

«یادداشت تحقیقاتی»

تأثیر کاهش حجم آب ورودی بر تراز آب، ریخت شناسی و رژیم شوری دریاچه ارومیه

آرش بختیاری^۱، مصطفی زین الدینی^{۲*}، محمد علی توفیقی^۳

۱- دانشجوی دکتری دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشجوی دکتری دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف

* تهران، صندوق پستی ۴۴۱۶-۱۵۸۷۵

zeinoddini@kntu.ac.ir

چکیده- دریاچه ارومیه یکی از بزرگترین و شورترین دریاچه‌های دائمی کشور است که از نظر زیست‌محیطی نقش بسیار مهمی را در منطقه شمال غربی ایران بازی می‌کند. در سال‌های اخیر به دلیل احداث سدهای مختلف و بهره‌برداری از منابع آب بالادست دریاچه، تراز آب کاهش یافته است. این روند می‌تواند اثر نامطلوبی بر محیط زیست منطقه داشته باشد. از این رو، مطالعه روند بلند مدت کاهش دبی رودخانه‌های منتهی به دریاچه و اثر آن بر کاهش تراز آب اهمیت بالایی دارد.

در این مقاله دبی کاهش یافته رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه و روند کاهش تراز و تغییرات شوری دریاچه به عنوان مهمترین عامل زیست‌محیطی مطالعه شده است. با استفاده از مدل MIKE3 در بسته نرم‌افزاری MIKE شبیه‌سازی شرایط دریاچه انجام شده است. تغییر تراز دریاچه به دو شکل ناگهانی و تدریجی به مدل اعمال و نتایج با هم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تراز آب دریاچه ارومیه در پایان ۳۰ سال آینده با افت قابل توجهی روبرو خواهد شد که شوری را نیز به شدت تغییر خواهد داد. نتایج مدل حاکی از کاهش تراز سطح آب دریاچه از ۱/۵ متر تا ۲/۵ متر برای حالت‌های مختلف برداشت آب از بالادست دریاچه است. همچنین بررسی چند سناریو به منظور افزودن یک بازشو جدید برای بهبود وضعیت دریاچه نشان داده است که افزودن بازشو تأثیر چندانی بر شوری شمال دریاچه ندارد. اثر بازشو در تغییر شوری جنوب دریاچه در حدود ۱۵ درصد می‌باشد.

کلیدواژگان: دریاچه ارومیه، تراز آب، تغییرات سطح، شوری آب، مدل هیدرودینامیک.

۱- مقدمه
با ارتفاع متوسط ۱۲۷۵ متر از سطح دریاهای آزاد و با

مساحت تقریبی ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مربع یکی از

بزرگترین، پر آب‌ترین و بلندترین دریاچه‌های داخلی و

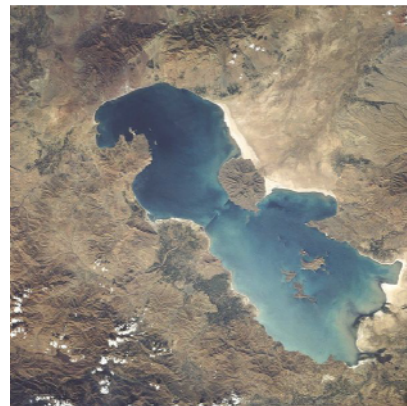
دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران و در فاصله ۲۴

کیلومتری شرق شهر ارومیه واقع شده است. این دریاچه

تحقیقات بختیاری (۱۳۸۸) ارائه شده و مشتمل بر حدود ۵۰ سد است. از سوی دیگر کاهش دبی ورودی به دریاچه علاوه بر کاهش حجم آب دریاچه و پایین رفتن تراز می‌تواند به افزایش شوری نیز منجر شود. این موضوع همراه با پدیده عمومی گرم شدن زمین می‌تواند از دیدگاه زیست‌محیطی آثار منفی متعددی را بر دریاچه ارومیه بر جای بگذارد.

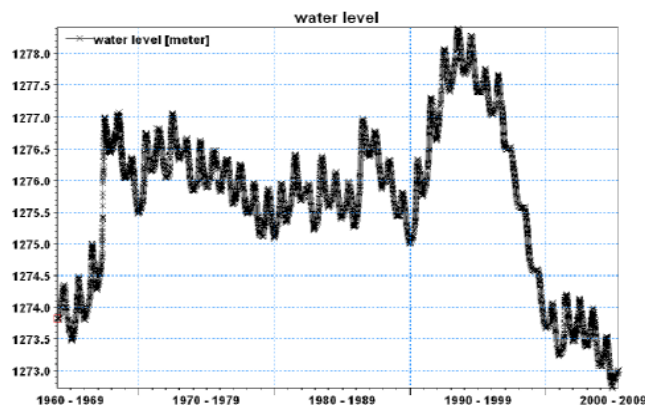
از سال ۱۳۰۴ تا کنون حدود ۴۲۰ تحقیق بر روی دریاچه ارومیه و حوضه آبریز آن انجام شده که فقط چهار مورد مربوط به قبل از احداث میان‌گذر است (مخدوم، ۱۳۸۱). از میان مطالعات گذشته، در اینجا فقط به بررسی مطالعاتی که در زمینه تغییرات تراز دریاچه انجام شده، پرداخته می‌شود. در بیشتر مطالعات قبلی، تغییرات تراز و سطح دریاچه در طول سال‌های گذشته مورد توجه قرار گرفته است. رسولی (Rasuly, 2006) با استفاده از سیستم‌های RS/GIS تغییرات تراز دریاچه، خط ساحلی دریاچه ارومیه را مطالعه کرده است. در تحقیق وی کاهش سطح آب دریاچه ارومیه در طول ۱۰ سال گذشته در حدود ۲۳ درصد و کاهش تراز آب در حدود ۳/۵ متر گزارش شده است.

