Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹
Volume 16, No. 2, Summer 2020 (IR-WRR)
۱-۱۷

تحلیل اثربخشی سناریوهای احیای دریاچه ارومیه با استفاده از شبیه‌سازی پویایی سیستم‌ها مبتنی بر مدل شکار و شکارچی

سید ارشاد برحق[۱*]، مهدی ضرغامی[۲]، یوسف علیزاده[۳] و محمدرضا شهبازبگیان[۴]

چکیده

با توجه به وضعیت بحرانی دریاچه ارومیه و عزم دولت برای احیای آن، به‌کارگیری یک مدل مبتنی بر پویایی سیستم‌ها می‌تواند با بررسی تعاملات موجود کار تخصیص آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را به خوبی انجام دهد. در این مطالعه استخراج راهبردهای مدیریتی مدل شکار- شکارچی برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه توسعه داده شده است. مزیت اصلی این مدل، تخصیص متعادل آب بین ذینفعان در راستای رسیدن دریاچه به شرایط پایدار یعنی تراز اکولوژیک است. با توجه به گسترش کشاورزی در شمال غرب ایران، بررسی راهکارهای قابل اجرا و به روز کاهش آب مصرفی در بخش کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق ابتدا یک مدل پویایی سیستم‌ها شامل یک نمودار ذخیره- جریان طراحی شده است که در آن دریاچه ارومیه به عنوان بخش شکار و اراضی کشاورزی به عنوان بخش شکارچی به حساب آمده‌اند. سپس با توجه به اثرات عوامل مختلف به صورت پویا، به بررسی و تحلیل راهکارهای کاهش آب مصرفی کشاورزی پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۱ کاهش اراضی کشاورزی (یکپارچه‌سازی، کاهش تعداد کشاورزان و غیره) به میزان ۴۰ درصد، افزایش راندمان آبیاری کشاورزی (اصلاح الگوی کشت، مدرن‌سازی تجهیزات آبیاری، اصلاح روش‌های آبیاری و غیره) به میزان ۲۱ درصد و کاهش مساحت دریاچه به میزان ۲۰ درصد، به ترتیب باعث افزایش تراز آب دریاچه به میزان ۱/۷، ۰/۸ و ۰/۵ متر می‌شوند. با اعمال سناریوهای مذکور به صورت یکجا و هم‌زمان تراز آب دریاچه به میزان ۴/۳ متر افزایش پیدا کرده و دریاچه به تراز اکولوژیک خود (۱۲۷۴ متر) خواهد رسید.

کلمات کلیدی: تخصیص آب، دریاچه ارومیه، حل اختلاف، مدل شکار و شکارچی، پویایی سیستم‌ها.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۳/۳۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.
۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز و استاد پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه تبریز.
۳- دانشجوی دکتری علوم زمین، دانشگاه صنعتی استانبول.
۴- استادیار دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین دانشگاه تربیت مدرس.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Investigating the Impacts of Restoration Scenarios for Urmia Lake Using Predator-Prey System Dynamics Model

S. E. Barhagh [1], M. Zarghami [2], Y. Alizade Govarchin Ghale [3] , and M.R. Shahbazbegian[4]*

Abstract

A system dynamic model is necessary to estimate the existing interactions between Urmia Lake and factors affecting it. In this study, the Predator-Prey model using system dynamics simulation has been developed for Urmia Lake Basin. The main advantage of this model is providing the balanced water allocation between stakeholders in order to have a sustainable water management system for the lake. Due to increasing the area of irrigated lands in the northwest of Iran, having an applicable and up-to-date method to reduce water consumption in agricultural part is unavoidable. A stock-flow model has been designed in this study, in which Urmia Lake and irrigated lands are considered as the prey and predator, respectively. Then, the effects of various factors on the water elevation fluctuations of the lake have been analyzed dynamically and the strategies for reducing the water consumption of agricultural part have been investigated carefully. The results of this study indicate that the reducing irrigated lands by 40%, improve irrigation efficiency by 21%, and reducing the area of lake by 20% lead to increasing water level of the lake by 1.7, 0.8, and 0.5 meters, respectively. By applying these policies, the water level of the lake will increase about 4.3 meters and it will lead to better ecological condition.

Keywords: Water Allocation, Urmia Lake, Conflict Resolution, Predator-Prey, System Dynamics.

Received: January 22, 2019
Accepted: June 21, 2019

1- M.Sc. Student, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: e.barhagh@gmail.com
2- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. and Professor, Institute of Environment, University of Tabriz. Email: zarghaami@gmail.com
3- Ph.D. Candidate, Climate and Marine Sciences Department, Earth System Sciences Program, Istanbul Technical University. Email: yusufalizade2000@gmail.com
4- Assistant Professor, Faculty of Geography-Spatial planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: mr.shahbazbegian@modares.ac.ir
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

رشد دو برابری جمعیت جهان طی پنجاه سال گذشته، افزایش رفاه و سطح زندگی و به‌تبع آن مصرف بیشتر کالری منجر شده تا نیاز آبی برای تولید محصولات غذایی به ویژه محصولات کشاورزی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد و اصل پایداری در مدیریت آن، تأمین آب برای کلیه نیازهای موجود را غیرممکن سازد. این امر باعث شده است تا برداشت آب از رودخانه‌ها در مقایسه با نیم قرن گذشته سه برابر شود. یافتن یک راه‌کار پایدار و مقرون‌به‌صرفه در مدیریت منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی جوامع به شمار می‌رود (Kazemi and Araghinejad, 2015).

دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های فوق شور جهان از موقعیت استراتژیکی برخوردار است و از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در منطقه می‌باشد که در دو دهه‌ی اخیر به تدریج رو به خشکی نهاده است. در سال‌های اخیر بحث بین کارشناسان و صاحب‌نظران در مورد علل خشکی دریاچه ارومیه بالا گرفته است و عموم محققین بر این نظر توافق دارند که اولین عامل خشکی دریاچه ارومیه عوامل انسانی است (Hasanzadeh et al., 2012).

بر اساس مطالعه Hasanzadeh et al. (2012) کاهش تراز آبی دریاچه، ۲۵ درصد مربوط به احداث سدها، ۱۰ درصد مربوط به تغییر بارش و ۶۵ درصد بـه دلیل اضافه برداشت از منابع سطحی حوضه است. خشکی دریـاچه ارومیه نه تنها ساکنان محلی بلکه شعاعی حـدود ۵۰۰ کیلومتر را تحت تأثیر قـرار می‌دهـد. تحقیقات Shadkam et al. (2016) نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی تأثیر بسزایی روی بارش و رواناب داشته است. این در حالی است که کاهش رواناب بیشتر از کاهش باران بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که جریان ورودی به دریاچه به دلیل افزایش کشاورزی و به تبع آن افزایش برداشت از آب‌های سطحی نزدیک به ۴۰ درصد کاهش داشته است. مطالعات Torabi (2017) بر این اعتقاد است که یکی از روش‌های احیای دریاچه آزادسازی آب پشت سدها می‌باشد؛ یعنی آب مورد نیاز برای احیای دریاچه می‌تواند با آزادسازی آب سدها تأمین شود. ولی متأسفانه نزدیک به ۸۰ درصد این آب توسط کشاورزی مصرف شده و تنها ۲۰ درصد آب مورد نیاز وارد دریاچه می‌شود.

در تحقیق دیگری Alizade et al. (2018) با استفاده از آنالیز خشک‌سالی و تعیین بودجه آب دریاچه به این نتیجه رسیده‌اند که عوامل انسانی حدود ۸۰ درصد و عوامل اقلیمی حدود ۲۰ درصد در کاهش سطح تراز دریاچه نقش داشته‌اند. در تحقیق دیگری Chaudhari et al. (2018) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل هیدرولوژی (HiGW-MAT) نقش عوامل طبیعی و انسانی را در تغییرات دریاچه ارومیه بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که مساحت شهرها و زمین‌های کشاورزی به ترتیب ۹۸ درصد و ۱۸۰ درصد در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه افزایش یافته‌اند و نقش عوامل انسانی در خشکی دریاچه ۸۶ درصد می‌باشد. نیاز محیط زیستی سالانه دریاچه نیز توسط Alborzi et al. (2018) در شرایط خشک ۲۹۰۰ میلیون مترمکعب، در شرایط تر و پرآب ۵۴۰۰ میلیون مترمکعب و در شرایط متوسط ۴۱۰۰ میلیون مترمکعب تخمین زده شده است.

به منظور بررسی موضوع به صورت پویا، ابتدا باید همه‌ی جوانب تأثیرگذار بر روی دریاچه تا حد ممکن مطالعه شده، سپس به حل موضوع پرداخته شود؛ بنابراین برای تخصیص منابع آب بین ذینفعان حوضه آبریز دریاچه ارومیه لازم است تا خصوصیات ذینفعان این حوضه (که در این تحقیق دریاچه ارومیه و بخش کشاورزی است) به طور دقیق مدل‌سازی شود تا بتوان تعاملات و اثرات متقابل این عوامل برهم را به صورت دقیق تحلیل و بررسی کرد.

با توجه به توضیحات فوق، توسعه کشاورزی و وضعیت دریاچه ارومیه به هم وابسته بوده و تأثیرات آن‌ها بر همدیگر دوسویه و متقابل می‌باشند. به طوری که توسعه کشاورزی سبب کاهش سطح آب و بحرانی‌تر شدن وضعیت دریاچه ارومیه می‌شود و انجام اقدامات لازم برای احیای دریاچه سبب محدودتر شدن کشاورزی و ایجاد تنش در بین کشاورزان در منطقه مورد مطالعه خواهد شد؛ بنابراین لازم است یک تعامل مناسب بین دو مقوله مهم توسعه کشاورزی و احیای دریاچه ارومیه انجام شود. زمانی که تعامل بین دو یا چند سیستم مهم باشد و تغییر هرکدام معیاری جداگانه محسوب شود نیاز به بررسی جامع، پویا و یکپارچه منابع آبی ضرورت پیدا می‌کند. به این منظور در این تحقیق از مدل سیستم‌های پویا[1] (SD) برای مدل‌سازی پارامترهای مؤثر، مدل‌سازی و تصمیم‌گیری صحیح‌تر استفاده شده است. این روش در بسیاری از مطالعات مدیریت منابع آبی و محیط زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد و روشی بسیار قدرتمندی برای شبیه‌سازی منابع آب و سناریوهای مدیریت آن‌ها به حساب می‌آید. مدل سیستم SD دریاچه ارومیه توسط Hasanzadeh et al. (2012) ایجاد شده و به بررسی تأثیر عوامل مختلف بر دریاچه ارومیه پرداخته است.

