



The Drought Threshold, a Realistic Water Resources Management Measure for Urmia Lake Basin

F. Ghobadi^{1*}, B. Saghafian² and Sh. Araghinejad³

Abstract

Domestic, industrial and agricultural water supply has become a formidable challenge in light of population growth. Various water stakeholders, particularly in arid and semiarid basins, compete for profit that brings about severe conflicts in water allocation. Upstream stakeholders usually take their increasing share such that downstream water demands are becoming more difficult to meet. In this respect, environmental demands, such those of lakes and wetlands, are increasingly neglected. Urmia Lake in northwestern Iran, known as the second largest saline lake in the world, is a vivid example of negligence in providing environmental water rights. Urmia Lake is currently under the environmental threat due to prolonged droughts which causes reduction in rainfall, inflow, and water level in the lake. For a realistic water resources management in such situation, the estimation of inflow threshold for each drought severity state is the first and most important step. In this study, based on the analysis of lake's historical inflow time series, environmental requirement subject to various drought severity conditions was estimated as thresholds for decision making in the future. Then analysis of existing condition (current inflow with regard to in operation dams and water withdrawals) was considered by system dynamic approach and water inflow to the lake was calculated under each scenario and compared by determined thresholds. Results of basin simulation revealed that if the water inflow to the lake remained the same as the current condition and water withdrawals were continued as previous, the lake will remain in moderate hydrological drought condition even with no dam construction or development in the basin. Therefore we need a trade-off between the current development in the basin due to water withdrawals and water resources projects and maintain required lake inflow for surviving it.

Keywords: Urmia Lake, Drought, Environmental requirement, Threshold, Withdrawals.

Received: January 29, 2014

Accepted: August 18, 2014

تعیین آستانه خشکسالی ابزار مدیریت واقع‌بینانه منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه

فاطمه قبادی^{۱*}، بهرام ثقفیان^۲ و شهاب عراقی نژاد^۳

چکیده

رشد جمعیت و به تبع آن نیاز به منابع آب بیشتر برای مصارف شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعت، مدیریت آب را با چالش توزیع عادلانه منابع آب کشور و تأمین به موقع نیازها روبرو نموده است. محدودیت منابع آب در مقابل نیازهای روز افزون در حوضه‌های با اقلیم خشک و نیمه‌خشک موجب گردیده تضادهایی بین ذی‌نفعان در مناطق مختلف حوضه آبریز بوجود آید که نتیجه آن، رقابتی منفی برای در اختیار گرفتن هر چه بیشتر منابع آب بدون توجه به اثرات زیست محیطی پایین‌دست، به‌خصوص نیاز آبی تالاب‌ها و دریاچه‌ها، است. دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران به عنوان دومین دریاچه آب شور دنیا، نمونه بارزی از بی‌توجهی در تأمین الزامات زیست محیطی است. تداوم شرایط خشکسالی در این حوضه موجب کاهش میزان بارندگی و جریانات سطحی ورودی به دریاچه، ادامه روند کاهش تراز سطح آب دریاچه و ایجاد بحران زیست محیطی در منطقه گردیده است. جهت مدیریت واقع‌بینانه در چنین شرایطی اولین و مهم‌ترین اقدام تعیین آستانه وقوع هر سطح خشکسالی بر مبنای جریان ورودی به دریاچه می‌باشد. در این تحقیق ابتدا حداقل ورودی تجربه شده دریاچه به عنوان حداقل نیاز زیست محیطی دریاچه با ارائه روشی جدید مبتنی بر تحلیل سری تاریخی جریانات ورودی به دریاچه در سطوح مختلف خشکسالی به عنوان مقادیر آستانه جهت تصمیم‌گیری در شرایط آبی برآورد شد. شرایط فعلی دریاچه (ورودی‌های فعلی با توجه به طرح‌های بهره‌برداری موجود در حوضه و برداشت‌های سنتی فعلی) با روش پویایی سیستم تحلیل شد و جریان ورودی به دریاچه در سناریوهای مختلف برآورد گردید. سپس مقادیر جریان ورودی به دریاچه با آستانه‌های خشکسالی تعیین شده، مقایسه شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی دریاچه تحت تاثیر طرح‌های بهره‌برداری و برداشت‌های فعلی بیانگر آن است که در صورت تغییر نکردن شرایط ورودی دریاچه و ادامه روند برداشت‌های فعلی حتی بدون توسعه برداشت و یا احداث سد جدید، متوسط میزان ورودی به دریاچه تقریباً معادل ورودی تاریخی در شرایط خشکسالی متوسط است. به عبارت دیگر در صورت ساماندهی نمودن برداشت‌های فعلی، دریاچه از شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی در دراز مدت خارج نخواهد شد. بنابراین بین حفظ توسعه فعلی ناشی از برداشت‌های سنتی کشاورزی و طرح‌های توسعه منابع آب و حفظ ورودی مورد نیاز برای ادامه حیات دریاچه، نیاز به انجام مصالحه وجود دارد.

کلمات کلیدی: دریاچه ارومیه، خشکسالی، نیاز زیست محیطی، آستانه، برداشت‌های سنتی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹ بهمن ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۵ مرداد ۱۳۹۳

1- PhD Student, Civil Engineering Faculty, The Science and Research Branch, Azad University, Tehran.

2- Professor, Civil Engineering Faculty, The Science and Research Branch, Azad University, Tehran.

3- Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation, University of Tehran, Karadj, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-آب، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد گروه مهندسی عمران-آب، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

*- نویسنده مسئول

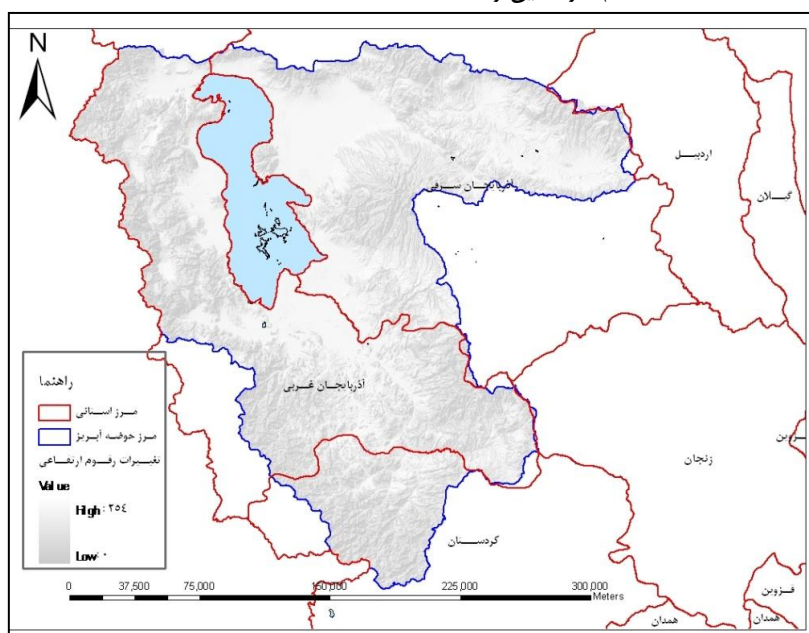
۱- مقدمه

(Aksoy et al (2013) از مدل‌های تصادفی برای شبیه‌سازی تراز ماهانه دریاچه وان استفاده نمودند. بر این اساس، بیلان منابع آب دریاچه وان بیانگر آن است که هر تغییر تدریجی یا دفعی در تراز آب دریاچه، در واقع پاسخی به تغییر پارامترهای بیلان شامل بارش، رواناب و تبخیر است.

