



## Regulation of the Dam Rule Curve Based on Conception of Environmental Flow (Case Study: Selected Inflow Rivers to Lake Urmia)

M. Soudi<sup>1</sup>, H. Ahmadi<sup>2\*</sup>, M. Yasi<sup>3</sup>, S. Sibilla<sup>4</sup>, and  
S.A. Hamidi<sup>5</sup>

### Abstract

Lake Urmia located in north-west of Iran has faced a serious environmental crisis as a result of some natural and anthropogenic factors. Regulation of rule curve of dams and their optimum redistribution is among essential actions for ecosystem conservation of the lake. In a simple hydrological method, optimum release from dams is estimated by calculating the runoff of downstream catchment. Accordingly, in this study the rule curves of the major reservoir dams in the Lake Urmia basin (ShahidKazemi, ShahrChai, Zola, Derik, Venyar, Ajabshir and Alavian) has been calculated under three different operation policies (30%, 50% and 80% of MAF). Then by using measured data, monthly value of  $Q_{Residual}$  (the runoff of the downstream catchment) has been calculated. In the next step, the term of  $Q_{AAD}$  (the volume of annual available water in the last station on the river) for each scenario has been determined. The results revealed that by using 80% of MAF (as scenario 3), the value of  $Q_{AAD}$  would be positive for all the assessed stations. So scenario 3 was selected as effective scenario for restoration of the lake. Finally for scenario 3, monthly value of  $Q_{CAH}$  (the nearest hydrograph to natural hydrograph of rivers) in the last station for each rivers and the term of  $Q_{RW}$  (the monthly volume of water for releasing from dam) have been calculated.

**Keywords:** Operation of Dams, Hydrological Method, Flow Regime of Rivers, Lake Urmia.

Received: January 11, 2019

Accepted: May 9, 2019

## تنظیم منحنی فرمان سدها با استفاده از مفهوم جریان زیست محیطی (مطالعه موردی: رودخانه‌های منتخب منتهی به دریاچه‌ی ارومیه)

مینا سودی<sup>۱</sup>، حجت احمدی<sup>۲\*</sup>، مهدی یاسی<sup>۳</sup>، استفانو سبیللا<sup>۴</sup>  
و سجاداحمد حمیدی<sup>۵</sup>

### چکیده

دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران به دلیل عوامل طبیعی و انسانی با بحران جدی مواجه شده است. تنظیم منحنی فرمان سدها و باز توزیع بهینه آن‌ها برای حفظ سلامتی اکوسیستم دریاچه ضروری است. در یک روش ساده هیدرولوژیکی رژیم جریان بهینه سدها با استفاده از حجم جریان حوضه آبریز پایین دست می‌تواند تخمین زده شود. بر این اساس در تحقیق حاضر منحنی فرمان سدهای مخزنی شهیدکازمی، شهرچای، زولا، دیریک، عجب شیر، وینار و علویان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه تحت سه سیاست متفاوت بهره‌برداری (۳۰٪، ۵۰٪ و ۸۰٪ از میانگین جریان سالانه به عنوان حجم آب قابل رهاسازی) محاسبه شده است. سپس با استفاده از داده‌ی اندازه‌گیری شده، مقدار ماهانه مؤلفه‌ی  $Q_{Residual}$  (تلفات و آوردها در پایین دست) محاسبه شد. در گام بعدی مؤلفه‌ی  $Q_{AAD}$  (حجم آب در دسترس سالانه در آخرین ایستگاه آبریز) برای سه سناریو بهره‌برداری از سد محاسبه شد. نتایج نشان داد با بکار بردن ۸۰٪ از میانگین جریان سالانه (سناریو ۳)، تمامی رودخانه‌ها مقدار مثبتی برای  $Q_{AAD}$  خواهند داشت؛ بنابراین سناریو ۳ به عنوان سناریو مؤثر بر احیای دریاچه انتخاب شد. در نهایت مقدار ماهانه  $Q_{CAH}$  (نزدیک‌ترین هیدروگراف به هیدروگراف طبیعی رودخانه) در آخرین ایستگاه آبریز و  $Q_{RW}$  (حجم آب مورد نیاز ماهانه برای خروج از سد) محاسبه شد.

**کلمات کلیدی:** بهره‌برداری از سدها، روش هیدرولوژیکی، رژیم جریان رودخانه، دریاچه ارومیه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۲/۱۹

1- Ph.D. Student of Water Structure, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. Email: [h.ahmadi@Urmia.ac.ir](mailto:h.ahmadi@Urmia.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: [m.vasi@yahoo.com](mailto:m.vasi@yahoo.com)

4- Associate Professor, Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia, Pavia, Italy. Email: [stefano.sibilla@unipv.it](mailto:stefano.sibilla@unipv.it)

5- Assistant Professor, Department of Physics, Indiana University, Pennsylvania, USA. Email: [shamidi@iup.edu](mailto:shamidi@iup.edu)

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳- دانشیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- دانشیار گروه مهندسی عمران و معماری، دانشگاه پاویا، پاویا، ایتالیا.

۵- استادیار گروه فیزیک، دانشگاه ایندیانای پنسیلوانیا، ایالات متحده آمریکا.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

دریاچه ارومیه دومین دریاچه شور جهان بعد از دریای مرده می‌باشد (Karbasi et al., 2010) که در شمال غرب ایران بین استان‌های آذربایجان غربی و شرقی واقع شده است به دلیل اجرای طرح‌های توسعه منابع آب و گسترش زمین‌های فاریاب کشاورزی با بحران زیست‌محیطی جدی مواجه شده است (Yasi, 2017). در جدول ۱ مشخصات دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۶۹ قید شده است.

**Table 1- Morphometric properties of Urmia Lake from 1969 to 2016**

جدول ۱- مشخصات ریخت‌شناسی دریاچه ارومیه از سال ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۶

Mean surface elevation	1274.94 m a.s.l.
Surface Area	4619.52 km <sup>2</sup>
Length (North to South)	130-146 km
Width (West to East)	15-58 km
Depth	6-13 m
Volume	18.34 106 m <sup>3</sup>

دریاچه ارومیه در یک حوضه آبریز بسته واقع شده است که تنها خروجی آب از آن تخییر از سطح آن می‌باشد. ورودی‌های دریاچه شامل بارندگی روی سطح آن، رودخانه‌های دائمی و فصلی و همچنین جریان آب زیرزمینی می‌باشد (Ghaaheri, 1999). به دلیل مشخصات اکولوژیکی منحصر به فرد آن از جمله وجود یک نوع آرتمیا بنام آرتمیای دریاچه ارومیه (Barigozzi et al., 1987)، این دریاچه از اهمیت زیست‌محیطی و اقتصادی بالایی برخوردار است.

در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه ۲۲ رودخانه جریان دارد که رودخانه‌های زرینه‌رود، سیمینه‌رود، آجی‌چای، گذارچای، نازلوچای، روضه‌چای، زولاچای، شهرچای، باراندوزچای و مهابادچای با پتانسیل جریان دائمی هستند (Yasi, 2017) و تمامی رودخانه‌های مهم و پرآب از جمله زرینه‌رود، سیمینه‌رود، نازلوچای و مهابادچای و گذارچای به بخش جنوبی میان‌گذر دریاچه تخلیه می‌شوند. در جدول ۲ مشخصات رودخانه‌های دائمی منتهی به دریاچه قید شده است.