با توسعه مدل پویای دریاچه ارومیه توسط Ebrahimi Sarindizaj and Zarghami (2018)، تأثیر سناریوهای مختلف احیا بر دریاچه با تأکید بر زیر مدل کشاورزی در افق ۲۰۳۰ ارزیابی شده است. طبق مطالعه ایشان، احیای دریاچه ارومیه بدون تأکید و توجه ویژه بر

www.SID.ir

Archive of SID

کشاورزی به‌عنوان بخشی که بیش از ۸۰ درصد مصرف آب در حوضه دریاچه ارومیه را به خود اختصاص داده است، قابل دسترسی نخواهد بود.

حوضه‌های آبریز دیگر نیز در سایر تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است. تخصیص آب کشاورزی توسط پویایی سیستم‌ها در حوضه زاینده‌رود اصفهان توسط Paimozd et al. (2010) صورت گرفته است. همچنین تحلیل سیستم منابع آب حوضه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سیستم‌ها توسط Arshadi and Bagheri (2014) صورت گرفته است.

به‌منظور ایجاد تعادل مناسب بین پارامترهای مهم و مؤثر، روش‌های حل اختلافی مانند روش نامتقارن نش[۲]، خسارت متعادل[۳]، سطح یکنواخت[۴] و کالای- اشمورودینسکی[۵] وجود دارد؛ اما به دلیل این‌که تمام روش‌های مذکور به پاسخی ثابت ختم می‌شوند و با توجه به ماهیت پویای مسائل محیط زیستی ازجمله مدیریت منابع آب، استفاده از این روش‌ها پیشنهاد نمی‌شود (Kazemi and Araghinejad, 2015). در مطالعه حاضر به این منظور از روش Prey-Predator موسوم به روش شکار- شکارچی و مدل پویایی سیستم دریاچه ارومیه برای مدل‌سازی پویای این مسأله استفاده شده است. مدل شکار- شکارچی نقطه تعادلی بین دو عامل با اندرکنش برهم که مقادیر پارامترهای آن‌ها متفاوت می‌باشد، ایجاد می‌کند. این مدل تنها در تعادل همگن و نه انواع شرایط ثابت و چرخه محدود قابل استفاده می‌باشد (McMurtrie, 1978). در ادامه‌ی تحقیقات Thingstad (2000) از روش شکار- شکارچی در مطالعه خود در خصوص میکرو ارگانیزم‌های منابع آبی استفاده کرده‌اند و به بررسی مکانیزم‌های کنترل فراوانی، تنوع و نقش بیوژئوشیمیایی[۶] ویروس‌های باکتریایی لاکتیک[۷] در سیستم آبی پرداخته‌اند.

همچنین، Peixoto et al. (2008) مدل شکار- شکارچی را به‌صورت فازی مورد مطالعه قرار داده‌اند و روابط بین شکار و شکارچی را بررسی کرده‌اند. از روش‌های عددی می‌توان به مطالعه Chowdhury (2009) اشاره کرد. ایشان از مدل شکار- شکارچی به روش عددی تحلیلی ADM[۸] بهره برده‌اند. پدیده‌ی جهش در شکار و شکارچی توسط Durrett and mayberry (2010) بررسی شده است. این مدل توسط Fang et al. (2012) به‌صورت گسسته بررسی شده است. همچنین، Kar and Ghosh (2013) به تأثیر سیاست حداکثر بازده[۹] بر روی مدل شکار- شکارچی پرداخته است. در مطالعه‌ی Wang et al. (2013) این مدل به‌گونه‌ای بررسی شده است که شکارچی از شکار تغذیه می‌کند و همچنین شکار روی شکارچی تأثیر منفی دارد. اثرات باد بر تعاملات شکار و شکارچی توسط Cherry and Barton (2017) تحلیل شده است. در ایران نیز Kazemi and Araghinejad (2015) به تخصیص آب در حوضه آبریز اترک با این روش پرداخته‌اند و آن را با سایر روش‌های مرسوم حل اختلاف مقایسه نموده‌اند.

در این پژوهش از مدل شکار- شکارچی برای تحلیل میزان توسعه زمین‌های کشاورزی و تأثیر آن بر وضعیت دریاچه ارومیه و معرفی راهبردهای مدیریتی به منظور رسیدن به حالت پایداری بین توسعه کشاورزی و سطح تراز دریاچه ارومیه استفاده شده است. همچنین برای درک بهتر تغییرات پوشش گیاهی و توسعه‌ی کشاورزی در حوضه‌ی آبریز دریاچه و آگاهی از آخرین وضعیت منطقه‌ی مورد مطالعه دو تصویر MODIS/Terra (Didan, 2015) مربوط به ماه August سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ تحلیل شده و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های آبی در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه مورد استفاده‌ی مدیران، محققان و اندیشمندان قرار گرفته و گامی مؤثر در احیای دریاچه ارومیه و تخصیص پایدار و عادلانه‌ی منابع آبی در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه باشد.

۲- روش کار

۲-۱- پویایی سیستم‌ها

در این مطالعه برای شبیه‌سازی سیستم منابع حوضه آبریز دریاچه ارومیه از روش پویایی سیستم استفاده شده است. پویایی سیستم‌ها شامل ترکیبی از سیستم‌های مهندسی و رویکردهای تصمیم‌گیری مدیریتی است. در این رویکرد به‌منظور به تصویر کشیدن تأثیر عوامل مختلف بر هم و تعامل آن‌ها از توسعه نمودار حلقه علّی و حلقه بازخورد اساسی استفاده می‌شود. این نمودارها کمک می‌کنند تا روابط بین زیرسیستم‌های تعاملی به‌صورت گرافیکی نشان داده شود و در نتیجه می‌توانند به‌عنوان یک گام مدل‌سازی مفهومی در نظر گرفته شوند. معادله دیفرانسیلی (۱) را که نمایانگر پویایی کل سیستم است می‌توان بر اساس نمودار علت و معلولی مطالعه حاضر که در شکل ۱ نمایش داده شده است نوشت:

$$\text{lake volume} = \int \begin{matrix}\text{inflow} + \text{natural discharge} + \\ \text{precipitation volume} + \\ \text{evaporation}\end{matrix} \qquad (۱)$$

که در این معادله، lake volume نشانگر تغییرات حجم دریاچه، natural discharge نشانگر حجم آب وارد شده از آب‌های زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

به دریاچه، precipitation volume حجم آب حاصل از بارش باران بر روی دریاچه، inflow حجم رواناب‌های وارد شده از رودخانه‌ها به دریاچه و evaporation تبخیر از سطح دریاچه می‌باشد.

۲-۲- مدل شکار و شکارچی

در این پژوهش، جهت طراحی مدل مربوط به دریاچه ارومیه با منظور کردن تمامی عوامل هیدرولوژیکی، مصرف آب کشاورزی و صرف‌نظر کردن از مصارف خانگی به دلیل ناچیز بودن آن، با رویکرد پویایی سیستم‌ها، از نرم‌افزار VENISM استفاده شده است. به این ترتیب می‌توان تأثیر اعمال سیاست‌گذاری‌ها را به صورت کاملاً پویا و گرافیکی مشاهده نمود و با نگرشی باز به تصمیم‌گیری حول این موضوع پرداخت.

نرم‌افزار VENISM به عنوان یک ابزار توانمند در مدل‌سازی، شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل مدل‌های سیستم‌های پویا استفاده می‌شود. این نرم‌افزار از طریق نمودارهای علی و معلولی و نمودار جریان، مدل را برای شبیه‌سازی آماده می‌کند. مدل شکار- شکارچی برای اولین بار توسط Volterra and Lotka (1926) ارائه شد. این مدل برای سیستمی متشکل از یک شکار و یک شکارچی می‌تواند با یک سیستم معادلات دیفرانسیل معمولی[۱۰] نوشته شود (Wang, 2004):

$$\begin{cases} \frac{dA}{dt} = A(\propto -\beta C) \\ \frac{dC}{dt} = -C(\gamma - \delta A) \end{cases} \quad (۲)$$

در این روابط A (شکار) تراز آب دریاچه و C (شکارچی) توسعه کشاورزی را نشان می‌دهد. γ، δ، $\propto$ و β پارامترهای مشخصه برهم‌کنش شکارچی‌ها و شکارها می‌باشند. فرضیات مدل شکار- شکارچی شامل موارد زیر می‌باشد (Kazemi and Araghinejad, 2015): جمعیت شکار همواره غذای کافی در اختیار دارد. غذای مورد نیاز جمعیت شکارچی همواره وابسته به جمعیت شکار می‌باشد. نرخ تغییر جمعیت بستگی به میزان جمعیت دارد.

۲-۳- شاخص پوشش گیاهی NDVI[۱۱]

شاخص پوشش گیاهی NDVI با استفاده از ترکیب انرژی منعکس شده از هدف به سنجنده در طول‌موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی به کار می‌رود (Rawashdeh, 2012; USGS, 2016). رابطه‌ی ۳ برای به دست آوردن NDVI در تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (۳)$$

که در این رابطه، NIR نمایانگر انرژی منعکس‌شده از هدف به سنجنده در باند مادون قرمز نزدیک و Red نمایانگر انرژی منعکس‌شده از هدف به سنجنده در باند قرمز می‌باشد. از این شاخص همچنین برای بررسی سلامت پوشش گیاهی و تشخیص گیاهان آفت دیده از سالم استفاده می‌شود. مقادیر شاخص پوشش گیاهی NDVI مابین ۱- و ۱ متغیر می‌باشد. جدول شماره ۱ بازه‌های مربوط به NDVI و پوشش زمینی مربوطه را نشان می‌دهد (USGS, 2016).