دریاچه‌هایی که نقطه تمرکز هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز بسته به حساب می‌آیند و رودخانه خاصی به عنوان خروجی ندارند، دریاچه بسته نامیده می‌شوند. در این گونه دریاچه‌ها به دلیل نبود یک خروجی متمرکز، نوسانات طبیعی تراز دریاچه نامنظم و تاخیری است. این دریاچه‌ها مانند یک سیستم ورودی خروجی تغییر حجم عمل کرده و خروجی اصلی آنها تبخیر می‌باشد. مدیریت یکپارچه منابع آب در سیستم‌های شامل دریاچه‌های بسته که با نیازهای رو به رشد (شرب و کشاورزی ...) روبروست همواره با چالش نحوه تامین نیاز آبی آنها همراه بوده است. در این شرایط حفظ تراز سطح آب برای حفاظت از اکوسیستم دریاچه و نواحی مجاور آن ضروری است. بررسی نوسانات سطح آب دریاچه‌های بسته و مدل‌های پیش‌بینی این تغییرات تاکنون در برخی تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است. از جمله می‌توان به (Altunkaynak et al. (2003 و (Cimen and Kisi (2009 اشاره نمود که از مدل‌های نمودار سه‌گانه (TDM)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه عصبی برای شبیه‌سازی نوسانات سطح آب در دریاچه وان در مقیاس ماهانه برای پیش‌بینی استفاده نمودند. تراز آب دریاچه وان طی سالهای ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۵ حدود ۲ متر افزایش یافته، سپس از این سال تا سال ۲۰۰۵ حدود ۱/۵ متر کاهش را تجربه نموده و از آن به بعد تراز نسبتاً ثابت مانده است. مشاهدات دریاچه وان بیانگر آن است که در دریاچه‌های بزرگ، حتی یک تغییر اندک در رژیم هیدرولوژیکی منجر به تغییرات مهمی در شرایط تجدیدشوندگی منابع آب‌های عمیق دریاچه می‌گردد (Kaden et al. 2010). در همین راستا،

حوضه آبریز دریاچه ارومیه از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران، نیز نمونه‌ای شاخص از یک حوضه آبریز بسته است که در آن همه آب‌های سطحی و زیرزمینی به درون یک دریاچه مرکزی تخلیه می‌شود و اکوسیستم فعال آن شامل دریاچه و حوضه آبریز آن است (شکل ۱). دریاچه ارومیه با حجمی معادل ۳۲ میلیارد متر مکعب و با وسعت تقریبی ۵۳۲۰ کیلومتر مربع در رقوم متوسط ۱۲۷۵/۳ متر از سطح دریا در میانه ناحیه شمالی حوضه دریاچه ارومیه قرار دارد. این دریاچه طی سال‌های اخیر با افت شدید تراز آب مواجه شده که کاهش بسیار شدید مساحت دریاچه را به دنبال داشته است.

میزان جریانات سطحی ورودی به دریاچه در سال‌های اخیر کاهش چشمگیری داشته است. در شکل ۲، جریان ورودی سالانه مشاهداتی به دریاچه در دو دوره از سال ۴۶-۱۳۴۵ تا ۷۴-۱۳۷۳ با خط چین به رنگ صورتی (با متوسط دراز مدت ۵۲۸۷/۷ میلیون متر مکعب) و از سال ۷۵-۱۳۷۴ تا ۹۰-۱۳۸۹ با خط ممتد به رنگ قرمز (با متوسط دراز مدت ۲۳۵۶/۵ میلیون متر مکعب) نشان داده شده است. با وجود اینکه دوره ۷۴-۱۳۴۵ تقریباً بدون روند است، کاهش جریان



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه و استان‌های ذی‌نفع

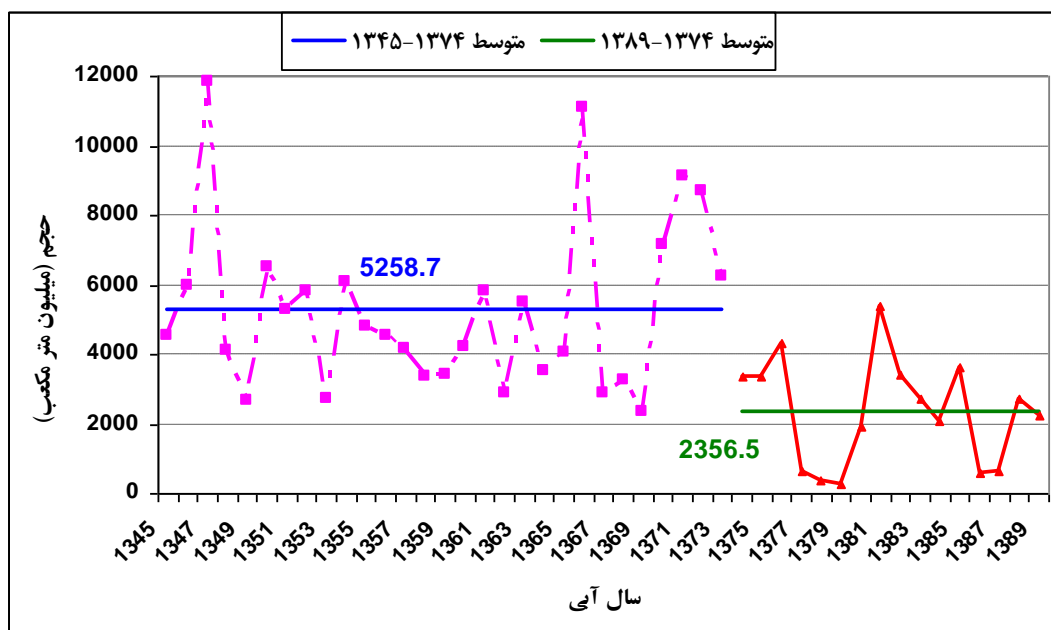
داد که این متغیر تحت تاثیر بارندگی و دما، روند کاهشی دارد. با توجه به اینکه ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست هر دو روند یکسانی را نشان می‌دهند، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که عامل انسانی باعث تغییر روند دبی در رودخانه‌ها نشده است، هر چند می‌تواند شدت آن را تحت تاثیر قرار داده باشد. همچنین در بررسی تغییر رژیم در سری زمانی دبی‌های رودخانه‌ها، مستقل از بالادست بودن و پایین‌دست بودن محل ایستگاه، تغییر رژیمی عموماً یکسان در سال‌های ۱۹۹۸ یا ۱۹۹۹ قابل ملاحظه بوده است. مقایسه این تغییر رژیم با تاریخ بهره‌برداری از سدها، تاثیر غالب آن را در تغییر رژیم رودخانه‌ها معنی‌دار نشان نمی‌دهد.

همچنین فتحیان و همکاران (۱۳۹۲) در ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از فناوری سنجش از دور و ارتباط آن با روند جریان رودخانه‌ها در زیر حوضه‌های شرق دریاچه ارومیه نشان دادند که در همبستگی دو متغیره دما و بارندگی، تنها دما معنی‌دار است. اما در همبستگی سه متغیره، تغییرات دبی با دما، بارش و سطح زیر کشت آبی، نقش متغیرهای اقلیمی حذف و تنها تغییرات سطح کشت آبی را معنی‌دار می‌داند که مؤید اثر بیشتر تغییرات سطح زیر کشت در مقایسه با عوامل اقلیمی بر تغییرات جریان در رودخانه‌های این بخش از حوضه دریاچه ارومیه است. در تحقیق رزم آرا و همکاران (۱۳۹۲)، عدم قطعیت تاثیر تغییر اقلیم بر دریاچه ارومیه با رویکرد مونت کارلو - بیزی مورد بررسی قرار گرفت.

ورودی به دریاچه از سال ۱۳۷۴ به طرز محسوسه نمایانگر می‌شود (از ۶۲۱۴ به ۳۳۷۸ میلیون متر مکعب).

