



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی

ICOPMAS 2010

10-8 آذر ماه (تهران)



بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر اکوسیستم دریاچه ارومیه

پریسا مقیمی ، دانشجوی دکتری ، دانشگاه آزاد-علوم تحقیقات تهران- دانشکده محیط زیست ، moghimi.parisa@gmail.com

مجید عباسپور ، استاد دانشگاه ، دانشگاه صنعتی شریف ، m-abbaspour@jamejam.net

امیرحسین جاوید ، استادیار دانشگاه ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران ، ahjavid@gmail.com

فرهنگ احمدی گیوی ، استادیار ، دانشگاه تهران ، ahmadig@ut.ac.ir

سید احمد میرباقری ، دانشیار ، دانشگاه خواجه نصیر طوسی ، mirbagheri@kntu.ac.ir

کلید واژه: دریاچه ارومیه، تغییر اقلیم ، شوری ، اکوسیستم

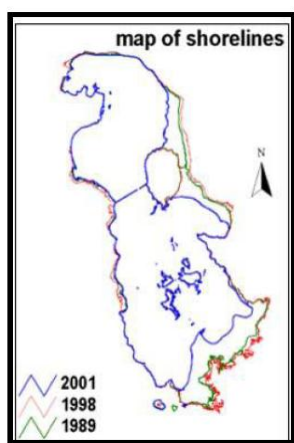
مقدمه

دریاچه ارومیه به عنوان پهناورترین دریاچه داخلی کشور دارای نقش بسیار مهم در تعدیل اقلیم منطقه است. در این ناحیه در دهه های اخیر فعالیت های کشاورزی و صنعتی و هم چنین پروژه های زیر بنایی و توسعه منابع آب گسترش یافته است. این اقدامات اثرات قابل ملاحظه و اساسی بر شرایط اکولوژیکی و تراز آب دریاچه ارومیه داشته است. از سوی دیگر تغییرات آب و هوایی نقش به سزایی در مورد تراز سطح آب دریاچه دارد که تاکنون اثرات آن بر روی دریاچه با در نظر گرفتن توپوگرافی بستر دریاچه مورد بررسی واقع نشده است. در تحقیقی [1] که در این زمینه به روش شبکه عصبی صورت پذیرفت اثر عمق دریاچه تا حداقل تراز مشاهداتی برداشت شده از ایستگاههای ساحلی اعمال شده و رابطه تراز های پایتتر آب در محاسبات وارد نشده است .

در این پژوهش با توجه به اینکه دریاچه به شکل کاسه بوده و تغییرات تراز متفاوتی را در قبال یک ارتفاع تبخیر پیوسته مشخص نشان می دهد، پس از اعمال روند موجود تغییرات آب و هوایی بر دریاچه و استفاده از یک مدل عددی هیدرودینامیکی، عمق آب دریاچه با توجه به ورودیها و خروجیها از دریاچه و اعمال اثر توپوگرافی بستر دریاچه در کاهش تراز دریاچه بدست آمده و اثرات بعدی آن بررسی می شود و در ادامه، روشهایی برای بهبود شرایط ارائه می گردد [2].