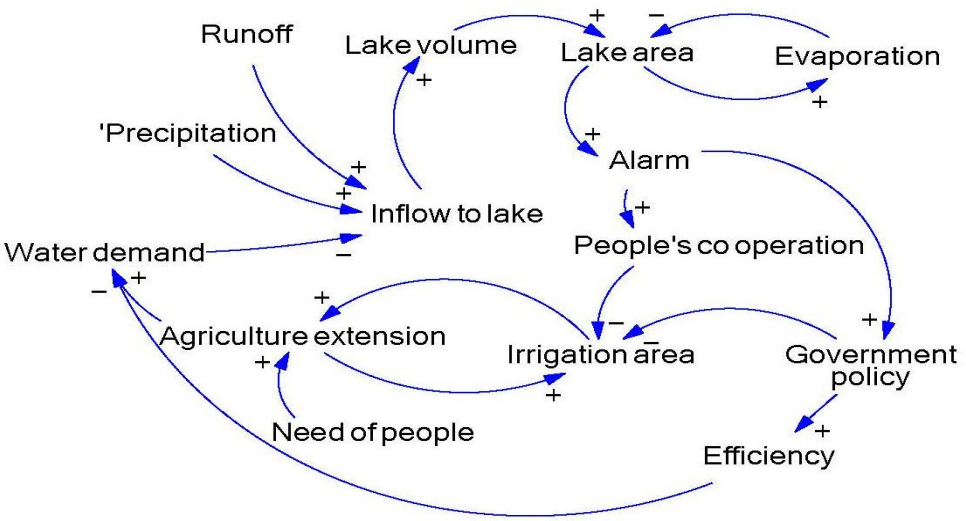

Fig. 1- Causal Loop Diagram of Predator-Prey of Urmia Lake

شکل ۱- نمودار علت و معلولی مدل شکار و شکارچی دریاچه ارومیه

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1- NDVI variations and related land cover types

جدول ۱- بازه‌های مربوط به شاخص NDVI و پوشش زمینی مربوطه

Vegetation	NDVI
Non-vegetated areas such as water and cloud	-1.0 to 0.0
Areas of barren rock, sand and desert lands	0.0 to 0.1
Sparse vegetation such as shrubs and grasslands	0.1 to 0.5
Dense vegetation	0.5 to 1.0

۳- داده‌های مورد استفاده

۳-۱- شبیه‌سازی عوامل تأثیرگذار بر دریاچه

نخست با استفاده از نرم‌افزار Vensim داده‌های مربوط به بخش هیدرولوژیکی (بارش، رواناب و غیره) که از سازمان‌های مربوطه تهیه شده بود، تکمیل گردید، سپس میزان توسعه‌ی اراضی کشاورزی با استفاده نتایج Alizade et al. (2017) مدل‌سازی شد و دوره‌ی مشاهداتی مدل از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ به صورت ماهانه منظور گردید. لازم به ذکر است که در این مطالعه جریان‌های سطحی اندازه‌گیری شده و اندازه‌گیری نشده، میزان بارش و آب زیرزمینی به‌عنوان ورودی به دریاچه و تبخیر از سطح دریاچه به‌عنوان خروجی از دریاچه در نظر گرفته شده است.

۳-۲- جریان‌های سطحی اندازه‌گیری شده

از داده‌های مربوط به ایستگاه‌های هفده‌گانه هیدرومتری واقع در پایاب رودخانه‌های بزرگ دریاچه به منظور تعیین این قسمت استفاده شده است. این مقادیر تقریباً میزان آب کل ورودی به حوضه می‌باشد که آب مصرفی کشاورزی از آن کسر نشده است. در محاسبه‌ی کل آب ورودی به دریاچه آب مصرفی کشاورزی از این مقدار کسر می‌شود.

۳-۳- جریان‌های سطحی اندازه‌گیری نشده

ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در پایاب رودخانه‌ها حدود ۸۲ درصد حوضه دریاچه ارومیه را پوشش می‌دهند. با توجه به ارتفاع بارش ماهانه و ضریب جریان سطحی، جریان سطحی حاشیه‌ای باقی‌مانده که حدود ۱۸ درصد می‌باشد از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$A_m = 13830 - A_l \qquad (۴)$$

در این رابطه، A_m بیانگر مساحت حوضه حاشیه دریاچه و A_l نشانگر مساحت دریاچه ارومیه که تابعی از سطح تراز آب دریاچه است، می‌باشد. رابطه جریان‌های سطحی اندازه‌گیری نشده (رابطه ۵)، با توجه به رواناب سطحی ماهانه R برحسب میلیون مترمکعب، c ضریب جریان سطحی (برابر با ۰/۲۱) و p ارتفاع بارش برحسب میلی‌متر، به شرح زیر می‌باشد (Samadzadeh Fahim et al., 2018). شکل ۲-(A) میزان ورودی به دریاچه ارومیه را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که خط قرمز رسم شده در گراف‌های شکل ۲ نشانگر مقدار میانگین متغیرهای مربوطه می‌باشد. بیشترین مقدار دبی ورودی مربوط به چهارمین ماه از سال ۲۰۰۴ و برابر با ۲۱۹۰ میلیون متر مکعب است.

$$R = 0.001 \times c \times \frac{|p-5| + (p-5)}{2} \times A_m \qquad (۵)$$

۳-۴- بارش

پنج ایستگاه باران‌سنجی آباجالو سفلی، بناب، داشخانه، شرفخانه و یالقوز آغاج که نماینده‌ی بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشند، طی دوره شاخص به عنوان ورودی بارش در نظر گرفته شدند. شکل ۲-(B) میزان بارش در حوضه آبریز دریاچه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ را نمایش می‌دهد. مطابق این شکل بیشترین مقدار بارش مربوط به دومین ماه از سال ۲۰۰۶ و به میزان ۱۱۸ میلی‌متر می‌باشد.

۳-۵- آب زیرزمینی

بررسی بیلان آب دریاچه نشان می‌دهد که میزان آب زیرزمینی ورودی به دریاچه ناچیز می‌باشد (Samadzadeh Fahim et al., 2018). در این مطالعه مقدار آب زیرزمینی ورودی برابر با یک درصد آب‌های سطحی در نظر گرفته شده است.

۳-۶- تبخیر سطحی

برای تعیین تبخیر سطحی از روش تبخیر تشتک استفاده می‌کنند. پنج ایستگاه تبخیرسنجی آباجالو سفلی، داشخانه، گلمنخانه آب شیرین و یالقوز آغاج که نماینده‌ی تبخیر حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه می‌باشند، به عنوان معرف میزان تبخیر از تشتک انتخاب شدند.

مطالعه‌های مختلفی دامنه‌های مناسب برای ضریب تشتک و ضریب تبدیل تبخیر آب شیرین به آب شور پیشنهاد می‌کنند؛ به طوری‌که مقدار ضریب تشتک از ۰/۶ (Kohler, 1954; Nimmo, 1964) تا ۰/۹۴ (Garrett and Hoy, 1978) و ضریب تبدیل تبخیر آب شیرین به آب شور مقداری بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۶ (Quants, 2014) می‌تواند اختیار کند. در مطالعه حاضر ضریب تشتک و ضریب تبدیل تبخیر آب شیرین به

www.SID.ir

Archive of SID

آب شور به ترتیب ۰/۹۲۵ و ۰/۹۳ منظور شدند. شکل ۲-(C) میزان تبخیر سطحی دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ را نمایش می‌دهد. بیشترین مقدار تبخیر مربوط به هشتمین ماه از سال ۲۰۰۱ و برابر با ۱۰۲۳ میلیون متر مکعب است. با توجه به این که تبخیر رابطه‌ی مستقیم با مساحت دریاچه دارد طبیعی است که با کاهش مساحت دریاچه میزان تبخیر نیز کاهش می‌یابد.

۳-۷- کشاورزی

در بخش کشاورزی، طبق آمار بخش مطالعات مصارف کشاورزی (Iran Ministry of Energy, 2012)، ۷۰ درصد اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه به محصولات زراعی و ۳۰ درصد اراضی حوضه به محصولات باغی اختصاص یافته است. متوسط راندمان آبیاری سطوح زیر کشت زراعی ۳۷ درصد و برای سطوح زیر کشت باغی ۴۵ درصد در نظر گرفته شد. برای تعیین میزان نیاز خالص آبیاری از نرم‌افزار NETWAT استفاده شد (Ebrahimi Sarindizajand Zarghami, 2018). میزان آب مصرفی کشاورزی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در شکل ۲-(D) نمایش داده شده است. با توجه به شکل بیشترین مقدار مصرف آب کشاورزی مربوط به هفتمین ماه از سال ۲۰۱۱ و به میزان ۱۷۷۸ میلیون متر مکعب است.

Alizade et al. (2017) با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای Landsat در دهه‌های گذشته، تغییرات سطح آبی دریاچه و مساحت زمین‌های کشاورزی آبی در حوضه‌ی آبریز دریاچه را مورد بررسی قرار داده‌اند. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی نتایج مطالعه‌ی یادشده می‌باشد که در این پژوهش از آن برای مدل‌سازی اراضی کشاورزی آبی استفاده شده است. Alizade et al. (2017) برای استخراج نتایج خود از تصاویر ماهواره‌ای موجود در تابستان سال‌های مختلف بهره جسته‌اند. همان طور که از شکل ۳ پیداست ایده‌ی شکار و شکارچی برای حوضه‌ی آبریز دریاچه اورمیه به وضوح قابل رویت می‌باشد. با افزایش اراضی کشاورزی آبی در ۲۰ سال اخیر مساحت آبی دریاچه به تدریج کاهش پیدا کرده و در سال ۲۰۱۴ به کمترین مقدار خود رسیده است. همزمان با کاهش مساحت زمین‌های کشاورزی آبی بعد از سال ۲۰۱۴، مساحت دریاچه ارومیه نیز افزایش پیدا کرده است.

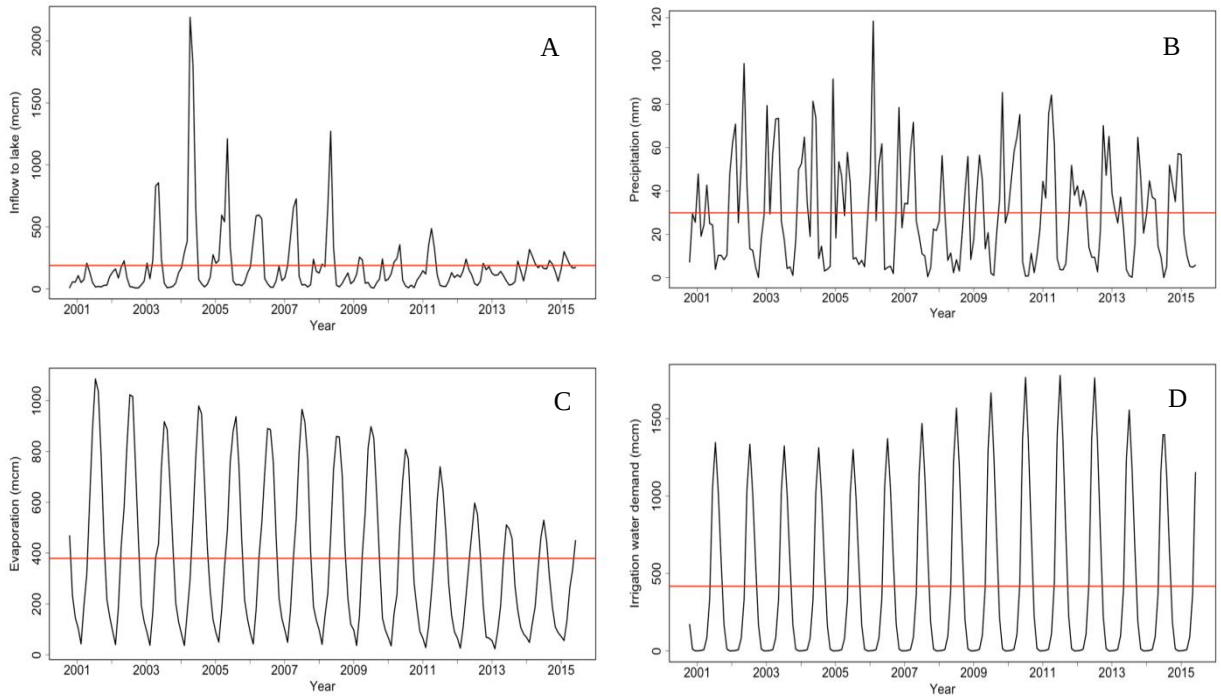

Fig. 2- (A) Inflow to Urmia Lake from 2001 to 2015, (B) Precipitation values over the Urmia Lake Basin (C) Evaporation values from Urmia Lake from 2001 to 2015, (D) Irrigation water from 2001 to 2015, demand in Urmia Lake basin from 2001 to 2015