مطابق آمار ارائه شده در سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران (WRMC<sup>1</sup>) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۵۶ سد در حال بهره‌برداری، ۹ سد در حال ساخت و ۳۹ سد در حال مطالعه وجود دارد. در شکل (۱، a) موقعیت سدهای مخزنی که در مسیر آبراهه اصلی رودخانه‌های دائمی ورودی به دریاچه ارومیه قرار گرفته‌اند نشان داده شده است. از جمله سدهای در حال بهره‌برداری سد شهرچای روی

رودخانه شهرچای، سد شهید کاظمی روی رودخانه زرینه‌رود، سد مهاباد روی رودخانه مهابادچای، سد عجب‌شیر روی رودخانه قلعه‌چای، سدهای دریک و زولا روی رودخانه زولاچای، سد علویان روی رودخانه صوفی‌چای، سد حسنلو روی شاخه فرعی رودخانه گذارچای و سد ونیار روی رودخانه آجی‌چای قرار گرفته است. سد باراندوز روی رودخانه باراندوزچای، سد کلهر روی رودخانه روضه‌چای، سد نازلو روی رودخانه نازلوچای و سد سیمینه‌رود روی رودخانه سیمینه‌رود از جمله سدهای در حال مطالعه هستند که ساخت آن‌ها به دلیل بحران آبی دریاچه ارومیه متوقف شده است. از بین سدهای مذکور سدهای مخزنی در حال بهره‌برداری شهید کاظمی، زولا، دیریک، شهرچای، عجب‌شیر، ونیار و علویان مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۱ موقعیت رودخانه‌ها و آخرین ایستگاه‌های آبنسجی پایین‌دست آن‌ها نشان داده شده است. آخرین ایستگاه آبنسجی روی رودخانه‌های شهرچای، زرینه‌رود، مهابادچای، قلعه‌چای، زولاچای، صوفی‌چای، گذارچای، نازلوچای، باراندوزچای، روضه‌چای، سیمینه‌رود و آجی‌چای به ترتیب ایستگاه‌های کشتیان، نظام‌آباد، گردیعقوب، شیشوان، یالغوزآغاج، بناب، پل‌بهراملو سنتو، آباجالوسفلی، بابارود، گویجلی‌اصلان، میان‌آب و آخولا می‌باشند.

رژیم طبیعی جریان رودخانه‌های ورودی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی دو دهه گذشته به دلیل تغییر در استفاده از منابع آب، تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم تغییر پیدا کرده است که این تغییرات در مقیاس ماهانه و سالانه بسیار شدیدتر و متفاوت‌تر از تغییرات بارش و دما است؛ بنابراین اثرات عوامل انسانی نسبت به متغیرهای طبیعی بیشتر است (Jalili et al., 2016 a; Jalili et al., 2016 b; Zoljoodi and Didevarasl, 2014)؛ به همین دلیل بازبینی اساسی در سیاست بهره‌برداری از سدهای حوضه آبریز دریاچه ارومیه امری ضروری است (Yasi, 2017). نتایج آنالیز حساسیت مطالعات عددی نشان داده است که تراز سطح آب دریاچه ارومیه به مقدار جریان ورودی از رودخانه‌های منتهی به آن بسیار حساس است. بنابراین بهره‌برداری هر چه بیشتر از رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه منجر به تشدید عدم تعادل به وجود آمده در اکوسیستم دریاچه خواهد شد (Abbaspour et al., 2012). به عبارت دیگر برای احیای دریاچه‌ی ارومیه بایستی همه کنترل‌ها از جریان ورودی به دریاچه حذف شوند (Jalili and et al., 2016 a). در صورت عدم اصلاح روند برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی و ساماندهی نمودن برداشت‌های فعلی، حتی در شرایط عدم احداث سد جدید و جلوگیری از توسعه اراضی کشاورزی، دریاچه از شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی در دراز مدت خارج نخواهد شد (Ghobadi et al., 2014).

جهت تعیین مقدار جریان زیست‌محیطی مورد نیاز در پایین‌دست رودخانه‌ها از روش‌های ساده‌ای مثل روش‌های مبتنی بر درصدی از میانگین جریان سالانه تا مدل‌های پیچیده بر اساس آب مورد نیاز گونه‌های گیاهی و جانوری موجود و درجه‌ی کیفی رودخانه وجود دارد (Yasi, 2017). بر این اساس مطالعات زیادی در زمینه بررسی جریان زیست‌محیطی در پایین‌دست سدها از جمله بررسی اثر بهره‌برداری از سد Osborne روی رودخانه‌ی Odzi در کشور زیمبابوه (Symphorian et al., 2003)، سد Kemah روی رودخانه‌ی Euphrates در کشور ترکیه (Elhatip and Hinis, 2015) انجام شده است.

در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های زربینه‌رود (Ashouri, 2015)، روضه‌چای (Gholamzadeh, 2014)، سیمینه‌رود (Rezaei, 2015)، گذارچای (Habibi, 2015)، زولاچای (Ajlh, 2015)، باراندوزچای (Mostafavi, 2013)، آجی‌چای (Alizadeh, 2017)، مهابادچای (Razaghi, 2017) با روش اکوهیدرولوژیکی انجام شده است و مقدار جریان زیست‌محیطی در محل آخرین ایستگاه‌های آبسنجی رودخانه‌های مذکور تعیین شده است؛ این درحالی است که در مطالعات مذکور به دلیل عدم محاسبه‌ی مقدار مؤلفه‌ی  $Q_{Residual}$  (تلفات و آورده‌ها در ناحیه مابین سد و ایستگاه آبسنجی مرجع)، محاسبه مقدار ماهانه منحنی فرمان سدها قابل محاسبه نیست.

مطالعه اثرات چرخه هیدرولوژیکی دریاچه ارومیه بر روند خشک شدن آن با استفاده از مدل‌سازی عددی توسط آژانس همکاری بین‌المللی ژاپن (JICA<sup>2</sup>, 2016) با همکاری شرکت مدیریت منابع آب ایران و وزارت نیرو انجام شده است. نتایج این مدل‌سازی نیز نشان داده است

که تنها با رهاسازی کل آب رودخانه‌ها به دریاچه می‌توان به تراز سطح آب اکولوژیکی دست یافت؛ بنابراین ضروری است که یک برنامه زمانی مناسب جهت بهره‌برداری از سدهای حوضه آبریز دریاچه تهیه شود. علاوه بر این جهت کاهش شوری آب دریاچه ارومیه برای مهیا کردن امکان زیست‌آرتمیای دریاچه ارومیه روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که اغلب بسیار هزینه‌بر هستند. از این بین رهاسازی هر چه بیشتر رواناب رودخانه‌ها به دریاچه ارومیه و در نتیجه کاهش شوری آن در مقایسه با راهکارهایی همچون نمک‌زدایی دریاچه بسیار ارزان و عملی می‌باشد (Soudi et al., 2017; Soudi et al., 2018). از طرفی تجربیات سال‌های اخیر از جمله رهاسازی حدود ۱۳۶ میلیون مترمکعب آب ذخیره شده در پشت سدهای حسنلو، ساروق و بوکان (سد شهید کاظمی) در تاریخ ۱۵ فوریه ۲۰۱۶ و همچنین سرریز سدهای حوضه آبریز دریاچه به دلیل بارش‌های شدید سال ۲۰۱۶ مؤید اثربخشی رهاسازی جریان آب رودخانه‌ها بر تراز سطح آب و شوری دریاچه ارومیه است (Soudi et al., 2017; Soudi et al., 2018).

مهم‌ترین هدف این تحقیق تعیین مقدار آب سطحی استفاده شده در پایین‌دست سدها و تعیین برنامه زمانی بهره‌برداری از سدهای احداث شده در مسیر رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز دریاچه ارومیه است به نحوی که رودخانه‌ها با کمترین تغییر نسبت به رژیم طبیعی خود جریان داشته باشند، بدین منظور از روش ساده ارائه شده توسط (Haghighi and Klove, 2015) استفاده شده است که در ادامه شرح داده شده است. در روش مذکور علاوه بر استخراج منحنی فرمان سد ضمن حفظ رژیم طبیعی جریان رودخانه، میزان تلفات و آورده‌ها در پایین‌دست سدهای مورد مطالعه محاسبه شده است که می‌تواند در برآورد صحیح مقدار جریان آب تحویل داده شده توسط هر رودخانه به دریاچه و برنامه‌ریزی جهت احیای آن مفید واقع شود.