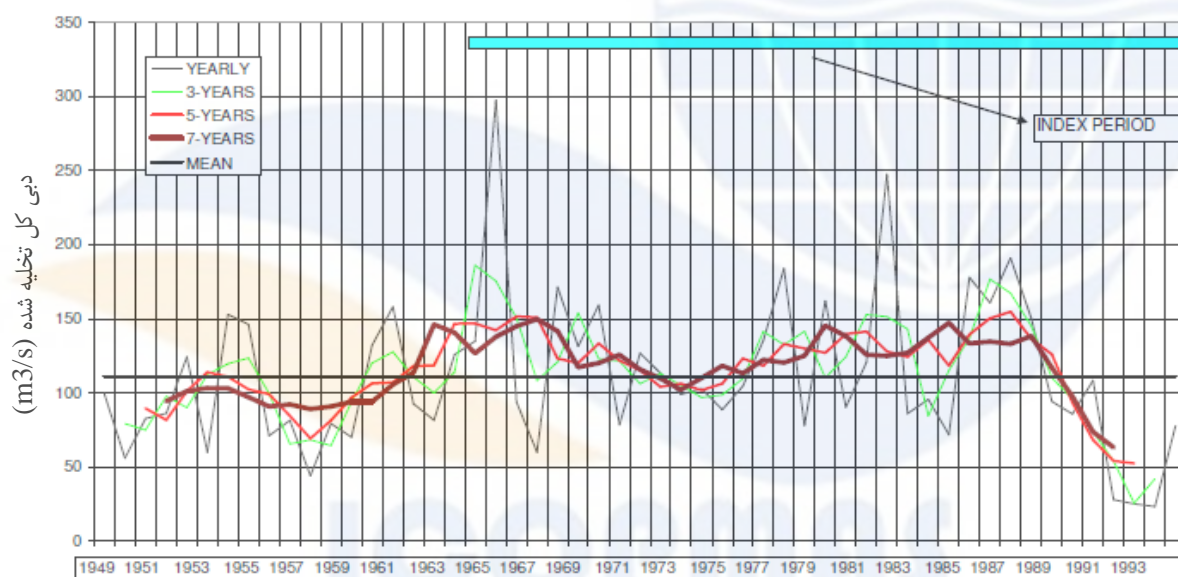
عوامل موثر بر تراز دریاچه ارومیه

کاهش میزان آب ورودی به دریاچه مهمترین عامل تهدید کننده کارکرد اکوسیستم منطقه است. با احداث 44 پروژه توسعه منابع آب تا سال 1400 از میزان آبی که به دریاچه ارومیه وارد می شود معادل 1/3 میلیارد متر مکعب کاسته خواهد شد [3]. علاوه بر این تغییر اقلیم و اثر گرم شدن جهانی زمین بر دریاچه نیز سبب تغییرات زیادی بر روی تراز آب دریاچه و خشک شدن تدریجی آن شده است (شکل 1).



شکل 1. کاهش مساحت دریاچه ارومیه در اثر تغییر عمق آب طی سالهای مختلف

با توجه به میانگین متحرک 3، 5 و 7 ساله شش رودخانه دوره های ترسالی و خشکسالی در (شکل 2) ارائه شده است [4]. در این پژوهش عمق آب در شرایط مختلف (با اجرای مدل برای سناریوهای مختلف)، در دوره های ترسالی و خشکسالی و تداوم آن در آینده با در نظر گرفتن کاهش ورودی ها در اثر پروژه های توسعه منابع آبی در دست بهره برداری، توسط یک مدل هیدرودینامیکی، به دست آمده و نتایج در ادامه آورده شده است.



شکل 2. میانگین متحرک سه، پنج و هفت ساله ورودی از شش ایستگاه به دریاچه ارومیه (نمایش دوره های ترسالی و خشکسالی از سال 1949 تا 2002)

مدل مورد استفاده

از یک مدل اقیانوسی سه بعدی (FVCOM) که در آن معادلات حاکم بر جریان باروش احجام محدود حل شده اند برای محاسبه تراز آب دریاچه ارومیه استفاده شده است. این مدل حاوی معادلات مومنتوم، پیوستگی، دما، شوری و دانسیته بوده و حل در سیستم مختصات سیگما با شبکه بندی مثلثی بی ساختار صورت می گیرد. معادلات در دو مرحله دو بعدی و سه بعدی حل می شوند. حل معادلات دوبعدی (external mode) با استفاده از روش رانج-کوتای چهار مرحله ای با خطا از درجه دوم و حل معادلات سه بعدی (internal mode) با روش اولر پیشرو با خطا از درجه اول صورت می گیرد [5]. معادلات حاکم بقاء جرم و اندازه حرکت و معادلات توربولانت در سیستم مختصات سیگما به صورت زیر می باشند [6,7].

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t \quad (1a,b,c,d)$$

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

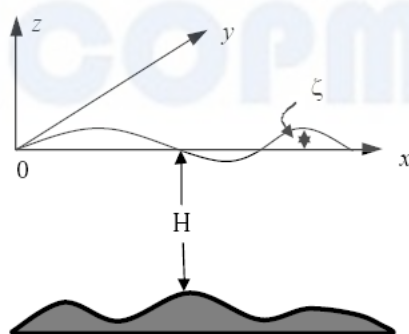
$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right] \\ + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{B_1 \ell} + F_q \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 \ell D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 \ell D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 \ell D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2 \ell}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2 \ell}{\partial \sigma} \right] \\ + E_1 \ell \left[\frac{K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + E_3 \frac{g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} \right] - \frac{Dq^3}{B_1} \tilde{w} + F_\ell \end{aligned} \quad (6)$$

که در آن X و Y و Z و محورهای شرق، شمال و عمودی در سیستم مختصات سیگما بوده، u، v و w، مولفه های سرعت در جهات X، Y و Z می باشند. f پارامتر کوریولیس و g شتاب ثقل می باشند. K_M ضریب ادی ویسکوزیته عمودی و K_H ضریب ادی ویسکوزیته حرارتی عمودی و $D = H + \xi$ (شکل 3) می باشد سایر پارامترها در [5] شرح داده شده است.

