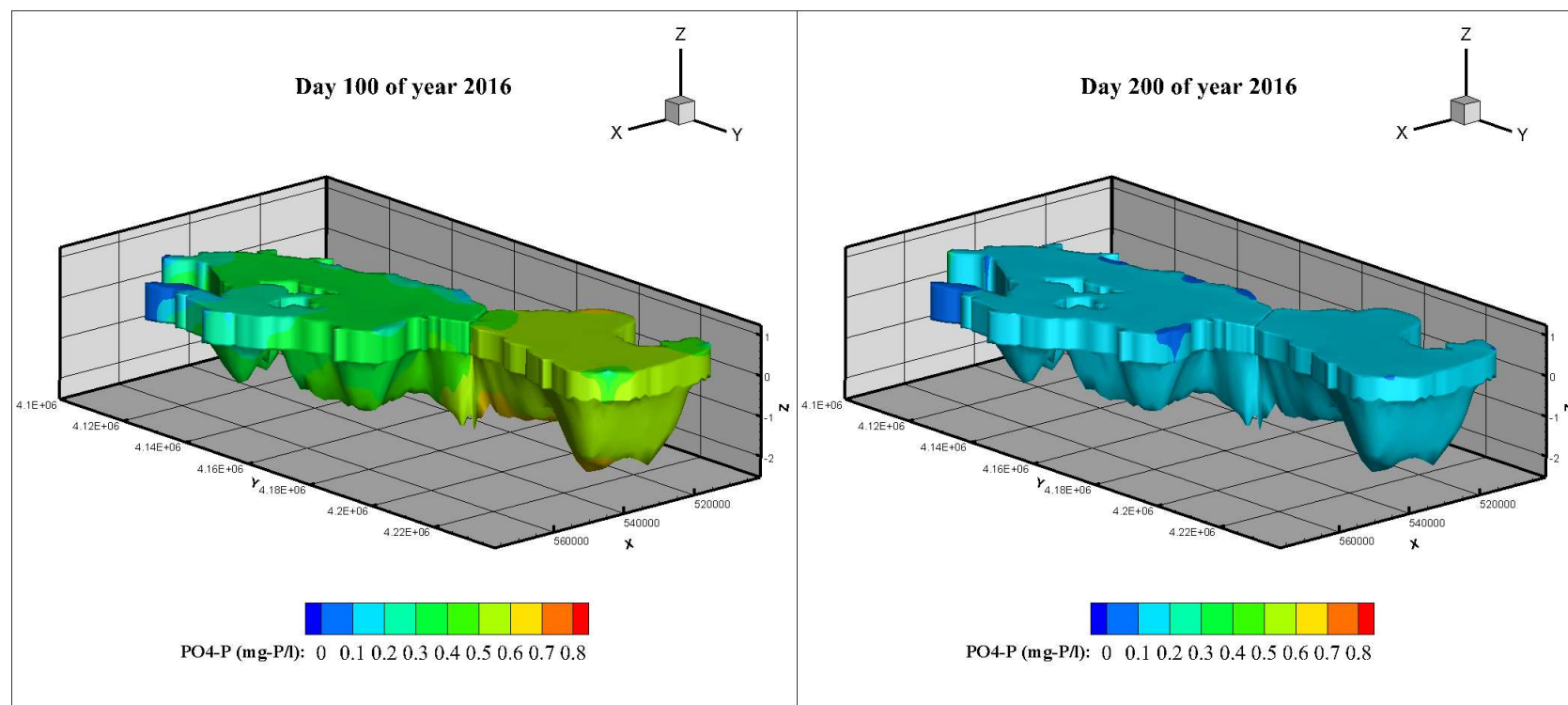
صفحه ۸۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۳-۳ نتایج ۳ بعدی ارتوفسفات



شکل ۵۹. نتایج ۳ بعدی ارتوفسفات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶



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

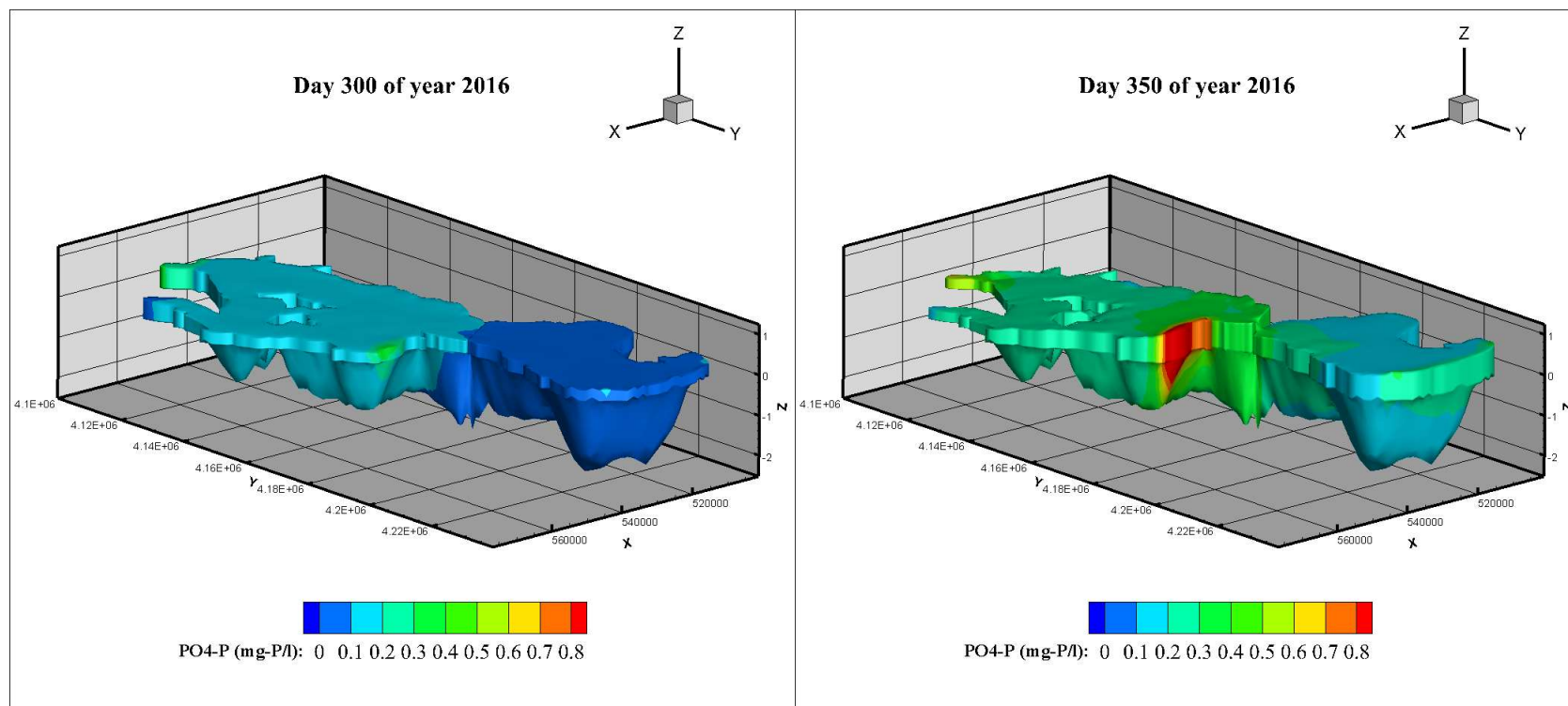


صفحه ۸۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۶۰. نتایج ۳ بعدی اتوفسفات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶



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



صفحه ۸۷ از ۹۹

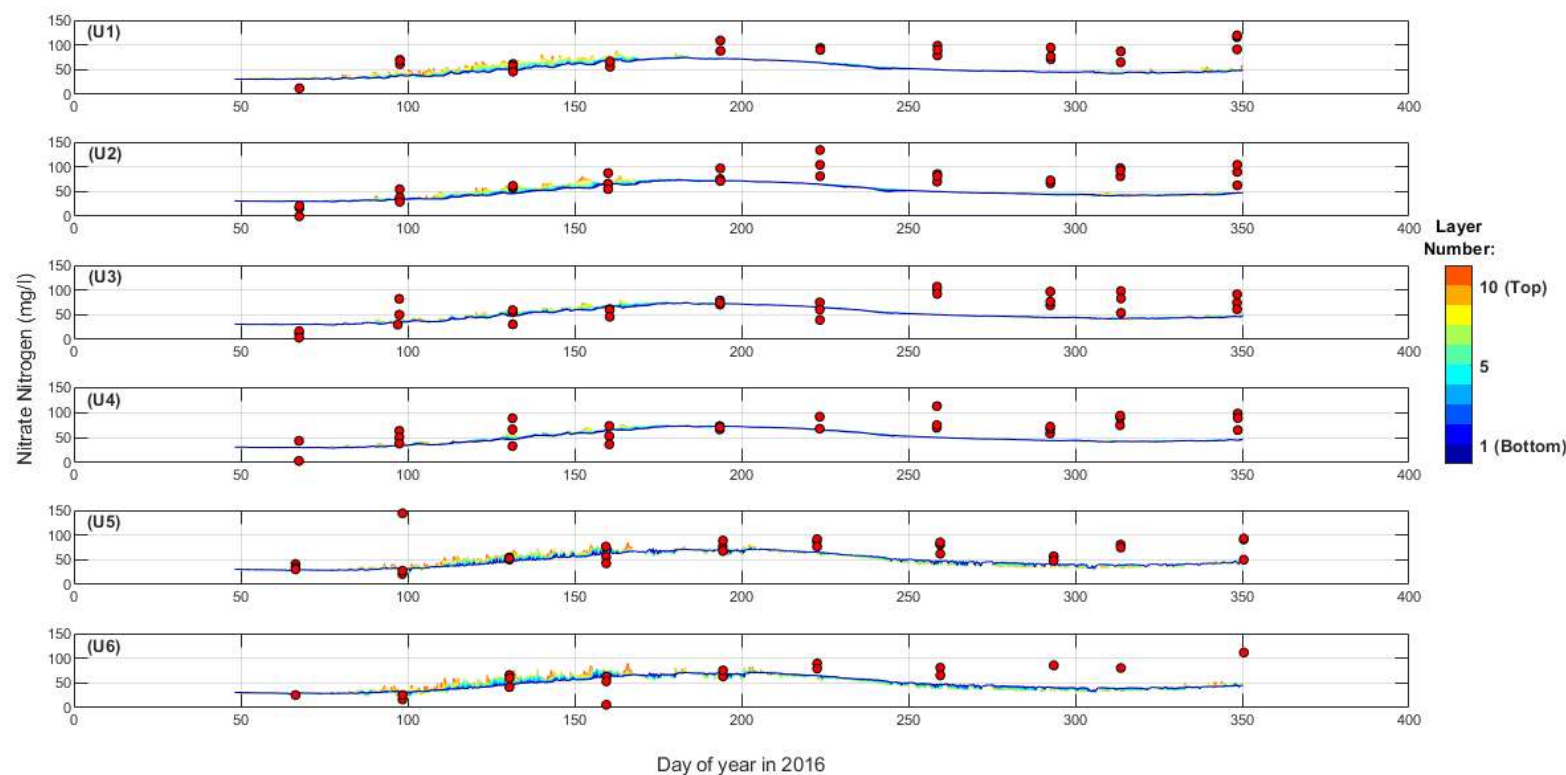
ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۴- نیترات

۳-۴-۱ نمودار نیترات و داده های اندازه گیری شده



شکل ۶۱. نمودار نیترات در مقایسه با داده های اندازه گیری شده دریاچه ارومیه برای ۶ ایستگاه برحسب زمان (روز) در سال ۲۰۱۶



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



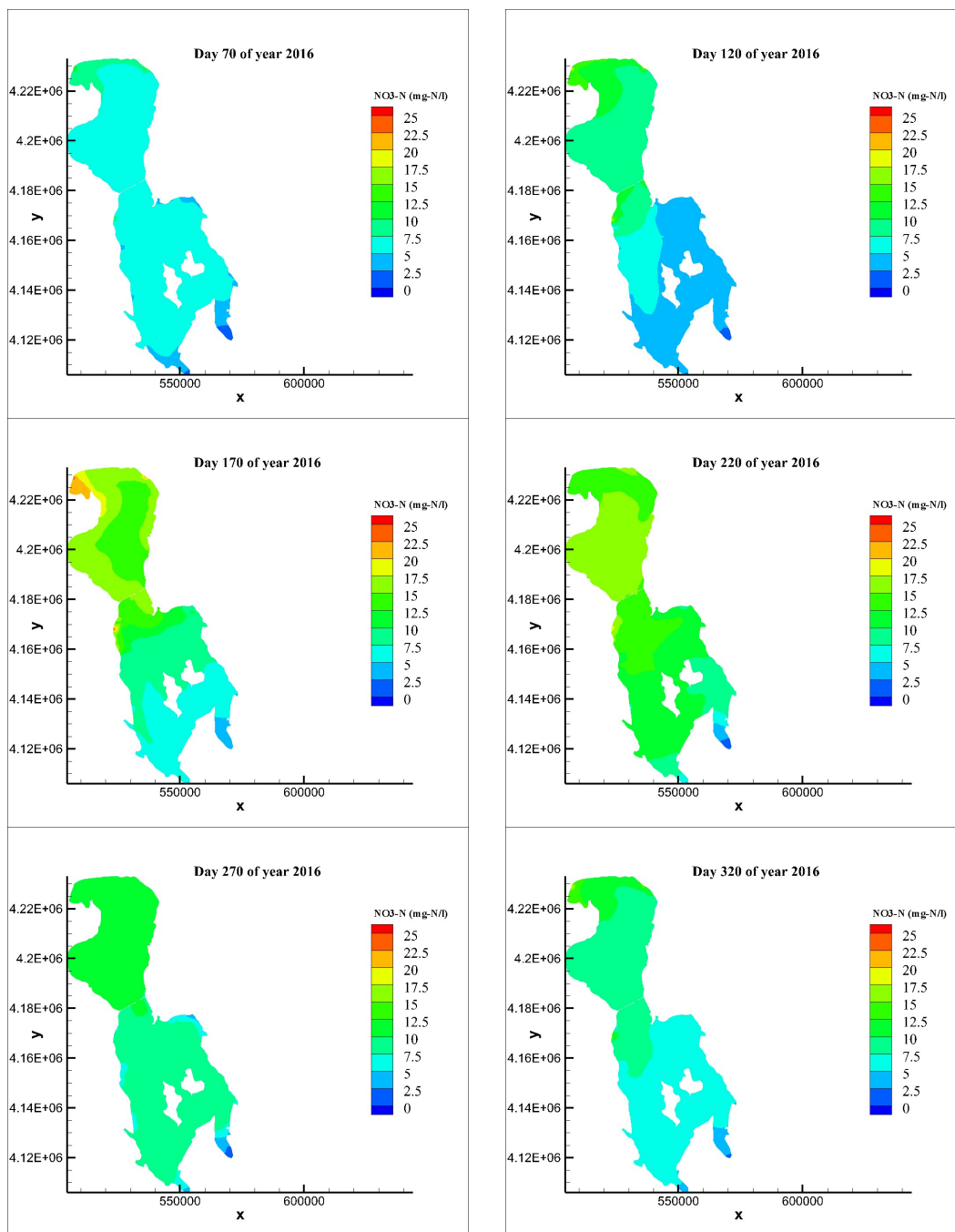
صفحه ۸۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۴-۲ نتایج ۲ بعدی نیترات