بر اساس تحقیق فراز و همکاران (۱۳۸۷) نوسانات درازمدت سطح آب دریاچه ارومیه نشانگر وجود یک نوسان سینوسی با طول مدت ۱۴ سال می‌باشد که هنوز به اتمام نرسیده و انطباق کامل با سیکل هیدرولوژیکی تر و خشک قابل شناسایی از طریق بارش دارد. علاوه بر این بررسی اثر احداث سدهای در دست بهره‌برداری در حوضه نشان می‌دهد که اگر این سدها احداث نمی‌شدند، تراز محور نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در نوسانات سینوسی اخیر (نوسانات هیدرولوژیکی)، می‌توانست حدود ۰/۶۱ متر بالاتر از تراز نوسانات در زمان انجام مطالعه (۱۲۷۵/۸۶ متر)، رخ دهد.

همچنین Alipour (2006) ضمن بررسی تغییرات فصلی مقادیر نمک و املاح در دریاچه ارومیه بیان می‌نماید که کاهش اخیر تراز آب دریاچه ارومیه ممکن است در نتیجه وقوع درازمدت خشکی (کاهش بارش در ۱۰ سال اخیر دوره مطالعات) و تاثیر پارامترهای اقلیمی باشد. از دیگر مطالعات انجام شده در زمینه بررسی نوسانات سطح آب دریاچه می‌توان به تحقیق جلیلی و مرید (۱۳۸۹) اشاره نمود. در این تحقیق رفتارسنجی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های تحلیل طیفی مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس بررسی روند سری‌های زمانی دبی رودخانه‌ها در حوضه نشان



شکل ۲- مقایسه متوسط جریان ورودی مشاهداتی به دریاچه طی دو دوره ۱۳۴۵-۴۶ تا ۱۳۷۳-۷۴ و ۱۳۷۴-۷۵ تا ۱۳۸۹-۹۰

در دهه‌های اخیر روش‌های متفاوتی جهت تخمین نیاز زیست محیطی به کار گرفته شدند که اغلب بر اساس تأمین حداقل آب مورد نیاز جهت حفظ حیات رودخانه و اکوسیستم مرتبط با آن تعریف شده‌اند. برای تعیین نیاز آبی اکوسیستم‌های تالابی نیز رهیافت‌های مختلفی موجود می‌باشد. تعیین نیاز آبی بر پایه رهیافت اکولوژیک از جامع‌ترین روش‌ها می‌باشد که علاوه بر در نظر گرفتن عوامل هیدرولوژیک، جنبه‌های اکولوژیک را نیز مدنظر قرار می‌دهد و به همین دلیل نتایج حاصل از آن تطابق بیشتری با معیارهای محیط‌زیستی دارد.

در مطالعات گذشته نظیر (Abbaspour and Nazaridoust 2007)، برای محاسبه نیاز آبی دریاچه ارومیه براساس رویکرد اکولوژیک، تأمین حداقل شرایط کمی و کیفی آب دریاچه برای حفظ گونه آرتمیا به‌عنوان هدف تعیین گردید و به همین دلیل برای محاسبه نیاز آبی، ویژگی‌های زیستی گونه آرتمیا و به‌ویژه واکنش این گونه به سطوح مختلف شوری آب دریاچه بررسی شد. در نهایت تراز آبی معادل شوری ۲۴۰ گرم در لیتر (آستانه تحمل آرتمیا) معادل تراز ۱/۱۲۷۴ متر به‌عنوان مبنای محاسبه نیاز زیست محیطی دریاچه پیشنهاد شد. مقدار نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه با توجه به میزان سالیانه تبخیر از سطح دریاچه و مقادیر پارامترهای بیلان آبی در سال مبنای مطالعات، با فرض حفظ تراز اکولوژیک دریاچه در تراز ۱/۱۲۷۴ متر و غلظت نمک متناظر آن برای حفظ حیات آرتمیا، سالانه ۳/۱ میلیارد مترمکعب آب در سال‌های نرمال برآورد گردید.

در این تحقیق، از رویکرد هیدرولوژیکی جهت برآورد حداقل نیاز زیست محیطی که از این پس به‌عنوان آستانه‌های خشکسالی معرفی می‌شوند، استفاده خواهد شد. رویکرد هیدرولوژیکی ابتدا شامل تعیین رژیم آبی تاریخی تالاب (رژیم جریان قبل از توسعه) و سپس احیای آن می‌شود. در صورتی که برگشت به شرایط قبل از توسعه امکان پذیر نباشد، تمرکز اصلی روی برگشت به رژیم تاریخی تالاب تا حد ممکن می‌باشد. همان‌گونه که اشاره شد، رقم برآورد شده قبلی نیاز زیست محیطی بر اساس نیاز آرتمیا تنها در سال‌های نرمال برآورد شده و نمی‌تواند در سال‌های خشک و تر در سری زمانی جریان ورودی دریاچه کارایی مشابه به‌عنوان یک مبنای مقایسه داشته باشد. جهت تعیین سطوح مختلف جریان ورودی، مقادیر آستانه در هر سطح خشکسالی به ترتیب زیر برآورد شده است:

با توجه به آنکه در تحقیق پیش‌رو تعیین حداقل نیاز زیست محیطی دریاچه مد نظر است و با توجه به وابستگی حیات دریاچه به میزان جریان ورودی، مجموع جریان ورودی به دریاچه به‌عنوان مبنای

بر اساس نتایج این تحقیق، کاهش برداشت از رواناب ورودی به دریاچه، نسبت به افزایش برداشت به همان میزان، تأثیر بیشتری بر بهبود سطح آب دریاچه داشته است. تحلیل دینامیکی تغییرات تبخیر و نمک در دریاچه ارومیه توسط سیما و همکاران (۱۳۹۲) بیانگر آن است که در شرایط توقف جریانات ورودی به دریاچه، حجم کل دریاچه بیشتر تابع روند تغییرات حجم ناحیه جنوبی است. به علت اینکه بیشتر جریانات سطحی ورودی به دریاچه به ناحیه جنوبی می‌ریزد، تأثیر پذیری حجم، چگالی و غلظت املاح در این ناحیه بیشتر از قسمت شمالی است. بنابراین در صورت محدود کردن آورد دریاچه، در کوتاه مدت تغییر چندانی در شرایط کمی-کیفی قسمت شمالی ایجاد نخواهد شد، در حالی که در ناحیه جنوبی کاهش قابل ملاحظه حجم و کیفیت آب رخ خواهد داد. هم‌چنین بررسی احجام تبخیر برآورد شده طی سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ بیشتر از نیاز آبی زیست محیطی تعیین شده (۳/۱ میلیارد متر مکعب) بوده است. لذا انتظار می‌رود حتی در صورت تأمین نیاز آبی دریاچه، افت تراز آب ادامه داشته باشد.

بر اساس موارد پیش‌گفته، شرایط کنونی دریاچه ارومیه حاصل عوامل مختلفی است که در نهایت به منفی شدن بیلان آبی و کاهش تراز آن منجر گردیده است. در مجموعه این عوامل، می‌توان به کاهش بارش در سطح حوضه (خشکسالی)، اجرای طرح‌های توسعه منابع آب و افزایش بهره‌برداری توسط بهره‌برداران مختلف اشاره نمود. عمده تحقیقات انجام شده تاکنون نیز به بررسی تأثیر عوامل مختلف بر کاهش تراز دریاچه در دوره تاریخی پرداخته است. تحقیق حاضر با هدف تعیین تناظر شدت‌های خشکسالی با میزان رواناب ورودی جهت برنامه‌ریزی منابع آب برای شرایط آبی می‌باشد. با توجه به وابستگی حیات دریاچه به میزان جریان ورودی و اولویت تأمین جریان زیست محیطی در شرایط حاد کنونی و آینده، اولین گام تعیین دقیق ورودی‌های تاریخی دریاچه در شرایط مختلف خشکسالی و بدون خشکی و تعیین آستانه^۲ وقوع هر سطح خشکسالی بر مبنای جریان ورودی به دریاچه است. مقادیر جریان ورودی به دریاچه در شرایط آبی با آستانه‌های خشکسالی تعیین شده، مقایسه شده و امکان برنامه‌ریزی جهت انجام اقدامات متناسب با آن را جهت بهبود شرایط فراهم می‌نماید.