شکل ۲- (A) میزان ورودی به دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵، (B) میزان بارش به حوضه آبریز دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵، (C) میزان تبخیر سطحی دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵، (D) میزان آب مصرفی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش مساحت دریاچه در سال‌های اخیر می‌تواند در نتیجه‌ی شرایط اقلیمی خوب و اقدامات انجام گرفته در راستای احیای دریاچه مثل رهاسازی آب سدها، لایروبی مسیر رودها، کنترل کشاورزی و غیره باشد.

Alizade et al. (2017) در کنار پردازش تصاویر ماهواره‌ای، اقدام به عکس‌برداری زمینی از قسمت‌های مختلف دریاچه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ کرده‌اند و با استفاده از نقاط کنترل زمینی در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ (گردآوری شده توسط GPS) و روش Quantitative Accuracy Assessment صحت‌سنجی نتایج بدست آمده را مورد ارزیابی قرار داده‌اند که در جدول شماره ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

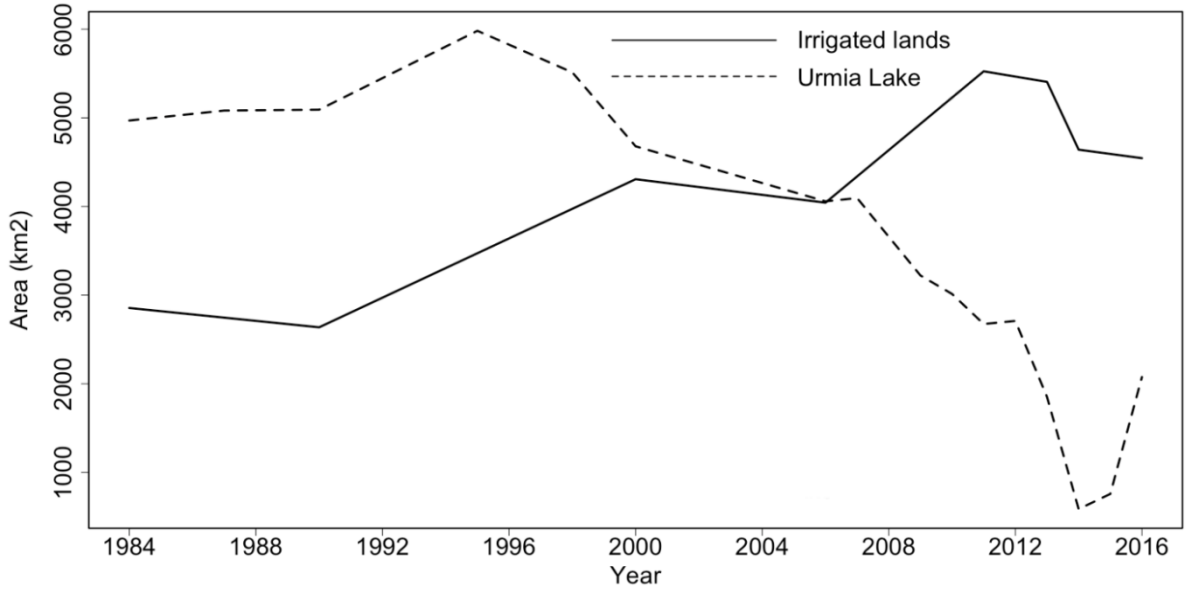

Fig. 3- Inverse relationship between water surface area changes of Urmia Lake and agricultural development in the basin

شکل ۳- رابطه‌ی معکوس مابین تغییرات سطح آب دریاچه و توسعه‌ی کشاورزی در حوضه ی آبریز دریاچه ارومیه

Table 2- The Overall Classification Accuracy and Overall Kapa Statistics for sampled dates

جدول ۲- نتایج صحت‌سنجی کلاس‌بندی حوضه دریاچه ارومیه

Year	Overall Classification Accuracy	Overall Kapa Statistics
2010	89.50%	0.8687
2011	89.50%	0.8250
2013	80.26%	0.7523
2014	92.50%	0.9000

در این پژوهش برای درک بهتر توسعه‌ی کشاورزی و اطلاع از آخرین تغییرات پوشش گیاهی در منطقه‌ی مورد مطالعه و تفهیم بهتر مدل شکار و شکارچی دو تصویر MODIS/Terra مربوط به August سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ مورد آنالیز قرار گرفته است. شکل ۴ تغییرات شاخص پوشش گیاهی NDVI را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل پیداست، کشاورزی در همه‌ی بخش‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه افزایش چشمگیری داشته است. هم‌زمان با افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی (افزایش قدرت شکارچی)، سطح آب دریاچه ارومیه کاهش پیدا کرده (کاهش قدرت شکار) و بیابان‌زایی حاصل از خشک شدن دریاچه در منطقه افزایش پیدا کرده است. با توجه به این شکل میزان مساحت زمین‌های با شاخص پوشش گیاهی NDVI در بازه مقادیر ۰/۳ تا ۱ در سال ۲۰۰۰ تنها ۵/۷ درصد (تقریباً ۶ درصد) مساحت کل حوضه را تشکیل می‌داد درحالی‌که این مقدار در سال ۲۰۱۸ افزایش محسوسی پیدا کرده و ۹/۴ درصد (تقریباً ۱۰ درصد) مساحت کل حوضه را تشکیل داده است.

۴- مدل نهایی و صحت‌سنجی

در فرایند مدل‌سازی، ساختار مدل بایستی بر اساس ساختار سیستم واقعی بنا شود؛ بنابراین بایستی هماهنگی و تشابه نزدیکی بین ساختار

www.SID.ir

Archive of SID

مدل و سیستم واقعی وجود داشته باشد. به همین جهت ساختار مدل از لحاظ عملکرد و وضعیت ظاهری باید با سیستم واقعی تطابق داشته باشد. آزمون ساختار مدل در آغاز و همگام با شروع فرایند مدل‌سازی باید صورت گیرد و ساختار خود را تا پایان مدل‌سازی حفظ نماید.

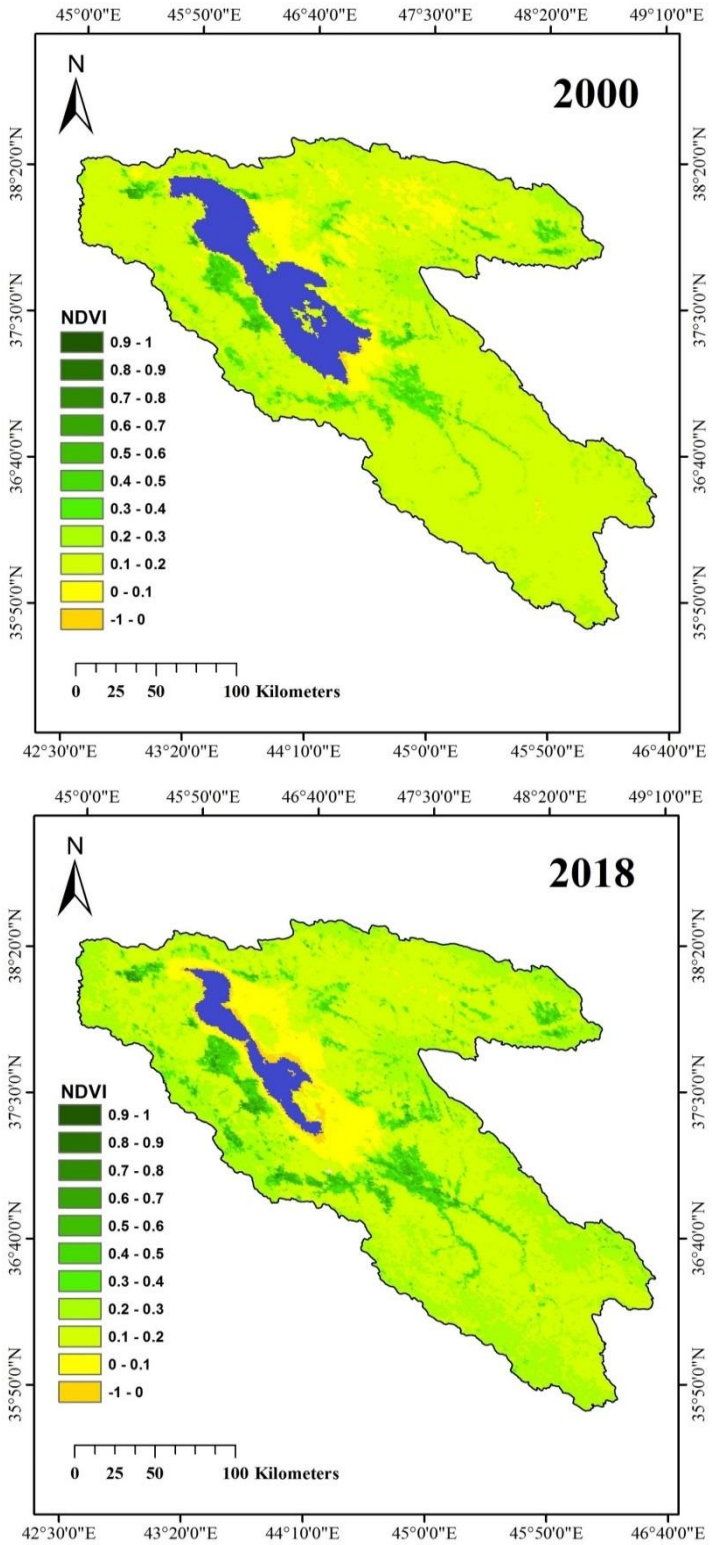

Fig. 4- NDVI changes in Urmia Lake basin from 2000 to 2018

شکل ۴- تغییرات شاخص پوشش گیاهی NDVI حوضه آبریز دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۱- آزمون رفتاری (آزمون خانواده)

جهت صحت‌سنجی مدل طراحی شده تراز آب دریاچه و مساحت اراضی کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور مقایسه مقادیر محاسباتی (مدل شده) و مشاهداتی (اندازه‌گیری شده)، پارامترهای ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات (RMSE) و نش- ساتکلیف برای دو قسمت صحت‌سنجی (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹) و واسنجی (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵) محاسبه شده است. نتایج اعتبارسنجی تراز آب دریاچه، برای جذر میانگین مربعات خطا به ترتیب برای صحت‌سنجی و واسنجی عدد ۰/۳۸ و ۰/۱۶، برای ضریب تعیین به ترتیب عدد ۰/۸۶ و ۰/۷۴ و برای معیار نش- ساتکلیف به ترتیب عدد ۰/۸۷ و ۰/۹۷ محاسبه شد. شکل ۵ مقایسه سطح تراز آب مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد.