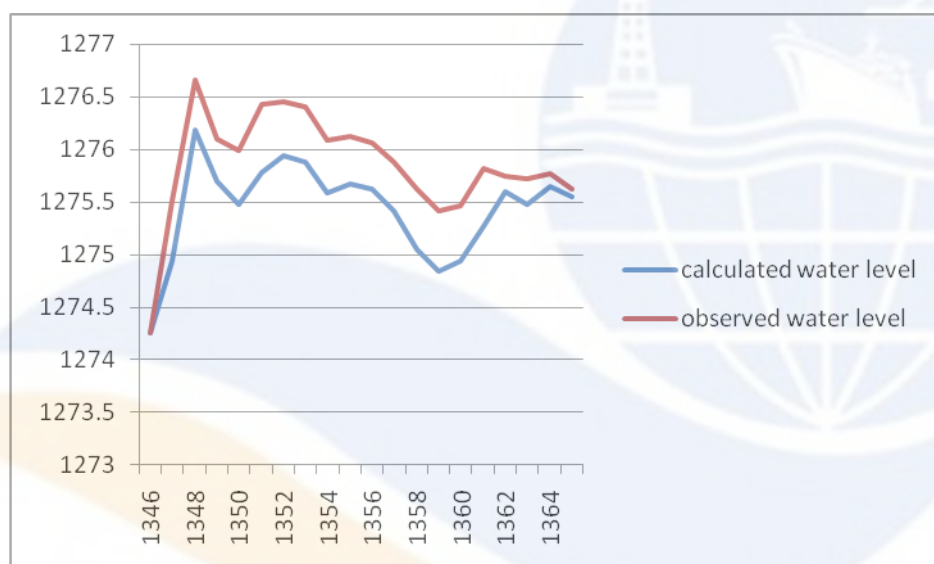


شکل 3. عمق آب محاسبه ای در مدل نسبت به محورهای مختصات

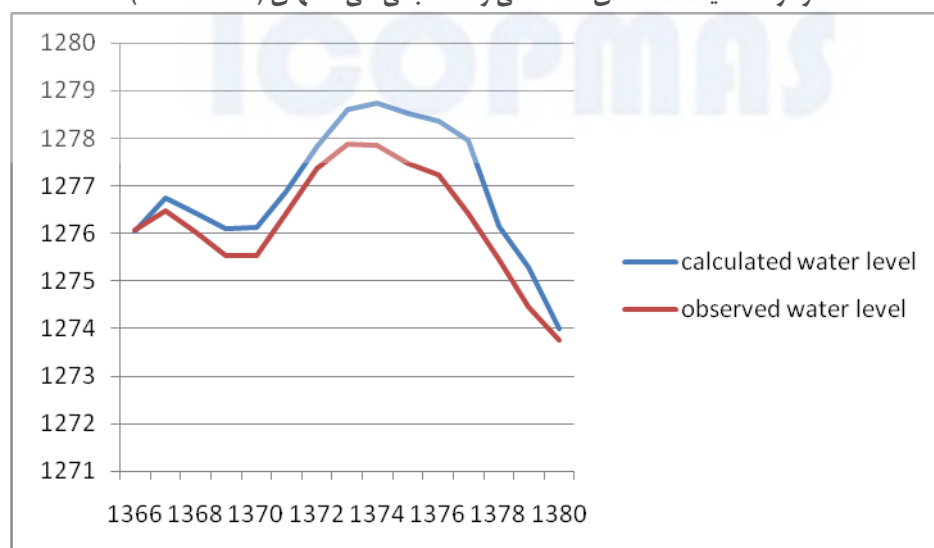
دریاچه ارومیه زهکش یک حوضه بسته است که شرایط اقلیمی سالیانه به شدت بر روی آن تاثیر می گذارند. در این مدل از داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی سالیانه شامل بارش، تبخیر و رودخانه های ورودی به دریاچه طی سالهای 1380-1346 استفاده شده است [4] که در آن داده های ایستگاههای هواشناسی و هیدرومتری موجود در این حوضه به صورت روزانه و برای بیش از 30 سال ثبت و تحلیل شده است. داده های رقومی توپوگرافی بستر دریاچه ارومیه توسط شرکت آب نیرو با گشت دریایی و توسط اکوساندر تهیه و توسط شرکت صدرا اصلاح شده است.

کالیبراسیون و معتبرسازی مدل

به منظور استفاده از هر مدل هیدرودینامیکی لازم است که صحت جوابهای حاصله بررسی و تایید شود. بدین منظور می توان از دو سری داده مستقل برای مقایسه خروجی مدل با داده های مشاهداتی استفاده کرد. در صورتی که یک سری داده وجود داشته باشد می توان آن را به دو سری داده تقسیم نمود و برای کالیبراسیون و معتبرسازی مدل استفاده نمود [8]. در این مطالعه از داده های مشاهداتی میانگین سالیانه تراز آب دریاچه طی سالهای (1346-1365) به منظور کالیبراسیون (نمودار 1) و داده های (1366-1380) به منظور تایید مدل (نمودار 2) استفاده شده است.



نمودار 1. مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی طی سالهای (1346-1365)



نمودار 2. مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی طی سالهای (1366-1380)

به منظور محاسبه درصد خطای مدل از روش ریشه میانگین مربعات (Root Mean Square method) استفاده شده است .

$$RMS(\%) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left[\frac{W_m(i) - W_{m,min}(i)}{W_{m,max}(i) - W_{m,min}(i)} - \frac{W_o(i) - W_{o,min}(i)}{W_{o,max}(i) - W_{o,min}(i)} \right]^2}$$

که در آن W_m و W_o به ترتیب مقادیر تراز آب محاسبه شده و مشاهداتی می باشند. N تعداد نمونه ها و \min و \max مقادیر حداقل و حداکثر تراز آب می باشد. براساس محاسبات انجام شده درصد خطای محاسباتی برای سری اول داده ها که طی 20 سال (1365-1346) بدست آمده برابر با 10 درصد و برای 15 سال بعد (1380-1366) برابر با 8 درصد می باشد. با توجه به خطای به دست آمده ، نتایج محاسبات مدل قابل قبول می باشد.