۲- روش تحقیق

۲-۱- نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه

به منظور جلوگیری از تخریب اکوسیستم‌های آبی و ادامه حیات آنان، تأمین نیاز زیست محیطی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

آن جهت حفظ حیات دریاچه دارای اهمیت است، از مقیاس یک‌ماهه شاخص- که تنش‌های آبی و نوسانات خشکسالی را به خوبی نشان می‌دهد- استفاده گردید تا امکان برآورد نیاز زیست محیطی دریاچه به صورت ماهانه میسر باشد.

جهت برآورد حداقل ورودی به دریاچه در هر سطح خشکسالی، مقادیر متناظر ورودی در آن سطح برای هر ماه سال و در چهار سطح خشکسالی ملایم، متوسط، شدید و بسیار شدید برای هر ماه استخراج شد و رقم با بیشترین احتمال وقوع به عنوان حداقل نیاز زیست محیطی دریاچه در آن سطح انتخاب گردید (جدول ۱ و شکل ۳). این رقم در واقع برابر با حداقل جریان ورودی به دریاچه در سری تاریخی برای هر ماه می‌باشد که یک برآورد دست پایین از ورودی به دریاچه است و به هیچ عنوان به معنای میزان جریان ورودی مورد نیاز جهت بهبود شرایط فعلی دریاچه نمی‌باشد.

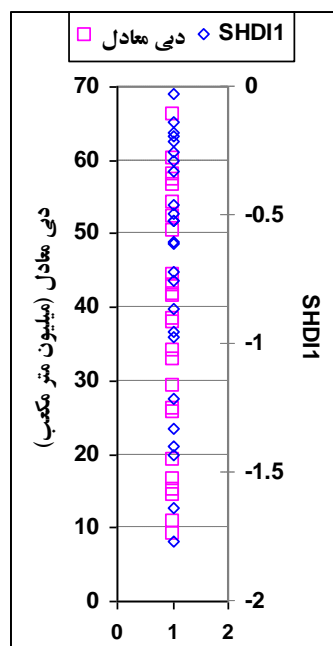
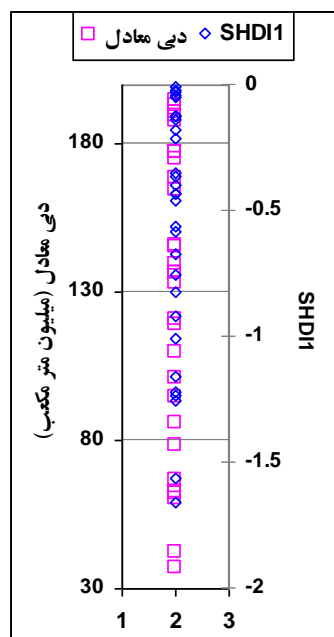
جدول ۱- تقسیم بندی شدت خشکسالی براساس

شاخص SHDI

شرح حالت	حدود شاخص
بدون خشکی	$0 \leq SHDI$
خشکسالی ملایم	$-1 \leq SHDI < 0$
خشکسالی متوسط	$-1/5 \leq SHDI < -1$
خشکسالی شدید	$-2 \leq SHDI < -1/5$
خشکسالی بسیار شدید	$SHDI < -2$

محاسبه نیاز زیست محیطی انتخاب شد. به این منظور ابتدا شرایط خشکسالی و ترسالی هیدرولوژیکی در حوضه دریاچه ارومیه (که تأثیر مستقیم بر جریانات ورودی به دریاچه دارد)، با استفاده از شاخص SHDI^۳ تعیین گردید. در صورتی که در رابطه محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی SPI^۴، سری بارش با سری دبی جایگزین گردد، شاخص SHDI حاصل می‌شود (Dehghani et al. (2014)). به این منظور ابتدا سری زمانی مجموع جریان ورودی به دریاچه بر اساس سری‌های زمانی جریان ماهانه ایستگاه‌های منتخب هیدرومتری در سطح حوضه (۱۴ ایستگاه بر روی رودخانه‌های زیر حوضه‌های اصلی) برآورد گردید. برای محاسبه این شاخص، ابتدا ضرایب تابع چگالی احتمال گاما برای داده‌های دبی ماهانه محاسبه و سپس احتمال تجمعی از توزیع گاما به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف معیار یک منتقل می‌گردد. در واقع SHDI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار تجمعی احتمالی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از تابع توزیع گامای به دست آمده، مساوی باشد.

بر این اساس و با استفاده از جدول ۱، تقسیم بندی و تفکیک سطوح مختلف دوره‌های خشک و بدون خشکی انجام شد. جهت محاسبه حداقل نیاز زیست محیطی، مقدار شاخص SHDI برای سری زمانی طبیعی شده ورودی به دریاچه در مقیاس یک‌ماهه محاسبه گردید (این شاخص با SHDI1 نمایش داده می‌شود). با توجه به آنکه میزان نیاز زیست محیطی در ماه‌های مختلف متفاوت بوده و توزیع زمانی



شکل ۳- مقادیر SHDI1 و دبی معادل در سطوح مختلف خشکسالی برای ماه مهر (سمت راست - ماه ۱ سال آبی) و ماه آبان (سمت چپ - ماه ۲ سال آبی)

توسط طرح‌های بهره‌برداری تامین آب نمی‌شوند، با نگرش پویایی سیستم^۵ در نرم افزار Vensim مدل سازی گردید و میزان ورودی به دریاچه، حجم، مساحت و تراز آن در این شرایط برای سناریوهای مختلف محاسبه شد. روش پویایی سیستم بر ساختار و رفتار سیستم‌هایی متکی است که از حلقه‌های بازخوردی مرتبط تشکیل شده‌اند. نرم‌افزار شبیه سازی Vensim قادر به مدل سازی دینامیکی رفتار سیستم‌های پیچیده با استفاده از حلقه‌های علی معلولی می‌باشد. در این نرم‌افزار روابط بین متغیرهای سیستم از طریق اتصال عوامل به وسیله فلش‌ها معرفی و تعریف می‌شود. پس از تعریف روابط فوق و ساختن مدل، به رفتار سیستم قابل شبیه‌سازی خواهد بود. در مدل این تحقیق مخزن دریاچه با لحاظ ورودی-خروجی آن در اتصال با سیستم مخازن بهره‌برداری شبیه‌سازی گردیدند. معادله بیلان اصلی‌ترین رابطه در ساخت این مدل می‌باشد.