دائمی ایران است. در سال ۱۳۵۷ ساختن یک میان‌گذر شرقی غربی در وسط دریاچه آغاز شد. تکمیل آن موجب شد که دریاچه به دو قسمت مجزای شمالی و جنوبی تقسیم شود (شکل ۱).



شکل ۱ تصویر ماهواره‌ای از دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۴ که در آن میان‌گذر احداث شده و دو قسمت مجزای شمالی و جنوبی دریاچه مشهود است

در دهه‌های اخیر به دلیل احداث سد بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه، دبی ورودی به دریاچه کاهش یافته (یا خواهد یافت) و این موضوع می‌تواند کاهش تراز را در پی داشته باشد (شکل ۲). فهرست سدهای ساخته شده و در دست احداث در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در



شکل ۲ تغییرات روزانه تراز دریاچه بین سال‌های ۱۳۳۷ تا ۱۳۸۶ (محور قائم تراز دریاچه بر حسب متر نسبت به تراز دریاهای آزاد) (مرجانی، ۱۳۸۶)

۲- مبانی مدل سازی

با توجه به مطالعات توفیقی (۱۳۸۴) و مرجانی (۱۳۸۵)، مدل های سه بعدی برای شبیه سازی رفتار هیدرودینامیک دریاچه نتایج رضایت بخش تری را در مقایسه با مدل های دو بعدی به دست می دهد. مدل های دوبعدی نتایجی غیر واقعی را برای شوری به ویژه در مناطق دور از میان گذر به دست می دهند (Zeinoddini et al., 2009؛ مرجانی، ۱۳۸۴؛ بختیاری، ۱۳۸۸؛ توفیقی و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین در این تحقیق با استفاده از مدل عددی MIKE3 رفتار دراز مدت دریاچه شبیه سازی شده است. مدل عددی MIKE3FM در بسته نرم افزاری MIKE که توسط مؤسسه هیدرودینامیک دانمارک^۱ طراحی و تهیه شده، بر پایه شبکه بندی بدون ساختار بنا شده و برای تحلیل دریاها، دریاچه ها، سواحل و اقیانوس ها به کار می رود. مقادیر بارش و تبخیر متوسط سی ساله با اعمال ضریب اصلاح تبخیر به ترتیب برابر ۳۱۰ میلی متر در سال و ۱۲۲۲ میلی متر در سال انتخاب شده است (Sadra, 2005). این مقادیر متوسط تبخیر و بارش اصلاح شده در طول دوره آماری موجود است. مجموع مقادیر برداشت آب از بالادست دریاچه پس از تکمیل تمامی سدها، بر طبق گزارش آب منطقه ای آذربایجان غربی، ۲/۲ میلیارد متر مکعب است. اما سازمان محیط زیست این مقدار را به ۱/۶ میلیارد متر مکعب محدود کرده است (Sadra, 2005). در این تحقیق با توجه به ورود آب های زیر زمینی به دریاچه (حدود ۴۴ MCM بر طبق آمار سال های ۱۳۸۲-۱۳۴۵) و برگشت مقادیری از آب استفاده شده به صورت زه آب و ورود مجدد آنها به دریاچه و همچنین نفوذ آب دریاچه سدها به آب های زیر زمینی، علاوه بر مقادیر فوق و احتمال وقوع ترسالی بین این سال ها مقادیر ۱/۸ و ۱/۳ میلیارد متر مکعب برداشت آب از سطح دریاچه نیز مد

در تحقیق دیگری تغییرات تراز دریاچه ارومیه و دریاچه خزر در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۵ بررسی و با هم مقایسه شده است (Vaziri, 2000). در این مطالعه با استفاده از دو مدل ANN و ARIMA تراز دریاچه ارومیه شبیه سازی شده که نتایج، نشان دهنده کاهش تراز آب دریاچه ارومیه در سال های اخیر است.

در مطالعاتی که توسط شرکت صدرا (Sadra, 2005) انجام شده، با استفاده از مدل های آماری تغییرات تراز دریاچه ارومیه برای ۱۰۰ سال آینده بررسی شده و در قسمت دیگری از این مطالعات با استفاده از روابط ریاضی و تبدیل ورودی های دریاچه و تبخیر به ارتفاع معادل آنها، مقدار حداقل و حداکثر تراز دریاچه در طول سی سال آینده (بر اثر احداث سد بر رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه) پیش بینی شده است. محمدی (۱۳۸۳) با مطالعه داده های تشتک تبخیر (برای آب شیرین) و تبخیر دریاچه ارومیه در ایستگاه شرفخانه نشان داد که میزان تبخیر در آب شور دریاچه ارومیه در حدود ۰/۷۸ برابر میزان تبخیر آب شیرین است.

در مطالعات دیگری به بررسی تغییرات شوری و هیدرودینامیک دریاچه پرداخته شده که از میان آنها می توان به تحقیقات زین الدینی و همکاران (Zeinoddini et al., 2009)، مرجانی (۱۳۸۴)، و شفیع فر و منتصری (۱۳۸۴) اشاره کرد. در برخی از این مطالعات سناریوهایی به منظور بهبود وضعیت دریاچه بررسی شده است (صدرا، ۱۳۸۳؛ توفیقی، ۱۳۸۴؛ بختیاری، ۱۳۸۸؛ Zeinoddini et al., 2009).