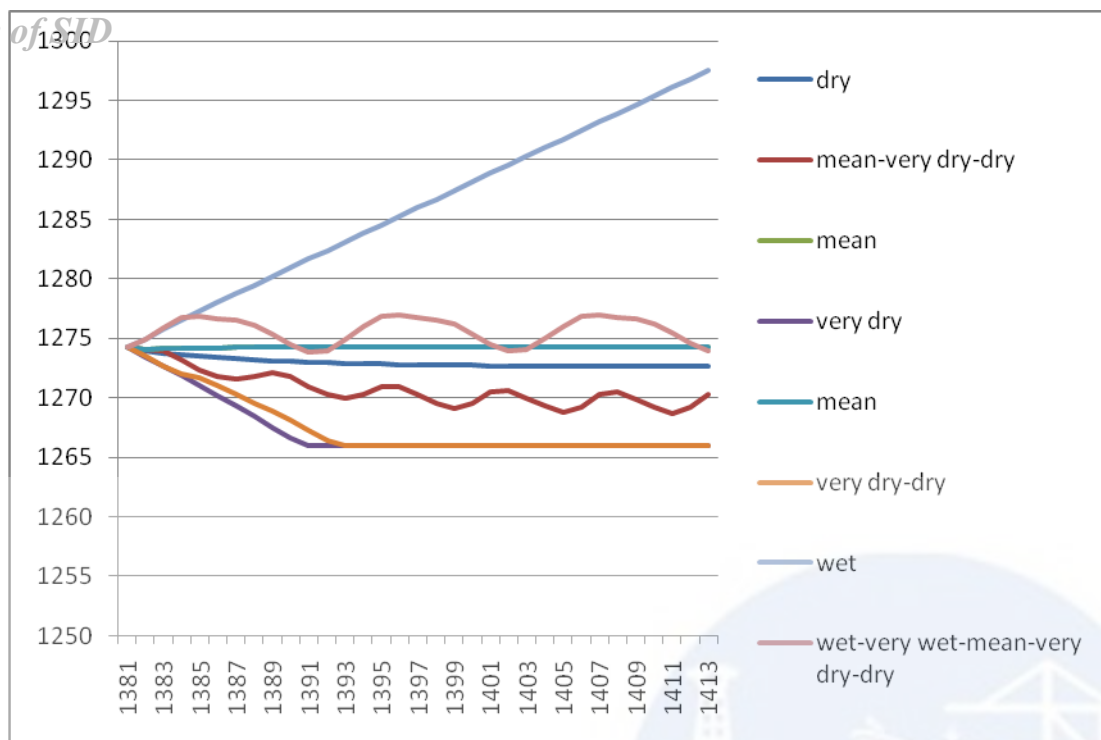
سناریوهای اجرا شده

به منظور بررسی تاثیر شرایط مختلف اقلیمی بر روی تراز دریاچه ارومیه (با استفاده از نتایج حاصله از شرایط هیدرولوژیکی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه) سناریوهای مختلفی، بر اساس شرایط اقلیمی حاکم بر حوزه آبریز دریاچه ارومیه اجرا شده است. در این مطالعه چهار سناریو شامل تداوم شرایط خیلی خشک، خشک، میانگین و مرطوب برای 33 سال آتی (بعد از 1381) در نظر گرفته شده است و داده های مربوط به این شرایط هیدرولوژیکی در مدل وارد شده است. سپس تداوم شرایط خیلی خشک و خشک ، تداوم شرایط متناوب متوسط ، خیلی خشک ، خشک و تداوم شرایط متناوب خیلی مرطوب، مرطوب ، متوسط ، خیلی خشک ، خشک براساس روندی که به طور طبیعی از سال 1372 تا 1380 رخ داده، برای 33 سال آتی اجرا شده است و پیش بینی ها برای سالهای 1414-1381 در ادامه آورده شده است.

نتایج

به منظور بررسی وضعیت دریاچه ارومیه با تغییر اقلیم و بررسی امکان برداشت آب در آینده در صورت ادامه شرایط خشکسالی در منطقه، سناریوهای مختلفی اجرا شده است . این سناریوها بر اساس تغییرات اقلیمی صورت گرفته در منطقه و با استفاده از شرایط هیدرولوژیکی مرطوب، متوسط ، خشک و خیلی خشک که در سالهای مختلف رخ داده (شکل 2) اجرا شده اند. این سناریوها عبارتند از:

- سناریو هایی که به طور پیوسته شرایط هیدرولوژیکی (1 مرطوب 2 متوسط 3 خشک 4 خیلی خشک بر دریاچه (از 1381 تا 1414) حاکم باشد.
- سناریوهایی که به طور متناوب شرایط هیدرولوژیکی (5 خیلی خشک - خشک 6 شرایط متناوب متوسط-خیلی خشک-خشک 7 خیلی مرطوب- مرطوب-متوسط- خیلی خشک-خشک بر دریاچه (از 1381 تا 1414) حاکم باشد. نتایج بدست آمده به صورت گراف در نمودار 3 و جدول 1 ارائه شده است.



