Journal of Structural and Construction Engineering, 10(4), 2023, pp. 198-211

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Allocation and prioritization of water resources of Lake Urmia using optimal WEAP modeling

Sina Khezri[1],Hossein Ebrahimi*[2],Babak Aminnejad[3]

1- PhD student Department of Water Science and Engineering, ,Islamic Azad University Shahr-e-qods Branch,Tehran,Iran.

2. Associate Professor, Department of Water Science and EngineeringIslamic Azad University, Shahr-e-qods Branch,,Tehran,Iran.

3. Assistant Professor Of Civil Engineering Department Of Civil Engineering, Islamic Azad University, Roudehen Branch,Roudehen,Iran.

ABSTRACT

Lake Urmia is the largest lake in the country and the second salt lake in the world. Implementation of development and agriculture plans has a direct impact on the quantity and quality of water in the lake. Estimating the environmental water needs of the lake and considering it in the operation of watershed development plans, can lead to the protection of its ecological and hydrological functions To be. In the present paper, using the WEAP water resources allocation model, the response of the basin to the selection of methods for allocating the environmental needs of dams is studied. In order to achieve this goal, 2020 was first selected as the base year, then scenarios in a period of 30 years (2050-2021) were evaluated by the WEAP model. The mean square squared error (RMSE) was 0.871 and the relative error percentage was 11.66, which is an acceptable error. The average monthly volume of water entering the area in July, August, and September has decreased significantly compared to other months, and this is due to low rainfall in the hot season and evaporation in this catchment area and requires proper management and development. Development programs with the perspective of environmental protection of wetlands and especially the strategic lake of Urmia. By increasing the population, which is the main parameter in the high population growth scenario, it reduces the water consumption efficiency and thus increases the return flow compared to other scenarios.

ARTICLE INFO

Receive Date: 24 May 2022
Revise Date: 10 September 2022
Accept Date: 20 September 2022

Keywords:
Urmia Lake,
WEAP model,
water needs,
consumption,
population growth

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2022.342521.2813

*Corresponding author: Hossein Ebrahimi
Email address: ebrahim.hossein@srbiau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir
Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

تحلیل نیاز زیست‌محیطی دریاچه ارومیه در شرایط مختلف با استفاده از مدل یکپارچه ارزیابی منابع آب WEAP

سینا خضری[۱]، حسین ابراهیمی *[۲]، بابک امین نژاد[۳]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین المللی کیش،کیش، ایران.

۲- دانشیار دانشکده علوم و مهندسی آب ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس ،تهران، ایران.

۳- استادیار ،دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران.

چکیده

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه کشور و دومین دریاچه شور در دنیا محسوب می‌شود. اجرای طرح‌های توسعه مدیریتی و کشاورزی بر منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه و اکوسیستم آن تاثیر می‌گذارد؛ که نیازمند مطالعه و تحقیق می‌باشد. برآورد نیاز زیست‌محیطی دریاچه و لحاظ نمودن آن در بهره‌برداری از طرح‌های توسعه حوضه آبریز، می‌تواند منجر به حفاظت از عملکردهای اکولوژیک و هیدرولوژیک آن گردد. در مقاله حاضر از ابزار برنامه‌ریزی جامع و یکپارچه منابع آب WEAP جهت بررسی پاسخگویی به تامین نیاز زیست‌محیطی دریاچه استفاده شد. به‌منظور تحقق این هدف ابتدا در یک دوره ۱۳ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۷) شبیه‌سازی اولیه صورت گرفت، سپس در راستای هدف تحقیق در بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۵۰-۲۰۲۱) سناریوسازی شد. مدل ساخته شده با شاخص‌های آماری برازش رگرسیونی (R^2)، شاخص نش-ساتکلیف (NSE)، مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت؛ که مقادیر آن‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۹۹، ۰/۷۸ و ۰/۸۷۱مترمکعب برثانیه برآورد شد؛ که میزان خطای قابل قبولی از مدل را نشان می‌دهند. نتایج نشان داد: حجم آب متوسط ماهیانه ورودی به منطقه مدل‌سازی در ماه‌های گرم تابستان نسبت به ماه‌های دیگر کاهش چشم‌گیری داشته است، علت این امر کاهش رواناب‌های سطحی و زیرزمینی، توسعه کشاورزی و افزایش جمعیت، کاهش راندمان مصرف آب و کاهش جریانات بازگشتی کشاورزی، توسعه طرح‌های نابسامان مدیریتی، کاهش بارندگی‌ها و بالا بودن میزان تبخیر در فصول گرم می‌باشد؛ که نیازمند مدیریت صحیح و تدوین برنامه‌های توسعه‌ای استراتژیک با چشم‌انداز حفاظت از محیط زیست و علی‌الخصوص حفظ و احیاء دریاچه ارومیه می‌باشد.

کلمات کلیدی: دریاچه ارومیه، مدل WEAP، جریان زیست‌محیطی، شاخص نش- ساتکلیف.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.342521.2813	doi:
۱۴۰۱/۰۳/۰۳	۱۴۰۱/۰۶/۱۹	۱۴۰۱/۰۶/۲۹	۱۴۰۱/۰۶/۲۹	۱۴۰۲/۰۴/۳۱	10.22065/jsce.2022.342521.2813	

*نویسنده مسئول: حسین ابراهیمی

پست الکترونیکی: ebrahim.hossein@srbiau.ac.ir

۱- مقدمه

مساله آب مورد نیاز محیط زیست یا حقابه زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر اهمیت بسیار زیادی در مجامع مختلف علمی جهان پیدا کرده است، چرا که افزایش روزافزون نیاز آبی در دهه‌های اخیر و بروز خشکسالی‌ها و محدودیت منابع آب منجر به بروز مشکلات کمی و کیفی در رودخانه‌ها و تالاب‌ها و تغییر در اکوسیستم آن‌ها شده است. اهمیت این موضوع، پیش‌زمینه مطالعه درخصوص تخصیص بهینه منابع آبی را بیش از پیش فراهم ساخته است. پژوهش‌های اخیر جهانی که در راستای بررسی شرایط احیاء دریاچه‌ها صورت گرفته نشان دادند: بیشتر از ۳۵ درصد دریاچه‌های دنیا در معرض خطر نابودی و درحال خشک شدن می‌باشند. در این پژوهش تحلیل نیاز زیست‌محیطی دریاچه ارومیه در شرایط مختلف اجتماعی- اقتصادی با مدل بهینه ارزیابی منابع آب WEAP مورد بررسی قرار گرفته است؛ که دارای اهمیت فراوانی در مجامع بین‌المللی محیط زیستی است، و دیدگاه خوبی را دراختیار مدیران و تصمیم‌گیران حوزه آب جامعه ایجاد می‌کند. تاکنون تحقیقات متعددی درخصوص ارزیابی نیاز زیست‌محیطی دریاچه ارومیه انجام شده ولی اکثر آنها فقط به زیرحوضه محدود بوده و کل حوضه آبریز کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. لذا در این پژوهش با هدف توسعه مطالعات علمی کشور و در جهت ارائه راه‌کارهای مدیریتی جامعتر جهت ارزیابی نیاز زیست‌محیطی کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه با نرم‌افزار مدل‌سازی یکپارچه منابع آب WEAP پرداخته شده است.