۳-۱- فرضیات مدل

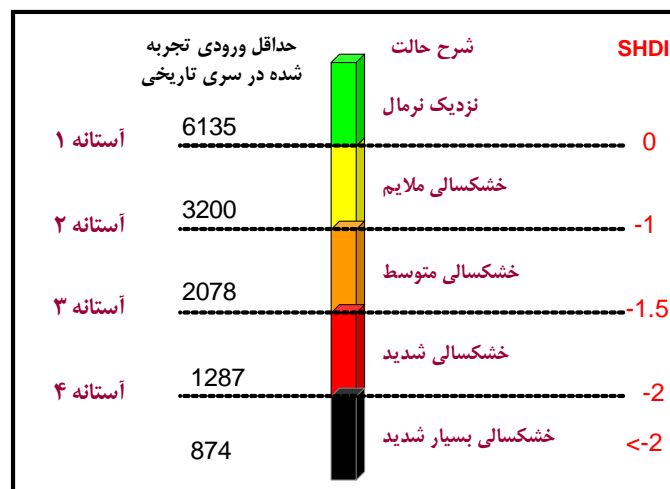
- ۱- طول دوره آماری اجرای مدل ۴۵-۱۳۴۴ تا ۹۰-۱۳۸۹ می‌باشد (تراز دریاچه از بهمن ماه ۱۳۴۴ ثبت گردیده است). مدل به صورت ماهانه اجرا می‌شود.
- ۲- طرح‌های بهره‌برداری در مدل لحاظ گردیده‌اند که قبل از سال ۱۳۹۰ (سال پایانی دوره شبیه‌سازی)، به بهره‌برداری رسیده‌اند (جدول ۲). شایان ذکر است که با توجه به گذشت مدت زمان طولانی از بهره‌برداری از سدهای مهاباد و زرینه‌رود، تاثیر بهره‌برداری از این دوسد در آینده لحاظ شده و بدین ترتیب وارد مدل سازی شده‌اند.
- ۳- مقدار ورودی به دریاچه در مرحله کالیبراسیون برابر با جریان مشاهداتی ورودی طی ۴۶ سال گذشته می‌باشد. برای سایر سناریوهای تعریف شده، میزان جریان ورودی متفاوت است.

حجم ورودی سالانه متناظر سطوح چهارگانه خشکسالی برابر مجموع ارقام استخراج شده در ۱۲ ماه سال آبی به ترتیب معادل ۸۷۴، ۱۲۸۷، ۲۰۷۸ و ۳۲۰۰ میلیون متر مکعب محاسبه گردید. این ارقام تنها با توجه به تحلیل سری تاریخی ورودی به دریاچه (مقادیری که سابقه وقوع داشته‌اند)، محاسبه شده‌اند. به عبارت دیگر این ارقام حداقل مقادیر ورودی دریاچه در هر سطح خشکسالی است که به عنوان مقادیر آستانه‌های تصمیم‌گیری در شرایط آبی دریاچه از منظر خشکسالی تلقی می‌شود. در صورت کمتر شدن ورودی به دریاچه از این آستانه‌ها، سطح بعدی خشکسالی تجربه خواهد شد. درخصوص حجم ورودی سالانه متناظر با خشکسالی بسیار شدید، عدد ۸۷۴ میلیون متر مکعب در واقع میزان ورودی تجربه شده دریاچه در طی این سطح از خشکسالی در سری تاریخی است و لذا برای مقدار ورودی کمتر از ۱۲۸۷ میلیون متر مکعب، وارد سطح خشکسالی بسیار شدید می‌شویم (شکل ۴).

۳-۳- شبیه‌سازی وضع موجود (تعیین ورودی به دریاچه)

با توجه به وضعیت ویژه دریاچه ارومیه و ضرورت پایداری منابع کارکردهای اکولوژیک آن، برنامه ریزی دقیق مدیریت پایدار منابع آب و اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ارزیابی زیست محیطی ناشی از اثرات اجرای طرح‌های توسعه باید در دستور کار تصمیم گیران قرار گیرد به گونه‌ای که باتوجه به ظرفیت تحمل سیستم حوضه-دریاچه، تعادلی منطقی بین حفاظت و بهره‌برداری پایدار از منابع دریاچه برقرار شود.

به منظور بررسی وضعیت فعلی دریاچه، سیستم دریاچه به همراه طرح‌های بهره‌برداری و برداشت‌های سنتی موجود در حوضه (که



شکل ۴- حداقل ورودی تجربه شده در سری تاریخی متناظر سطوح خشکسالی (میلیون متر مکعب)

۳-۲- سناریوهای شبیه سازی

سه سناریو برای تحلیل وضعیت و برآورد ورودی‌های دریاچه در شرایط آبی در نظر گرفته شد:

۱- سناریوی نرمال (از دیدگاه تولید پتانسیل جریان سطحی): میزان جریان ورودی به مدل برابر جریان مشاهداتی حذف روند شده ۴۶ سال گذشته (تحت عنوان سری جریان ایستا) و لحاظ کردن برداشت‌های فعلی و با احتساب طرح‌های بهره‌برداری. نشان داده خواهد شد که این سناریو از نظر شرایط محتمل در آینده، خوش‌بینانه خواهد بود.

۲- سناریوی بدبینانه: ادامه شرایط خشکسالی اخیر به مدت ۱۰ سال. در این حالت شرایط دوره خشکی ده سال آخر دوره اندازه‌گیری (از ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹) از سری سناریوی بند ۱، در ابتدای دوره ۴۶ ساله در نظر گرفته شده است.

۳- سناریوی میانه: ادامه شرایط خشکسالی اخیر به مدت ۳ سال. در این حالت شرایط دوره خشکی سه سال آخر دوره (از ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹) از سری سناریوی بند ۱، در ابتدای دوره ۴۶ ساله در نظر گرفته شده است.

۴- تحلیل نتایج

نتایج اجرای مدل برای سناریوهای تعریف شده در جدول ۳ آمده است. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود:

۱- حداقل تراز مورد انتظار در محدوده تراز ۱۲۶۷ تا ۱۲۶۷/۶ متر می‌باشد.

۲- با شرایط ورودی سناریوی نرمال (سری ایستا) نیز حداکثر تراز مورد انتظار دریاچه حدود ۱۲۷۳/۳ متر (کمتر از تراز اکولوژیک) می‌باشد.

۳- متوسط جریان ورودی به دریاچه در تمامی سناریوها حتی در بهترین حالت (یعنی در سناریوی نرمال با فرض تکرار سری ورودی دوره تاریخی دریاچه)، کمتر از میزان نیاز اکولوژیک (۳/۱ میلیارد متر مکعب) می‌باشد.

۴- فرض تکرار سری ورودی دوره تاریخی دریاچه در سناریوی نرمال (فقط با تغییر ترتیب ورودی سال‌های خشک و تر) خوش‌بینانه و دست‌بالا است. در صورت تغییر نکردن شرایط ورودی دریاچه و ادامه روند برداشت‌های فعلی، حتی بدون توسعه برداشت و یا احداث سد جدید، ورودی تاریخی سال‌های ابتدای دوره (که در شرایط عدم وجود طرح‌های توسعه منابع آب و توسعه برداشت‌های سنتی فعلی بوده است)، در دوره آبی مگر با اعمال مدیریت بسیار سخت‌گیرانه در مصارف امکان وقوع ندارند. به عبارت دیگر شرایط واقعی به مراتب بدتر از دوره تاریخی خواهد بود.

۴- مقدار جریان سطحی ورودی به دریاچه از رودخانه‌ها و بارش مستقیم بر سطح دریاچه به عنوان ورودی‌ها و تبخیر از سطح دریاچه به عنوان خروجی لحاظ شده است. با دادن تفاضل بارش-تبخیر (به میلیمتر) به مدل در هر گام، حجم و سطح دریاچه برای گام بعدی محاسبه می‌شود.

۵- آخرین آمار در دسترس از تراز ثبت و تایید شده دریاچه در تاریخ ۱۳۹۲/۷/۷ بوده که برابر با ۱۲۷۰/۳۸ متر می‌باشد. برای این تراز براساس رابطه ارائه شده توسط (Sima and Tajrishy (2013)، حجم در آن تاریخ معادل ۷۴۹۳ میلیون متر مکعب بدست می‌آید که به‌عنوان حجم اولیه و تراز ۱۲۷۰/۳۸ متر به‌عنوان تراز اولیه، برای شبیه‌سازی سناریوهای آبی در نظر گرفته شد.