**Table 2- Properties of the Rivers Flowing into Lake Urmia**

**جدول ۲- مشخصات رودخانه‌های ورودی به دریاچه‌ی ارومیه**

River Name	Last Station Name	Average Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Standard Deviation	Coefficient of Variation (m <sup>3</sup> /s)	Time Period
ChwanChai	KhormaZard	0.303	0.724	2.388	1981-2011
MardoughChai	Gheshlagh e	2.284	3.769	1.651	1981-2011
RozehChai	Gojjali Aslan	1.436	2.261	1.575	1981-2011
Siminehroud	Miandoab	18.168	33.015	1.817	1981-2011
SenikhChai	Pol e Senikh	0.770	1.828	2.375	1981-2011
GhaleChai	Shishvan	2.106	7.430	3.528	1981-2011
Barandouz-	Babaroud	8.430	11.952	1.418	1981-2011
NazlouChai	Abajalou Sofla	9.804	18.308	1.867	1981-2011
ShahrChai	Band	4.774	7.545	1.580	1981-2011
ZolaChai	Yalghouz Aghaj	2.226	5.249	2.358	1981-2011
ZarrinehRoud	NezamAbad	37.204	85.367	2.295	1993-2011
AjiChai	Akhoula	9.019	18.798	2.084	1983-2011

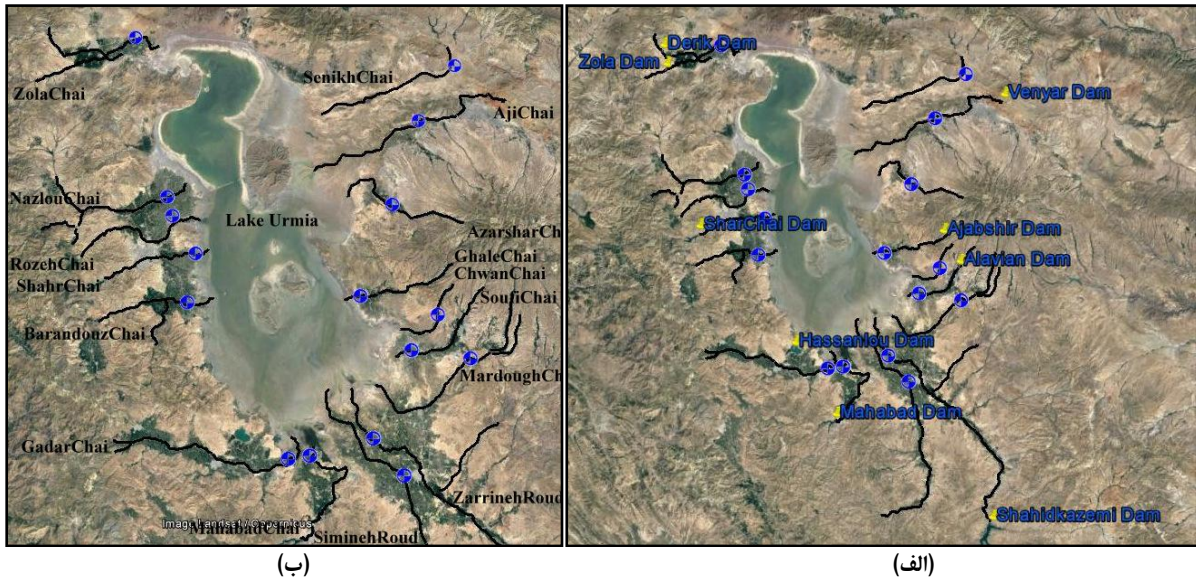


Fig. 1- Location of the dams under operation (a) and the main rivers and last hydrometric stations (b) in the Lake Urmia basin

شکل ۱- موقعیت سد های در حال بهره برداری (الف) و رودخانه ها و آخرین ایستگاه های آبسنجی (ب) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- محاسبه اثر سد بر مقدار جریان ورودی از رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه

دو روش برای محاسبه اثر سد روی اندازه جریان رودخانه ها وجود دارد. روش اول توسط (Haghighi, 2014) ارائه شده است؛ که ضریب تأثیر اندازه جریان  $MIF_1^3$  با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه می شود:

$$MIF_1 = \frac{AOF}{AIF} \quad (1)$$

که در آن  $AOF^4$  مقدار سالانه حجم یا بده جریان خروجی از سد (بر حسب مترمکعب یا مترمکعب بر ثانیه)،  $AIF^5$  مقدار سالانه حجم یا بده جریان ورودی به سد (بر حسب مترمکعب یا مترمکعب بر ثانیه) می باشند.

روش دوم به عنوان یک روش هیدرولوژیکی توسط (Richter et al. (1996 توسعه یافته است و روش شاخص تغییرات هیدرولوژیکی ( $IHA^6$ ) نام دارد. در روش مذکور مدیریت توزیع جریان در رودخانه با شاخص تغییرات هیدرولوژیکی که به صورت رابطه ی زیر تعریف شده است تعیین می گردد:

$$MIF_2 = \frac{AF_{Post}}{AF_{Pre}} \quad (2)$$

مؤلفه ی  $AF_{Post}^7$  در معادله ی فوق مقدار سالانه حجم یا بده جریان خروجی از ایستگاه آبسنجی پایین دست سد در دوره بعد از ساخت سد

و  $AF_{Pre}^8$  مقدار سالانه حجم یا بده جریان خروجی از سد در دوره قبل از ساخت سد می باشد. در روش دوم دو دوره زمانی مختلف استفاده می شود در شرایطی که در منطقه مورد مطالعه تغییر اقلیم وجود داشته باشد استفاده از معادله ی (۲) منجر به خطا در محاسبه ضریب تأثیر اندازه جریان خواهد شد. در شرایطی که تغییر اقلیم وجود نداشته باشد هر دو روش نتیجه یکسانی را خواهند داشت. در شکل ۲ روندنمای مراحل انجام محاسبات نشان داده شده است.

### ۲-۲- محاسبه رژیم جریان بهینه خروجی از سدها

جریان آب رها شده از سدها می تواند توسط رواناب حوضه آبریز پایین دست سد تقویت شود و یا اینکه به دلیل برداشت آب در مسیر رسیدن به دریاچه کاهش یابد؛ در روش ارائه شده توسط Haghighi (2015) and Klove مقدار حجم جریان اختصاص یافته جهت رها سازی از سد، رژیم طبیعی جریان در ایستگاه مرجع (نزدیک ترین ایستگاه آبسنجی به دریاچه برای هر رودخانه) و موقعیت سد، مؤلفه های تعیین کننده ی مقدار جریان ورودی به دریاچه می باشند. برای سدهای مخزنی شهید کاظمی، شهرچای، زولا، دیریک، عجب شیر، و نیار و علویان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که داده ی آبسنجی آن ها برای دوره زمانی کافی در دسترس می باشد حجم آب بهینه برای رها سازی از سدها بر اساس روش فوق الذکر و گام های زیر محاسبه شد:

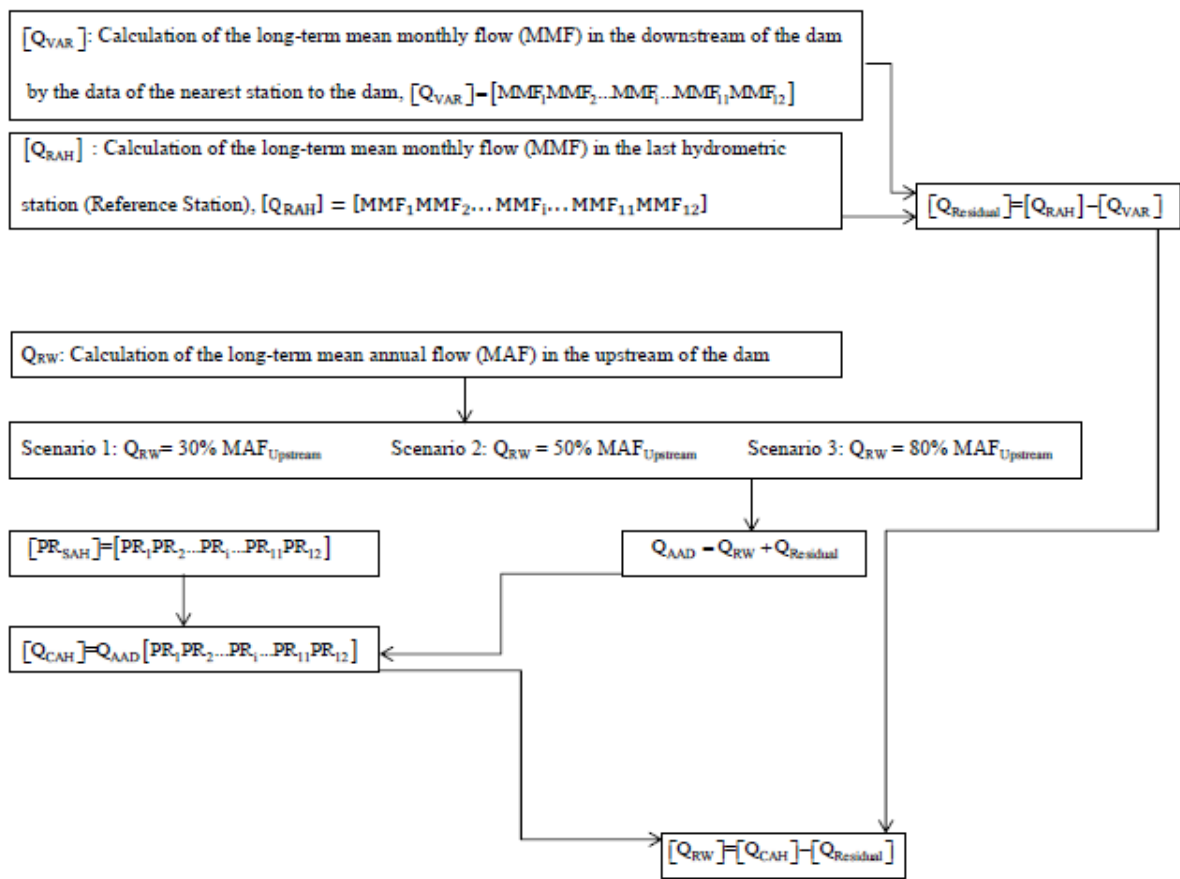


Fig. 2- Flowchart of the calculation of the term  $Q_{RW}$

شکل ۲- روندنمای محاسبه‌ی مؤلفه‌ی  $Q_{RW}$

در رابطه‌ی فوق مؤلفه‌ی  $Q_i$  مقدار بده در ایستگاه آبسنجی در ماه  $i$ ام می‌باشد و مؤلفه‌ی  $\sum_{i=1}^{12} Q_i$  مجموع میانگین ماهانه بده ایستگاه آبسنجی در ماه‌های مختلف سال می‌باشد.

**گام دوم: محاسبه میانگین جریان سالانه رودخانه‌ها ( $MAF^{10}$ )**  
در مطالعه حاضر سه سناریوی فرضی با سه مقدار مختلف برای حجم جریان اختصاص داده شده تعریف شده است: سناریو ۱ (مقادیر کم، ۳۰ درصد از  $MAF$ )، سناریو ۲ (مقادیر متوسط، ۵۰ درصد از  $MAF$ ) و سناریو ۳ (مقادیر بالا، ۸۰ درصد از  $MAF$ ).

**گام سوم: برآورد تلفات و آوردها در ناحیه پایین سد و ایستگاه آبسنجی مرجع ( $Q_{Residual}$ )**

مؤلفه‌ی  $Q_{Residual}$  برآیند بده ورودی از آبراهه‌ها و برداشت و تلفات آب بین آخرین ایستگاه آبسنجی و سد می‌باشد. بر اساس معادله‌ی (۵) و داده‌ی اندازه‌گیری شده مقدار مؤلفه‌ی مذکور محاسبه شد. در معادله‌ی مذکور  $[Q_{RAH}]$  هیدروگراف جریان سالانه در نقطه مرجع بعد از احداث

**گام اول: تعیین هیدروگراف سالانه استاندارد ( $SAH^0$ )**

برای پایداری اکوسیستم دریاچه بایستی میزان آب ورودی از رودخانه‌ها به دریاچه مشابه رژیم طبیعی رودخانه‌های منتهی به آن باشد (Dyson et al., 2003). رژیم طبیعی رودخانه در واقع میانگین سالانه رژیم جریان در ایستگاه آبسنجی مرجع (نزدیک‌ترین ایستگاه آبسنجی به دریاچه) در دوره زمانی که هیچ سازه تنظیم و کنترل آبدهی در بالادست آن موجود نبوده می‌باشد. با استفاده از مقادیر بده ثبت شده در محل آخرین ایستگاه‌های آبسنجی، هیدروگراف استاندارد شده طبیعی سالانه با استفاده از معادله‌ی (۳) و (۴) محاسبه شده است:

$$[PR_{SAH}] = [PR_1, PR_2, \dots, PR_i, \dots, PR_{11}, PR_{12}] \quad (3)$$

که در آن مؤلفه‌ی  $PR_i$  نسبت جریان در هر ماه می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PR_i = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^{12} Q_i} \quad (4)$$

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

مؤلفه  $MIF_2$  علاوه بر ارزیابی اثر سدها بر رژیم جریان رودخانه‌ها می‌تواند جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر رژیم جریان رودخانه‌ها نیز استفاده شود. در شکل ۳ هیدروگراف سالانه رودخانه‌های ورودی به دریاچه ارومیه در محل آخرین ایستگاه آبرسانی (ایستگاه مرجع) نشان داده شده است. مطابق شکل مذکور به دلیل عواملی همچون کاهش بارندگی به میزان ۱۳٪ و افزایش سطح زیر کشت به میزان ۲۶٪ از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷ (Yasi, 2017) در حوضه آبریز رودخانه‌های منتهی به دریاچه، اختلاف فاحشی بین هیدروگراف سالانه تمامی رودخانه‌ها در دوره قبل و بعد از سال ۱۹۹۷ وجود دارد بنابراین روش IHA جهت ارزیابی اثر سد روی رژیم جریان رودخانه نمی‌تواند مناسب باشد.

در جدول ۳ مقدار مؤلفه  $(MIF_2)$  برای تمامی رودخانه‌های مهم محاسبه شده است جهت حذف اثر سدها بر رژیم جریان سدی شد طول دوره بگونه‌ای انتخاب شود که در دوره انتخاب شده برای هر رودخانه هیچ سدی در حال بهره‌برداری نباشد. مطابق جدول مذکور می‌توان چنین استنباط کرد که بعد از سال ۱۹۹۷ کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان جریان ورودی رودخانه‌ها صورت گرفته است که این بدین معنی است که در دوره مذکور کاهش بارندگی و افزایش مصرف آب در حوضه آبریز اتفاق افتاده است.

Table 3-  $MIF_2$  of effective parameters aside from dams

جدول ۳-  $MIF_2$  برای اثر عوامل تأثیرگذار به جز اثر سد

Station Name	Before 1997	After 1997	$MIF_2$
KhormaZard	1976-1996	1997-2012	0.689
Gheshlagh e Amir	1974-1996	1997-2012	0.586
Goijali Aslan	1982-1996	1997-2014	0.409
Shirin Kandi	1973-1996	1997-2012	0.550
Miandoab	1966-1996	1997-2005	0.584
Pol e Senikh	1965-1996	1997-2012	0.539
Shishvan	1982-1996	1997-2005	0.433
Babaroud	1971-1996	1997-2012	0.557
Tapik	1965-1996	1997-2014	0.536
Abajalou Sofla	1963-1996	1997-2014	0.444
Keshtiban	1964-1976	2003-2005	0.56
Nazar Abad	1985-1997	1997-2007	0.442
Yalghouz Aghaj	1974-1996	1997-2007	0.562

مقدار حداکثر و حداقل  $MIF_2$  برابر با ۰/۶۸۹ و ۰/۴۰۹ به ترتیب برای رودخانه چوان‌چای و روضه‌چای می‌باشد که به ترتیب کاهش ۳۱ و ۵۹ درصدی بده سالانه رودخانه‌های چوان‌چای و روضه‌چای را نشان

سد و  $[Q_{VAR}]$  هیدروگراف جریان سالانه در ایستگاه محل سد می‌باشد. از آنجا که مؤلفه  $[Q_{Residual}]$  برآیند رواناب ورودی و برداشت از رودخانه در فاصله‌ی بین سد و ایستگاه مرجع می‌باشد می‌تواند مقادیر مثبت و منفی برای هر ماه داشته باشد.

$$[Q_{Residual}] = [Q_{RAH}] - [Q_{VAR}] \quad (5)$$

به دلیل عدم همپوشانی اطلاعات در برخی از ایستگاه‌های آبرسانی از جمله گردیعقوب و پل‌سرخ در حوضه آبریز رودخانه مه‌بادچای محاسبه مؤلفه  $Q_{Residual}$  امکان‌پذیر نبوده است؛ بنابراین محاسبات برای مه‌بادچای صورت نگرفته است.