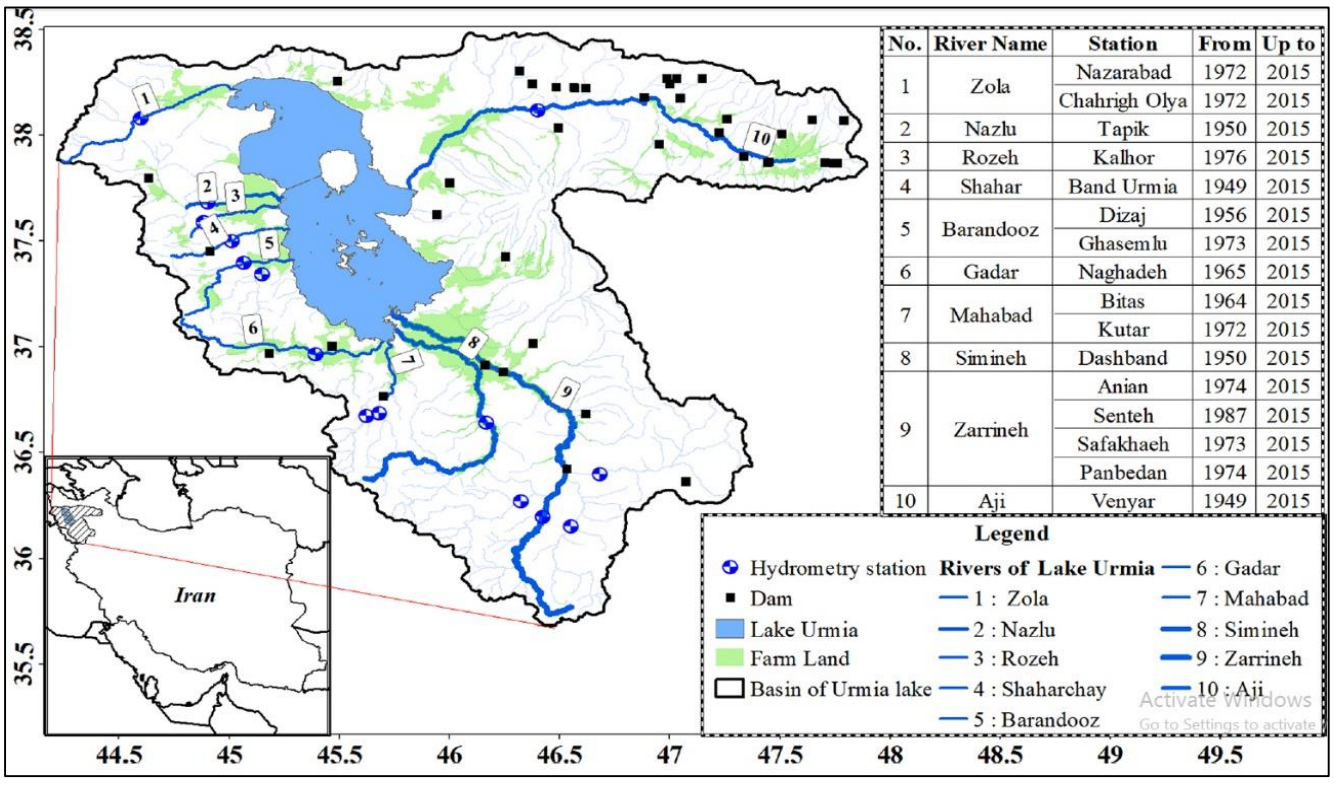
ناوین و همکاران [۱] یک مطالعه به ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه Son حوضه آبریز Ganga در هند با مدل هیدرولوژیک پرداختند. نتایج نشان داد: توسعه کشاورزی و سدسازی بشدت بر جریان زیست‌محیطی رودخانه Son حوضه آبریز Ganga تاثیر میگذارد و انجام اقدامات مدیریت در جهت افزایش آن مفید خواهد بود. مبادرثانی و همکاران [۲] با رویکرد هیدرولوژی به ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. آن‌ها نشان دادند: برای احیاء دریاچه ارومیه، سالانه معادل ۷۰/۵٪ جریان رودخانه‌ها باید به سمت دریاچه ارومیه جریان بیابد. جایانتاری و همکاران [۳] طی مطالعه‌ای به ارزیابی میزان دردسترس بودن آب در حوضه رودخانه یوندا پرداخته، و پایداری پتانسیل آبی و مدیریتی بهینه منابع آب موجود در آن حوضه را با استفاده از نرم‌افزار WEAP بررسی کردند. آنها نشان دادند؛ با وجود پتانسیل بالای آبی، در برخی فصول سال در این منطقه کمبود آب وجود دارد؛ که نیازمند مدیریت بهینه منابع آب در این حوضه است. لی و همکاران [۴] وضعیت آب در منطقه ساحلی Binhai چین را با تنظیم سه سناریو مختلف توسعه اجتماعی و شهرنشینی، تعدیل ساختار صنعتی و تغییر سیاست‌های تخصیص منابع آب بر اساس روند توسعه جمعیتی تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد؛ فشار بر منابع آبی منطقه در آینده افزایش خواهد یافت. لویت و همکاران [۵] مدیریت نیاز آبی در یک حوضه تحت استرس آبی در آفریقای جنوبی را با استفاده از نرم‌افزار WEAP مورد بررسی قرار دادند. قابل قبول بودن نتایج به‌دست آمده، سادگی استفاده از این مدل و وجوه همگام با کاربر، این نرم‌افزار را در میان سایر نرم‌افزارهای موجود برای برنامه‌ریزی منابع آب موثرتر نشان داده است. احمدآلی و همکاران [۶] اثرات استراتژی‌های مدیریت منابع آب و تغییر اقلیم را بر توسعه پایدار حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، بهترین شرایط زیست‌محیطی و کشاورزی زمانی اتفاق می‌افتد که؛ تغییر الگوی کشت در کنار بهبود بهره‌وری کشاورزی رخ دهد. البرزی و همکاران [۷] چارچوب تامین نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه را با بررسی تاثیر مشترک خشکسالی، برداشت و تامین نیازها توسعه دادند. نتایج نشان داد؛ برای تامین نیاز زیست محیطی دریاچه در دوره‌های خشکسالی حدود ۲۹۰۰ میلیون مترمکعب درسال و در دوره‌های ترسالی حدود ۵۴۰۰ میلیون مترمکعب درسال و در دوره سال نرمال ۴۱۰۰ میلیون مترمکعب درسال باید رهاسازی شود.

حبیبی و یاسی [۸] با استفاده از روش‌های مختلف اکوهیدرولوژیک به تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه دائمی گدارچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. آن‌ها نیاز یست‌محیطی رودخانه گدارچای را در دو بازه مختلف ایستگاه پل نقده و پل بهراملو و با استفاده از هشت روش هیدرواکولوژیک تعیین کردند. بر اساس نتایج حاصله، برای حفظ رودخانه گدارچای در کمینه وضعیت اکولوژیک قابل قبول کلاس مدیریت زیست محیطی (C)، به‌ترتیب شدت جریان متوسط سالیانه معادل ۳/۲۸ و ۳/۲۵ مترمکعب برثانیه، باید در دو موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری پل نقده و پل بهراملو (در کیلومترهای ۴۰ و ۱۸ از دریاچه ارومیه)، برقرار باشد. محمدپور و همکاران [۹ و ۱۰] با استفاده از نرم افزار WEAP به بررسی اثرات هیدرولوژیک توسعه آبیاری تحتفشار در حوضه آبریز اهرچای پرداختند و نشان دادند

مدل WEAP قابلیت بالایی برای شبیه‌سازی اثرات مختلف بر منابع یک حوضه آبریز دارد. آن‌ها همچنین نشان دادند؛ توسعه آبیاری تحت فشار اثرات منفی بر منابع آب حوضه دارد. فرهمند و باقری [۱۱] نیاز آبی تالاب مهارلو را با استفاده از مدل تخصیص منابع آب WEAP تعیین کردند. نتایج حاکی از آن بود که تامین نیازهای غیرمصرفی می‌بایست در دستور کار مدیران محلی قرار گیرد. بروجنی و همکاران [۱۲] با استفاده از مدل WEAP اقدام به برآورد توان انتقال طرح کوهرنگ ۳ نمودند. آن‌ها با در نظر گرفتن مشخصات فنی و هیدرولیکی طرح و نیز اطلاعات هیدرولوژیکی اقلیمی منطقه ، سیستم حوضه رودخانه کوهرنگ را شبیه‌سازی و میزان جریان انتقالی این طرح را برآورد و ارزیابی کردند. براساس نتایج حاصله با احداث یک سد مخزنی به حجم ۳۶۵ میلیون مترمکعب و رهاسازی نیاز زیست‌محیطی رودخانه پایین دست، میزان آب انتقالی توسط تونل سوم کوهرنگ در شرایط ترسالی و با مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی ذکر شده برابر ۲۴۷/۹ میلیون مترمکعب و در کمترین حالت برابر ۹۳/۲ میلیون مترمکعب درسال می‌باشد.

۳- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعتی بیش از ۵۰ هزار کیلومترمربع مابین سه استان آذربایجان غربی، شرقی و کردستان مشترک است، و منابع آبی این حوضه نیز در این سه استان قرار دارد (شکل ۱). بسته بودن حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، وسعت آن، اشتراک این حوضه بین سه استان مختلف و وجود زیرساخت‌های توسعه‌ای به ویژه اراضی حاصلخیز در آن باعث شده است؛ منابع آب این حوضه به‌صورت فزاینده‌ای برای فعالیت‌های مختلف توسعه‌ای در این استان‌ها و بهره‌برداری بیشتر از منابع آب آن و افت سطح آب دریاچه ارومیه شود. در این حوضه آبریز، تعداد ۱۱ زیرحوضه قرار دارند؛ که پایانه رودخانه‌های آن‌ها به دریاچه ارومیه منتهی می‌گردند. مهم‌ترین رودخانه‌های آن عبارتند از: زرینه رود، سیمینه رود، مهابادچای، گدارچای، باراندوزچای، شهرچای، روضه‌چای، نازلوچای، زولاچای، تسوج‌چای، آجی‌چای و صوفی‌چای. متوسط تبخیر سالانه در ارتفاعات و دشت این محدوده مطالعاتی به‌ترتیب ۱۴۰۸/۰ و ۱۴۲۰/۰ میلی‌متر و متوسط تبخیر از سطح آزاد آب در کوه و دشت آن معادل ۱۰۰۱/۳ و ۱۰۴۹/۴ میلی‌متر و متوسط بارش سالانه حوضه در بلندمدت ۳۵۴ میلی‌متر است.