در این تحقیق سعی شده با استفاده از نوعی مدل سه بعدی هیدرودینامیکی/پراکنشی، تغییرات تراز و سطح دریاچه ارومیه در طول ۳۰ سال آینده بررسی شود. در این تحقیق اثر تغییر سطح و شوری بر میزان کاهش سطح در نظر گرفته شده است.

- ۳- حالت موجود دریاچه ارومیه + یک باز شوی جدید ۶۰۰ متری در سمت غرب میانگذر از ابتدای سال اول؛
- ۴- حالت موجود دریاچه ارومیه + یک باز شوی جدید ۶۰۰ متری در سمت غرب میانگذر از ابتدای سال یازدهم؛
- ۵- افزودن یک باز شوی ۶۰۰ متری در سمت غرب میانگذر از ابتدای سال بیست و یکم؛
- ۶- منتقل کردن مدخل رودخانه نازلو از جنوب خاکریز به شمال آن.

تراز آب دریاچه برابر با تراز آب متوسط دریاچه یعنی ۱۲۷۵/۳ متر از سطح دریاهای آزاد و معادل تراز متوسط ۵۰ ساله دریاچه ارومیه، در نظر گرفته شد. شوری اولیه مدل برابر شوری متوسط دریاچه و برابر ۲۰۰ PSU در نظر گرفته شد و برای مدل‌سازی از بارش و تبخیر متوسط ۳۰ ساله استفاده شده است.

با توجه به مطالعات قبلی (Zeinodini, 2009) صدرا، ۱۳۸۳، طرح نواندیشان، ۱۳۸۳) داده‌های هواشناسی شامل باد از ایستگاه فرودگاه ارومیه برداشت شده است. همچنین اطلاعات باد سال ۶۶-۱۳۶۵ که شبیه‌ترین گلباد را به گلباد متوسط دوره آماری داشته (طرح نو اندیشان، ۱۳۸۳)، انتخاب و برای دوره ۳۰ ساله به کار رفته است. از آن‌جا که حد بالای شوری بر اساس گزارش‌ها تقریباً برابر ۳۵۰ PSU (حد فوق اشباع) است (محمدی، ۱۳۸۳)، این مقدار برای نرم‌افزار نیز به‌عنوان حد بالای شوری در نظر گرفته شد.

در این تحقیق و به دلیل محدودیت‌های نرم‌افزار، بازگشت دوباره نمک در نظر گرفته نشده و فقط کریستال شدن و خروج آن از محیط مدل‌سازی شده است. در نظر گرفتن اثر کریستال شدن نمک نیز فقط از طریق معرفی حد اشباع به مدل انجام شده و امکان شبیه‌سازی پدیده رسوب‌گذاری نمک و کریستال شدن آن در مدل هیدرودینامیک حاضر وجود ندارد.

نظر قرار گرفته است (صدرا، ۱۳۸۳). مقادیر ۱/۸ و ۱/۳ میلیارد مترمکعب، به ترتیب ۸۰ و ۶۰ درصد مقدار گزارش شده در آب منطقه‌ای آذربایجان غربی می‌باشد. البته برداشت آب از سطح دریاچه نیز مد نظر قرار گرفته است. این مقادیر از سهم رودخانه‌های اصلی دریاچه به دو شکل ناگهانی و به تدریج (در مدت ۳۰ سال) کاسته شده است. مدل دریاچه برای این دو حالت و در مدت سی سال اجرا شده و نتایج مقایسه شده است.

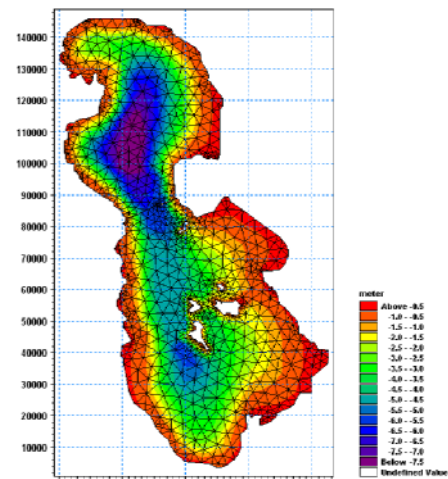
همان‌گونه که گفته شد دریاچه ارومیه از حدود ۳۰ سال قبل، از حالت طبیعی خارج شده و به دلیل احداث خاکریز عرضی به دو نیمه شمالی و جنوبی تقسیم شده است. احداث خاکریز علاوه بر آن که رژیم طبیعی جریان در دریاچه را تغییر داده، تبادل آب شیرین و شور بین بخش‌های جنوبی و شمالی را کاهش داده و تفاوت شوری بین بخش‌های شمالی و جنوبی را افزایش داده است. این تغییرات از نظر مسائل زیستی آرتیمیا و سایر جاندارانی که در چرخه زیستی آن قرار دارند مطلوب نیست (Zeinodini et al, 2009)؛ بختیاری، ۱۳۸۸؛ مرجانی، ۱۳۸۶؛ توفیقی، ۱۳۸۴؛ صدرا، ۱۳۸۳). در تمامی این مطالعات فقط وضعیت فعلی دریاچه، بدون در نظر گرفتن تأثیر درازمدت افت شدید ورودی آب شیرین - که بر اثر احداث سد در پیرامون دریاچه رخ می‌دهد - بررسی شده است. در مطالعه اخیر این تأثیر مهم در نظر گرفته شده و تلاش شده تا با شبیه‌سازی درازمدت رژیم‌های آب و شوری در دریاچه وضعیت آن در ۳۰ سال آینده تخمین زده شود. برای فراهم آوردن امکان مقایسه، چند سناریو به شرح زیر در نظر گرفته شده است.