شکل ۶۲. نتایج ۲ بعدی نیترات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۷۰، ۱۲۰، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۷۰ و ۳۲۰ از سال ۲۰۱۶



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



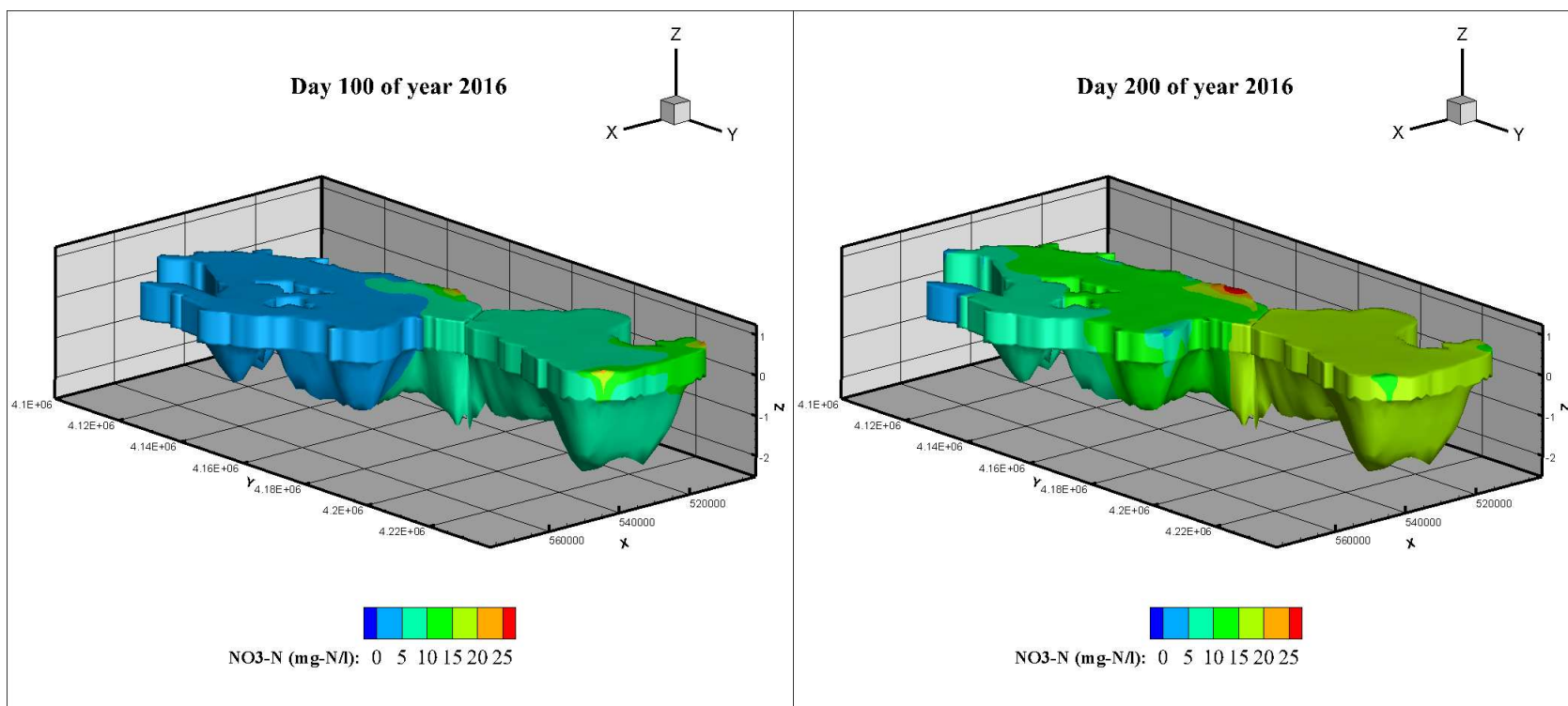
صفحه ۸۹ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۴-۳ نتایج ۳ بعدی نیترات



شکل ۶۳. نتایج ۳ بعدی نیترات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ از سال ۲۰۱۶