No.	River Name	Station	From	Up to
1	Zola	Nazarabad	1972	2015
		Chahrigh Olya	1972	2015
2	Nazlu	Tapik	1950	2015
3	Rozeh	Kalhor	1976	2015
4	Shahar	Band Urmia	1949	2015
5	Barandooz	Dizaj	1956	2015
		Ghasemlu	1973	2015
6	Gadar	Naghadeh	1965	2015
7	Mahabad	Bitas	1964	2015
		Kutar	1972	2015
8	Simineh	Dashband	1950	2015
9	Zarrineh	Anian	1974	2015
		Senteh	1987	2015
		Safakhaeh	1973	2015
		Panbedan	1974	2015
10	Aji	Venyar	1949	2015

شکل۱: حوضه دریاچه ارومیه و رودخانه‌های آن برگفته ار مبادرثانی و همکاران (۲۰۲۲)

۴- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۱۳ ساله از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۲ (۹ سال برای واسنجی و ۴ سال برای اعتبارسنجی) استفاده شد که؛ میانگین ماهانه جریان در ایستگاه‌های مذکور مبنای آنالیز و محاسبات قرار گرفت؛ که بین صفر تا ۵۰ مترمکعب برثانیه متغیر هستند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول (۱) آورده شده است. به‌منظور تحلیل آماری، از مقادیر میانگین و جذر میانگین مربعات خطا به ازای دبی ایستگاه هیدرومتری داشبند که داده‌های بیشتری از آن در دسترس بود، استفاده گردید. چرا که میانگین، تخمینی از متغیر است که احتمال وقوع آن در آینده بیشتر از هر مقدار دیگر می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا نیز نشان‌دهندهٔ چگونگی تغییرات یا پراکندگی داده‌ها در اطراف میانگین می‌باشد. با کمک این پارامترها می‌توان به نحوهٔ پراکنش داده‌ها پی‌برده و انحراف سری ماهانه و سالانه آبدهی در محل ایستگاه هیدرومتری را محاسبه و نتایج را مقایسه نمود.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های حوضه

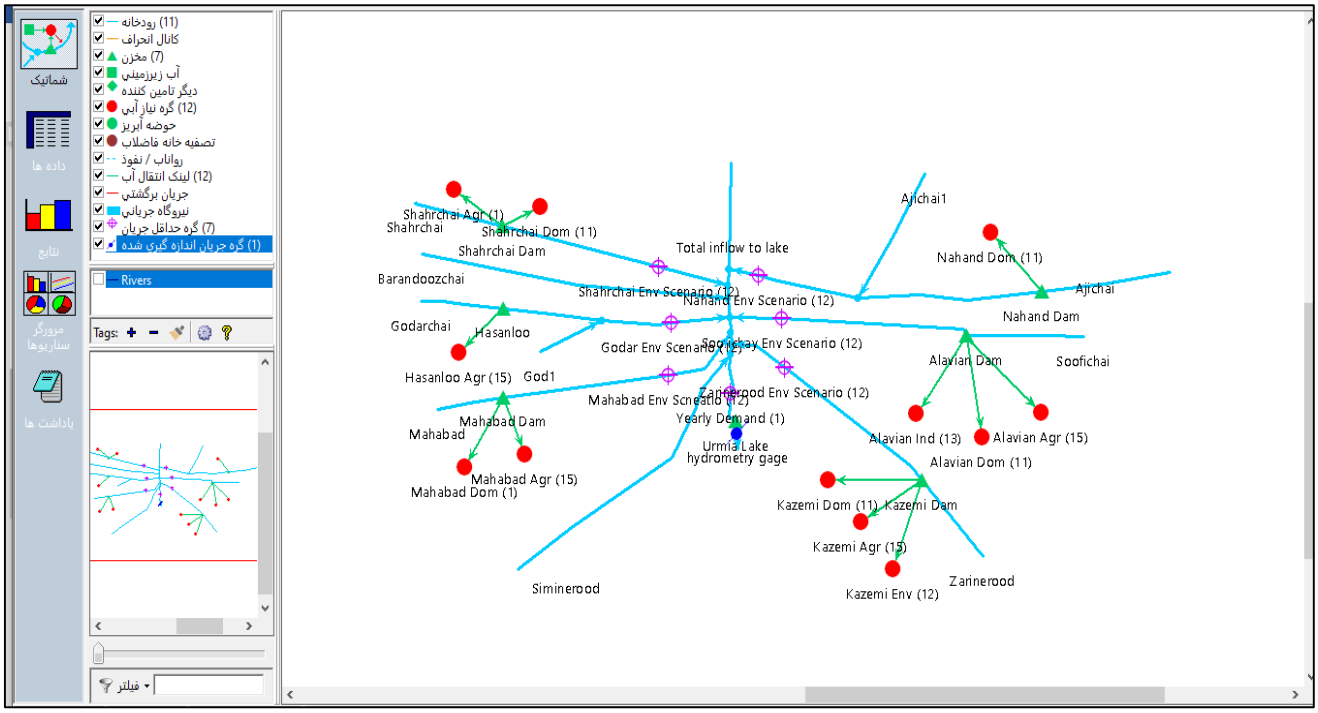
رودخانه	نام ایستگاه	کد ایستگاه	ارتفاع ایستگاه	مختصات جغرافیایی	
				طول	عرض
سیمینه رود	داشبند	33-035	1350	00-46-10	00-36-39
صوفیان چای	تازه کند	33-039	1295	00-46-02	00-36-59
مهاباد چای	کوتر	34-003	1280	00-45-37	00-36-42
گادار چای	پل بهراملو	34-021	1320	00-45-39	00-36-54
باراندوز چای	بابارود	35-007	1297	00-45-14	00-37-24
شهر چای	بند ارومیه	35-011	1411	00-45-01	00-37-30
زولا چای	یالقوز آغاج	36-011	1307	00-44-56	00-38-14

۵- روش تحقیق

۵-۱- مدل‌سازی با نرم‌افزار WEAP

WEAP یک ابزار مدل‌سازی است؛ که توسط موسسه محیط زیست استکهلم (SEI[1]) جهت ارزیابی یکپارچه‌ی حوضه آبریز در بحث‌های تخصیص، مدیریت و محیط زیست و کیفیت منابع آبی توسعه پیدا کرده است. مدل WEAP از یک روش برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل آب در گام‌های زمانی مختلف براساس معادله تعادل جرمی آب استفاده می‌کند؛ که تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تأمین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر قیود می‌باشد (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، Yates و همکاران، a,b2005) [۹، ۱۰، ۱۳ و ۱۴]. بخش‌های مختلف یک حوضه آبریز از جمله بخش تقاضای شرب و کشاورزی، آبخوان، نیاز زیست محیطی، ایستگاه‌های آب سنجی شبکه انتقال آب از منابع عرضه آب به بخش‌های مورد تقاضا، شبکه برگشت آب، رودخانه، تعامل بین رودخانه و آبخوان زیرزمینی در مدل‌سازی لحاظ می‌شود. شکل (۲) اجزای مختلف مدل را به‌صورت شماتیک در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

[1] Stockholm Environment Institute



شکل ۲: شماتیک پیکربندی سیستم منابع- مصارف منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار WEAP

در مدل شبیه‌سازی شده حوضه آبریز، مقادیر نیازهای آبی در محل‌های تقاضا در سطح حوضه و به تفکیک نیازهای زیست محیطی، کشاورزی و شهری سه استان آذربایجان‌غربی، شرقی و کردستان مدل‌سازی و با اجرای مدل پایه و سناریوهای افزایش جمعیت و ادامه وضعیت موجود، براساس میزان پتانسیل منابع آب تولیدی که از طریق مدل‌های تخصیص به گره‌های مختلف و یا همان مصارف آبی در سطح حوضه آبریز به تعیین نیاز زیست محیطی دریاچه طی ۳۰ سال آینده پرداخته شد. مطالعه حاضر در دوره ۱۳ ساله (۱۹۹۹-۲۰۲۰) شبیه‌سازی اولیه صورت گرفته و سپس دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۵۰ برای انجام سنارسازی‌ها انتخاب گردید.