- ۱- حالت طبیعی دریاچه (قبل از احداث خاکریز)؛
- ۲- حالت موجود دریاچه ارومیه (با خاکریز وسط و یک باز شوی ۱۲۵۰ متری)؛

۳- تحلیل حساسیت/کالیبره کردن و صحت‌سنجی مدل

به‌منظور تحلیل حساسیت مدل، سرعت جریان به‌عنوان عامل ارزیابی انتخاب شده است. شبکه‌نهایی به کار رفته برای مدل‌سازی و نقشه‌توپوگرافی در شکل ۳ ارائه شده است.

با تحلیل حساسیت پارامترهای جریان این نتیجه حاصل شد که در مدل جریان به‌ترتیب زبری بستر، ضریب اصطکاک باد و آب، عوامل تأثیرگذار بر سرعت جریان بوده‌اند. اندازه شبکه و تعداد لایه‌ها در جهت قائم تأثیر زیادی بر تغییرات سرعت نداشته است.

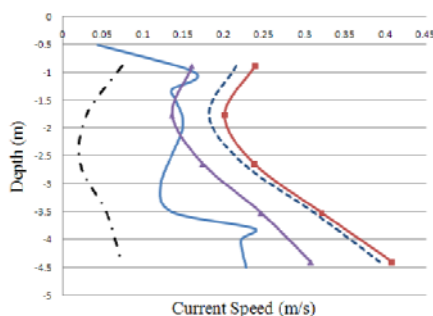


شکل ۳ شبکه انتخاب شده برای مدل‌سازی

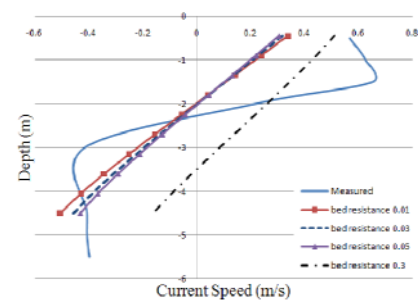
همچنین مدل به تغییرات پارامترهای لزجت گردابه‌ای و ضرایب انتشار چگالی حساسیت چندانی نشان نداده است. از میان دلایل حساس نبودن مدل نسبت به ضرایب انتشار می‌توان به جریان غالب ناشی از باد اشاره کرد که سهم به‌سزایی را در پراکنش شوری دریاچه به خود اختصاص داده است. بنابراین پارامتر زبری بستر به‌منظور کالیبراسیون مدل انتخاب شد.

با مقایسه نتایج مدل‌سازی جریان در روزهای ۱۶ تا ۲۱ خرداد سال ۱۳۷۱ با داده‌های اندازه‌گیری شده توسط شرکت مشاور آب نیرو (۱۳۷۳) مقدار پارامتر زبری بستر برابر ۰/۰۵ انتخاب شد (شکل ۴).

لازم است گفته شود که تطابق بیشتر داده‌های اندازه‌گیری و خروجی مدل برای مقادیر مختلف پارامترها معیار کنترل نتایج بوده است. اطلاعات کامل‌تری از کالیبره‌سازی مدل در کار بختیاری (۱۳۸۸) ارائه شده است. لازم است گفته شود که در این مدل (Flow model FM) پارامتر پایداری مدل عدد CFL است. در این مدل محدوده مجاز این پارامتر مقادیر کوچکتر از یک است و در غیر این صورت مدل ناپایدار می‌شود. همچنین گام زمانی در مدل حاضر به صورت چند گامی است و در این مقاله مقدار بحرانی CFL برابر ۰/۸ فرض شده تا مدل پایدارتر باشد.



ب- نقطه‌ای در جنوب میان‌گذر



الف- نقطه‌ای در وسط میان‌گذر

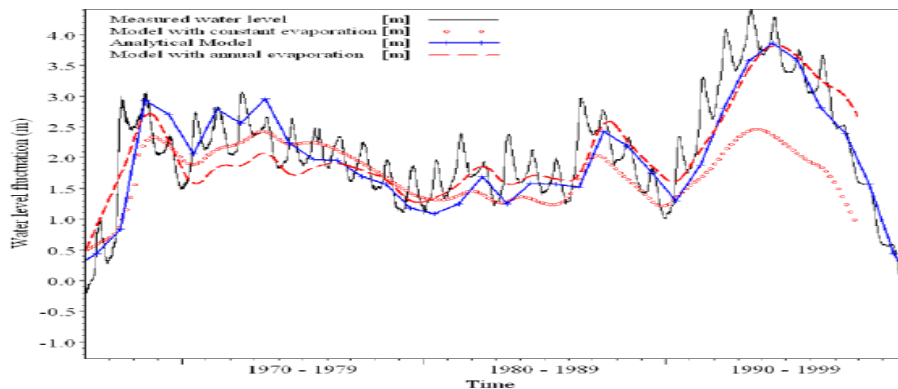
شکل ۴ مقایسه نتایج مدل‌سازی با اندازه‌گیری‌های میدانی