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

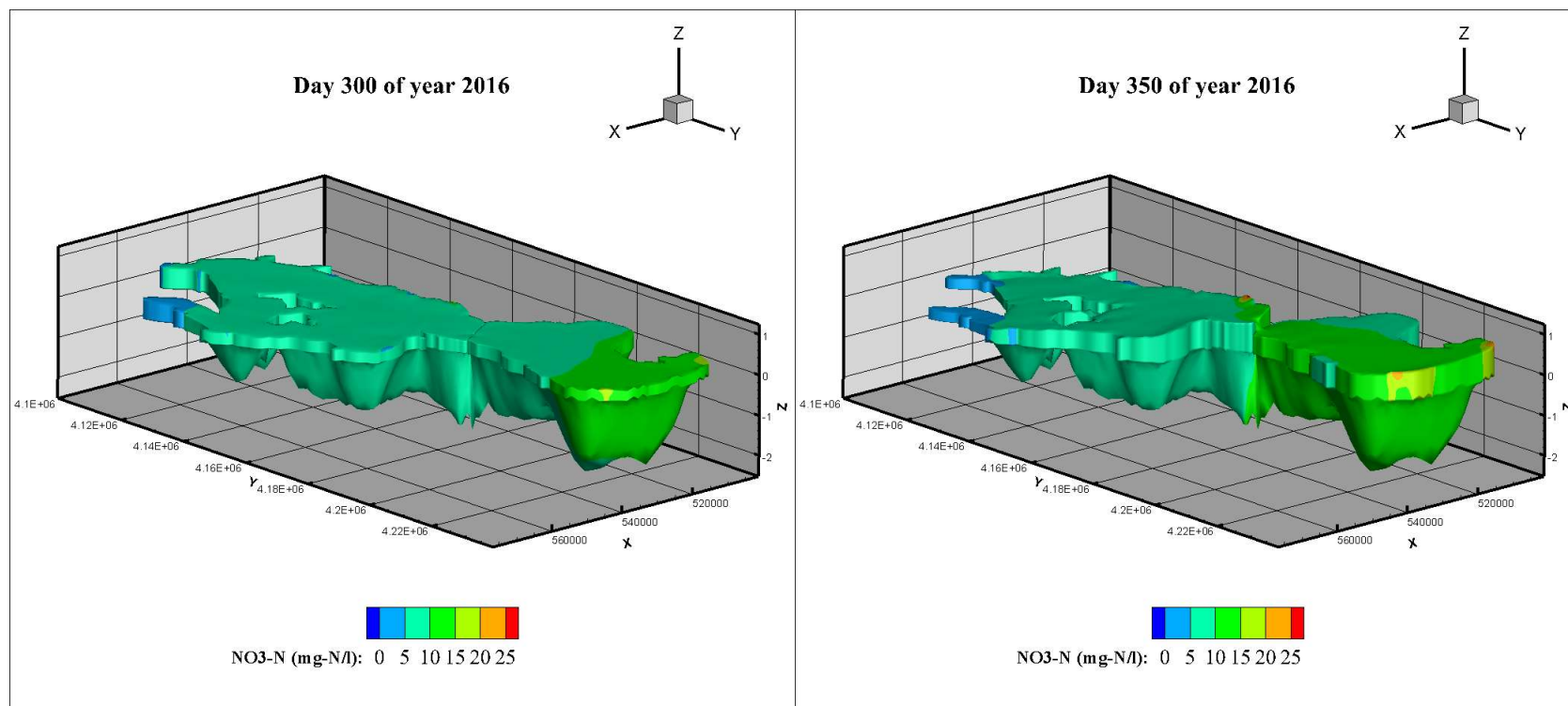


صفحه ۹۰ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳



شکل ۶۴. نتایج ۳ بعدی نیترات در دریاچه ارومیه برای روزهای ۳۰۰ و ۳۵۰ از سال ۲۰۱۶



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



صفحه ۹۱ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۳-۵- بررسی نتایج و پاسخ به سوالات شرح خدمات مرتبط با مدل سازی کیفی

در این بخش به بررسی نتایج مدل سازی کیفی و سوالات و خواسته های شرح خدمات مرتبط با این جلد پرداخته شده است. این سوالات و خواسته ها شامل مدل سازی شیمیایی و کیفی دریاچه و بررسی تغییرات کیفیت آب دریاچه با در نظر گرفتن تغییرات سری زمانی کیفیت شیمیایی آب رودخانه های منتهی به آن می شود. برای فهم بهتر و دقیق تر تغییرات کیفیت آب دریاچه این بررسی ها به دو بخش تغییرات پارامترهای کیفی ایستگاه های ۱ تا ۴ که در شمال دریاچه قرار دارند و تغییرات پارامترهای کیفی ایستگاه های ۵ و ۶ که در مرکز دریاچه واقع شده اند تقسیم شده است.

۳-۵-۱ بررسی متغیرهای کیفی ایستگاه های ۱ تا ۴

با توجه به شکل ۹ و محل ایستگاه های ۱ تا ۴ که در نزدیکی هم قرار داشته و رفتار کیفی مشابهی دارند، تحلیل نتایج خروجی این ۴ ایستگاه با هم صورت می گیرد. هر ۴ ایستگاه در قسمت شمالی دریاچه واقع هستند و نتایج مدل سازی در آن ها شباهت زیادی با هم دارند. با مشاهده خروجی این ۴ ایستگاه نسبت به ایستگاه های ۵ و ۶ متوجه می شویم که نتایج تقریباً پایدار و جریان آرام می باشد و ازین رو در خروجی های این ایستگاه ها (برخلاف ایستگاه های اطراف میان گذر شهید کلانتری) نوسانات شدید در مدل سازی کیفی متغیرهای کیفی مشاهده نمی شود. خروجی مدل نیز بر اساس نزدیک ترین گره های محاسباتی به ایستگاه های اندازه گیری ارائه شده است؛ یعنی داده های میدانی هر ایستگاه با خروجی های مدل در نزدیکی همان ایستگاه مقایسه شده اند.

- **کلروفیل-آ:** در نمودار مربوط به کلروفیل-آ، روند کلی مدل سازی و داده های میدانی شبیه به هم هستند. به این صورت که از ابتدا تا اواسط مدل سازی (روز ۲۰۰ ام) به دلیل افزایش دما و وجود مواد مغذی کافی از جمله نیتروژن و فسفر، افزایش فیتوپلانکتون و در نتیجه افزایش کلروفیل-آ را شاهد هستیم. پس از روز ۲۰۰ ام تا روز ۳۰۰، به دلیل کاهش دما و محدودیت فسفر به عنوان ماده مورد استفاده برای رشد کلروفیل-آ، روند کاهش این متغیر دیده می شود. طبق رابطه ۱۰، رشد و مرگ و میر فیتوپلانکتون (و به تبع آن رشد و از بین رفتن کلروفیل-آ) به ضریب رشد، ضریب مرگ و میر و نرخ ته نشینی فیتوپلانکتون ها بستگی دارد. در ابتدای نمودار که روند افزایشی را



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



صفحه ۹۲ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

شاهد هستیم، نرخ رشد بر مرگ و میر و ته نشینی فیتوپلانکتون ها غالب بوده و تا رسیدن به پایداری، یک رشد قابل ملاحظه در نمودار را شاهد هستیم (پیک نمودار در روز ۱۵۰ ام). در روزهای پایانی مدل سازی (روز ۳۰۰ تا ۳۵۰)، ضرایب رشد، بر مرگ و ته نشینی غلبه کرده و ضمن یک صعود خفیف در نمودار، انطباق تقریبی نمودار مدل سازی و نقاط اندازه گیری میدانی را شاهد هستیم. بعلاوه نتایج نشان می دهد غلظت کلروفیل-آ در نیمه شمالی دریاچه بیشتر از قسمت جنوبی می باشد (شکل ۵۰).