۲-۵- واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی عبارت است از: تغییر دادن برخی از پارامترهای ثابت مدل به‌طوری که با تغییر این پارامترها، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های واقعی انطباق کامل نماید. همچنین تعیین اعتبار مدل واسنجی شده جهت ارائه پیش‌بینی قابل قبول از سیستم واقعی به‌عنوان اعتبارسنجی تعریف می‌شود (محمدپور و همکاران ۱۳۹۶) [۹]. واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های هیدرولوژیک در این سطح، توسط مشاهدات انجام می‌شود. در همین راستا واسنجی و اعتبارسنجی در این حوضه با مقایسه مقادیر مشاهداتی دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری داشبند با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار انجام شده است.

جهت ارزیابی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده می‌شود؛ که در تحقیق حاضر از روش‌های RMSE، R^2 و NSE استفاده شد. ضریب نش- ساتکلیف اختلاف نسبی مشاهدات و شبیه‌سازی‌ها را نشان می‌دهد، و مقدار این شاخص از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر است. شاخص RMSE[۲] یکی از شاخص‌های اصلی نیکویی برازش است. اگر این شاخص بین ۰/۱ و ۰/۵ باشد برازش مدل خوب است. روابط شاخص NSE و ضریب RMSE به‌ترتیب در معادلات ۱ و ۲ آمده است (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۵) [۹].

2- Root Mean Square Error

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Q_i^{obs} - Q_i^{sim} \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(Q_i^{obs} - Q_{obs}^{mean} \right)^2} \right] \quad (۱)$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(Q_i^{obs} - Q_i^{sim} \right)^2}{N}} \quad (۲)$$

در روابط فوق Q_i^{obs}: مقدار دبی مشاهداتی برای دوره i ام، Q_{obs}^{mean}: میانگین دبی‌های مشاهداتی برای کل دوره، Q_i^{sim}: مقدار دبی شبیه-سازی شده برای دوره iام، Q_{sim}^{mean}: میانگین دبی‌های شبیه‌سازی شده برای کل دوره و n: تعداد کل داده‌ها می‌باشد [۹].

۶-تدوین سناریوها

۶-۱-سناریوی پایه یا رفرنس

سناریوی پایه اولین سناریوی مدل‌سازی شده در نرم افزار WEAP می‌باشد. این سناریو براساس داده‌های سال پایه شبیه‌سازی شده، و اطلاعات آن به‌عنوان اطلاعات پایه برای سناریوهای ارائه شده در مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. در این سناریو تمام نیازها و تقاضاهای آبی تعریف شده در حوضه دریاچه ارومیه با توجه به وضعیت کنونی (سال پایه) مدل‌سازی شده‌اند.

۶-۲-سناریوی رشد جمعیت (high population) به‌همراه افزایش سطح کشاورزی

سناریوی رشد جمعیت که پارامتر تعداد جمعیت را با تغییرات محسوس با ضریب رشد ۵ درصدی اعمال کرده، و روند تغییرات رشد در بخش کشاورزی را با شیب بسیار ملایمی مدل‌سازی کرده است. در این سناریو پتانسیل اراضی در بخش کشاورزی با حفظ مقادیر سطح زیرکشت خود در سناریوهای قبلی در استان‌های آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی و کردستان ۶۰۰، ۵۶۵ و ۲۸۹ هزار هکتار اعمال شده، و مقدار آب مصرفی این بخش از ۹۷۵۰ به ۹۰۰۰ مترمکعب به ازای هر هکتار در سال و با همان ضریب مصرف ۷۰ درصدی رسیده، که تغییر چندانی محسوب نمی‌شود.

۶-۳-سناریوی ادامه وضع موجود (Homogeneous conditions) با رشد ۱/۵ رصد جمعیت

سناریوی ادامه وضع موجود که سناریوی خوشبینانه‌تری نسبت به سایر سناریوها می‌باشد، رشد و زوال تقاضا و نیازهای آبی را بصورت همگون با یکدیگر متصور شده، و داده‌های شبیه سازی اولیه در دوره رفرنس را به‌صورت همگون به دوره مطالعاتی آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تسری داده و نتایج را ارائه داده است. در این سناریو نیز تقاضا و نیازهای آبی و همچنین منابع تامین همانند موارد ارائه شده در بخش‌های قبل می‌باشد. نیاز زیست محیطی به‌عنوان مهم‌ترین نیاز آبی منطقه در نظر گرفته شده، و جمعیت هر سه استان با ضریب رشد ۱,۵ درصدی در مدل تعریف شده است.

۶-۴-سناریوی رشد اقتصادی (Industry progressive)

سناریویی که در آن پیشرفت صنعت را بسیار ملموس در نظر گرفته و در کنار آن روند تغییرات جمعیت و بخش کشاورزی را تقریبا ثابت می داند (سناریو رشد اقتصادی و توسعه پایدار با چشم انداز رو به آینده هیدروپلتیک در نظر گرفته شده است و در تصمیم گیری کوتاه مدت عملا بی‌تاثیر خواهد بود، و دو سناریو ادامه وضع موجود و رشد جمعیت مبنای تصمیم‌گیری کلان خواهد بود). در این سناریو پیشرفت صنعت به‌صورت خطی افزایش یافته، و در سال آخر (۲۰۵۰) با ضریب مصرف ۹۰ درصدی به ۶ میلیون مترمکعب (واحدهای فعال در سال‌های اخیر) رسیده است. فرض بر آنست که؛ تمام واحدهای صنعتی (فعال و غیرفعال در وضعیت کنونی) فعالیت خود را آغاز کرده، و در رشد اقتصادی سهیم باشند. در این سناریو فرض شده است؛ تعداد جمعیت شهری در طی دوره آتی تغییر چندانی نداشته، و الگوی مصرف شهروندان همان ۶۶ مترمکعب در سال به ازای هر نفر باشد. همچنین در بخش کشاورزی هر سه حوضه کشاورزی ارومیه به لحاظ سطح زیرکشت به‌ترتیب همان مقادیر ۶۰۰، ۵۶۵ و ۲۸۹ هزار هکتار و مقدار متوسط آب مصرفی ماهیانه ۹۷۵۰ مترمکعب به ازای هر هکتار را دارا

می‌باشند.

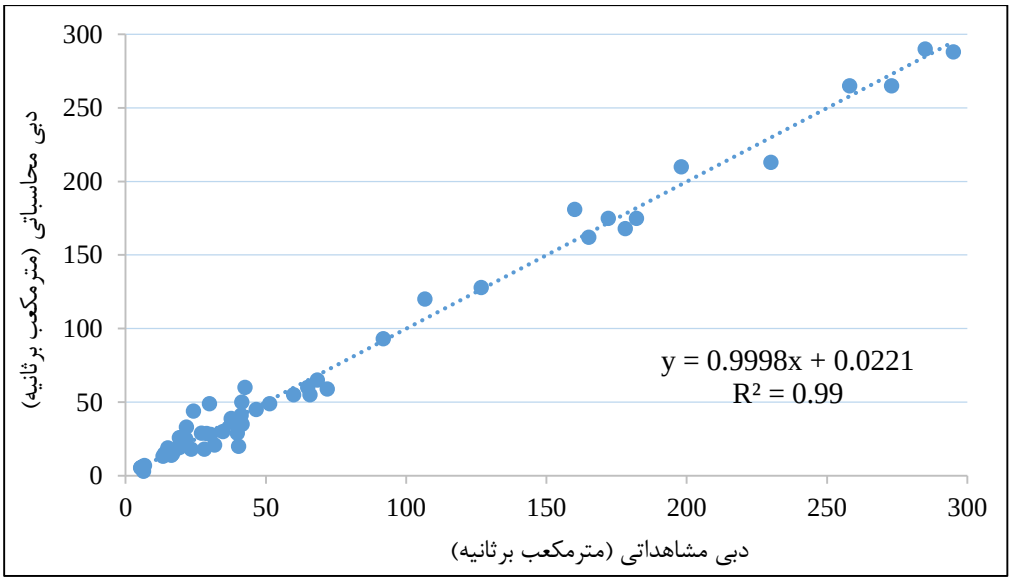
۶-۵-سناریوی اقدامات مدیریتی در جهت توسعه پایدار (RCP6)