۴- نتایج و بحث

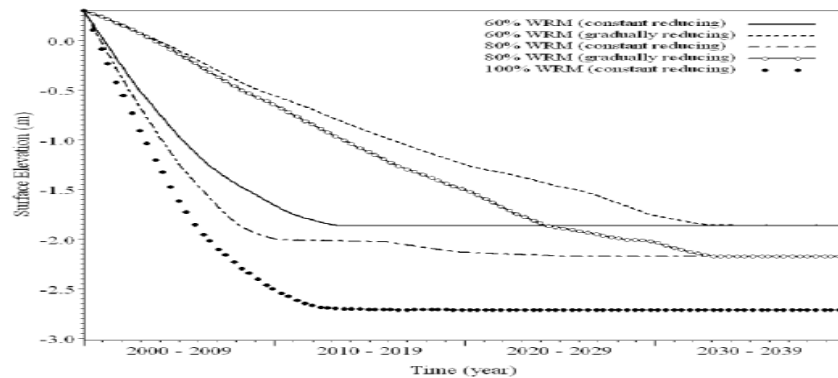
۴-۱- تغییرات تراز و سطح دریاچه ارومیه

در این بخش به بررسی نتایج مدل و فرض‌های مدل‌سازی پرداخته شده است. برای حصول اطمینان از قابلیت کاربرد داده‌ها، شبیه‌سازی دریاچه برای یک دوره ۳۷ ساله قبل از ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۲ (که داده‌های میدانی تراز آب روزانه آن موجود است) انجام شده است. شکل ۵ تغییرات بلند مدت تراز آب دریاچه ارومیه را در دوره ۳۷ ساله نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، مقایسه تغییرات سطح دریاچه برای استفاده از تبخیر متوسط ۳۰ ساله با تبخیر متوسط سالانه نتایج قابل قبولی را به دست داده است. به همین منظور در پیش‌بینی ۳۰ ساله دریاچه ارومیه با توجه به روند کاهشی دبی‌های ورودی کاربرد این داده‌ها درست و منطقی به نظر می‌رسد. لازم است

گفته شود که به دلیل نقص اطلاعات ماهیانه دبی رودخانه‌ها، از دبی متوسط سالانه برای هر رودخانه استفاده شده است. در دوره تر سالی (سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷) اختلاف مقادیر به دست آمده از مدل‌سازی با تبخیر متوسط ۳۰ ساله با تراز واقعی بیشتر شده که با توجه به کاهش تبخیر و افزایش روزهای بارانی در این سال‌ها قابل توجیه است. از آن‌جا که پیش‌بینی تراز دریاچه برای دوره ۳۰ ساله، با انتخاب سال مبنای مدل‌سازی به‌عنوان سال آغازین این دوره انجام و همچنین فرض کاهش دبی رودخانه‌ها در ۳۰ سال آینده به مدل اعمال شده است، به نظر می‌رسد که کاربرد تبخیر و بارش متوسط ۳۰ ساله برای شبیه‌سازی شرایط دریاچه، فرضی کارآمد با نتایج قابل اطمینان است.



شکل ۵ تغییرات تراز سطح به دست آمده از شبیه‌سازی ۳۷ سال گذشته دریاچه ارومیه (محور قائم تراز آب بر حسب متر)



شکل ۶ پیش‌بینی دراز مدت تغییر تراز سطح آب دریاچه ارومیه بر اثر بهره‌برداری از منابع آب بالا دست بر اثر احداث سد (محور قائم تراز آب بر حسب متر)

از طرفی با کاهش سطح و در نتیجه کاهش حجم، چگالی آب (بر اثر شور شدن) افزایش یافته و در نتیجه از مقدار تبخیر نیز کاسته می‌شود (این حالت در مقابل کاهش سطح ناچیز است). این پدیده^۱ در دریاچه‌های بسته^۲ به وقوع می‌پیوندد. شکل ۷ تغییر سطح دریاچه ارومیه را در طول دوره مدل‌سازی برای میزان بهره‌برداری ۱/۸ میلیارد متر مکعب (کاهش ۲/۱۸ متر) نمایش می‌دهد. به همین صورت، جدول ۱ درصد کاهش سطح دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ذکر شد با گذشت زمان، کاهش حجم و در نتیجه سطح وجود خواهد داشت که از میزان حجم تبخیر دریاچه خواهد کاست.

یکی از عواملی که در نتیجه کاهش سطح آب در دریاچه ارومیه اتفاق می‌افتد، خشک شدن اطراف جزیره‌های اصلی آن است که با توجه به وجود گونه‌های حفاظت شده در این نواحی، احتمال بروز مشکلاتی در این زمینه مطرح می‌شود.

جدول ۱ روند کاهش سطح در دریاچه ارومیه در پیش‌بینی ۳۰ ساله

میزان کاهش سطح نسبت به تراز متوسط آماری دریاچه	زمان اندازه‌گیری سطح دریاچه
٪۶۱	کاهش سطح پس از ۱۰ سال از آغاز مدل‌سازی
٪۶۳	کاهش سطح پس از ۲۰ سال از آغاز مدل‌سازی
٪۶۶	کاهش سطح پس از ۳۰ سال از آغاز مدل‌سازی

۴-۲- تغییرات شوری دریاچه

در این قسمت تلاش می‌شود تا با شبیه‌سازی درازمدت رژیم های شوری در دریاچه وضعیت آن در ۳۰ سال آینده و تأثیر آن بر محیط زیستی آرتیمیا دریاچه تخمین زده شود. برای فراهم آوردن امکان مقایسه، سناریوهای