- **اکسیژن محلول:** در نمودار DO نیز می توان گفت پس از کالیبراسیون انجام شده، مقادیر مدل سازی و داده های اندازه گیری تا حد مناسبی بر هم منطبق هستند. به این صورت که در ابتدا یک کاهش اولیه و سپس یک افزایش تدریجی مشاهده می شود. علت این کاهش جزئی، مصرف اکسیژن موجود در دریاچه به وسیله موجودات زنده و غالب بودن نرخ اکسیژن زایی نسبت به تولید آن و علت افزایش دوباره نیز ورود اکسیژن از طریق رودخانه ها با دبی مناسب به داخل دریاچه می باشد. همانطور که گفته شد ۴ ایستگاه اول در قسمت شمالی دریاچه واقع هستند که طبق شکل ۲ دو رودخانه ی سنیخ چای و زولاچای به دریاچه می ریزند. در زمانی که دبی این ۲ رودخانه در فصل اردیبهشت بیشترین مقدار را داراست، بیشترین مقدار اکسیژن محلول نیز از طریق این رودخانه ها به داخل دریاچه وارد و در نتیجه سبب افزایش DO در ایستگاه های شمالی دریاچه می شود. از طرف دیگر چون این ۲ رودخانه غیر دائمی هستند (فقط در فصول پر آب جریان دارند) اثر قابل ملاحظه ای تا حدود روز ۱۵۰ ام به همراه دارند و پس از آن کاهش مقدار اکسیژن را تا روز ۲۵۰ شاهد خواهیم بود. در انتها نیز روند هر دو نمودار مدل سازی و اندازه گیری های میدانی صعودی است و علت آن تاثیر افزایش فیتوپلانکتون در این بازه (فیتوپلانکتون ها مواد مغذی را مصرف و اکسیژن تولید می کنند)، می باشد.

- **اورتوفسفات:** نمودار شبیه سازی شده ی اورتوفسفات نیز در مقایسه با داده های اندازه گیری شده مطابقت خوبی دارد و روند تغییرات آن با روند تغییرات داده های مشاهداتی یکسان است. به این صورت که به دلیل تغذیه جلبک ها از PO_4 روند کلی آن در ابتدا نزولی بوده و با افزایش فیتوپلانکتون ها و مصرف این مواد و همچنین انتقال و انتشار این مواد در کل حجم آب دریاچه این روند نزولی تا روزهای حدود ۲۰۰ ام ادامه پیدا می کند. در ادامه با



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



صفحه ۹۳ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

توجه به تغییرات دمای دریاچه و تغییرات رشد و مرگومیر جلبکها روند غلظت ارتوفسفات ثابت شده و در ماههای آخر افزایش پیدا می کند.

• **نیترا:** نتایج نیترات در ایستگاههای ۱ تا ۴ نیز تا روز حدودا ۲۰۰ ام انطباق مناسبی با دادههای اندازه گیری شده دارد. روند تغییرات این متغیر مشابه با روند تغییرات دادههای اندازه گیری آن است، به این شکل که مدل تا روز حدودا ۱۰۰ ام افزایش ناچیزی داشته و بعد از این روز افزایش زیادی پیدا می کند. این افزایش شدید تا روز ۲۰۰ ام ادامه پیدا می کند. با توجه به روند تغییرات غلظت NO_3 می توان دریافت که این پارامتر اثر زیادی از رودخانهها می پذیرد. به این صورت که در ماههای ابتدایی که رودخانههای منتهی به دریاچه دبی قابل توجهی دارند، شاهد افزایش نیترات هستیم و از میانه سال که دبی رودخانهها کاهش می یابد، این متغیر نیز افزایش خود را از دست می دهد و روند آن کاهشی می شود. نمودار شبیه سازی شده پس روز ۲۰۰ ام کمی پایین تر از دادههای اندازه گیری شده است، این امر می تواند به دلیل رودخانههایی باشد که اطلاعات آنها به صورت مستقیم موجود نبوده و همانطور که گفته شد سری زمانی متغیرهای کیفی آنها از میانگین رودخانههای موجود استفاده شده است. اگر برای رودخانههایی که اطلاعات آنها موجود نیست، داده جمع آوری می شد، مدل سازی کیفی با دقت بیشتری انجام می گرفت. همچنین دادههای ورودی به مدل نیز به صورت ماهانه جمع آوری شده است در حالی که دادههای ورودی مدل باید به صورت ساعتی باشند اما به دلیل نبود اطلاعات کافی، داده های ماهانه به ساعتی تبدیل شده و به مدل داده شده اند. در صورت جمع آوری دادهها در بازه زمانی کوتاه تر نتایج دقیقتری نیز بدست خواهد آمد.

۳-۵-۲ بررسی متغیرهای کیفی ایستگاههای ۵ و ۶

ایستگاههای ۵ و ۶ نیز با توجه به شکل ۹ در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و در اطراف میان گذر شهید کلانتری واقع شده اند و نتایج مدلسازی آنها شباهت زیادی با یکدیگر دارند. متغیرهای کیفی در این ایستگاهها با توجه به اینکه رودخانههای بیشتری به مرکز دریاچه منتهی می شوند، و همچنین در معرض جریانهای تبادلی بین قسمت شمالی و جنوبی دریاچه قرار گرفته اند، نوسانات بسیار بیشتری نسبت به ایستگاههای ۱ تا ۴ دارند.



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



صفحه ۹۴ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

• **کلروفیل-آ:** روند نتایج مدل در ایستگاه‌های ۵ و ۶ مشابه با روند داده‌های مشاهداتی در این ایستگاه می‌باشد. همانطور که گفته شد این دو ایستگاه در مقایسه با ایستگاه‌های ۱ تا ۴ از نوسانات زیادی برخوردار هستند که این امر می‌تواند به دلیل جریان‌های آشفته و تبادلی ذکر شده که اطراف میان‌گذر به وقوع می‌پیوندد، باشد. نمودارهای این دو ایستگاه به دلیل نوسانات مناسب، از انطباق خوبی نسبت به ایستگاه‌های ۱ تا ۴ برخوردار است. از روز ۲۰۰ به بعد نیز تا انتهای مدل‌سازی یک کاهش و یک افزایش در مقادیر مدل‌سازی و مشاهداتی کلروفیل-آ دیده می‌شود، کاهش در مقادیر به علت بیشتر بودن نرخ مرگ و میر نسبت به رشد، کاهش دما و کاهش مواد مغذی می‌باشد. افزایش در انتهای زمان مدل‌سازی نیز تحت تاثیر ورود رودخانه‌ها و افزایش آورد مواد مغذی برای رشد فیتوپلانکتون‌ها است. البته به دلیل کم بودن دبی رودخانه‌های ورودی این افزایش نسبت به افزایش در روزهای ابتدایی، کمتر است.