### گام چهارم: محاسبه مقدار بده سالانه در دسترس در ایستگاه آبرسانی مرجع ( $Q_{AAD}$ )

با استفاده از معادله‌ی زیر برای سه سناریو سیاست رهاسازی آب از سد تعریف شده در تحقیق حاضر مقدار مؤلفه  $Q_{AAD}$  محاسبه شده است. در معادله‌ی مذکور، مؤلفه  $Q_{RW}$  مقدار جریان اختصاص یافته جهت رهاسازی از سد است که شامل جریان زیست‌محیطی حاصل از سناریوهای MAF و همچنین نیازآبی پایین دست سد نیز می‌باشد.

$$Q_{AAD} = Q_{RW} + Q_{Residual} \quad (6)$$

### گام پنجم: محاسبه نزدیک‌ترین هیدروگراف در ایستگاه مرجع به هیدروگراف طبیعی قبل از تنظیم بده رودخانه توسط سد ( $Q_{CAH}$ ) با استفاده از رابطه زیر:

$$[Q_{CAH}] = Q_{AAD} [PR_1 PR_2 \dots PR_i \dots PR_{11} PR_{12}] \quad (7)$$

### گام ششم: محاسبه مقدار آب تنظیمی سدها با در نظر گرفتن تلفات و آوردها در پایین دست آن‌ها ( $Q_{RW}$ )

با استفاده از معادله‌ی (۸) مقدار آب تنظیمی قابل محاسبه است:

$$[Q_{RW}] = [Q_{CAH}] - [Q_{Residual}] \quad (8)$$

در بیشتر مناطق جریان زیست‌محیطی بر اساس درصدی از MAF بدون در نظر گرفتن رژیم طبیعی رودخانه تعریف می‌شود (Haghighi, 2014) در مطالعه حاضر با محاسبه مقدار مؤلفه  $MAF$  برای شرایط طبیعی رودخانه (شرایط رودخانه در حالت عدم وجود سد در مسیر) و همچنین مقدار پارامتر مذکور در محل ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست سد (مقدار جریان ورودی به سد) و آخرین ایستگاه هیدرومتری، مقدار مؤلفه  $Q_{Residual}$  با استفاده از رابطه‌ی (۵)، مؤلفه  $Q_{AAD}$  با استفاده از رابطه‌ی (۶) همچنین برای سه سناریو مختلف بهره‌برداری از سد مقدار مؤلفه  $Q_{RW}$  با استفاده از رابطه‌ی (۸) محاسبه شد.



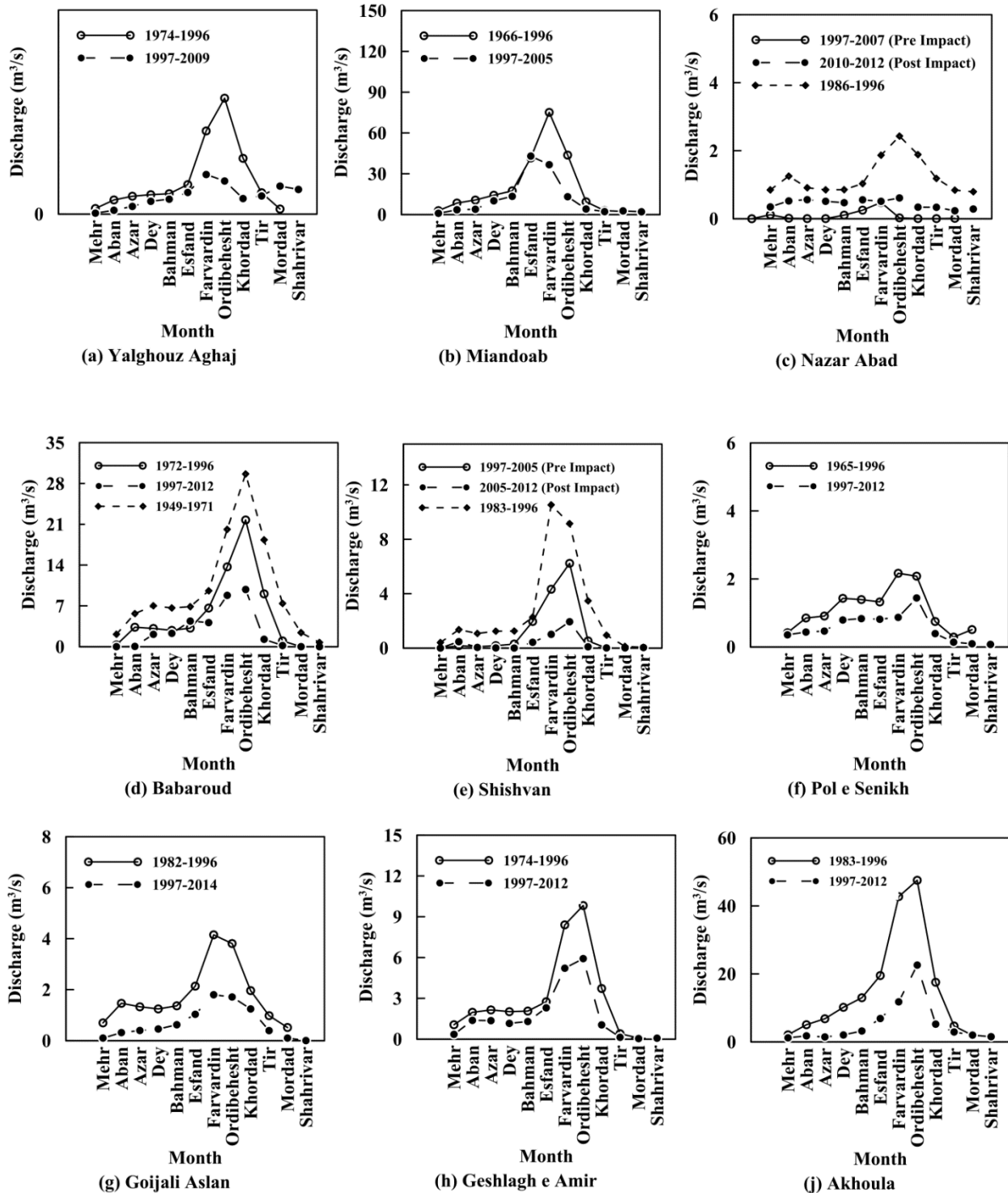


Fig. 3- Mean annual flow (MAF) at hydrometric stations for different time periods

شکل ۳- جریان میانگین سالانه در ایستگاه‌های آبسنجی در دوره‌های زمانی مختلف

سطحی و زیرزمینی در بالادست مربوط می‌شود؛ بنابراین کاهش مصرف آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه قبل از اصلاح روش بهره‌برداری از سدهای فعال دارای اولویت است.

می‌دهد این در حالی است که مطابق با آمار ارائه شده در منابع مختلف مقدار کاهش بارندگی در کل حوضه آبریز به‌طور متوسط حدود ۱۸ درصد است (ULRC<sup>11</sup>, 2015)، این بدین معنی است که بخشی از کاهش بده رودخانه‌ها به تغییر کاربری اراضی و افزایش مصرف آب

با توجه به مطالب ذکر شده برای حذف اثر تغییر بده رودخانه‌ها در اثر کاهش بارندگی و افزایش مصرف آب، در مطالعه حاضر داده‌های آبنسجی از سال ۱۹۹۷ به‌عنوان دوره مبنا در تعیین منحنی فرمان بهینه سدهای در حال بهره‌برداری استفاده شده است چرا که مطابق شکل ۳ در تمامی ایستگاه‌های آبنسجی میانگین بده رودخانه در دوره آماری بعد از سال ۱۹۹۷ کاهش چشمگیری در مقایسه با دوره قبل از آن دارد. به‌عنوان مثال با مقایسه نمودار بده‌های میانگین برای دوره ۱۹۹۶-۱۹۸۳، ۲۰۰۵-۱۹۹۷ و ۲۰۱۲-۲۰۰۵ در ایستگاه شیشوان در شکل ۳، مشاهده می‌شود که در دوره ۱۹۹۷-۲۰۰۵ به دلیل کاهش بارندگی‌ها و همچنین برداشت آب‌های سطحی حجم جریان در ایستگاه مذکور کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با دوره ۱۹۹۶-۱۹۸۳ داشته است. به دلیل ساخت سد عجب‌شیر در سال ۲۰۰۵ کاهش بده جریان ایستگاه مذکور تشدید یافته است. در شکل ۴ هیدروگراف میانگین سالانه رودخانه‌های قلعه‌چای، زرینه‌رود، شهرچای، گدارچای، آجی‌چای، زولاچای و دیریک‌چای به ترتیب برای دوره زمانی قبل و بعد از ساخت سدهای عجب‌شیر، شهید کاظمی، شهرچای، حسنلو، ونیاز، زولا و دیریک روی مسیر اصلی رودخانه‌های مذکور نشان داده شده است. همچنین در جدول ۴ مقادیر  $MIF_2$  برای سدهایی که داده‌ی کافی برای محاسبه داشتند محاسبه شده است. مطابق جدول مذکور سد عجب‌شیر روی رودخانه قلعه‌چای حداکثر مقدار  $MIF_2$  را دارد این در حالی است که سد تک منظوره (صرفاً جهت آبیاری) دیریک با حجم ذخیره ۲۲ میلیون مترمکعب به دلیل حجم ذخیره نسبتاً کم در مقایسه با سایر سدهای مورد بررسی حداقل تأثیر را بر روی رژیم جریان رودخانه‌ی زولاچای داشته است. لازم به ذکر است به دلیل عدم وجود ایستگاه آبنسجی روی یکی از آبراهه‌های ورودی به سد شهیدکاظمی مقدار دبی ورودی ثبت شده کمتر از مقدار دبی خروجی از ایستگاه ساریقمیش در پایین‌دست سد مذکور می‌باشد به همین دلیل مقدار ضریب  $MIF_2$  بزرگتر از یک حاصل شده است.