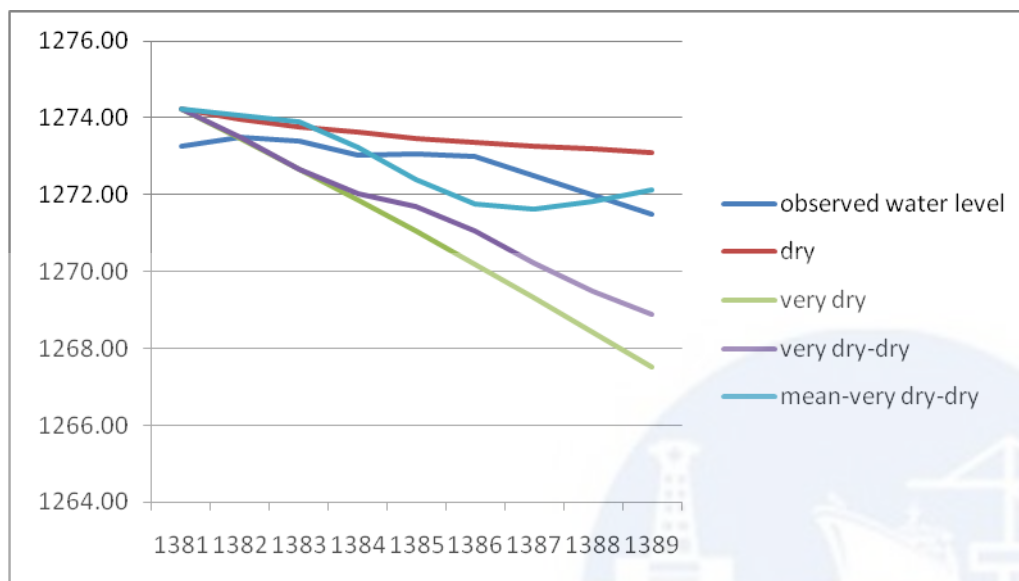
نمودار 3. مقایسه سناریوهای مختلف اجرا شده برای شرایط مختلف هیدرولوژیکی و اقلیمی (1381-1414)

جدول 1. نتایج پیش بینی های انجام شده توسط مدل در شرایط مختلف از 1381 تا سال 1414

توضیحات	محاسبات آماری				شرایط هیدرولوژیکی					سناریوها
	std	حداقل (m)	حداکثر (m)	میانگین (m)	خیلی خشک	خشک	متوسط	مرطوب	خیلی مرطوب	
	7/01	1274	1297	1285				×		1
	0/06	1274	1274	1274			×			2
	0/43	1272	1274	1272		×				3
دریاچه خشک می شود	2/54	1265	1274	1267	×					4
دریاچه خشک می شود	2/64	1265	1274	1267	×	×				5
	1/52	1268	1274	1270	×	×	×			6
	1/09	1273	1277	1275	×	×	×	×	×	7

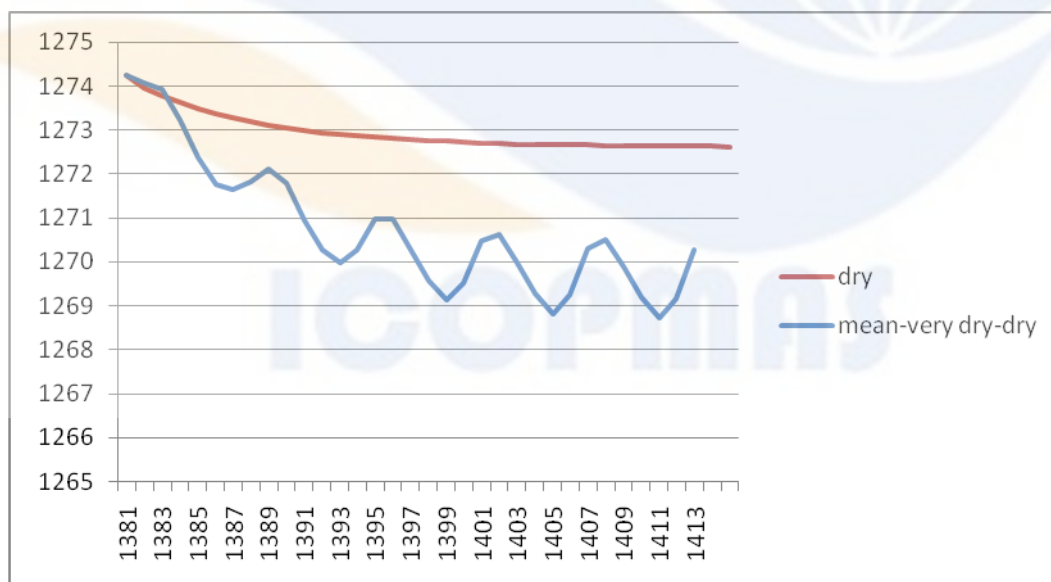
بر اساس نتایج به دست آمده در سه حالتی که شرایط ترسالی، متوسط و شرایط متناوب مرطوب - خیلی مرطوب - متوسط - خیلی خشک - خشک (سناریوهای 1، 2 و 7) بر دریاچه (از 1381 تا 1414) حاکم باشد، تراز آب دریاچه بالاتر از تراز اکولوژیکی برابر با 1274/1 متر (بر اساس مطالعات نظری دوست، 1385) [9] خواهد بود و در صورتی که مدیریت منابع آبی به دقت در منطقه صورت پذیرد، پتانسیل خوبی برای برداشت از منابع آبی حوضه وجود خواهد داشت. برای سناریوهای تداوم شرایط خشکسالی، شرایط متناوب متوسط-خیلی خشک و خشک (سناریوهای 3 و 6) تراز به پایینتر از تراز اکولوژیکی رسیده و عملاً با استفاده از منابع آبی حیات دریاچه به شدت به خطر می افتد. برای سناریوهای تداوم شرایط خیلی خشک و وقوع شرایط متناوب خیلی خشک - خشک (سناریوهای 4 و 5) بعد از زمان کوتاهی دریاچه بدون حتی استفاده از منابع آبی بالادست خشک خواهد شد.