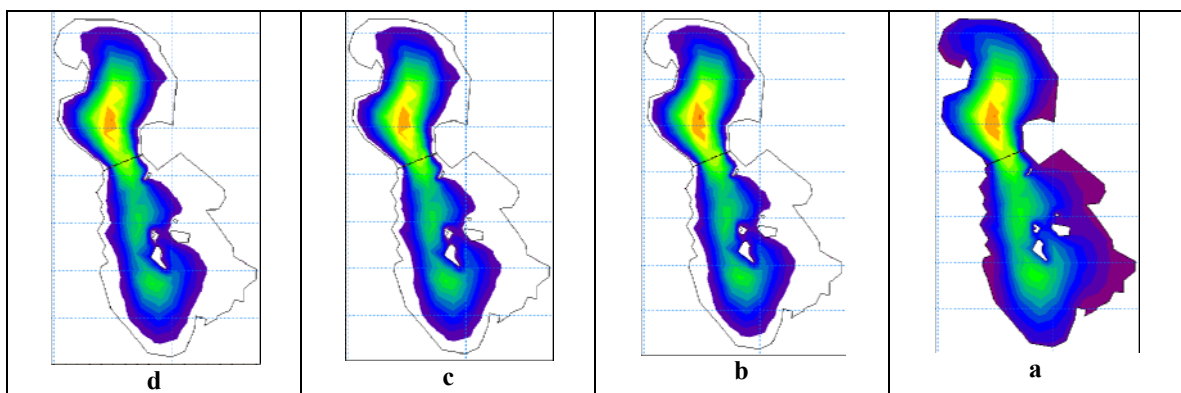
به‌منظور درک بهتر وضعیت دریاچه، کاهش دبی برای رودخانه‌ها در دو حالت، یک بار به‌صورت ناگهانی (از ابتدای سال اول) و یک بار به‌طور تدریجی (در طول ۳۰ سال) به مدل اعمال شده است که نتایج آن در شکل ۶ آورده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست تغییرات تراز دریاچه به چگونگی کاهش دبی رودخانه‌ها (ناگهانی یا به‌تدریج) وابسته نیست و فقط زمان وقوع آن به تأخیر می‌افتد. با کاهش ناگهانی دبی، شیب کاهش تغییرات تراز سطح دریاچه تندتر شده، اما مقدار نهایی ثابت باقی مانده است. لازم است گفته شود که کاهش دبی ورودی فقط در مورد رودخانه‌هایی که بر روی آنها سد احداث شده یا می‌شود (نه رودخانه اصلی) اعمال شده است. همان‌طور که از شکل ۶ بر می‌آید کاهش کمتر از ۲/۱۸ متر از تراز سطح دریاچه است که نیاز حداقل تراز دریاچه را برای ادامه حیات تأمین می‌کند (Sadra, 2005). از این رو بهره‌برداری بیش از ۱/۸ میلیارد متر مکعب از منابع آب دریاچه ارومیه می‌تواند سبب تخریب محیط زیست آن شود. همچنین بیشترین مقدار بدست آمده برای افت تراز (نسبت به تراز صفر) آب برابر ۲/۸ متر است که نتایج به‌دست آمده در مطالعات انجام شده در مرجع (Sadra, 2005) مقدار مشابهی را گزارش کرده است. لازم است توضیح داده شود که در مدل حاضر با توجه به اینکه توپوگرافی دریاچه برای سال ۱۳۷۳ ارائه شده - که در آن تراز آب دریاچه برابر ۱۲۷۵ متر بوده - تراز متوسط سطح آب به اندازه ۰/۳۷ متر افزایش داده شده تا با تراز متوسط ۵۰ ساله همخوانی داشته باشد.

در مدل حاضر با کم شدن سطح و افزایش شوری از میزان تبخیر کاسته می‌شود. به این صورت که با کاهش سطح، تعداد سلول‌های که در محاسبات شرکت می‌کنند کاهش یافته و در نتیجه حجم تبخیر کاهش می‌یابد. به این ترتیب فرایند کنترل کاهش سطح دریاچه به‌طور طبیعی انجام می‌شود.

1. Self Controlling
2. Terminal Lake

شوری شمال و جنوب دریاچه در نظر گرفته شده است. این نقاط در شکل ۸ نمایش داده شده است. از بررسی نتایج جدول ۲ نتیجه می‌شود که اختلاف شوری متوسط دریاچه در انتهای دوره ۳۰ ساله و در قسمت شمالی بین حالت طبیعی و وضعیت موجود در حدود ۸ PSU است. این مقدار برای جنوب دریاچه در حدود ۳۳ PSU است که مقدار بزرگی به‌شمار می‌رود.

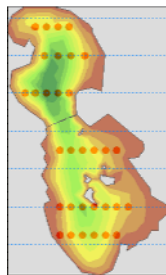
معرفی شده در بخش قبلی مد نظر قرار گرفت و مدل برای مدت زمان ۳۰ سال اجرا شد. تراز آب در این قسمت برابر با تراز آب متوسط دریاچه یعنی ۱۲۷۵/۳۷ متر از سطح دریاهای آزاد قرار گرفت. جدول ۲ شوری مدل را در انتهای دوره ۳۰ ساله برای هر سناریو نشان می‌دهد. لازم است گفته شود که به‌منظور محاسبه شوری در شمال دریاچه ۱۳ نقطه و در جنوب آن ۱۸ نقطه در نظر گرفته شده و شوری متوسط آنها به‌عنوان