در برخی مناطق فصل زراعی به‌طور کلی با فصل بارندگی متفاوت است در مناطق خشک مانند حوضه آبریز دریاچه ارومیه سدها با هدف تأمین آب کشاورزی ساخته شده‌اند و ذخیره آب در ماه‌های پر بارش (فروردین و اردیبهشت) و مصرف آن در ماه‌های زراعی (تیر و مرداد) انجام می‌شود. به‌طور مثال در شکل ۴ به دلیل ساخت سدهای شهرچای و شهید کاظمی هیدروگراف میانگین سالانه از نظر زمانی تغییر یافته است. در شکل (۴-a) و (۴-f) به ترتیب هیدروگراف رودخانه در دو دوره قبل و بعد از ساخت سد شهرچای روی رودخانه‌ی شهرچای در ایستگاه‌های آبنسجی کشتیبان و بند نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که پس از ساخت سد نقطه اوج هیدروگراف در ایستگاه بند از

اردیبهشت ماه (پربارش‌ترین ماه سال) به تیر ماه (ماه با حداکثر مصرف آب کشاورزی) انتقال پیدا کرده است این در حالی است که در ایستگاه پایین‌دست (ایستگاه کشتیبان) به دلیل مصرف آب رهاسازی شده در فصل آبیاری هیدروگراف بصورت یکنواخت می‌باشد. در جدول ۵ مقدار آب در دسترس در محل ایستگاه مرجع نشان داده شده است مطابق جدول مذکور تحت سناریو ۱ بیشتر رودخانه‌های حوضه آبریز من جمله شهرچای، زولاچای، نازلوچای، قلعه‌چای، زرینه‌رود و آجی‌چای به دلیل مصرف آب بیش از حد در پایین‌دست مقدار مؤلفه‌ی  $Q_{AAD}$  منفی می‌باشد این بدین معنی است که در صورتی که سناریو ۱ اجرا شود و تنها به مقدار ۳۰ درصد از  $MAF$  از سدها رها شود هیچ آبی به دریاچه ارومیه نخواهد رسید و همچنین اراضی پایین‌دست سد با مشکل کمبود آب مواجه خواهند شد؛ بنابراین در این شرایط با حفر چاه از آب‌های زیرزمینی برای رفع کمبود آب استفاده خواهد شد. به دلیل مصرف بالای آب در پایین‌دست سد شهرچای، تحت سناریو ۲ نیز رودخانه‌ی شهرچای مقدار منفی برای  $Q_{AAD}$  خواهد داشت.

نتایج نشان داد مؤلفه‌ی  $Q_{Residual}$  در بیشتر رودخانه‌ها (به‌غیر از گدارچای و سیمینه‌رود) مقدار منفی دارد. این بدین معنی است که برای اینکه جریان آب رودخانه‌ها به دریاچه برسد مطابق معادله‌ی (۸)، مؤلفه‌ی  $Q_{RW}$  باید بزرگ‌تر از  $Q_{CAH}$  باشد. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر صرفاً سدهای مخزنی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و تمامی بندهای انحرافی که در مسیر رودخانه قرار گرفته‌اند به‌عنوان مصرف آب درون مؤلفه‌ی  $Q_{Residual}$  لحاظ شده‌اند. در جدول ۶ مقادیر محاسبه شده برای  $Q_{CAH}$  برای ایستگاه‌های آبنسجی سدهای در حال بهره‌برداری بررسی شده در تحقیق حاضر نشان داده شده است.

برای اینکه جریان مطابق جدول مذکور در محل آخرین ایستگاه آبنسجی وجود داشته باشد بایستی مقدار آب رهاسازی شده از سد مخزنی موجود بر روی هر رودخانه با استفاده از معادله‌ی (۸) بهینه گردد. مقادیر محاسبه شده در جدول ۷ برنامه زمانی مقدار بهینه محاسبه شده جهت رهاسازی در هر ماه نشان داده شده است هنگام رهاسازی مقدار جریان از هر سد بایستی ظرفیت تخلیه سد مذکور نیز لحاظ گردد.

در شکل ۵ مقدار بده جریان زیست‌محیطی ( $Q_{EF}$ ) محاسبه شده با روش‌های مختلف توسط محققان برای آخرین ایستگاه آبنسجی رودخانه‌های شهرچای، زولاچای و زرینه‌رود (در محل ایستگاه مرجع) با مقدار  $Q_{CAH}$  محاسبه شده در این تحقیق مقایسه شده است.