۴-۲- آزمون شرایط مرزی مناسب

مطالعه حاضر محدود به مرزهای حوضه آبریز دریاچه ارومیه است و قابل کاربرد در حدود بین‌الملل نمی‌باشد. آزمون شرایط مرزی مناسب به بررسی میزان مناسب بودن مرزهای درنظر گرفته شده در مدل‌سازی، به منظور استفاده از خروجی‌های مدل‌سازی می‌پردازد. در مدل‌سازی سیستم‌های پویا، این آزمون با استفاده از تعیین متغیرهای برون‌زا (داده‌ها و روابطی که توسط مدل‌ساز به مدل وارد شده‌اند) و درون‌زا (داده‌ها و پارامترهای تعریف‌شده برای مدل که با اجرای مدل تولید می‌شوند) انجام می‌شود. در جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب متغیرهای درون‌زا و برون‌زا شرح داده شده‌اند.

۴-۳- آزمون شرایط حدی

این آزمون، عملکرد منطقی مدل را در شرایط حدی نشان می‌دهد و ساختار علّی و روابط تعریف‌شده بین متغیرهای مـــدل را ارزیابی می‌کند. آزمون‌های حدی یک‌بار با صفر قراردادن ورودی به دریاچه (شکل ۶- الف)، یک‌بار با قرار دادن عددی بزرگ‌تر از حد معمول به ورودی (شکل ۶- ب)، یک بار با صفر قرار دادن مقدار تغذیه طبیعی (شکل ۶- ج) و یک‌بار با قرار دادن عددی بزرگ‌تر از حد معمول به تغذیه طبیعی (شکل ۶- د) انجام پذیرفته است.

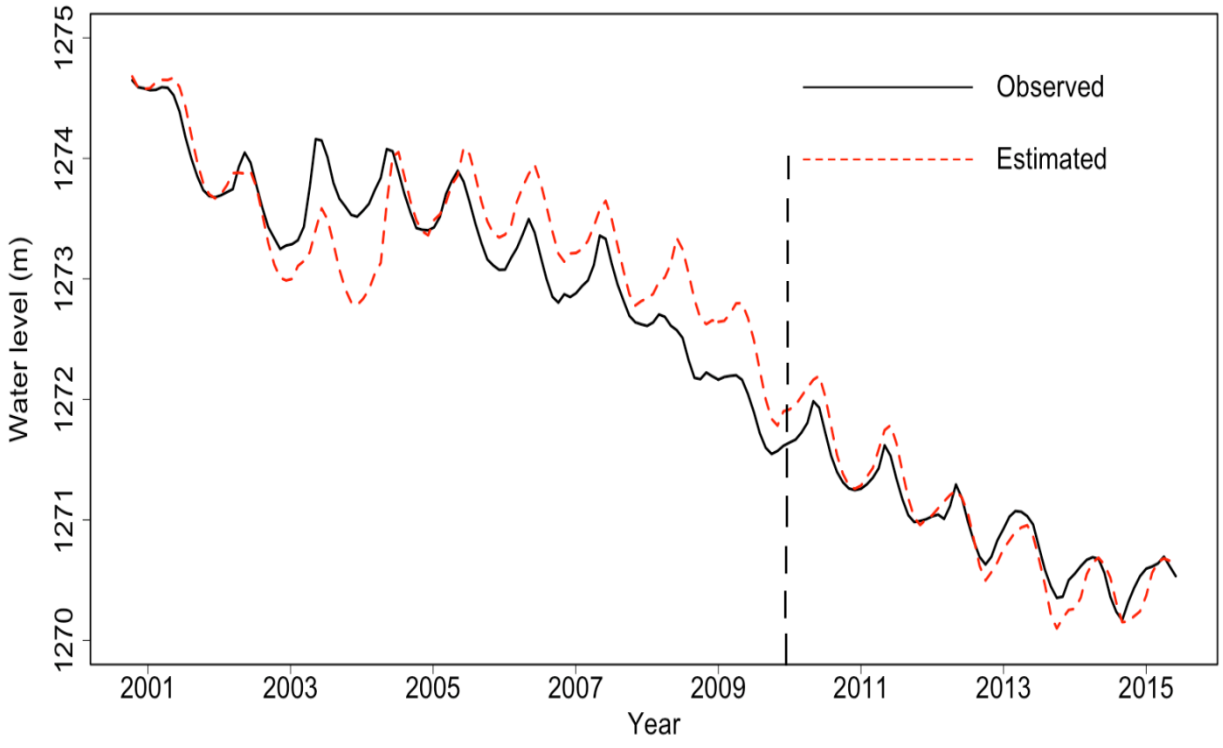

Fig. 5- Comparison between observed and estimated water elevation
شکل ۵- مقایسه سطح تراز آب مشاهداتی و محاسباتی

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3- Endogenous variables in the model

جدول ۳- متغیرهای درون‌زای استفاده‌شده در مدل

Endogenous variables	Endogenous variables
Inflow	Crop demand
Lake volume	Agricultural demand
evaporation	Irrigation demand
Natural discharge	precipitation height
Precipitation volume	Margin area
alarm	Margin precipitation height
Ground water volume change	Unmeasured surface inflow
Natural recharge	Irrigation percolation
Returned water	reduction
Ground water extraction	Irrigation area
Horticultural demand	-

Table 4- Exogenous variables in the model

جدول ۴- متغیرهای برون‌زای استفاده‌شده در مدل

Exogenous variables	Exogenous variables
Crop cultivated land	B1 scenario
Horticultural cultivated land	Evaporation intensity
Crop demand average	Lake's water level
Horticultural demand average	Volume-elevation relation
Runoff	extension
Volume-area relation	Cooperation
A1B scenario	government decision
A2 scenario	Integration of agricultural lands

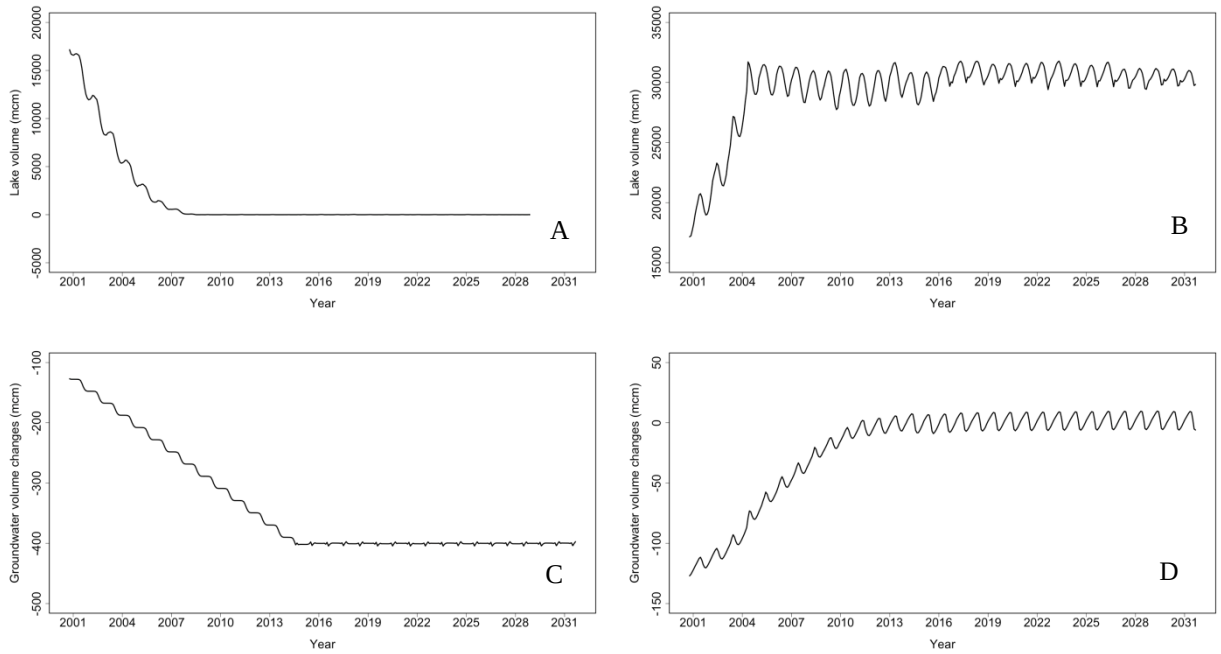

Fig. 6- (A) Lake volume changes by zeroing the inflow, (B) Lake volume changes by increasing the inflow, (A) Groundwater volume changes by zeroing the natural recharge, (B) Groundwater volume changes by increasing the natural recharge

شکل ۶- (A) تغییرات حجم دریاچه با صفر شدن حجم آب ورودی، (B) تغییرات حجم دریاچه با افزایش حجم آب ورودی، (C) تغییرات حجم آب زیزمینی با صفر شدن حجم تغذیه طبیعی، (D) تغییرات حجم دریاچه با افزایش حجم تغذیه طبیعی

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۵- مدل نهایی

شکل ۷ قسمت (A) مدل ذخیره جریان دریاچه ارومیه طراحی شده با رویکرد پویایی سیستم‌ها را نشان می‌دهد. همچنین قسمت (B) این شکل مدل شکار و شکارچی را نمایش می‌دهد که با کاهش حجم دریاچه (شکار)، هشدار برای کاهش اراضی کشاورزی (شکارچی) افزایش یافته و باعث کاهش میزان اراضی و در نتیجه باعث افزایش مقدار ورودی به دریاچه و حجم دریاچه می‌شود.