۶- تراز کف دریاچه در قسمت شمالی دریاچه معادل خشک شدن آن برابر ۱۲۶۴/۲۹ متر است (Sima and Tajrishy (2013)). تراز کف ناحیه جنوبی بالاتر قرار دارد. اختلاف عمق آب در بعضی قسمت‌های شمالی و جنوبی به ۸ متر هم می‌رسد. بر اساس نقشه DEM تهیه شده توسط مشاور صدا (بدست آمده از داده‌های احمدزاده کوکیال (۱۳۸۳)) و تراز آب در زمان انجام آن مطالعه، تراز گودترین ناحیه در بخش جنوبی معادل ۱۲۶۷ متر بدست می‌آید (اگر فرض کنیم تراز عمیق‌ترین قسمت نقشه ۱۲۶۴/۲۹ متر باشد، محدوده کمترین و بیشترین عمق از تراز ۱۲۶۴/۲۹ تا ۱۲۷۲/۲۹ خواهد بود. بدین‌ترتیب تراز عمیق‌ترین قسمت جنوبی تقریباً حدود ۱۲۶۷/۲۹+۳=۱۲۶۴/۲۹ خواهد بود). اما در واقعیت، تصویر ماهواره‌ای دریاچه در سپتامبر ۲۰۱۳، ناحیه جنوبی را در حالت تقریباً خشک نشان می‌دهد. در این تاریخ تراز آب حدوداً برابر ۱۲۷۰ متر بوده است. بر این اساس تراز و سطح دریاچه متناظر با حد آستانه خشکی ناحیه جنوبی را در عمل می‌توان به ترتیب حدود ۱۲۷۰ متر و ۲۵۱۳ کیلومتر مربع در نظر گرفت.

۷- رابطه سطح-حجم-ارتفاع استفاده شده برای دریاچه ارومیه، رابطه ارائه شده توسط (Sima and Tajrishy (2013) می‌باشد.

جدول ۲- طرح‌های بهره‌برداری لحاظ شده در مدل‌سازی

عنوان سد	استان	حجم تنظیمی (میلیون متر مکعب)	سال آگیری
مهایاد	آذربایجان غربی	۱۹۸/۳	۱۳۴۹
زرینه رود		۹۸۱	۱۳۵۳
شهرچای		۱۹۹	۱۳۸۴
حسنلو		۹۶/۳	۱۳۷۹
علویان	آذربایجان شرقی	۱۲۳/۴	۱۳۷۴
نهند		۳۲	۱۳۸۴
ونیار		۳۰۰	۱۳۹۰

نمودار تغییرات مساحت و حجم دریاچه در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود. بدترین شرایط با توجه به نمودار برای شرایطی رخ خواهد داد که خشکسالی ۱۰ سال گذشته، در ۱۰ سال آینده ادامه یابد. در این حالت در سال ۲۸ دوره، حجم دریاچه از حجم اولیه کنونی (۷۴۹۳ میلیون متر مکعب) به حجم ۲۴۰۰ میلیون متر مکعب (۳۲ درصد حجم فعلی) و مساحت از ۲۵۸۷ به ۱۴۱۰ کیلومتر مربع (۵۴/۵ درصد مساحت فعلی)، کاهش خواهد یافت.

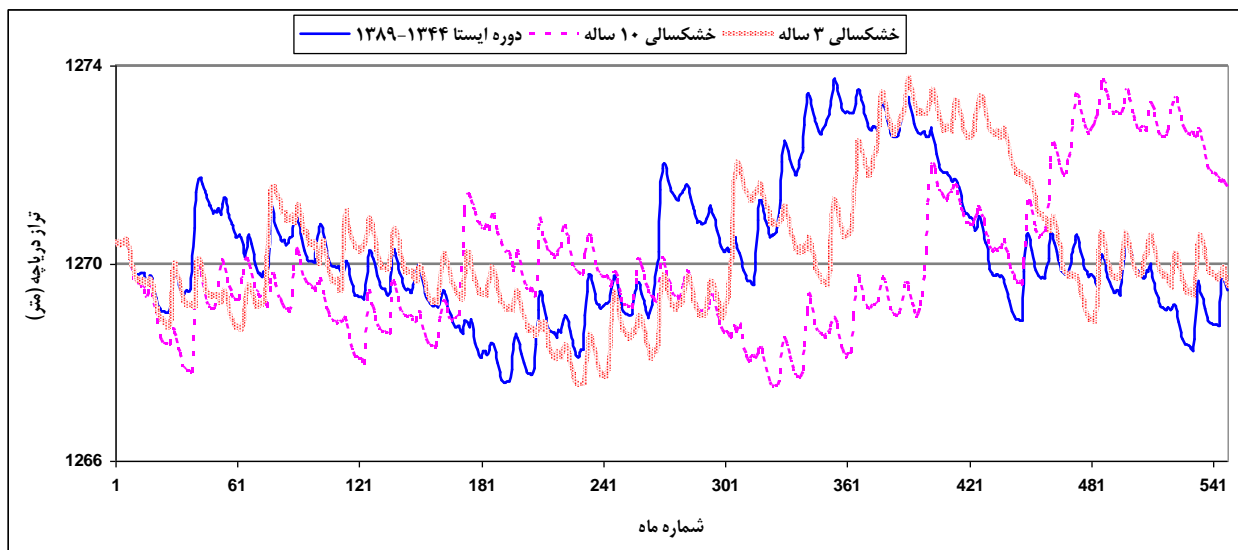
نکته قابل توجه دیگر آن است که هرچند در تمامی سناریوها حداقل تراز مورد انتظار در یک محدوده واقع می‌گردد، ولی همان‌طور که در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود طول اولین دوره خشکی در سناریوی خشکسالی ۱۰ ساله بسیار طولانی‌تر از سایر سناریوها بوده و حوضه را با بحران جدی مواجه خواهد ساخت. متوسط سالانه مساحت دریاچه برای شرایط آبی حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع و حجم حدود ۷۵۰۸ میلیون متر مکعب خواهد بود.

۵- مقایسه ورودی دریاچه با توجه به جدول ۳ با آستانه‌های محاسبه شده در شکل ۴ بیانگر آن است که در تمامی سناریوها (حتی در بهترین حالت یعنی سناریو ۱)، میزان ورودی به دریاچه تقریباً معادل ورودی تاریخی در شرایط خشکسالی متوسط است. به عبارت دیگر در صورت عدم ساماندهی برداشت‌های فعلی، دریاچه در مجموع از شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی خارج نخواهد شد. این نتیجه به گونه‌ای دیگر در بند ۴ نیز اشاره شده بود. ضمن آنکه حتی در بهترین شرایط (سناریو ۱)، قسمت جنوبی به مدت زیادی خشک خواهد ماند.