در این سناریو نیز فرض شده است، کلیه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضای آب برای توسعه پایدار به انجام برسد. به‌عبارت دیگر، رشد جمعیت و اقتصاد با شیب متوسطی اتفاق افتاده، و برای پایداری اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی بر راه‌حل‌های محلی تاکید دارد. ضریب رشد جمعیت در این سناریو ۳ درصد فرض شده است. همانند سایر سناریوها نیاز آبی سالیانه به ازای هر نفر ثابت در نظر گرفته شده، و تاثیر تغییرات مصرف آب در تعداد جمعیت لحاظ شده است. همچنین در این سناریو چنین فرض شده است؛ مقدار آب مصرفی در واحدهای صنعتی از ۴ میلیون مترمکعب درسال پایه با شیب متوسط به ۵ میلیون مترمکعب درسال ۲۰۵۰ برسد. چرا که طبق این سناریو رشد اقتصاد به حد ایده‌ال نبوده، و تنها تعداد محدودی از واحدهای صنعتی غیرفعال کنونی به مرور تا سال آخر دوره مورد بررسی این مطالعه امکان بازگشایی دارند. لازم به‌ذکر است، ضریب مصرف در این بخش همان ۹۰ درصد انتخاب شده، که این عدد با توجه به بازگشایی تعداد محدودی از واحدهای صنعتی غیرفعال کنونی عدد قابل قبولی می‌باشد. در بخش کشاورزی هر سه استان استان فرض شد؛ در هر سه حوضه کشاورزی مقدار سطح زیرکشت ثابت بوده، اما الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی با روش‌هایی نظیر اجرای کامل سیستم‌های آبیاری تحت فشار برای رساندن راندمان کشاورزی به‌حداکثر میزان ممکن، اصلاح الگوی کشت در منطقه، استفاده از افراد متخصص و به‌روز در حوضه کشاورزی و ... مقدار آب مصرفی به ازای هر هکتار زمین کشاورزی در تمامی حوضه‌ها به ۵۰ درصد مقدار آب مصرفی در سال پایه به ازای هر هکتار کاهش یابد.

۷- نتایج و بحث

۷-۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل

برازش رگرسیون خطی در مرحله واسنجی تطابق خوبی میان دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل در ایستگاه داشبند با ضریب همبستگی ۰/۹۹ نشان داد (شکل ۳). در دوره اعتبارسنجی نیز مشاهده شد؛ انطباق بین نتایج و مشاهدات در حد مطلوبی قرار دارد، بطوری‌که شاخص نش-ساتکلیف (NSE) برابر ۰/۷۸ و شاخص مجذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۰/۸۷۱ مترمکعب برثانیه بدست آمد؛ که میزان خطای قابل قبولی از مدل را بیان می‌کنند. جدول (۲) مقادیر شاخص‌های آماری را در هر دو دوره بطور کامل نشان می‌دهد.



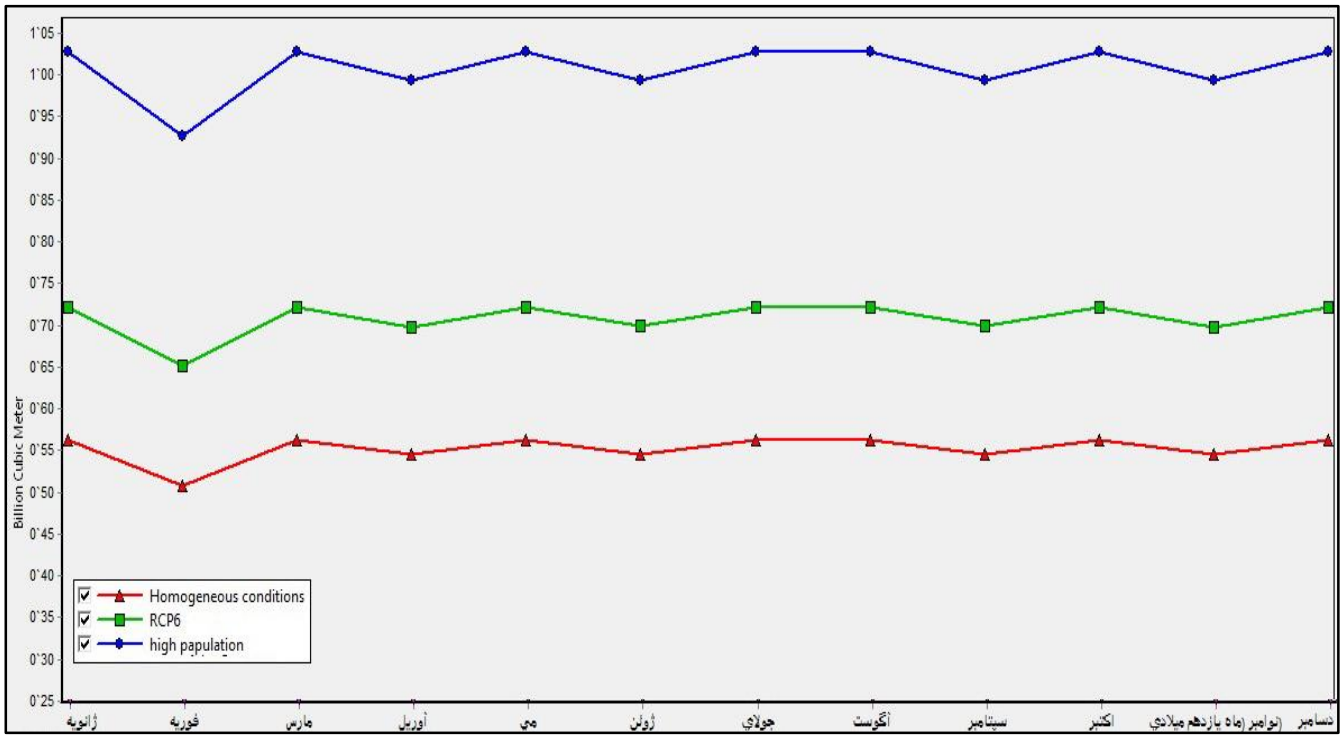
شکل۳: مقایسه دبی شبیه‌سازی شده با دبی اندازه‌گیری شده در دوره واسنجی

جدول ۲: مقادیر شاخص‌های ارزیابی نتایج مدل برای دوره‌های واسنجی (۹ سال) و اعتبارسنجی (۴ سال).

دوره مدل	واسنجی			اعتبارسنجی		
شاخص آماری	R^2 (-)	RMSE (m^3/s)	NSE (-)	R^2 (-)	RMSE (m^3/s)	NSE (-)
	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۸۶	۰/۷۸