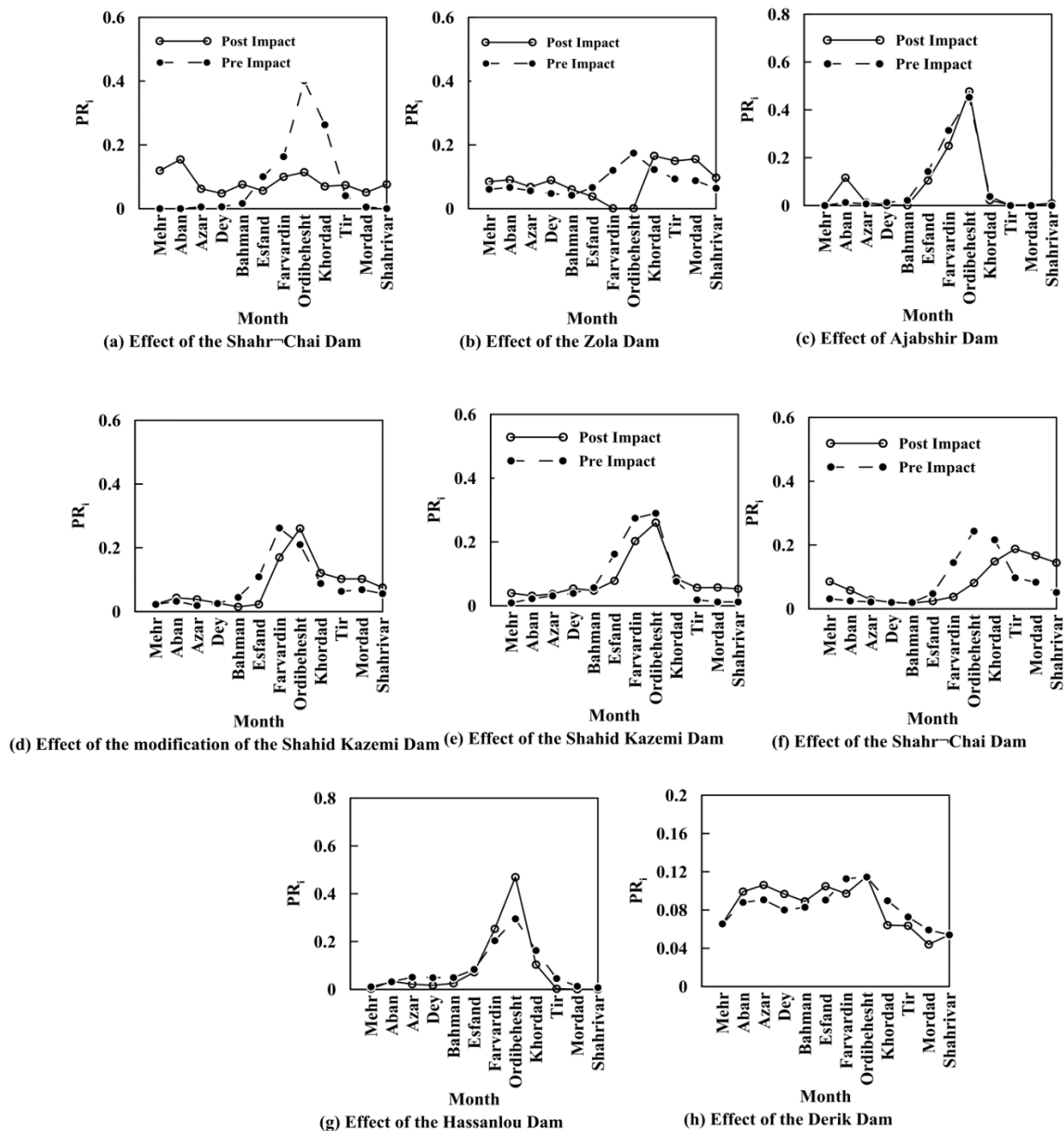


Fig. 4- Changes in standardized annual hydrograph following the construction of dams

شکل ۴- تغییر در هیدروگراف استاندارد سالانه در اثر ساخت سد ها

#### ۴- خلاصه و جمع‌بندی

طرح‌های توسعه منابع آب نظیر احداث سدهای مخزنی دارای اثرات زیست‌محیطی متعددی می‌باشند که تغییر رژیم طبیعی رودخانه‌ها و کاهش جریان طبیعی پایین‌دست از مهم‌ترین آن‌هاست. دریاچه ارومیه دومین دریاچه شور جهان می‌باشد که در شمال‌غرب ایران واقع شده است و در حال حاضر به دلیل سوء مدیریت مصرف آب در حوضه آبریز آن با بحران جدی زیست‌محیطی مواجه شده است.

مطابق شکل مذکور در برخی ایستگاه‌ها سناریو ۱ و ۲ نیاز آب زیست‌محیطی را تأمین نمی‌کند در حالی که در صورت اجرای سناریو ۳ در تمامی موارد نیاز آب زیست‌محیطی تأمین خواهد شد؛ بنابراین به دلیل مقدار بالای مصرف آب در پایین‌دست سدها رهاسازی ۸۰ درصد از MAF برای دستیابی به جریان آب زیست‌محیطی در پایین‌دست ضروری است.

**Table 4- Magnitude Impact factor (MIF) of dam construction**

جدول ۴- ضریب تأثیر اندازه جریان (MIF<sub>2</sub>) برای اثر سدها

River Name	Dam Name	Activation	Pre-Impact	Post-Impact	Station	MIF <sub>2</sub>
		1971	1955-1971	1985-1996	Sarighamish	1.27
Zarrinehroud	Shahid Kazemi Dam	Modified in 2005	1997-2005	2005-2012	Sarighamish	0.75
ShahrChai	ShahrChai	2005	1997-2005	2006-2014	Band	0.64
ZolaChai	Zola Dam	2009	1997-2009	2010-2012	Ajvaj	0.746
DerikChai	Derik Dam	2008	1997-2007	2010-2012	Nazarabad	0.81
GhaleChai	Ajabshir Dam	2006	1997-2005	2005-2012	Shishvan	0.295
GadarChai	Hassanlou Dam	2000	1972-1997	2000-2012	Pol e Bahramlou	0.437

**Table 5- Available annual discharges at reference Stations (Mm<sup>3</sup>/year)**

جدول ۵- بده سالانه در دسترس در ایستگاه‌های مرجع (میلیون مترمکعب در سال)

River Name	Release Point	Reference Station	Time Period	Q <sub>AAD</sub> (Mm <sup>3</sup> /year)		
				Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Zarrinehroud	Shahidkazemi Dam	Nezamabad	1382-1391 (2003-2012)	-60.916	185.76	555.774
ShahrChai	ShahrChai Dam (Band)	Keshtiban	1376-1394 (1997-2015)	-39.342	-17.91	14.238
ZolaChai	Zola Dam and Derik Dam (Sum of Nazar Abad, Ajvaj, Urban Station)	Yalghouz Aghaj	1376-1387 (1997-2008)	-37.38	103.415	126.242
GhaleChai	Ajabshir Dam (Yengije Station)	shishvan	1376-1385 (1997-2006)	-7.684	3.14	19.376
SoufiChai	Alavian Dam (Maragheh Station)	Bonab	1344-1370 (1965-1991)	1.083	22.485	54.588
AjiChai	Venyar Dam (Venyar Station)	Akhoulia	1376-1390 (1997-2011)	47.654	80.93	130.844
AjiChai	Venyar Dam (Venyar Station)	Sarin Dizaj	1380-1390 (2001-2011)	31.259	55.1196	90.912

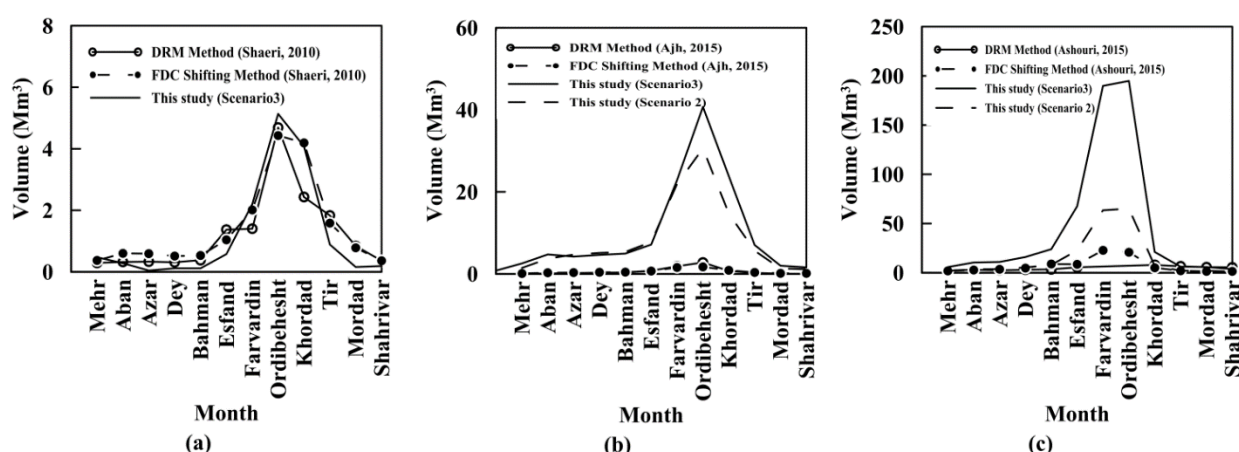
**Table 6- The value of Q<sub>CAH</sub> (Mm<sup>3</sup>/month) for reference stations in Scenario 3**

جدول ۶- مقدار Q<sub>CAH</sub> (میلیون مترمکعب در ماه) برای ایستگاه‌های مرجع تحت سناریو ۳

Month	Zarrinehroud	Shahr-Chai	ZolaChai	Ghale-Chai	Soufi-Chai	AjiChai
	Nezam Abad	Keshtiban	Yalghouz Aghaj	Shishvan	Bonab	Sarin Dizaj
Mehr (Oct)	5.724472	0.4727	2.5504	0.2461	1.0372	1.2637
Aban (Nov)	10.39297	0.2791	4.7329	0.8235	1.7250	3.1546
Azar (Dec)	10.94875	0.0413	4.2156	0.6530	2.1398	3.3001
Dey (Jan)	15.95071	0.1139	4.6202	0.7537	1.9543	3.4910
Bahman (Feb)	23.89828	0.1139	4.9432	0.7595	2.1453	3.6910
Esfand (Mar)	67.52654	0.5752	7.1444	1.3834	2.7622	10.9003
Farvardin (Apr)	189.7968	2.2012	22.8735	6.4018	10.4700	21.8643
Ordibehesht (May)	194.8544	5.1356	40.7228	5.5628	15.2573	30.9646
Khordad (Jun)	21.06383	4.0763	23.8267	2.1100	8.8542	9.7821
Tir (Jul)	6.113514	0.8870	7.0382	0.5755	2.5820	0.9637
Mordad (Aug)	5.78005	0.1552	1.9873	0.0736	3.1552	0.19092
Shahrivar (Sep)	3.723686	0.1879	1.5868	0.0329	2.5056	1.3455