۵- نتایج و تحلیل

طرح‌های اجراشده در مدل، شامل کاهش مساحت اراضی کشاورزی (۱)، افزایش بهره‌وری آبیاری کشاورزی با تغییر الگوی کشت و اصلاح سیستم آبیاری (۲) و کاهش مساحت دریاچه می‌باشد (۳). یکی از دلایل انتخاب این سناریوها، مصرف بی‌رویه آب توسط بخش کشاورزی و تأثیر منفی آن بر روی دریاچه می‌باشد. دلیل دیگر افزایش روزافزون تبخیر در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. تطابق سناریوها و گزینه‌های موجود برای احیای دریاچه توسط ستاد احیای دریاچه ارومیه از دیگر دلایل انتخاب این طرح‌ها می‌باشد. اعمال این سناریوها باعث کاهش و حذف دغدغه‌های اصلی موجود در این حوضه می‌شود.

۱-۵- کاهش اراضی کشاورزی

یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های موجود در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه افزایش روزمره تعداد کشاورزان و به تبع آن افزایش اراضی کشاورزی در این حوضه می‌باشد. مشاهده شد که افزایش بیش از حد اراضی کشاورزی تا سال ۲۰۱۱ باعث بالا رفتن آب مصرفی کشاورزی شده و آسیب جدی به دریاچه ارومیه وارد گردیده است. همچنین تفکیک هر روزه اراضی و تغییر در کاربری آن‌ها باعث شده است که در یک فضای کوچک و محدود تنوع محصولات افزایش یابد و به تبع آن باعث افزایش بی‌رویه آب مصرفی کشاورزی شود. با تجمیع این اراضی و محدود کردن نوع و محصول کشت در اراضی کوچک می‌توان از مصرف بی‌رویه آب جلوگیری نمود. مطابق مطالعات انجام گرفته توسط Moghadasi et al. (2015) جهت کاهش تنش‌های ایجاد شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌خصوص در سال‌هایی که حوضه با کم‌آبی مواجه است، عملیاتی‌ترین و سریع‌ترین راه‌حل کاستن از سطح زیر کشت و کم‌آبیاری می‌باشد.

علاوه بر این با کاهش ۲۰ درصدی از تعداد کشاورزان (حدود ۵۰۰۰۰ نفر)، افزایش سطح آگاهی مردم و کشاورزان، تجمیع اراضی کشاورزی و جلوگیری از تفکیک آن و با کمک و همکاری دولت و مسئولین می‌توان ۴۰ درصد اراضی کشاورزی (تقریباً ۱۸۰۰۰۰ هکتار) را کاهش داد. باید توجه داشت که اعمال سیاست‌های ذکر شده در طور زمان و با اعمال شغل‌های جایگزین و تغییر سیاست‌های توسعه‌ی منطقه‌ای امکان‌پذیر خواهد بود. تمرکز بر روی بازرگانی و صنعت توریسم جایگزینی خوبی برای بخش کشاورزی است که می‌تواند مورد توجه مدیران و مسئولین کشوری و منطقه‌ای قرار گیرد. همچنین داروهای گیاهی و صنایع دستی دو زمینه مهم برای معیشت جایگزین می‌باشند. با انجام اقدامات یاد شده تراز دریاچه ارومیه به میزان ۱/۷ متر افزایش پیدا خواهد کرد.

جهت بررسی دقیق و ملموس‌تر تأثیر کاهش اراضی کشاورزی بر افزایش تراز دریاچه ارومیه، سناریوهای کاهش کشاورزی ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی نیز مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج حاصل از مدل‌سازی ملاحظه گردید که با کاهش ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی کشاورزی به ترتیب تراز دریاچه به میزان ۰/۶، ۰/۸، ۱/۳ و ۲/۱ متر افزایش پیدا می‌کند.

این سناریو در قسمت کاهش اراضی کشاورزی توسط ۳ پارامتر تصمیمات دولت (government decision)، همکاری مردم (Co-operation) و یکپارچه‌سازی اراضی (Integration of agricultural lands) به مدل اعمال شده است. جدول ۵ و همچنین شکل ۸ تأثیر کاهش کشاورزی بر افزایش سطح تراز دریاچه ارومیه را نمایش می‌دهد.

۲-۵- افزایش راندمان آبیاری کشاورزی

سیستم آبیاری با بهره‌وری کم باعث هدر رفت و مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی شده است. میزان بهره‌وری آبیاری کشاورزی در کل ایران ۳۳ تا ۳۷ درصد می‌باشد که این عدد برای کشورهای در حال توسعه ۴۵ درصد و در کشورهای توسعه یافته ۶۰ درصد می‌باشد (keshavarz et al., 2003). افزایش در مصرف آب کشاورزی خود به دلیل عواملی همچون طراحی نادرست امکانات آبیاری، عدم توجه و نگهداری تجهیزات آبیاری، قیمت پایین آب مصرفی و عدم آگاهی و آموزش کشاورزان است (Ghasemi et al., 1995). همچنین الگوی کشت نادرست و عدم آگاهی باعث افزایش مصرف آب شده است. طبق مطالعه Isanejad et al. (2015) با تغییر الگوی کشت می‌توان ۲۱ درصد (حدود ۹۹۰ میلیون مترمکعب) آب مصرفی کشاورزی را کاهش داد.

www.SID.ir

Archive of SID

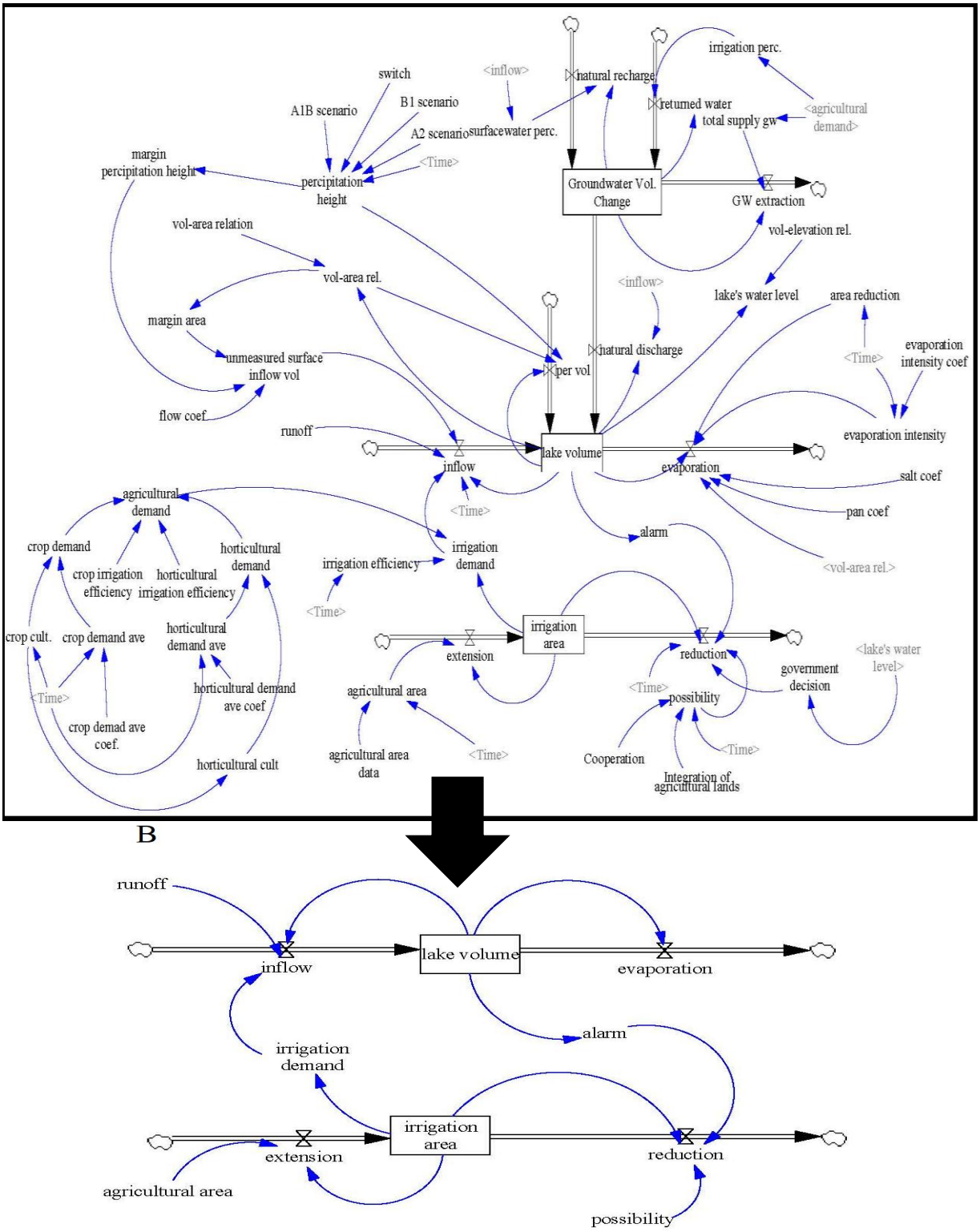

Fig. 7- (A) The stock and flow diagram designed in VENISM software and (B) predator- prey model for Urmia Lake

شکل ۷- (A) مدل ذخیره جریان دریاچه ارومیه طراحی شده در نرم‌افزار VENISM و (B) مدل شکار و شکارچی دریاچه ارومیه

www.SID.ir

Archive of SID

Table 5- Impacts of decreasing area of irrigated lands on water elevation

جدول ۵- تأثیر کاهش کشاورزی بر افزایش سطح تراز دریاچه ارومیه

Scenario	changes	Lake water level increase
Decrease in the area of irrigated lands (1)	10%	0.6 m
Decrease in the area of irrigated lands (2)	20%	0.8 m
Decrease in the area of irrigated lands (3)	30%	1.3 m
Decrease in the area of irrigated lands (4)	40%	1.7 m
Decrease in the area of irrigated lands (5)	50%	2.1 m