شکل ۷ تغییر سطح دریاچه (الف- در ابتدای دوره؛ ب- در ابتدای سال دهم؛ پ- در ابتدای سال بیستم؛ ت- در انتهای سال ۳۰-ام)

جدول ۲ شوری دریاچه در پایان دوره ۳۰ ساله برای سناریوهای متفاوت (مقادیر شوری بر حسب PSU)

شوری جنوب دریاچه	شوری شمال دریاچه	سناریو
۲۰۳	۲۷۲	حالت طبیعی (بدون خاکریز)
۱۷۰	۲۸۰	وضعیت موجود دریاچه
۱۷۸	۲۷۴	افزودن بازشو ۶۰۰ متری از آغاز دوره
۱۷۴	۲۷۶	افزودن بازشو ۶۰۰ متری ۱۰ پس از آغاز دوره
۱۷۲	۲۷۹	افزودن بازشو ۶۰۰ متری ۲۰ پس از آغاز دوره



شکل ۸ موقعیت نقاط مورد استفاده برای محاسبه متوسط

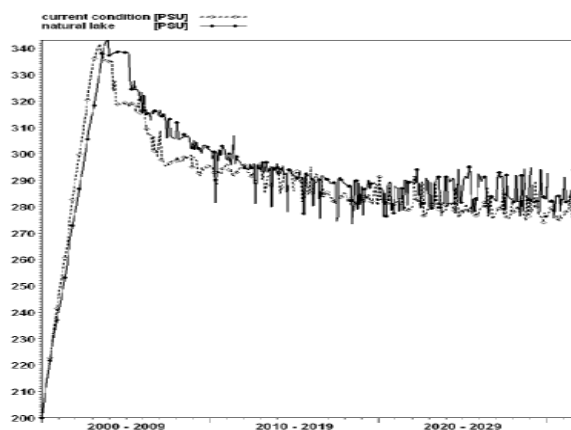
شوری دریاچه

بررسی نمودارهای ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که زمان افزودن بازشو تأثیر به‌سزایی در تغییر شوری دریاچه نداشته و فقط در حدود ۴ PSU (در بیشترین حالت) نسبت به زمانی که بازشو از ابتدای دوره افزوده شده تغییر شوری ایجاد می‌کند. قابل توجه است که با توجه به ثابت بودن مقدار باد و الگوی چرخش آب در دریاچه ارومیه، این موضوع دور از انتظار نبوده است.

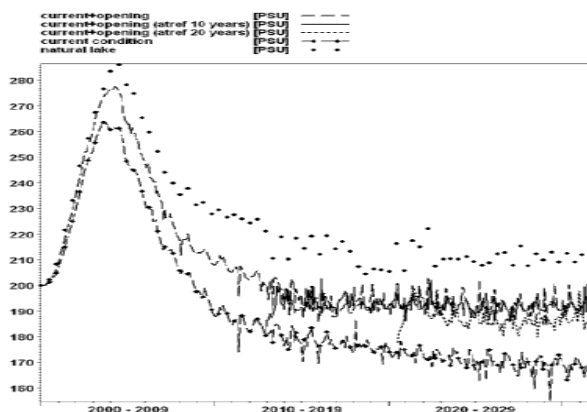
یک عامل کنترل کننده، کریستال شدن نمک در غلظت های بالا است و عامل دیگر آن است که به دلیل کم شدن سطح دریاچه، از میزان حجم کل آب تبخیر شده از سطح دریاچه کاسته می شود. نکته دیگر آن که با کاهش حجم آب دریاچه، شوری دریاچه نسبت به ورودی رودخانه ها حساس تر می شود و در نتیجه تأثیر این پارامتر پر رنگ تر می شود.

از آنجا که کاهش دبی رودخانه ها به صورت ناگهانی (کاهش کل مقدار از ابتدای دوره مدل سازی) اعمال شده است، این روند افزایش شوری به سرعت و با شیبی تند انجام می شود. سپس با پایین آمدن سطح آب و کاهش میزان تبخیر از روی سطح دریاچه مقدار شوری تا اندازه ای کاهش می یابد.

موضوع قابل توجه دیگر روند تغییرات شوری در دریاچه مطابق شکل های ۹ و ۱۰ است. همان طور که این شکل ها نشان می دهند، پس از گذشت ۵ سال از آغاز مدل سازی روند افزایشی تغییرات شوری متوقف شده و شوری شروع به کم شدن می کند. پس از مدتی روند تغییرات شوری به گونه ای می شود که تغییر چندانی در شوری دریاچه دیده نمی شود. در میان دلایل این پدیده چند نکته مهم است: اول آنکه با کاهش تراز آب دریاچه و به دنبال آن کاهش حجم آب، نخست غلظت نمک بالا می رود و محیط شورتر خواهد شد. این افزایش شوری با دو فرایند کنترل کننده مواجه شده و روند آن پس از مدتی متوقف شده و حتی محیط مقداری شیرین تر می شود (البته در شمال هنوز شورتر از شرایط کنونی می ماند).