بعد از اجرای مدل برای سناریوهای مختلف ، داده های پیش بینی شده با داده های مشاهداتی تراز آب دریاچه بین سالهای 1381 تا 1389 مقایسه می شوند تا روند پیش بینی سناریوهای مختلف با داده های واقعی مشاهداتی مقایسه شود و سناریوهایی که روند مشابهی با روند واقعی دارند انتخاب شوند. این مقایسه در نمودار 4 صورت پذیرفته است .



نمودار 4. مقایسه تراز آب مشاهداتی طی سالهای (1381-1389) با پیش بینی های انجام شده در سناریوهای مختلف

با توجه به نمودارها چنین نتیجه گرفته می شود که تراز آب مشاهداتی با داده های حاصل از پیش بینی سناریوهای تداوم شرایط خشکی و شرایط متناوب متوسط-خیلی خشک-خشک تا حدودی همخوانی دارد. بنابر این، با توجه به همخوانی این دو سناریو ، شرایط دریاچه با توجه به این دو سناریو به دست می آید که به ترتیب حاکی از کاهش مداوم و متناوب تراز آن می باشد (نمودار 5) .

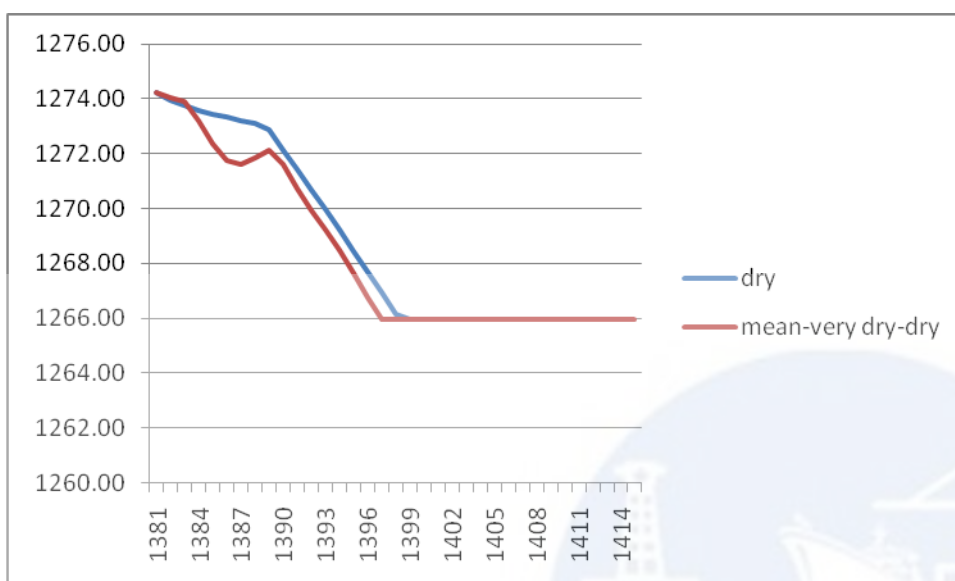


نمودار 5. نتایج تراز آب محاسبه ای برای دو سناریوی منتخب

اثر پروژه ها -

در صورت ادامه شرایط ارائه شده در نمودار 5 برای دریاچه ارومیه ، تراز آب پایینتر از تراز اکولوژیکی خواهد رسید و امکان برداشت آب و توسعه طرحهای منابع آبی وجود نخواهد داشت، که در غیر اینصورت و برداشت آب صدمات غیرقابل جبرانی به اکوسیستم منطقه زده خواهد شد.

پس از انتخاب این دو سناریو برای انجام پیش بینی ها، با توجه به این که در سال 89 برداشت از آب رودخانه های ورودی و اثر خشکسالی به حدی رسیده که ورودی به دریاچه در تابستان بسیار ناچیز بوده ، این دو سناریو با فرض اینکه خشکسالی و استفاده از منابع آبی بالادست همچنان ادامه یابد و ورودی به دریاچه از سال 89 به بعد به صفر رسیده باشد اجرا شد. نتایج حاصله نشان می دهد که به ترتیب پس از 6 و 9 سال دریاچه خشک خواهد شد (نمودار 6).