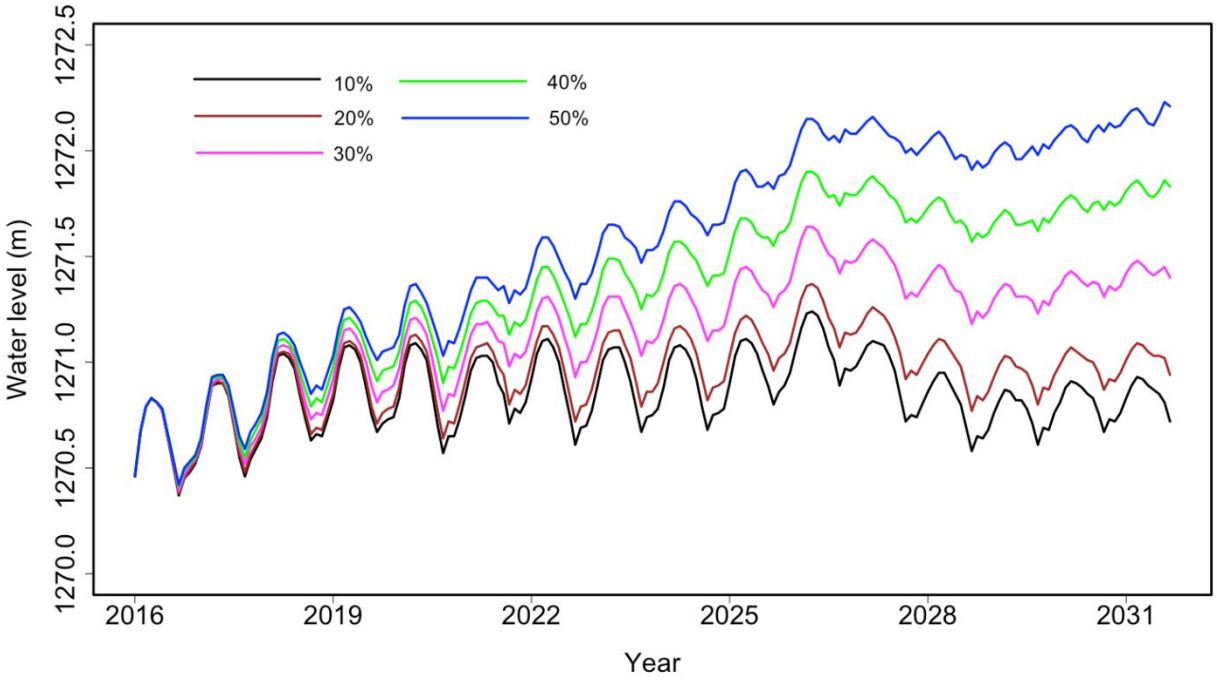

Fig. 8- Impacts of decreasing area of irrigated lands on water elevation

شکل ۸- تأثیر کاهش کشاورزی بر افزایش سطح تراز دریاچه ارومیه

جایگزین کردن اقلام کشت با قیمت بالا و نیاز آبی پایین همانند پسته و زعفران به جای اقلام با قیمت پایین و نیاز آبی بالا مانند صیفی‌جات خود سیاست قابل قبول در این زمینه می‌باشد. همچنین به روز کردن روش‌های آبیاری و تجهیزات آبیاری و توجه به حفظ و نگهداری این تجهیزات خود باعث کاهش آب مصرفی کشاورزی به میزان قابل توجهی خواهد شد. با اعمال این سناریو میزان ورودی به دریاچه به مقدار قابل قبولی افزایش پیدا می‌کند و تراز دریاچه ارومیه به میزان ۰/۸ متر افزایش پیدا می‌کند. این سناریو نیز به صورت ضریب ۰/۷۹ به پارامتر تقاضای آبیاری[۱۲] ضرب شده است. تا در هر ماه ۲۱ درصد آب مصرفی کشاورزی کاهش یابد.

۵-۳- کاهش مساحت دریاچه

با توجه به افزایش روزمره دمای جهان و تغییرات اقلیمی و همچنین رابطه مستقیم دما، تبخیر و مساحت دریاچه نیاز به کاهش مساحت دریاچه روز به روز افزایش پیدا می‌کند. سازمان فضایی ایران در کنار اطلاعات هواشناسی، دمای زمین و اتفاقات مرتبط با آن نظیر خشک‌سالی، حریق و گرد و غبار را مورد پایش دائمی قرار می‌دهد و یکی از راه‌های کاهش تبخیر دریاچه ارومیه را کاهش مساحت آن می‌داند. با کاهش ۲۰ درصدی مساحت دریاچه، تبخیر نیز به همین میزان کاهش پیدا کرده و تراز دریاچه ارومیه در سال‌های آتی به میزان ۰/۵ متر افزایش پیدا می‌کند. جهت کاهش مساحت دریاچه می‌توان از روش سنگ‌چینی و محدود کردن فضای دریاچه استفاده کرد.

همچنین جهت کاهش تبخیر می‌توان از مواد شیمیایی کم خطر استفاده کرد. پودر پاشی و یا استفاده از محلول یکی از روش‌های کاهش تبخیر می‌باشد. همچنین استفاده از صفحه‌های شناور یونولیت به رنگ سفید و یا صفحه‌های بتنی توخالی می‌تواند تبخیر را به میزان قابل توجهی کاهش دهد (Barnes, 2007).

www.SID.ir

Archive of SID

علاوه بر آن می‌توان از روش آبخیزداری جهت کاهش تبخیر کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه استفاده کرد. در روش آبخیزداری آب سطحی ناشی از بارندگی‌ها در زمین نفوذ پیدا می‌کند و به تدریج مسأله تبخیر منتفی خواهد شد، در این روش آب در بالادست نگهداری می‌شود و با نفوذ آب در زمین از تبخیر و مخلوط شدن آن با رسوبات جلوگیری خواهد شد. در این روش از ورود رسوبات به دریاچه نیز جلوگیری می‌شود، چرا که رسوبات باعث کاهش عمق و در نهایت کاهش عمر مفید دریاچه می‌شود و در صورتی که شرایط آبی خوبی محیا باشد، دریاچه توانایی نگهداری حجم آب بالا را نداشته و به طور خودکار آب سریع تبخیر و از دسترس خارج خواهد شد (Urmia Lake Restoration Program, 2015).

همچنین مطابق مطالعه‌ی Samadzadeh Fahim et al. (2018) ملاحظه می‌شود که در بازه زمانی ۱۰ ساله، با احداث دایک و انسداد پل جاده شهید کلانتری به صورت کامل و تقسیم دریاچه به دو قسمت شمالی و جنوبی، پس از ۶۵ ماه، تراز دریاچه به ۱۲۷۴ متر می‌رسد که برای رسیدن به این تراز با احداث دایک در مسیر مورب بین پل میان‌گذر و جزیره اسپیر، ۱۲۰ ماه نیاز است. در سناریوی دیگر با احداث دایک در امتداد جزایر اسپیر و کبودان در مدت ۱۰ سال، تراز دریاچه از ۱۲۷۲ متر فراتر نمی‌رود.

باید توجه داشت که اعمال این سناریوها امری دشوار و زمان‌بر به نظر می‌آید ولی با اراده‌ی ملی امکان‌پذیر می‌باشد. این سناریو نیز به صورت ضریب ۰/۸ به قسمت تبخیر[۱۳] ضرب شده است تا میزان تبخیر در هر ماه ۲۰ درصد کاهش پیدا کند.

با اعمال این سناریوها به صورت یک‌جا و هم‌زمان تراز آب دریاچه به میزان ۴/۳ متر افزایش پیدا کرده است و به تراز اکولوژیک خود (۱۲۷۴ متر) می‌رسد. جدول شماره ۶ طرح‌های بررسی شده جهت احیای دریاچه را نمایش می‌دهد. شکل ۹ اثرات اعمال این سناریوها و مقایسه آن‌ها را نشان می‌دهد. همچنین شرایط اقلیمی نیز تأثیر زیادی در احیای دریاچه ارومیه دارد. با افزایش نزولات جوی و همچنین کاهش دما و به تبع آن کاهش تبخیر راه احیای دریاچه هموارتر خواهد شد. جهت افزایش نزولات جوی بارورسازی ابرها می‌تواند روشی نوین و کارساز برای این مسأله باشد.

Table 6- Restoration scenarios for Urmia Lake
جدول ۶- سناریوهای بررسی شده جهت احیای دریاچه

Scenario	Changes	Lake water level increase
Decrease in the area of irrigated lands (1)	40%	1.7 m
Improve irrigation efficiency (2)	21%	0.8 m
Decreasing area of Urmia Lake (3)	20%	0.5 m
All Scenarios	-	4.3m

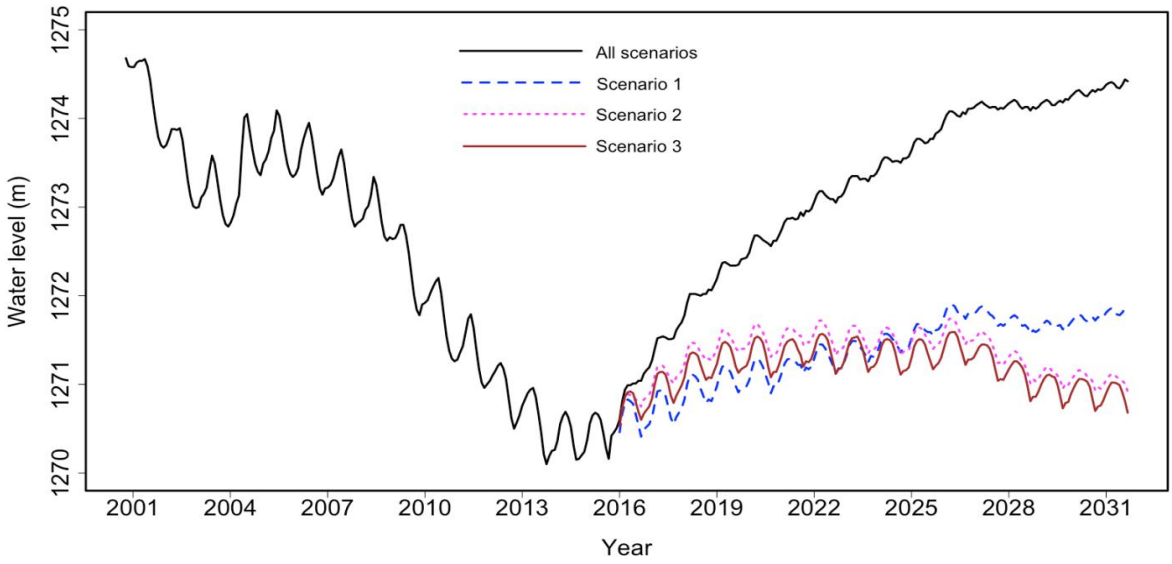

Fig. 9- Impacts of restoration scenarios on Urmia Lake water elevation
شکل ۹- تأثیر اعمال سناریوهای مدل بر روی تراز دریاچه ارومیه