• **اکسیژن محلول:** در نمودار مدل‌سازی اکسیژن محلول مربوط به ایستگاه ۵ و ۶، به دلیل تلاطم جریان و ورود رودخانه‌های پرآب به داخل دریاچه، نوسانات و تغییرات مقادیر این متغیر کیفی به خوبی در عمق قابل مشاهده است. برای داده‌های اندازه‌گیری میدانی و روند نمودار شبیه‌سازی شده، ابتدا یک افزایش در روز ۱۰۰ ام مشاهده می‌شود و سپس روند کلی کاهش اکسیژن را خواهیم داشت. این افزایش می‌تواند به دلیل اندازه‌گیری محدود در نزدیکی گذرگاه و محل رودخانه‌های ورودی به دریاچه باشد (رودخانه‌هایی هم‌چون آجی‌چای، آذرچای، نازلوچای، شهرچای) که مقادیر اکسیژن اندازه‌گیری شده را کمی بالاتر از روند مدل‌سازی نشان می‌دهد؛ اما در مجموع روند مدل‌سازی و نقاط اندازه‌گیری میدانی اکسیژن محلول در طول مدت زمان مدل‌سازی مشابه هم بوده و نمودار مدل‌سازی شده انطباق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری دارد.

• **اورتوفسفات:** نتایج مدل کیفی برای متغیر اورتوفسفات در ایستگاه‌های ۵ و ۶ مانند ایستگاه‌های ۱ تا ۴، در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده تطابق خیلی خوبی دارد و روند تغییرات آن با روند تغییرات داده‌های مشاهداتی یکسان است، با این تفاوت که نوسانات در این ایستگاه‌ها بسیار بیشتر می‌باشد. در این ایستگاه‌ها نیز به دلیل تغذیه جلبک‌ها از PO_4 روند کلی آن در ابتدا نزولی بوده و با افزایش فیتوپلانکتون‌ها و مصرف این مواد و همچنین انتقال و



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



صفحه ۹۵ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

انتشار این مواد در کل حجم آب دریاچه این روند نزولی تا روزهای حدود ۲۰۰ ام ادامه پیدا می کند. در ادامه با توجه به تغییرات دمای دریاچه و تغییرات رشد و مرگ و میر جلبک ها روند غلظت ارتوفسفات ثابت شده و در ماه های آخر افزایش پیدا می کند. قابل ذکر است از آنجایی که مقدار اولیه ورودی مدل کیفی برای تمام دریاچه یکسان تعریف شده است، در ماه های ابتدایی شاهد این هستیم که مقادیر شبیه سازی شده کمی بیشتر از داده های اندازه گیری می باشد، این مطلب با گذشت روزهای اولیه اصلاح شده و نمودار شبیه سازی منطبق بر داده های اندازه گیری می شود.

• **نیتрат:** با توجه به نوسانات زیاد ایستگاه های ۵ و ۶، خروجی های نیترات برای این دو ایستگاه مطابقت بسیار خوبی تا روز ۲۰۰ ام با داده های اندازه گیری شده دارد و روند تغییرات این متغیر تا این روز مشابه با روند داده های مشاهداتی است. به این صورت که غلظت شبیه سازی شده تا روز حدودا ۱۰۰ ام افزایش کمی داشته و بعد از این روز افزایش آن بسیار بیشتر می شود. این افزایش شدید تا روز ۲۰۰ ام ادامه پیدا می کند. با توجه به اینکه رودخانه های بیشتری نزدیک این دو ایستگاه قرار دارند، اثر قابل توجه رودخانه ها بر روی NO_3 را می توان در نوسانات بیشتر غلظت این متغیر نسبت به ایستگاه های ۱ تا ۴ مشاهده کرد. غلظت مدل سازی شده ی نیترات مانند ایستگاه ۱ تا ۴، پس روز ۲۰۰ ام کمی پایین تر از داده های اندازه گیری شده است، این امر نیز همانطور که گفته شد می تواند به دلیل رودخانه هایی باشد که اطلاعات آن ها به صورت مستقیم موجود نبوده و سری زمانی متغیرهای کیفی آن ها از میانگین رودخانه های موجود بدست آمده است. همچنین این مطلب که داده های ورودی به مدل نیز به صورت ماهانه جمع آوری شده است در حالی که داده های ورودی مدل باید به صورت ساعتی باشند در پایین آمدن دقت مدل سازی این متغیر موثر بوده است.



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



صفحه ۹۶ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۴- نتیجه گیری

این گزارش به بررسی تغییرات پارامترهای شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با استفاده از توسعه مدل سه بعدی FVCOM می پردازد. این مدل با استفاده از داده های میدانی رودخانه ها توسعه داده شده و با داده های میدانی کیفی اندازه گیری شده در دریاچه صحبت سنجی و واسنجی شده است. این داده های کیفی شامل اطلاعات کیفی مانند عمق سکی، شوری، آمونیوم، فسفرکل، نیتروژن کل، فسفات، نترات، کلروفیل-آ و اکسیژن محلول بوده است که توسط "شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران" جمع آوری شده است. سایر داده های مورد نیاز برای مدلسازی کیفی که در داده های جمع آوری شده موجود نبودند، نظیر آمونیاک، نیتروژن آلی و فسفر آلی با استفاده از روابط تجربی به صورت تقریبی از داده های موجود برآورد شدند.

نتایج مدل سازی شده متغیرهای کلروفیل-آ، اکسیژن محلول، ارتوفسفات و نترات تطابق خوب و مناسبی نسبت به داده های اندازه گیری شده از خود نشان می دهند و روند تغییرات این متغیرها مشابه روند تغییرات داده های مشاهداتی است. در بخش هایی محدود از نتایج مدل کیفی شاهد این هستیم که اختلاف کمی بین مقادیر شبیه سازی شده و داده های میدانی وجود دارد، با توجه به وابستگی بعضی از متغیرهای کیفی به رودخانه های منتهی به دریاچه این اختلاف می تواند به دلیل رودخانه هایی باشد که اطلاعات آن ها جمع آوری نشده و سری زمانی متغیرهای کیفی آن ها از میانگین داده های رودخانه های جمع آوری شده، به دست آمده است. اگر برای رودخانه هایی که اطلاعات آن ها موجود نیست، داده جمع آوری شود، مدل سازی کیفی با دقت بیشتری نیز انجام می گیرد. همچنین این داده ها به صورت ماهانه جمع آوری شده است و جمع آوری آنها به صورت روزانه مدل را تدقیق خواهد کرد. مدل هیدرودینامیکی - کیفی توسعه داده شده توانایی بسیار خوبی در پیش بینی رفتار کیفی دریاچه ارومیه داشته است. یکی از نتایج مهم این پروژه تفاوت خصوصیات کیفی شمال و جنوب دریاچه است. با توجه به تفاوت زیاد خصوصیات کیفی رودخانه های شمالی و جنوبی وجود میانگذر مانع از تبادل جریان بین قسمت شمالی و جنوبی شده و سبب می شود پارامترهایی مثل کلروفیل-آ و اکسیژن محلول بین قسمت شمالی و جنوبی دریاچه تفاوت زیادی داشته باشد.