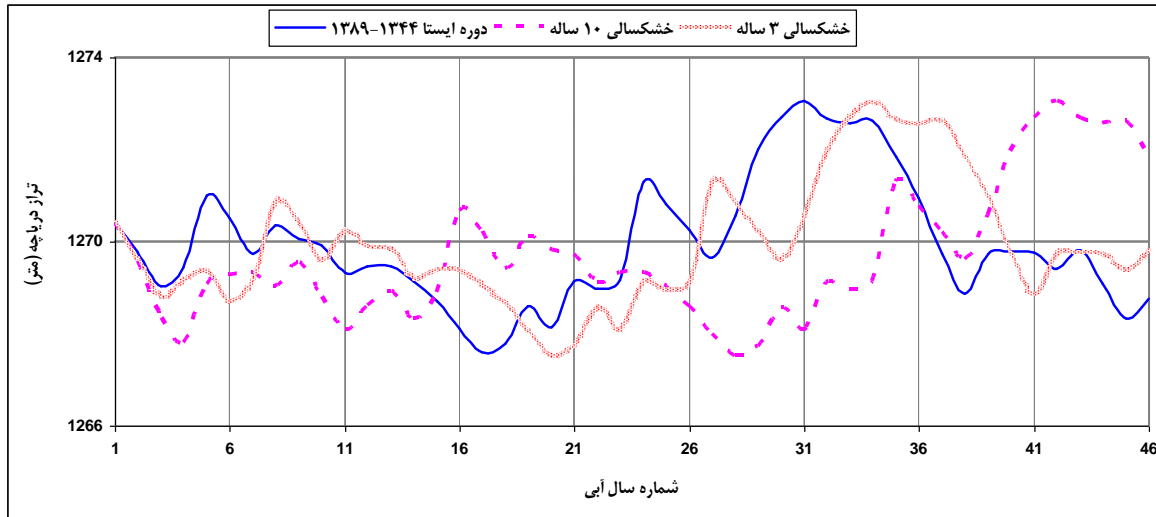
نمودار تغییرات تراز خروجی مدل برای سناریوهایی مختلف در شکل ۵ آمده است. با توجه به نمودار اگر تراز خشکی قسمت جنوبی مطابق با فرضیات ذکر شده ۱۲۷۰ متر در نظر گرفته شود، این قسمت پس از مدت زمان کوتاهی از آغاز دوره در حالت خشکی قرار گرفته و پس از آن به تناوب خشک و احیا می‌شود (شکل ۶). همان‌طور که انتظار می‌رود طول دوره خشکی برای سناریوی خشکسالی ۱۰ ساله از سایر سناریوها، طولانی‌تر است.

جدول ۳- نتایج اجرای مدل در سناریوهای مختلف (متوسط دراز مدت ورودی معادل ۳۵۶۷ میلیون متر مکعب)

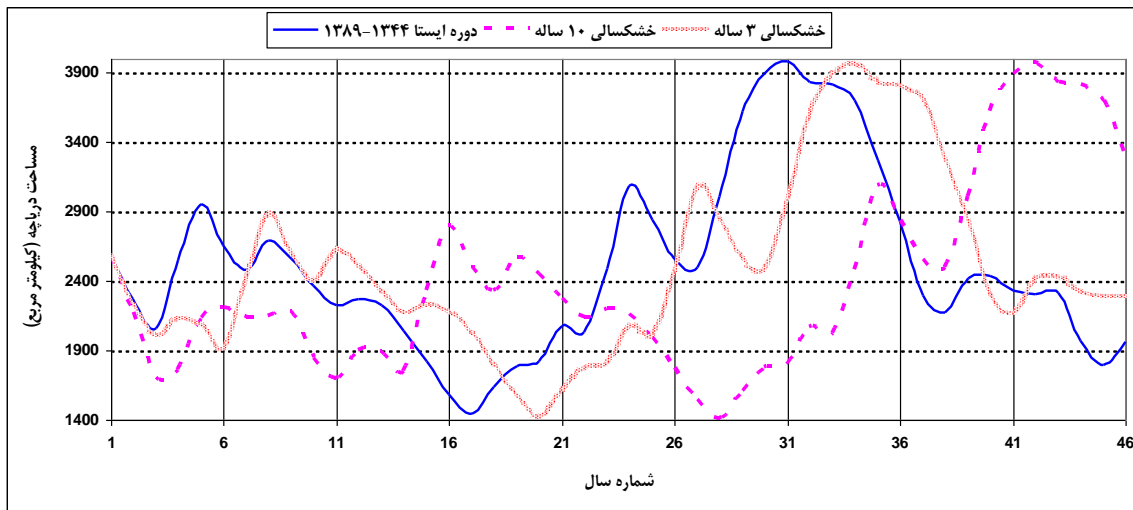
عنوان	سناریوی ۱: سری ایستا با کسر برداشت‌ها (۱۳۴۴-۴۵ تا ۱۳۸۹-۹۰)	سناریوی ۲: خشکسالی ۱۰ ساله	سناریوی ۳: خشکسالی ۳ ساله
تراز انتهای دوره (متر)	۱۲۶۹.۴	۱۲۷۱.۵	۱۲۶۹.۵
حداقل تراز مورد انتظار (متر)	۱۲۶۷.۶	۱۲۶۷.۵	۱۲۶۷.۵
حداقل حجم مورد انتظار (میلیون متر مکعب)	۱۹۶۱.۱	۱۸۶۲.۷	۱۹۱۳.۴
حداکثر تراز مورد انتظار (متر)	۱۲۷۳.۷	۱۲۷۳.۷	۱۲۷۳.۴
متوسط ورودی به دریاچه (میلیون متر مکعب)	۲۱۶۲.۲	۲۱۷۹.۶	۲۱۶۲.۸
طول اولین دوره خشکی قسمت جنوبی (ماه)	۳۱	۱۶۳	۶۷



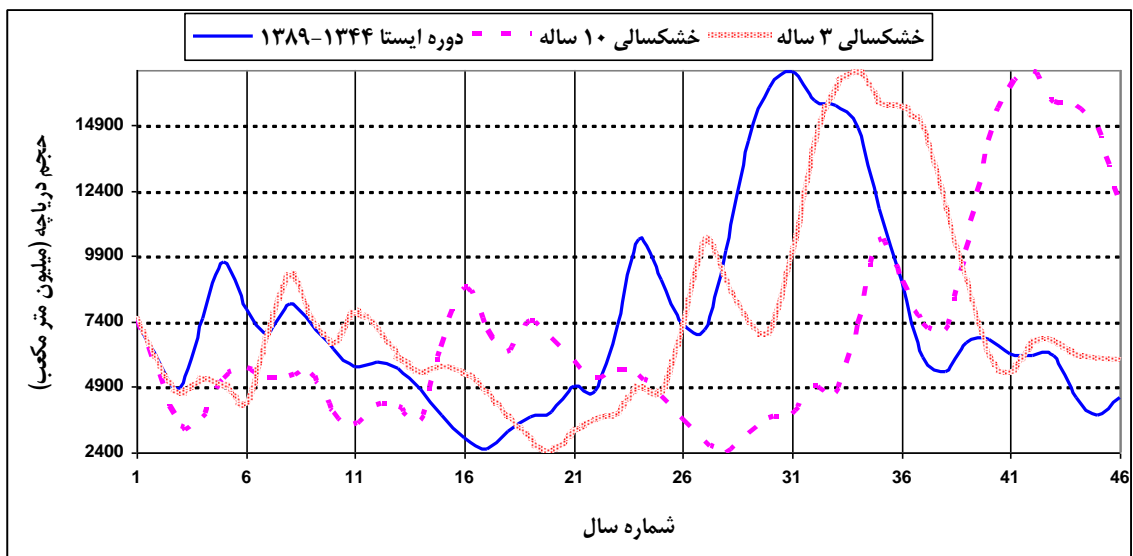
شکل ۵- نمودار تغییرات تراز ماهانه دریاچه برای سناریوهای مختلف (تراز ۱۲۷۰ متر معادل خشکی قسمت جنوبی می‌باشد)



شکل ۶- نمودار تغییرات سالانه تراز دریاچه برای سناریوهای مختلف (بدترین حالت در شرایط خشکسالی ۱۰ ساله رخ خواهد داد)



شکل ۷- نمودار تغییرات مساحت دریاچه برای سناریوهای مختلف (بدترین شرایط در سال ۲۸ از ابتدای دوره رخ خواهد داد)



شکل ۸- نمودار تغییرات حجم دریاچه برای سناریوهای مختلف (بدترین شرایط در سال ۲۸ از ابتدای دوره رخ خواهد داد)

● در صورت ادامه روند خشکسالی کنونی در سال‌های آتی، قسمت جنوبی در یک دوره طولانی مدت به کلی خشک خواهد شد. بدترین شرایط با توجه به نتایج و سناریوهای تعریف شده برای شرایطی رخ خواهد داد که خشکسالی‌های اخیر ادامه یابد. در این حالت در سال ۲۸ دوره، حجم دریاچه از حجم اولیه کنونی به ۲۴۰۰ میلیون متر مکعب (۳۲ درصد حجم اولیه) و مساحت از ۲۵۸۷ به ۱۴۱۰ کیلومتر مربع (۵۴/۵ درصد مساحت اولیه)، کاهش خواهد یافت.