شکل ۹ تغییرات شوری در شمال دریاچه برای سناریوهای مختلف (محور قائم شوری بر حسب PSU)



شکل ۱۰ تغییرات شوری در جنوب دریاچه برای سناریوهای مختلف (محور قائم شوری بر حسب PSU)

۶- منابع

- ابرازی ر. (۱۳۸۱). "مطالعه گردش آب در دریاچه ارومیه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- احمدی م.ر. (۱۳۸۱). "جایگاه و نقش آرتمیا در پل ارتباطی احداث شده در دریاچه ارومیه"، همایش میانگذر دریاچه ارومیه و محیط زیست.
- بختیاری آ. (۱۳۸۸). "بررسی اثر جریان و موج در تعیین موقعیت بازشو در پل میانگذر دریاچه ارومیه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- توفیقی م.ع. (۱۳۸۴). "مدل‌سازی عددی جریان در دریاچه ارومیه به منظور تعیین موقعیت و دهانه بهینه پل میانگذر دریاچه ارومیه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- سازمان نقشه برداری (۱۳۸۰). "اطلس ملی ایران"، جلد شانزدهم، چاپ اول..
- شرکت صدرا، (۱۳۸۱). "معرفی مشخصات پروژه طرح و ساخت میانگذر دریاچه ارومیه".
- شرکت طرح نو اندیشان (۱۳۸۳). "مطالعات تفصیلی هیدرولیک دریاچه ارومیه طرح آزاد راه شهید کلاتری"، گزارش مرحله دوم: اطلاعات محیطی پایه، بازنگری صفر.
- شرکت مادر تخصصی منابع آب ایران، www.wrm.ir
- شفیعی فر م. (۱۳۸۴). "حسین منتصری، بررسی اثر تغییرات گام زمانی در مدل‌های پیش‌بینی امواج در دریاچه ارومیه"، مجله مهندسی دریا.
- محمدی م.ع. (۱۳۸۳). "رابطه بین تبخیر آب های شور و شیرین و تأثیر آن روی تبخیر آب دریاچه ارومیه"، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.
- مخدوم م. (۱۳۸۱). "مروری بر مطالعات انجام یافته در دریاچه ارومیه و آبخیز آن"، همایش میانگذر دریاچه ارومیه و محیط زیست.

پس از شیرین‌تر شدن آب دریاچه این میزان نمک کریستال شده دوباره در آب حل شده و مقدار نمک را در حالت فوق اشباع نگاه میدارد تا زمانی که تمام کریستال‌ها دوباره در آب حل شوند. اما در نرم‌افزار فعلی امکان مدل‌سازی این فرایند وجود ندارد و به همین دلیل شوری تا حدی کاسته می‌شود. با کم شدن میزان تبخیر (از طریق شور شدن و کاهش سطح تبخیر) و کاهش میزان ورودی رودخانه‌ها، نوعی تعادل در دریاچه برقرار می‌شود که ادامه روند نمودار این تعادل را به‌خوبی نشان داده است.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش یک افت تراز آب در ۳۰ سال آینده پیش‌بینی می‌شود که در بهترین حالت آن (براساس حد سازمان محیط زیست) برابر ۱۲۷۳/۵ متر و در بدترین حالت آن (بر اساس خواسته سازمان منابع آب) ۱۲۷۲/۲ متر خواهد بود افت سطح آب باعث تولید جزایر جدید و وصل شدن تعدادی از جزایر به خشکی خواهند شد که وقوع خشکسالی در سال هدف و پس از آن وضعیت را به شدت وخیم خواهد کرد.

برای وضعیت شوری در ۳۰ سال آینده، دریاچه جنوبی شرایط فعلی خود را تقریباً حفظ خواهد کرد در حالی که بخش‌های بزرگی از دریاچه شمالی به حدی شور خواهند شد که شرایط زیست محیطی را برای آرتمیا مشکل خواهد کرد. در مجموع به دلیل وجود نوعی سازوکار خود کنترلی، پس از مدتی فرایند رشد شوری در دریاچه شمالی، حالتی تثبیت شده خواهد یافت.

بنا بر نتایج این تحقیق، اقدامات اصلاحی مانند افزودن بازشوهای جدید تأثیر بسیار ناچیزی در بهبود شرایط خواهند داشت. این درحالی است که برای مثال ۱۰ درصد تغییر در مقدار بهره برداری از آب بالا دست تأثیر بیشتری ایجاد خواهد کرد.

Mohammed A. N., (2006). Modeling the graete salt lake, Ms. Thesis, Utah State University.

Rasully A., (2006). Modelling of Urmia lake coastal changes by applying an integrated Rs/Gis approach, Tabriz University, GIS & RS Center, Tabriz, IRAN.

SADRA Co., (2005). Investigation on effects of increasing water utilization on urmia lake water level (during the next 100 year), Rev00.

Vaziri M., (1998). Comparative analysis of the Urmia lake and the Caspian Sea surface water level fluctuations, Neural Networks and Parameter Adaptatio.

Zeinoddini M., Tofighi M.A., Vafae F., (2009). Numerical evaluation of a dike type causeway impacts on the flow and salinity regimes in the Urmia lake, Great Salt Researches.

مرجانی ع.ا. (۱۳۸۶). "مدلسازی سه‌بعدی تعادل شوری و انتقال آب شور در دریاچه ارومیه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

مهندسان مشاور یکم (۱۳۸۱). پروژه مدیریت زیست محیطی دریاچه ارومیه.

مهندسین مشاور آب نیرو (۱۳۷۳). مطالعات مرحله دوم مقدماتی بزرگراه شهید کلاتری واقع در دریاچه ارومیه، جلد پنجم، گزارش مطالعات هیدرولیکی.

DHI Water and Environment, (2005). User guide of MIKE 3 (Estuarine and coastal hydraulics and oceanography, Hydrodynamic module). Scientific documentation.

Eimanifar A., Mohebbi F., (2007). Urmia lake (Northwest Iran): a brief review, Saline Systems, 3:5.