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



صفحه ۹۷ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

۵- مراجع

- [۱] 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
- [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] محمد مهدی زارع، بررسی اثرات گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی بر روی کیفیت و کمیت آب دریاچه ارومیه، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - محیط زیست، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۰
- [۴] مصطفی کریمیان اقبال و گروه محققین، بررسی انتقال آب دریاچه وان به دریاچه ارومیه: مطالعه کانی شناسی و شیمیایی ترکیب آب دو دریاچه، ۱۳۹۵.
- [۵] ناصر آق و گروه همکاران، گزارش بررسی اولیه دریاچه ارومیه، تالابها و رودخانه های حوضه آبریز آن، ۱۳۹۴
- [۶] 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
- [۷] امیر شمشکی و غلامحسین کرمی، مقایسه روند تغییرات کمی و کیفی آب دریاچه ارومیه با تاکید بر اطلاعات جنوب خاوری آن، فصل نامه علمی پژوهشی علوم زمینی، ۱۳۹۶
- [۸] N. Agh, B. Atashbar, E. Hasan, N. Niazi, and A. Irani, "Great changes in Urmia Lake water quality in the last 40 years GREAT CHANGES IN URMIA LAKE WATER QUALITY IN THE LAST 40 YEARS, December, 2015.
- [۹] K. Zeinalzadeh and E. Rezaei, "Journal of Hydrology : Regional Studies Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis," J. Hydrol. Reg. Stud., vol. 13, no. June, pp. 1-10, 2017.
- [۱۰] G. Gao *et al.*, "An Unstructured Grid , Finite-Volume Community Ocean Model FVCOM User Manual," vol. C, no. July, 2013.



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



صفحه ۹۸ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- [۱۱] A. Safaie et al., “Comparative Evaluation of Statistical and Mechanistic Models of Escherichia coli at Beaches in Southern Lake Michigan,” 2016.
- [۱۲] E. J. Anderson and M. S. Phanikumar, “Surface storage dynamics in large rivers : Comparing three-dimensional particle transport , one-dimensional fractional derivative , and multirate transient storage models,” 2011.
- [۱۳] A. Safaie, E. Litchman, and M. S. Phanikumar, “Evaluating the Role of Groundwater on Circulation and Thermal Structure in a Deep Inland Lake,” Adv. Water Resour., 2017.
- [۱۴] B. Li, K. R. Tanaka, Y. Chen, D. C. Brady, and A. C. Thomas, “Assessing the quality of bottom water temperatures from the Finite-Volume Community Ocean Model (FVCOM) in the Northwest Atlantic Shelf region,” J. Mar. Syst., vol. 173, no. December 2013, pp. 21–30, 2017.
- [۱۵] Z. Li, L. I. N. Weibo, L. I. Keqiang, S. Jianming, and W. E. I. Aihong, “Three-Dimensional Water Quality Model Based on FVCOM for Total Load Control Management in Guan River Estuary , Northern Jiangsu Province,” vol. 15, no. 2, pp. 261–270, 2016.
- [۱۶] M. Xia and L. Jiang, “Application of an Unstructured Grid-Based Water Quality Model to Chesapeake Bay and Its Adjacent Coastal Ocean,” 2016.
- [۱۷] حسن حمیدی رزی، مهدی مظاهری، جمال محمد ولی سامانی و مارکوس کارواجالینو فرناندز، بررسی اثر بخشی سناریو های مختلف احیای دریاچه ارومیه با استفاده از مدل هیدرودینامیکی دوبعدی، فصلنامه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۳۹۸
- [۱۸] R. R. Robinson, “Advances in Agronomy,” Agron. J., vol. 42, no. 7, pp. 365–365, 1950.
- [۱۹] <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms56.html#:~:text=Organic%20phosphate%20consists%20of%20a,either%20organic%20or%20inorganic%20phosphate.>
- [۲۰] Canadian Council of Ministers of the Environment, “Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: AMMONIA,” Can. Environ. Qual. Guidel., p. 8, 2010.



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



صفحه ۹۹ از ۹۹

ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1

مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه

جلد ۳

- [۲۱] C. Chen, "An unstructured grid, finite-volume community ocean model FVCOM User Manual (third edition)," vol. C, no. July, 2013.
- [۲۲] D. Justi and L. Wang, "Assessing temporal and spatial variability of hypoxia over the inner Louisiana – upper Texas shelf: Application of an unstructured-grid three-dimensional coupled hydrodynamic-water quality model," 2014.

عنوان طرح پژوهشی

مطالعات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در

نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف

مجموعه داوری گزارش

مدلسازی کیفی 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 ۹۹	ULRP-SUT-BMAS-RPT003-REV1	مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه
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 مدل سازی کیفی دریاچه ارومیه مجری طرح: عمار صفائی همکاران: علی عالی قر محمد علی مملعی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف مرداد ۱۳۹۹		

عنوان قرارداد: مطالعات مدل‌سازی و تحلیل هیدرودینامیکی، شیمیایی و کیفی دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن جریانات ورودی متعارف و نامتعارف		
عنوان گزارش: مدل‌سازی کیفی دریاچه ارومیه		
کارفرما: ستاد احیای دریاچه ارومیه	مجری: دکتر عمار صفایی	
تاریخ تهیه گزارش: مرداد ۱۳۹۹	تاریخ ارسال نظرات: مهر ۱۳۹۹	
ناظر/داور:	درصد پیشرفت: پس از انجام اصلاحات و پاسخ به نظرات قابل بیان است	

ردیف	صفحه / بخش	ارائه نظر فنی
۱		در فایل گزارش نظرات فنی ارائه شده است.
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		
۷		

ارائه نظر جمع بندی با توجه به شرح خدمات
۱- اساسا توانایی مدل هیدرودینامیک آماده شده به اثبات نرسیده است و لذا نمی تواند مبنای مدل سازی کیفی دریاچه باشد. ۲- سئوالاتی که در شرح خدمات مطرح شده است و به این بخش مربوط می شود پاسخ داده نشده است و اساسا مورد بررسی قرار نگرفته است.

پاسخ مجری به داور اول

ردیف	شماره جلد	عنوان گزارش	شماره مدرک	شماره ویرایش
۳	سوم	مدلسازی کیفی دریاچه ارومیه	ULRP-SUT-BMAS-RPT003	.