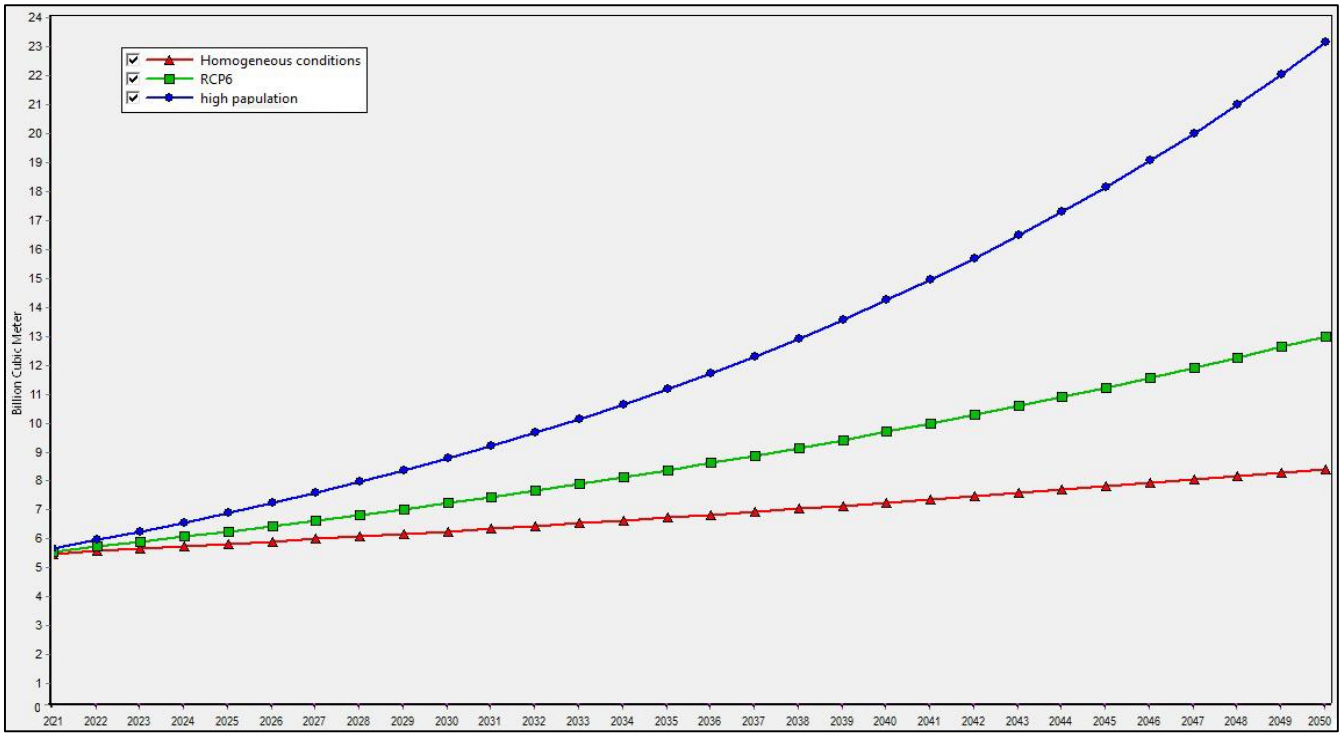
۲-۷- نتایج شبیه‌سازی و سناریوسازی مدل

میزان میانگین ماهانه نیاز آبی دریاچه در نمودار شکل (۵) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد؛ بیشترین نیاز دریاچه به‌دلیل پیک بالای نیاز آبی در تابستان در ماه‌های شهریور و مهر خواهد بود، و در مقابل در فصل زمستان و بهار بدلیل وجود بارش و تبخیر کم کمترین نیاز آبی را خواهد داشت.



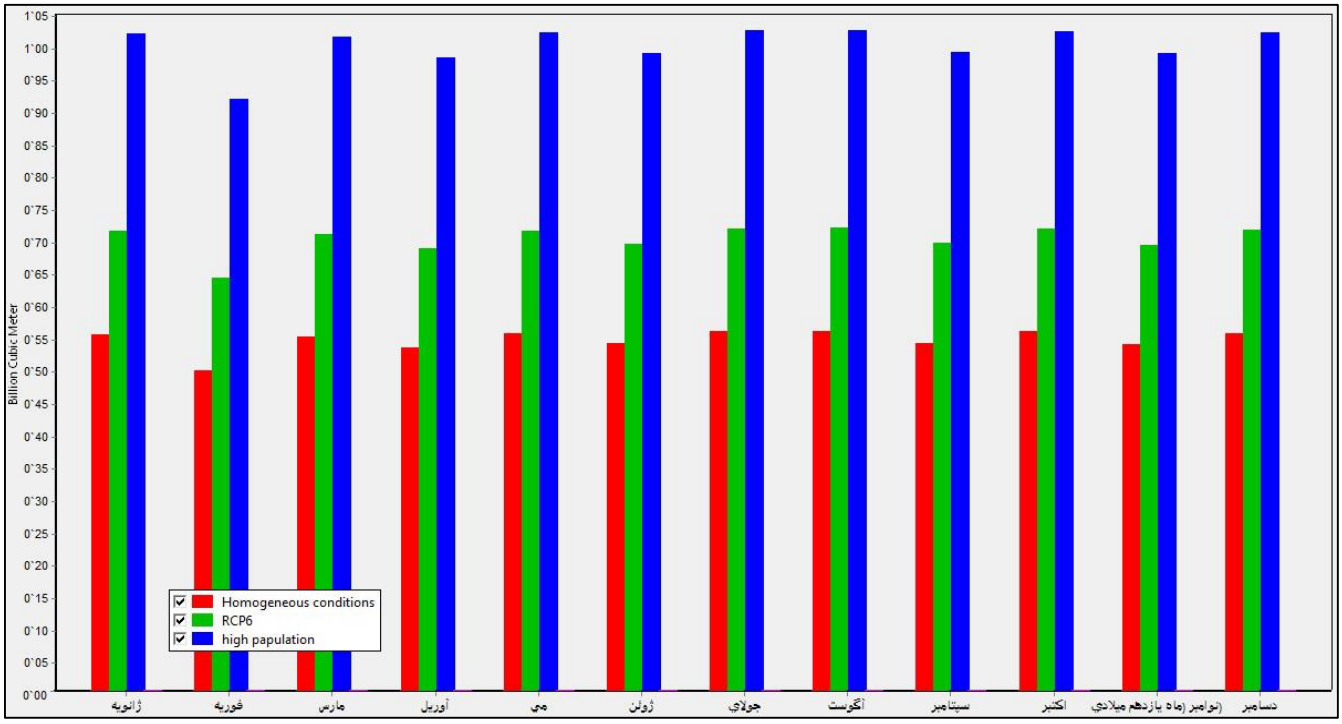
شکل ۵: متوسط ماهیانه آب مورد نیاز از منابع با در نظر گرفتن تلفات

همچنین میانگین سالانه آب تحویل داده شده از منابع به دریاچه در طول دوره مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطورکه در خصوص نیاز آبی دریاچه در بالا توضیح داده شد، بیشترین تامین آب مربوط به اواخر تابستان و اوایل پاییز می‌باشد؛ که در ماه شهریور و مهر بیشترین تامین آب حدودا ۳۱۰۰ میلیون مترمکعب بوده است.



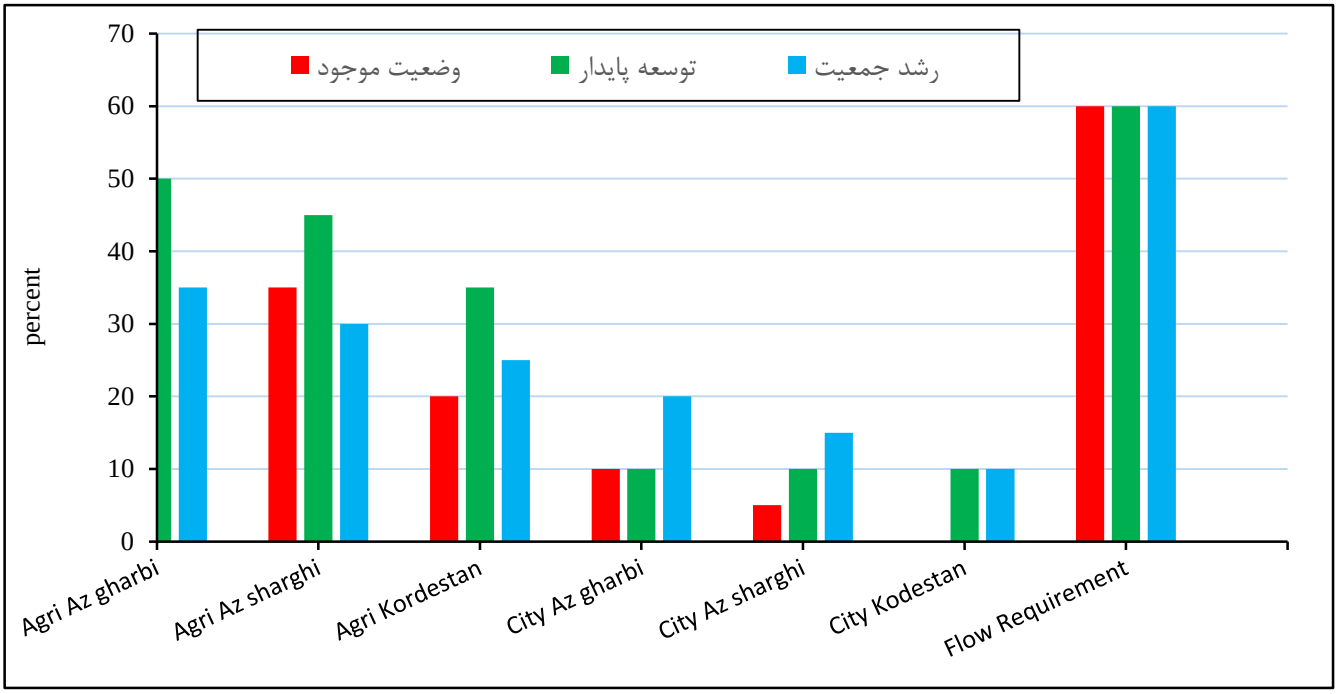
شکل ۶: متوسط سالیانه آب مورد نیاز از منابع با در نظر گرفتن تلفات

در مقابل با توجه به نیاز آبی دریاچه در اواخر تابستان و اوایل پاییز براساس شکل (۷) مشاهده می‌گردد؛ در ماه‌های مهر و آبان (اواخر سپتامبر تا نوامبر) بیشترین نیاز تامین نشده آبی دریاچه بصورت میانگین در این ماه‌ها بوده است.