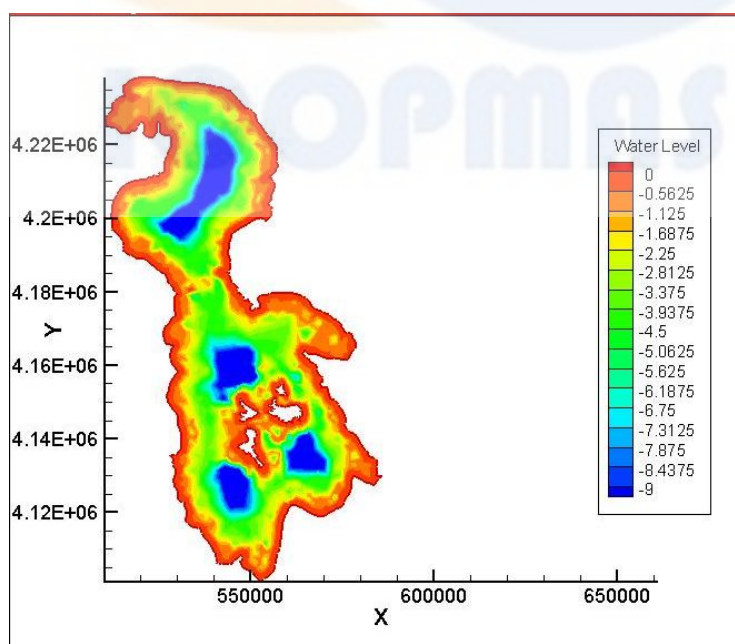


نمودار 6. نتایج تراز آب محاسبه ای برای دو سناریوی منتخب (1381-1414)، با در نظر گرفتن ورودی رودخانه ها برابر با صفر از سال 89

اثرات زیست محیطی (با توجه به سناریوهای مختلف)

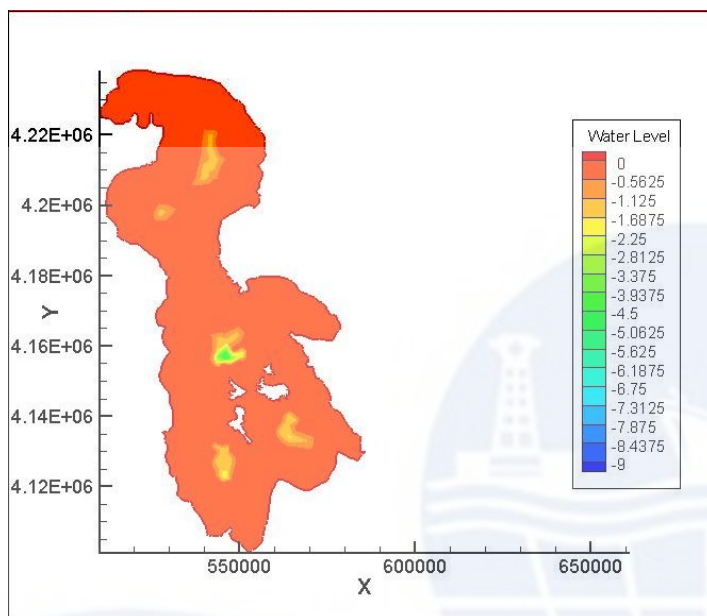
در دو حالت وضعیت اکوسیستم دریاچه بررسی می شود:

الف- با توجه به سناریوهای انجام شده، در سه حالتی که شرایط هیدرولوژیکی مرطوب ، متوسط و شرایط متناوب مرطوب - خیلی مرطوب - متوسط - خیلی خشک - خشک بر دریاچه (از 1381 تا 1414) حاکم باشد این دریاچه از نظر زیست محیطی دچار تهدیدی نخواهد شد و با مدیریت مناسب منابع آبی ، استحصال از این منابع با تکیه بر حفظ تراز اکولوژیکی بدون آسیب به دریاچه امکان پذیر خواهد بود. همانگونه که در شکل 4 قابل مشاهده است در این حالت سطح دریاچه و همچنین با توجه به شیب کم ساحل حجم آن تغییر نیافته است



شکل 4 . عمق آب (m) در شرایط حفظ تراز اکولوژیکی

ب- با توجه به شرایط حاکم بر دریاچه و سناریوهای منتخب ه. دریاچه ارومیه (نمودار 5) به تدریج خشک شده و مساحت و حجم آن به صفر خواهد رسید (شکل 5).