● متوسط سالانه مساحت دریاچه برای شرایط آبی حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع خواهد بود. این مساحت معادل تراز حدود ۱۲۷۰ متر می‌باشد. متوسط تراز دوره مشاهداتی ۴۶ سال گذشته حدود ۱۲۷۵/۴ متر بوده است. بنابراین شاهد حدود ۵/۴ متر کاهش در تراز متوسط دریاچه برای سناریوهای آبی خواهیم بود.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی حتی در سناریوی نرمال نیز دریاچه هیچ‌گاه به تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر) نخواهد رسید و ورودی به دریاچه کمتر از میزان نیاز زیست محیطی خواهد بود. بنابراین بین حفظ توسعه پیش‌بینی شده ناشی از برداشت‌های سنتی کشاورزی و طرح‌های توسعه منابع آب و تأمین میزان جریان ورودی مورد نیاز برای ادامه حیات دریاچه، نیاز به انجام مصالحه وجود دارد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Trend
- 2-Threshold
- 3-Standardized Hydrological Drought Index
- 4-Standardized Precipitation Index
- 5-System Dynamic Analysis
- 6-trade-off

۶- مراجع

احمدزاده کوکیال ب (۱۳۸۳) تعریف معادله پارامترهای اثرگذار در نوسانات سطح و شوری آب دریاچه ارومیه. پروژه تحقیقاتی، AGW-83003، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.

جلیلی ش (۱۳۸۹) تحلیل طیفی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه و تأثیر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر آن. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

رزم آرا پ (۱۳۹۲) آنالیز عدم قطعیت تأثیر تغییر اقلیم بر دریاچه ارومیه با رویکرد مونت کارلو-بیزی. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران.

این مساحت معادل تراز حدود ۱۲۷۰ متر می‌باشد. متوسط تراز دوره مشاهداتی ۴۶ سال گذشته حدود ۱۲۷۵/۴ متر بوده است. بنابراین شاهد حدود ۵/۴ متر کاهش در تراز متوسط دریاچه برای سناریوهای آبی خواهیم بود.

۵- جمع‌بندی

مدیریت منابع آب در شرایط کم‌آبی، خصوصاً در حوضه‌های شامل دریاچه‌های بسته که با مشکل تأمین نیاز حیاتی تالاب و همچنین تنش‌های بین ذی‌نفعان در اولویت‌بندی نیازها روبروست، با حساسیت بیشتری همراه است. با توجه به وضعیت خاص در چنین حوضه‌هایی و نیاز حیاتی به پایدارنمودن کارکردهای اکولوژیک دریاچه، ضروری است برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت پایدار منابع آب به‌عمل آید. با توجه به ظرفیت سیستم منابع آب حوضه، باید یک تعادل منطقی بین حفاظت و بهره‌برداری پایدار از منابع دریاچه ارومیه برقرار شود، به گونه‌ای که میزان ورودی دریاچه به عنوان عامل تعیین کننده، پاسخگوی نیاز زیست محیطی باشد.

در این تحقیق ابتدا حداقل ورودی تجربه شده دریاچه (به عنوان مقادیر آستانه) با ارائه روشی جدید مبتنی بر تحلیل سری تاریخی جریانات ورودی به دریاچه در سطوح مختلف خشکسالی به عنوان مبنای تصمیم‌گیری در شرایط آبی برآورد شد. سپس شرایط فعلی و آبی دریاچه (با احتساب طرح‌های بهره‌برداری موجود در حوضه و برداشت‌های سنتی فعلی) در چند سناریو تحلیل شد. مهم‌ترین نتایج حاصل شده از این تحقیق عبارتند از:

● بررسی آبدی ایستگاه‌های منتهی به دریاچه نشانگر کاهش قابل ملاحظه در متوسط آبدی از سال ۱۳۷۴ به بعد و مؤید ادامه روند خشکسالی می‌باشد.

● شبیه‌سازی بیلان برای چند سناریو انجام گردید. مقایسه نتایج بیانگر آن است که در صورت تغییر نکردن شرایط ورودی دریاچه و ادامه روند برداشت‌های فعلی حتی بدون توسعه برداشت و یا احداث سد جدید، ورودی تاریخی سال‌های ابتدای دوره (که در شرایط عدم وجود طرح‌های توسعه منابع آب و توسعه برداشت‌های سنتی فعلی بوده است)، در دوره آبی امکان وقوع ندارند. به عبارت دیگر شرایط آبی به مراتب بدتر از شرایط تاریخی تاکنون خواهد بود.

● نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در سناریوی نرمال دریاچه دچار شرایط ناپایدار نخواهد بود (هرچند در دوره‌هایی بخش جنوبی خشک خواهد شد). اما همان‌گونه که در سال‌های اخیر نیز ملاحظه گردید، در سناریوی ادامه خشکسالی، دریاچه دچار افت قابل ملاحظه سطح آب خواهد بود.

- Altunkaynak A, O'zger M and Sen Z (2003) Triple diagram model of level fluctuations in Lake Van, Turkey. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences* 7: 235-244.
- Alipour S (2006) Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran. *Journal of Saline Systems* 2 (9): 1-19.
- Cimen M and Kisi O (2009) Comparison of two different data-driven techniques in modeling lake level fluctuations in Turkey. *Journal of Hydrology* 378 (3-4): 253-262.
- Dehghani M, Saghafian B, Nasiri Saleh F, Farokhnia A and Noori R (2014) Uncertainty analysis of streamflow drought forecast using Artificial Neural Networks and Monte Carlo Simulation, *Int. J. of Climatology* 34 (4): 1169-1180.
- Kaden H, Peeters A, Lorke A, Kipfer R, Tomonaga Y and Karabiyikoglu M (2010) Impact of lake level change on deep-water renewal and oxic conditions in deep saline Lake Van, Turkey. *Journal of Water Resources Research* 46, W11508, doi:10.1029/2009WR008555.
- Sima S and Tajrishy M (2013) Using satellite data to extract volume-area-elevation relationships for Urmia Lake, Iran. *Journal of Great Lakes Research* 39(1): 90-99.
- سیما س (۱۳۹۲) تحلیل دینامیکی-مکانی تغییرات تبخیر و نمک در دریاچه‌های شور (مطالعه موردی دریاچه ارومیه). رساله دکتری، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- فتحیان ف، مرید س و ارشد ص (۱۳۹۲) ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و ارتباط آن با روند جریان رودخانه‌ها (مطالعه موردی: زیر حوضه‌های شرق دریاچه ارومیه). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره ۲۷ (۳). ۶۴۲-۶۵۵.
- فراز ا (۱۳۸۷) مدل‌سازی دینامیکی سیستم حوضه آبریز دریاچه ارومیه و بررسی علل نوسانات سطح آب این دریاچه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران، تهران.
- Abbaspour M and Nazaridoust A (2007) Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach. *Journal of Environmental Studies* 64 (2): 161-169.
- Aksoy H, Unal NE, Eris E and Yuce MI (2013) Stochastic modeling of Lake Van water level time series with jumps and multiple trends. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences* 17: 2297-2303.