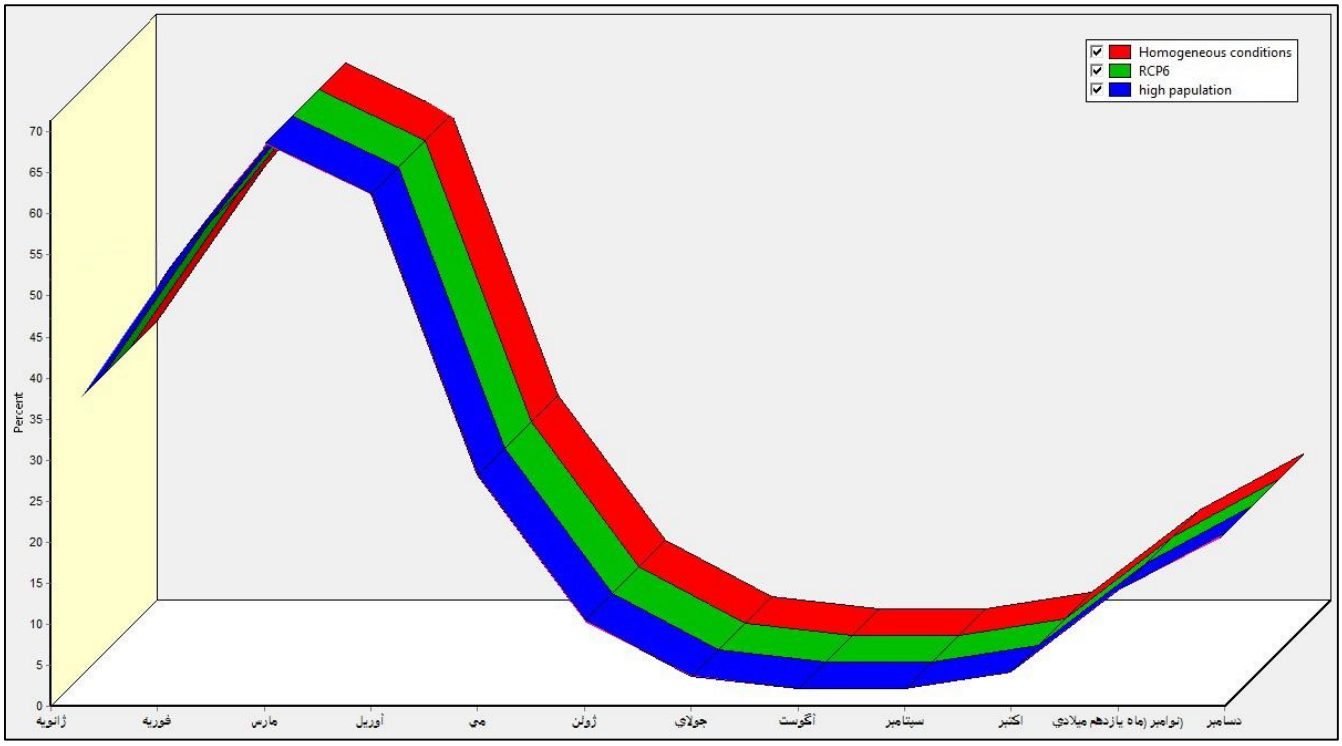
شکل ۷: متوسط نیاز تامین نشده ماهیانه بر حسب بیلیون مترمکعب

قابلیت اطمینان به معنای اطمینان به تامین نیاز آبی هر تقاضا از منابع تامین آب با توجه به سناریوهای تدوین شده می‌باشد؛ که یکی از مهمترین خروجی‌های نرم‌افزار مدیریتی WEAP در مباحث مدیریتی و تخصیص منابع آبی می‌باشد. همانطورکه در شکل (۸) مشاهده می‌شود؛ قابلیت اطمینان نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه به لحاظ تامین شوندگی در انتهای دوره در تمامی سناریوها ۶۰ درصد می‌باشد. درخصوص درصد تامین آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی و شهری در هر سه استان در حوضه آبریز حوضه ارومیه ملاحظه می‌شود؛ بیشترین قابلیت اطمینان مربوط به سناریوی توسعه پایدار می باشد. بدیلیل اینکه اقدامات مدیریتی عرضه و تقاضای آب برای توسعه پایدار انجام شده و از توسعه سطوح زیرکشت کشاورزی ممانعت شده، و فقط الگوی مصرف کشاورزی اصلاح شده است. همچنین در بخش شهری ملاحظه گردید؛ که کمترین قابلیت اطمینان مربوط به سناریوی رشد جمعیت میباشد؛ چرا که رشد جمعیت تاثیر مستقیمی بر روی این نیاز آبی داشته است، و به طور کلی ملاحظه می‌گردد؛ قابلیت اطمینان بخش شهری کمتر از بخش کشاورزی در هر سه استان در تمام سناریوهاست.



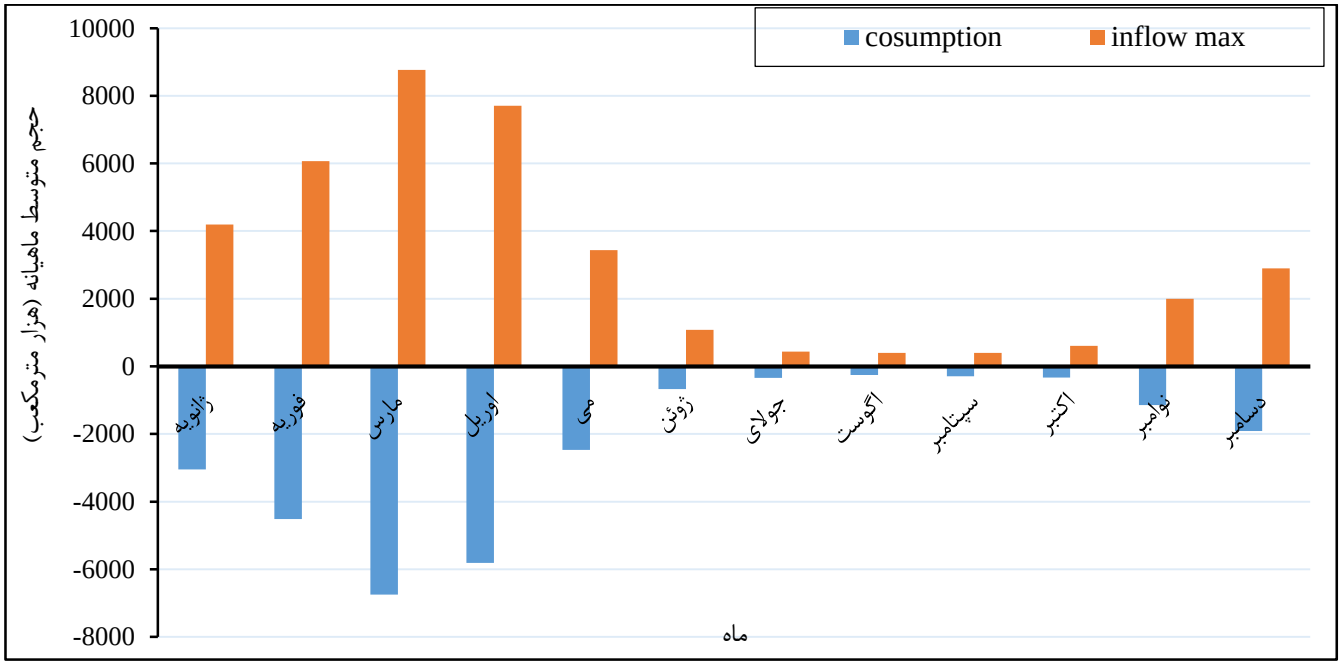
شکل ۸: قابلیت اطمینان برای هر تقاضا بر حسب درصد

همچنین درصد تامین نیاز زیست محیطی در حالت سه بعدی خروجی از نرم‌افزار بصورت متوسط ماهیانه جریان در شکل (۹) قابل ملاحظه است؛ که نشان دهنده تغییرات ماهیانه درصد تامین این نیاز در ماه‌های مختلف سال است، که در ماه فروردین (اواخر مارس و اوایل) بالاترین میزان و در اواخر فصل تابستان (ماه‌های آگوست و سپتامبر) بدلیل عدم وجود بارش و بالا بودن تبخیر در منطقه در پایین سطح خود قرار دارد. همچنین نشان دهنده میزان میانگین جریان‌های ورودی به دریاچه نیز می‌باشد. که کمترین میزان ورودی جریان مطابق انتظار از اوسط تابستان تا اوایل پاییز خواهد بود و بخصوص در ماه شهریور، زمانی که میزان مصرف آب به اوج مقدار خود می‌رسد.