شکل 5. در دوره پیوسته خشکسالی با اعمال تبخیر و کاهش ورودیها

در صورت کاهش تراز دریاچه پایینتر از تراز اکولوژیکی و یا خشک شدن دریاچه آسیبهای جدی به اکوسیستم منطقه وارد خواهد آمد. از جمله این مخاطرات عبارتند از:

- طوفانهای نمک (که سبب آسیب به مزارع، پوشش جاده ها، نمای ساختمانها، آلودگی هوا و صدمه به سیستم تنفسی خواهد شد)
- پسرفت و شور شدن آب زیرزمینی (تخریب ساختار خاک سفره آب زیرزمینی در اثر نفوذ نمک)
- گرم شدن هوا (شیوع بیماریهای مناطق گرمسیری مثل وبا)
- از بین رفتن نقش تعدیل آب و هوایی منطقه (خشک شدن اقلیم منطقه، تغییر گونه های گیاهی و جانوری، از بین رفتن تنوع زیستی)
- آسیبهای اقتصادی، اجتماعی
- آسیب به صنعت توریسم و کشاورزی منطقه
- افزایش بزهکاری در منطقه
- فرار حیوانات از مناطق حفاظت شده داخل دریاچه به شهر ها و سوء استفاده افراد سود جو با دسترسی به مناطق حفاظت شده (در صورت خشک شدن دریاچه)

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل حاکی از آن است که عمق آب دریاچه همانطور که مورد انتظار است با در نظر گرفتن تداوم خشکسالی به شدت پایین می آید. با ادامه افزایش روند استفاده از منابع آبی و خشکسالی در منطقه، دریاچه ارومیه به عنوان یکی از گوهرهای ارزشمند کشور که مورد توجه جهانی قرار دارد در ده سال آینده خشک و تبدیل به کویر نمک خواهد شد. این تغییر سبب مشکلات عدیده، از جمله طوفان نمک، آسیب به مزارع، تخریب نمای ساختمانها و سطح ماشینها، تغییرات شدید در اکوسیستم از جمله از بین رفتن تنوع زیستی گرانبها و اقلیم منطقه خواهد شد. به

علاوه، آسیبهای بسیار شدیدی به اقتصاد، اکوتوریسم و شرایط اجتماعی منطقه وارد خواهد ساخت که جز با مدیریت صحیح و به موقع منابع آبی جبران نخواهد شد. همچنین، نتایج حاصل حاکی از آن است که عمق آب دریاچه با در نظر گرفتن سه حالتی که شرایط هیدرولوژیکی مرطوب، متوسط و شرایط متناوب مرطوب - خیلی مرطوب - متوسط - خیلی خشک - خشک بر دریاچه کاهش آرامتری داشته و با در نظر گرفتن مدیریت منابع آبی مشکلات آن آسانتر حل شده و اکوسیستم آن نجات خواهد یافت. با توجه به کاهش تراز آب و خشکسالی و افزایش مصارف آبی لازم است تا تمهیداتی اندیشیده شود تا این گوهر ارزشمند در ایران و جهان از خطر خشک شدن نجات یابد. بدین منظور و به منظور کاهش صدمات وارده باید راهکارهایی اندیشیده و برنامه ریزی شود. رعایت حق آبه، صرفه جویی در مصرف آب، انتقال و استفاده از رودخانه های حوزه های مجاور، بارور کردن ابرها، افزایش راندمان آبیاری و بهبود الگوی کشت، از جمله راهکارهای پیشنهادی است که می تواند در حل مسائل محیط زیستی دریاچه مد نظر قرار گیرد.

مراجع:

- 1- دلاور، م، (1384)، تحلیل و ارائه مدل نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه و آنالیز ریسک مناطق ساحلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس .
- 2- مقیمی، پ، (1389)، تهیه مدل سه بعدی هیدرودینامیکی پیش بینی روند تغییرات شوری دریاچه ارومیه و اثرات اکولوژیکی آن، با در نظر گرفتن روند آتی تغییرات اقلیمی منطقه، رساله دکتری مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.
- 3- مهندسین مشاور یکم، (1380)، طرح مدیریت دریاچه ارومیه، جلد اول.

[4] Integrated Water Resources Management for Lake Uromiyeh Basin, Iran. Module 1 : Data Reports . (2005) West azerbaijan authority. Islamic Republic of Iran. Ministry of Energy.

[5] Chen, Changsheng and Liu, Hedong . Beardsley Robert C. (2003), An Unstructured Grid, Finite-Volume, Three-Dimensional, Primitive Equations Ocean Model: Application to Coastal Ocean and Estuaries. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.

[6] Blumberg A.F and Mellor G.L.. (1980). "A Coastal Ocean Numerical Model", Mathematical Modeling of Estuarine Physics, Proceedings of an International Symposium, Hamburg, August 24 to 26, 1978, J. Sundermann and K.P. Holz, Eds., Springer-Verlag, Berlin.

[7] Blumberg A.F. and Mellor G.L.. (1987). "A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model", In: Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. Heaps, Ed., 1-16, American Geophys

[8] Bates, Paul D., Lane, Stuart N., Ferguson, Robert L., (2006). Computational Fluid dynamics-Application in environmental hydraulics . John Wiley & Sons, Ltd.

[9] Nazaridoust, A. (2006): A Methodological Framework, Guidelines and DSS Model to Calculate the Minimal Ecosystem Water Requirements for Wetlands: A Case Study of the International Wetlands in the Lake Uromiyeh Basin. Science and Research branch, Azad Islamic University. Teharn. Iran.

ICOPMAS