www.SID.ir

Archive of SID

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش قابل قبول سطح تراز دریاچه ارومیه با اعمال سناریوهای کاهش اراضی و بهره‌وری آبیاری کشاورزی نیاز به کاهش تقاضای مصرف آب کشاورزی ضروری است. تجمیع اراضی، اصلاح الگوی کشت و همچنین اصلاح تجهیزات آبیاری می‌تواند کمک قابل قبولی به احیای دریاچه کند. همچنین با افزایش تبخیر از سطح دریاچه لزوم کاهش مساحت جهت احیای آن کاملاً الزامی می‌باشد. این موضوع قابل تأمل است که اعمال تک‌تک این سناریوها تأثیر چندانی بر تراز آب دریاچه ندارد و ضرورت اعمال همه‌ی طرح‌ها به صورت یکجا قابل مشاهده است. با اعمال این سناریوها به صورت یک‌جا و نه یک به یک می‌توان شاهد افزایش تراز دریاچه در سال‌های آتی بود. قابل ذکر است که اثرات تغییرات اقلیمی در کوتاه مدت و بلند مدت همیشه بر وضعیت دریاچه تأثیرگذار بوده و خواهد بود. لذا در صورت اعمال سناریوهای یاد شده و تغییرات اقلیمی مثبت می‌توان امیدوار بود که دریاچه تا سال ۲۰۳۱ به تراز اکولوژیک خود (۱۲۷۴ متر) برسد. عدم بررسی احداث سازه‌های هیدرولیکی، عدم بررسی سازه‌ی میان‌گذر دریاچه، عدم بررسی شرایط از دید کشاورزان و عدم بررسی هزینه‌های اعمال این سناریوها از کمبودهای این تحقیق به شمار می‌رود. در تحقیق‌های پیش رو می‌توان از مدل‌های اقلیمی جهانی و منطقه‌ای برای کسب اطلاع از تغییرات اقلیمی در حوضه‌ی آبریز دریاچه در سال‌های آتی استفاده کرد و با اعمال تغییرات لازم در بخش‌های مختلف مدل استفاده شده در این تحقیق، مدل را برای سناریوهای مختلف اجرا کرد. استفاده از این تحقیق جهت توسعه‌ی مدل و رفع نواقص آن در آینده سبب افزایش ابعاد نگرش به این موضوع خواهد شد. تفاوت عمده‌ی این تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط Ebrahimi Sarindizaj and Zarghami (2018) بررسی دقیق‌تر اراضی کشاورزی و مصرف آب کشاورزی می‌باشد. در مطالعه‌ی ایشان ۶ سناریو مورد بررسی قرار گرفت. تأثیرگذارترین سناریوی مطالعه‌ی ایشان افزایش بهره‌وری آبیاری، تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت به صورت یکجا و همزمان می‌باشد که با اعمال این سناریوها دریاچه در افق ۱۵ ساله به تراز اکولوژیک می‌رسد.

نکته حائز اهمیت این است که با کاهش کشاورزی هم‌زمان درآمد ناشی از کشاورزی باید ثابت بماند و یا تغییری نکند؛ رسیدن به این هدف نیازمند انجام کارهای تخصصی و استفاده از تجربه‌های موفق بین‌المللی است که باید با جدیت پیگیری شود. انتظار می‌رود که در تحقیق‌های آتی پارامترهای نوین تأثیرگذار بر اقلیم حوضه آبریز دریاچه ارومیه همانند بارورسازی ابرها مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد و روش‌های جدید جهت احیای دریاچه ارومیه پیشنهاد و ارائه گردد.

۷- تقدیر و تشکر

نویسندگان این تحقیق از سرکار خانم مهندس الهام ابراهیمی که در ارائه داده‌های مورد نیاز و اجرای مدل یاری نموده‌اند نهایت تقدیر و تشکر را دارند.

پی‌نوشت‌ها

1- System Dynamics
2- Asymmetric Nash
3- Equal Loss
4- Area Monotonic
5- Kalai-Smorodinesky
6- Biogeochemical
7- Lactic
8- Adomian Decomposition Method
9- Maximum Sustainable Yield
10- Ordinary Differential Equations
11- Normalized Difference Vegetation Index
12- Irrigation Demand
13- Evaporation

۸- مراجع

Alborzi A, Mirchi A, Moftakhari H, Mallakpour I, Alian S, Nazemi A, Hassanzadeh E, Mazdiyasn O, Ashraf S, Madani K, Norouzi H, Azarderakhsh M, Mehran A, Sadegh M, Castelletti A, and AghaKouchak A (2018) Climate- informed environmental inflows to revive a drying lake facing meteorological and anthropogenic droughts. Journal of Environmental Research Letters 13(8):084010

Alizade Govarchin Ghale Y, Altunkaynak A, and Unal A (2018) Investigation anthropogenic impacts and climate factors on drying up of Urmia Lake using water budget and drought analysis. Journal of Water Resources Management 32(1):325–337

Alizade Govarchin Ghale Y, Baykara1 M, and Unal A (2017) Analysis of decadal land cover changes and salinization in Urmia Lake basin using remote sensing techniques. Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences:1-15

Arshadi A and Bagheri A (2014) A system dynamic approach to sustainability analysis in Karun river basin, Iran. Journal of Iran Water Resources Research 9(3):1-13 (In Persian)

Barnes G T (2007) The potential for monolayers to reduce the evapotranspiration of water from large water storages: A review. Journal of Agricultural Water Management 95:339-353

www.SID.ir

Archive of SID

restoration of Urmia Lake. Journal of Good Manufacturing Practice Review 18(2):498-502

Kar T K and Ghosh B (2013) Impacts of maximum sustainable yield policy to prey–predator systems. Journal of Ecological Modelling 250:134-142

Kazemi P and Araghinejad SH (2015) Using the prey-predator equation for the water allocation problem and its comparison with conventional water allocation methods, a case study of the Atrak River Basin. Iran-Water Resources Research 26(5):3-13 (In Persian)

Keshavarz A, Heydari N, and Ashrafi S (2003) Management of agricultural water consumption, drought and supply of water for future demands. In: Proceeding of the 7th International conference on the development of Dry Land, 14–17 september, Tehran, Iran:42–48

Kohler MA (1954) Lake and pan evaporation, water loss investigations: lake Hefner studies. U.S Geological Survey Professional Paper, 269:127-148

Lotka A J (1925) Elements of physical biology. Williams and Wilkins, Balimore, MD

McMurtrie R (1978) Persistence and stability of single-species and prey-predator systems in spatially heterogeneous environments. Journal of Mathematical Biosciences 39(1-2):11-5

Moghadasi M, Morid S, Delavar M, and Arabpour F (2015) Agricultural water consumption management approach in Urmia Lake restoration. Iran-Water Resources Research 11(1):1-12 (In Persian)

Nimmo WHR (1964) Measurement of evaporation by pans and tanks. Australian Meteorological Magazine 46:17-53

Paimozd S, Morid S, and Moghaddasi M (2010) Comparison of non-linear optimization and a system dynamics approaches for agricultural water allocation (A case study: Zayande Rud Basin). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 1(4):44-52

Peixoto M S, Barros L C, and Bassanez R C (2008) Predator–prey fuzzy model. Journal of Ecological Modelling 214(1):39-44

Quants (2014) Analysis of the Urmia Lake water balance: Part I - the amount of evaporation. http://www.quants.ir/ (In Persian)

Rawashdeh S B A (2012) Assessment of change detection method based on normalized vegetation index in environmental studies. Internatinal journal of Applied Science and Engineering 10(2):89-97

Samadzadeh Fahim R, Zarghami M, Nourani V, and Hoseinlar MR (2018) The hydraulic simulation of the effects of new dikes to reduce the evaporation

Cherry M J and Barton B T (2017) Effects of wind on predator-prey interactions. Journal of Food Webs 13:92-97

Chaudhari S, Felfelani F, Shin S, and Pokhrel Y (2018) Climate and anthropogenic contributions to the desiccation of the second largest saline lake in the twentieth century. Journal of Hydrology 560:342-353

Chowdhurry M S, Hashim L, and Mawa S (2009) Solution of prey–predator problem by numeric–analytic technique. Journal of Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation 14(4):1008-1012

Didan K (2015) MOD13A2 MODIS/Terra vegetation indices 16-day L3 global 1km SIN grid V006 [data set]. NASA EOSDIS LP DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD13A2.006

Durrett R and Mayberry J (2010) Evolution in predator–prey systems. Journal of Stochastic Processes and Their Applications 120(7):1364-1392

Ebrahimi E and Zarghami M (2018) Comparing effects of restoration policies under climate change by using system dynamics; Case study Urmia Lake ecosystem. Journal of Iran Water Resources Research 13(4):184-189 (In Persian)

Fang Q, Li X, and Cao M (2012) Dynamics of a discrete predator-prey system. Journal of Procedia Engineering 38:1793-1800

Garrett DR and Hoy RD (1978) A study of monthly lake to pan coefficients using a numerical lake model. Hydrology Symposium, 5-6 September, Institution of Engineers, Canberra, A.C.T:145-149

Ghassemi A, Jakeman FJ, and Nix HA (1995) Salinization of lands and water resources. Sidney (Australia): University of New South Wales Press

Hassanzadeh E, Zarghami M, and Hassanzadeh Y (2012) Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. Journal of Water Resources Management 26(1):129-145

Hesami A and Amini A (2016) Changes in irrigated land and agricultural water use in the Lake Urmia basin. Journal of Lake and Reservoir Management 32(3):288-296

Iran Ministry of Energy, Water and Waste Water Macro Planning Bureau (2012) http://waterplan.moe.gov.ir /TopNav/About-Us?lang=en-US (In Persian)

Isanezhad R, Zarifian SH, Raheli H, Kouhestani H, and Beheshti Nahand SH (2015) Assessing the effects of optimal cropping pattern in Urmia Lake basin on

www.SID.ir

Archive of SID

United States Geological Survey (2016) Earth Explorer. https://earthexplorer.usgs.gov/. Accessed 15 August 2018

Urmia Lake Restoration Program (2015) www.ulrp.sharif.ir

Volterra V (1926) Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically. Journal of Nature 18:558-560

Wang M (2004) Stationary patterns of strongly coupled prey–predator models. Journal of Mathematical Analysis and Applications 292(2):484-505

Wang Y, Wu H, and Wang Sh (2013) A predator–prey model characterizing negative effect of prey on its predator. Journal of Applied Mathematics and Computation 219(19):9992-9999

area; Case study: Urmia Lake, Iran. Iran-Water Resources Research 14(2):263-267 (In Persian)

Shadkam S, Ludwig F, Oel P V, Kirmir Ç, and Kabat P (2016) Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake. Journal of Great Lakes Research 42(5):942-952

Thingstad T F (2000) Elements of a theory for the mechanisms controlling abundance, diversity, and biogeochemical role of lytic bacterial viruses in aquatic systems. Journal of Limnology and Oceanography 45(6):1320–1328

Torabi Haghighi A, Fazel N, Hekmatzadeh A and Klöve B (2018) Analysis of effective environmental flow release Strategies for Lake Urmia Restoration. Journal of Water Resources Management 32(11): 3595–3609

www.SID.ir