اصلاحات انجام شده با توجه به نظر داور				
ردیف	صفحه	نظر داور	توضیحات	
۱	-	اساسا توانایی مدل هیدرودینامیک آماده شده به اثبات نرسیده است و لذا نمی تواند مبنای مدلسازی کیفی دریاچه باشد.	همانطور که در متن گزارش ها نیز ذکر شده بود نتایج ارائه شده نتایج اولیه بوده و در فاز بعدی پروژه مدل تدقیق شده است. در نسخه جدید گزارش دوم، نتایج جدید نشان دهنده آن است که مدل هیدرودینامیکی برای پیش بینی دما و شوری در ۶ ایستگاه مختلف در طول دوره مدلسازی عملکرد مناسبی دارد. به علاوه مقایسه سری زمانی دمای سطح آب با مقادیر بدست آمده از سنجش از دور نیز دقت بالایی دارد. نوسانات تراز آب نیز به خوبی توسط مدل پیش بینی شده است. همانطور که در گزارش نیز بیان شده است به دلیل عدم وجود اندازه گیری میدانی جریان آب صحت سنجی سرعت جریان امکان پذیر نبوده است. اما با توجه به اینکه پارامترهای هیدرودینامیکی مدل نظیر ضرایب پخش و اختلاط آب برای شوری و دما کالیبره شده اند، عملکرد مدل به خوبی به اثبات رسیده و می تواند مبنایی برای مدلسازی کیفی باشد و از این بابت مشکلی برای مدلسازی کیفی دریاچه ارومیه وجود ندارد. بعلاوه تجربه مدلسازی هیدرودینامیکی و کیفی که در دریاچه های دیگر داشته ایم نشان می دهد در صورتی که به هر دلیلی مدل هیدرودینامیکی عملکرد درستی نداشته باشد، به دلیل حساسیت زیاد پارامترهای کیفی به شرایط هیدرودینامیکی تطابق نتایج مدلسازی کیفی با مقادیر اندازه گیری میسر نخواهد بود. حال آنکه در نسخه جدید مدل هیدرودینامیکی-کیفی توسعه داده شده تطابق قابل قبولی بین نتایج مدل و مقادیر میدانی در ۶ ایستگاه اندازه گیری در طول دوره مدلسازی وجود دارد. با این حال به کارفرمای محترم توصیه اکید شده است مطالعات میدانی دیگری به منظور برداشت سرعت آب در دریاچه صورت گیرد.	
۲	-	سئوالاتی که در شرح خدمات مطرح شده است و به این بخش مربوط می شود پاسخ داده نشده است و اساسا مورد بررسی قرار نگرفته است.	با توجه به سوالات مطرح شده در شرح خدمات، تعدادی از این خواسته ها همچون مدلسازی کیفی دریاچه ارومیه به صورت سری زمانی در متن نسخه جدید گزارش سوم ارائه شده است. تعدادی از خواسته ها نیز مربوط به طرح های انتقال آب از دریاچه وان، زاب و پساب تصفیه خانه می باشد که در گزارش چهارم به آنها پاسخ داده خواهد شد. برای پاسخ به باقی سوالات شرح خدمات نیز لازم است نتایج مدلسازی سناریوهای مختلف درخواستی کارفرما نیز مشخص شود، لذا پاسخ به همه سوالهای شرح خدمات به تفکیک در بخش جداگانه ای در گزارش جلد ۵ ارائه خواهند شد.	
۳	۲	چکیده فقط مربوط به این گزارش باشد نه کل پروژه	چکیده در خصوص هدف و چرایی مدلسازی کیفی تهیه شده است. همچنین در انتهای آن هم به روش و نتیجه کار مدلسازی کیفی اشاره شده است.	
۴	۱۷	پیشنهاد میشود مطالب تکرار شده در گزارش های قبلی حذف شود	موارد ذکر شده مقدمه ای به صورت اجمالی از وضعیت دریاچه و هدف و برنامه ی این گزارش در ارتباط با گزارش های قبلی می باشد، وجود این بخش به پیوستگی گزارش ها و فهم خواننده کمک می کند. با این حال در ویرایش جدید سعی شده است مطالب مشابه حذف شده و به گزارش های قبلی ارجاع داده شوند.	

اصلاحات انجام شده با توجه به نظر داور			
ردیف	صفحه	نظر داور	توضیحات
۵	۱۸	ارتباط این مطالعه با پژوهش حاضر چیست	در این مطالعه کیفیت آب دریاچه ارومیه و پارامترهای کیفی مختلف آب دریاچه آزمایش شده است (مرور تاریخچه ادبیات در بحث کیفیت آب دریاچه ارومیه به شمار می رود)
۶	۲۹	معیار کاهش کیفیت را بیان کنید	معیار کاهش کیفیت آب دریاچه با توجه به جدول شماره ۹، افزایش یون های موجود در آب همچون یون کلر و یون سدیم و یون سولفات بوده است.
۷	۵۹	از صفحه ۴۲ تا ۵۹ به ارائه اطلاعات پارامترهای کیفی اندازه گیری شده در ۶ ایستگاه اختصاص داده شده است. پیشنهاد می شود با ترکیب نمودارها این صفحات کاهش یابد.	در ویرایش جدید گزارش نمودارهای متغیرهای کیفی اندازه گیری شده در دریاچه و رودخانه ها به طور کلی اصلاح شدند.
۸	۶۲	از میانگین چه داده هایی استفاده شده است؟	میانگین داده های اندازه گیری شده در ۸ رودخانه نام برده شده (R1 تا R8)
۹	۶۹	در صورت وجود پیشنهاد می گردد مرجع کلیه روابط تجربی استفاده شده ذکر گردد.	کلیه روابط تجربی مرجع دهی شدند.
۱۰	۸۷	همچنان پیشنهاد ترکیب نمودارها جهت کاهش صفحات اختصاص داده شده به این موضوع پابرجاست	در ویرایش جدید گزارش، نمودارهای متغیرهای کیفی اندازه گیری شده در دریاچه و رودخانه ها به طور کلی اصلاح شدند.
۱۱	۱۰۰	دوم	نحوه نمایش نتایج و خروجی های مدل کیفی به طور کلی تغییر کرد.
۱۲	۱۰۵	چرا این کار انجام نشده است. اساسا نتایج هیدرودینامیک به خصوص ساختار شوری که در مدلسازی کیفی آب هم تاثیر گذار است در فصل قبل رضایت بخش نبود و لذا نمیتواند مبنای مدلسازی کیفی دریاچه باشد	فواصل گره های مورد استفاده برای خواندن نتایج مدل از ایستگاه های اندازه گیری تا حد امکان کاهش یافت تا دقت خروجی ها افزایش پیدا کند. در خصوص صحت نتایج هیدرودینامیکی به توضیحات بالا در ردیف ۱ مراجعه شود. در نسخه جدید ساختار شوری تطابق خوبی داشته و قابل قبول می باشد.

داوری نهایی

با سلام و احترام

ضمن تشکر و قدردانی از مجری محترم پروژه جهت انجام اصلاحات پیشنهادی و ارتقاء قابل توجه کیفیت گزارش نسبت به مرحله قبل، از نظر اینجانب گزارش های تهیه شده به صورت کامل قابل تایید می باشد اگرچه همچنان جهت ارتقاء مراحل آتی پیشنهاداتی در گزارشها به مجری محترم ارائه شده است که در لینک پیوست قابل مشاهده خواهد بود . با توجه به اینکه همچنان گزارش های دیگر این پروژه در دست تهیه می باشد جهت تعیین درصد پیشرفت گزارش ها نیاز است ساختار شکست در نظر گرفته شده برای پروژه برای اینجانب ارسال گردد

با تشکر