شکل ۹: درصد تامین نیاز زیست‌محیطی در حالت سه بعدی بصورت متوسط ماهیانه

شکل (۱۰) بیلان متوسط ماهیانه حجم جریان ورودی به دریاچه و جریان مصرفی در این حوضه را به‌صورت کاملا تحلیلی نشان می‌دهد. تحلیل این نمودار حاکی از آنست که؛ متوسط جریان ورودی به حوضه دریاچه در ماه مارس (اواخر اسفند و اوایل فروردین) بیشترین مقدار حدود ۹ میلیون مترمکعب و در ماه‌های گرم در فصل تابستان (ماه‌های جولای، اگوست، و سپتامبر) کمترین میزان خود را دارد که با توجه به کاهش چشمگیر میزان بارش و بالا بودن تبخیر و در نتیجه کاهش آورد رودخانه‌های منتهی به دریاچه در این ماه‌هاست.



شکل ۱۰: بیلان متوسط ماهیانه جریان ورودی و خروجی دریاچه

۸- نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق به‌منظور بررسی تاثیر عوامل مختلف بر تامین نیاز آبی دریاچه ارومیه، ابتدا شماتیک کار مشخص و منابع تامین و نیازها و تقاضاهای آبی بخش‌های مختلف حوضه تعیین گردید. سپس براساس اطلاعات موجود، مدل منطقه در وضعیت کنونی برای دوره ۱۳ ساله مدل‌سازی (سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۲) و در ادامه براساس سناریوهای مختلف (بازه‌ای زمانی ۳۰ ساله)، شرایط و پارامترهای موثر در تامین آب منطقه در مدل حوضه دریاچه ارومیه اعمال و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد: سناریوی رشد اقتصادی خوش‌بینانه‌ترین سناریو و سناریوی رشد جمعیت بدبینانه‌ترین سناریو بوده، سناریوی ادامه وضع موجود سناریوی میانه متمایل به خوش بینانه و سناریوی توسعه پایدار سناریوی متمایل به بدبینانه می‌باشد. بطوری‌که، قابلیت اطمینان تامین شوندگی آب در تمامی سناریوها در انتهای دوره نزدیک به صفر می‌باشد. این موضوع نشانگر وقوع شرایط خشکی احتمالی آتی با در نظرگیری سناریوهای ذکرشده در این مطالعه، در پایان دوره ۳۰ ساله می‌باشد. همچنین اطمینان‌پذیری تامین آب بخش شهری کمتر از بخش کشاورزی در هر سه استان بود؛ که افزایش جمعیت باعث کاهش راندمان مصرف آب به‌همراه افزایش میزان آب مصرفی می‌شود.

همچنین ملاحظه شد: متوسط ماهیانه حجم آب ورودی به دریاچه در ماه‌های گرم تابستان نسبت به ماه‌های دیگر کاهش چشمگیری داشته، و این به‌دلیل بارش‌های کم در فصل گرم سال و تبخیر بالا در این ماه‌ها می‌باشد. علاوه بر کاهش میزان بارش و افزایش دما و به تبع افزایش دما، افزایش تبخیر در این ماه‌ها، میزان برداشت از حقآبه دریاچه، نیز به واسطه فعالیت واحدهای صنعتی و کشاورزی در فصل تابستان افزایش یافته، و این موضوع هم در به مخاطره بودن محیط زیست و اکوسیستم این حوضه آبریز مزید بر علت بوده، و نیازمند مدیریت صحیح و تدوین برنامه‌های توسعه‌ای با چشم‌انداز حفظ محیط زیست تالابی و علی‌الخصوص دریاچه ارومیه می‌باشد. چنانچه از نتایج شبیه‌سازی حوضه برای بررسی تامین نیازهای زیست‌محیطی و مدیریت عرضه و تقاضا در این حوضه آبریز مشاهده می‌شود: تامین نیازهای غیرمصرفی می‌بایست، در دستور کار دولت قرار گرفته، و حقآبه هر یک از منابع تامین آب شناسایی و به‌طور دقیق اعمال شود. نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعه مبادرثانی و همکاران (۲۰۲۲)، احمدآلی و همکاران (۲۰۱۸)؛ البرزی و همکاران (۲۰۱۸) و حبیبی و یاسی (۱۳۹۸) در راستای احیائ دریاچه ارومیه و تامین نیاز زیست محیطی آن توسط جریان رودخانه‌ای حوضه و اعمال سناریوهای مدیریتی در آن تطابق کامل دارد.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد: انجام مطالعات و اجرای طرح‌های بهینه‌سازی مصرف آب با هدف درآمد بیشتری برای منطقه، تفکیک آب شرب از سایر مصارف اب شهری در منطقه به‌منظور اختصاص دادن بخشی از فاضلاب تصفیه شده با کیفیت پایین به سایر مصارف شهری، ایجاد و استفاده از فعالیت‌های نوین در بخش کشاورزی به‌منظور استفاده‌ی بهینه از منابع آب منطقه مدنظر مدیران و تصمیم‌سازان کشور در اتخاذ تصمیمات مهم منطقه‌ای قرار بگیرد.

مراجع

1. Naveen, J., Preetha, P.P., Balaji N. (2022). Assessment of environmental flow requirements using a coupled surface water-groundwater model and a flow health tool: A case study of Son river in the Ganga basin, Ecological Indicators, 121, 2-13. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107110.
2. Mobadersani, A., Hosseinzadeh Dalir, A., Yasi, M. (2022). New integrated hydrologic approach for the assessment of rivers environmental flows into the Urmia Lake. *Sci Rep* **12**, 8110. https://doi.org/10.1038/s41598-022-10262-4.
3. Jayantari, M W. Wardoyo, W. Maulana, M A. (2019). Satellite data use in the WEAP Model as an evaluation of Water Availability in Unda River Basin. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 389, Geomatics International Conference 2019 21–22 August 2019, Surabaya, Indonesia.
4. Li, X. Zhao, Y. Shi, Ch. Sha, J. (2015). strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. Ocean & Coastal Management, Volume 106, March 2015, Pages 97-109. doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.01.016
5. Lévite, H., Sally, H., & Cour, J. (2003, October). Water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa. In *Proc. 3rd WARFSA/WaterNet Symp* (pp. 15-17).
6. Ahmadaali, J., Barani, G. A., Qaderi, K., & Hessari, B. (2018). Analysis of the effects of water management strategies and climate change on the environmental and agricultural sustainability of Urmia Lake Basin, Iran. *Water*, *10*(2), 160.
7. Alborzi, A., Mirchi, A., Moftakhari, H., Mallakpour, I., Alian, S., Nazemi, A., AghaKouchak, A. (2018). Climate-informed environmental inflows to revive a drying lake facing meteorological and anthropogenic droughts. *EnvironmentalResearch Letters*, *13*(8), p. 1-13. doi:10.1088/1748-9326/aad246

8. Habibi Alagoz, Saeed and Yasi, Mehdi, 1398, "Determining the share of environmental flow of Lake Urmia from the Godarchay River using eco-hydrological methods", Department of Irrigation and Development Engineering, Karaj Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.
9. Mohammadpour, M., Zeinalzadeh K., Rezaverdinejad V., Hessari B. (2016). WEAP Model Calibration and Validation in Simulating the Impact of Irrigation Systems Change On the Ahar-Chai Basin Hydrological Response, IRANIAN JOURNAL OF ECOHYDROLOGY, 3(3): 477-490.
10. Mohammadpour, M., Zeinalzadeh, K., Rezaverdinajad, V., Hessari, B. (2017). Assessment of the Basin Hydrological Responses to Development of Pressurized Irrigation Systems (Case study: The Ahar-chai basin). Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 11(4), 626-635.
11. Farahmand, Alireza and Bagheri, Meysam, 2012, Determining the water requirement of Maharloo wetland using WEAP water resources allocation model, Second Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, https://civilica.com/doc/147766.
12. Borujeni, S.H.A. Rahnama, M. Goghari, Sh.K. (1391). "Evaluation and simulation of Koohrang 3 inter-basin water transfer plan using WEAP software". Third National Conference on Comprehensive Management of Water Resource,1-5.
13. Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A., WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 1: Model characteristics. Water International, 2005a; 30(4), 487-500.
14. Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A. and Galbraith, H., WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 2: Aiding freshwater ecosystem service evaluation. Water International, 2005b; 30(4), 501-512.