**Table 7- The values of  $Q_{RW}$  ( $Mm^3/month$ ) for dams in Scenario 3**  
**جدول ۷- مقادیر مؤلفه‌ی  $Q_{RW}$  (میلیون مترمکعب در ماه) سد‌ها تحت سناریو ۳**

Month	Dam Name						
	Shahid Kazemi	Shahr-Chai	Zola	Derik	Ajabshir	Alavian	Venyar
Mehr (Oct)	21.9045	4.5727	6.3697	1.6407	-0.6939	-1.4628	0.2817
Aban (Nov)	45.143	0.5891	8.5107	2.1922	-0.0065	-2.2750	2.9076
Azar (Dec)	32.2987	1.1913	7.3360	1.8896	0.1830	3.7398	5.2581
Dey (Jan)	31.8307	1.2439	6.1548	1.5853	2.0137	4.3343	2.4910
Bahman (Feb)	37.6383	0.6439	6.1573	1.5860	1.0895	3.9453	4.7970
Esfand (Mar)	67.9865	1.9652	8.8379	2.2764	3.6634	-4.7778	5.2523
Farvardin (Apr)	198.3168	8.6512	22.7132	5.8504	16.8818	8.5300	31.6573
Ordibehesht (May)	147.0544	16.2557	41.7174	10.7454	23.0628	11.2273	20.5166
Khordad (Jun)	122.5438	18.8763	26.5405	6.8362	12.5800	6.9642	19.0681
Tir (Jul)	102.5335	12.5970	10.1292	2.6090	-1.0045	-2.3580	0.9787
Mordad (Aug)	96.11	11.3152	3.9022	1.0051	-4.0764	-2.0848	0.5809
Shahrivar (Sep)	83.3437	7.8279	3.9973	1.0296	-3.2971	-1.0944	1.6555



**Fig. 5- Comparison between  $Q_{CAH}$  with the calculated Environmental flow ( $Q_{EF}$ ) by researchers**

**شکل ۵- مقایسه بین مؤلفه‌ی  $Q_{CAH}$  با جریان زیست‌محیطی ( $Q_{EF}$ ) محاسبه شده توسط محققین**

مقدار آب فراهم شده توسط حوضه آبریز پایین دست سد محاسبه شده است. در گام بعدی  $Q_{AAD}$  (مقدار حجم آب در دسترس سالانه در آخرین ایستگاه آبسنجی هر رودخانه) برای هر سه سناریو بهره‌برداری از سد محاسبه شده است. نتایج نشان داد با بکار بردن سناریو ۳ با ۸۰ درصد از  $MAF$  (میانگین جریان سالانه) همه رودخانه مقدار مثبتی برای  $Q_{AAD}$  خواهند داشت. بنابراین سناریو ۳ به عنوان سناریو مؤثر بر احیای دریاچه انتخاب شد در نهایت با استفاده از توزیع ماهانه حجم جریان در هیدروگراف واحد سالانه طبیعی، مقدار ماهانه  $Q_{CAH}$  (نزدیک‌ترین هیدروگراف سالانه به هیدروگراف طبیعی رودخانه) در آخرین ایستگاه آبسنجی هر رودخانه و  $Q_{RW}$  (برنامه زمانی ماهانه حجم آب مورد نیاز برای رهاسازی از سد) برای سناریو ۳ محاسبه شد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه تحت سناریو ۳ بایستی حجم قابل ملاحظه‌ای (۸۰ درصد از میانگین جریان سالانه) از آب ورودی به سد رهاسازی شود بنابراین پیشنهاد می‌گردد شرایط پایداری سد‌ها تحت شرایط مذکور در مطالعات آتی مورد بررسی قرارگیرد.

تنظیم منحنی فرمان سد‌ها و بهینه کردن توزیع آب آن برای سلامتی اکوسیستم دریاچه ارومیه ضروری است. جریان آب رها شده از سد‌ها می‌تواند توسط رواناب طبیعی حوضه آبریز پایین دست سد تقویت شود و یا اینکه به دلیل برداشت آب در مسیر رسیدن به دریاچه کاهش یابد؛ بنابراین اینکه چه مقدار از آب رها شده از سد‌ها به دریاچه ارومیه می‌رسد بستگی به موقعیت سد، مقدار آب اختصاص یافته برای پایین دست و شرایط حوضه آبریز پایین دست آن دارد. در یک روش هیدرولوژیکی جدید رژیم جریان بهینه سد‌ها در طول سال با استفاده از جریان آب حوضه آبریز پایین دست آن می‌تواند تخمین زده شود. بر این اساس در تحقیق حاضر نیز منحنی فرمان سد‌های مخزنی شهید کاظمی، شهرچای، زولا، دیریک، عجب‌شیر، و نیار و علویان آبریز دریاچه ارومیه تحت سه سیاست متفاوت رهاسازی آب از سد (سناریو ۱، ۲ و ۳ که به ترتیب شامل رهاسازی به میزان ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد میانگین جریان سالانه رودخانه‌ها می‌باشند) محاسبه شده است. سپس با استفاده از داده‌ی آبسنجی اندازه‌گیری شده، مقدار ماهانه  $Q_{Residual}$

## ۵- مراجع

- Abbaspour M, Javid A H, Mirbagheri S A, Givi F A, Moghimi P (2012) Investigation of lake drying attributed to climate change. *International Journal of Environmental Science and Technology* 9(2):257-266
- Ajh S (2015) Evaluation of environmental flows in rivers using eco-hydrological methods (Case study: the Zolachi River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Alizadeh S (2017) Evaluation of environmental flows in rivers using Eco-Hydrological methods (Case study: the AjiCahi River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Ashouri M (2015) Evaluation of environmental flows in rivers using Eco-Hydrological methods (Case study: the Zarrinehroud River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Barigozzi C, Valsasnini P, Ginelli E, Badaracco G, Plevani P, Baratelli L (1987) Further data on repetitive DNA and speciation in *Artemia*. *Artemia Research and Applications* 1:103-105
- Ghaheer M, Baghal Vayjooee M, Naziri J (1999) Lake Urmia, Iran: A summary review. *International Journal of Salt Lake Research* 8(1):19-22
- Ghobadi F, Saghafian B, Araghinajad Sh (2014) The drought threshold, a realistic water resources management measure for Urmia Lake basin. *Iran-Water Resources Research* 10(3):66-76
- Gholamzadeh F (2014) Evaluation of environmental flows in rivers using Eco-Hydrological methods (Case study: the RozehChai River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Habibi S (2015) Evaluation of environmental flows in rivers using Eco-Hydrological methods (Case study: the GadarChai River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Haghighi A T (2014) Analysis of lake and river flow regime alteration to assess impacts of hydraulic structures. Ph.D. Thesis, Faculty of Technology, University of Oulu
- Haghighi A T, Kløve B (2015) Development of monthly optimal flow regimes for allocated environmental flow considering natural flow regimes and several surface water protection targets. *Ecological Engineering* 82:390-399
- Jalili S, Hamidi S A, Morid S, Ghanbari R N (2016b) Comparative analysis of Lake Urmia and Lake Van water level time series. *Arabian Journal of Geosciences* 9(14):644
- جهت بهره‌برداری از سدهای فعال در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در نظر گرفتن سهم جریان پایین دست اهمیت زیادی دارد. همان طور که برای رودخانه‌های مهم دریاچه ارومیه محاسبه شد مقدار مؤلفه‌ی  $Q_{Residual}$  در بیشتر رودخانه‌ها مقدار منفی و قابل توجه دارد. بنابراین در مقدار جریان ورودی به دریاچه نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است؛ به طوری که تحت سناریو ۱ به دلیل مصرف آب در پایین دست سدهای بررسی شده در این تحقیق، هیچ آبی وارد دریاچه ارومیه نخواهد شد؛ بنابراین کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند به عنوان یک راهکار برای کاهش مقدار مؤلفه‌ی  $Q_{Residual}$  مؤثر واقع شود. به دلیل فاصله نسبتاً زیاد آخرین ایستگاه آبنجی در برخی رودخانه‌ها اراضی کشاورزی قابل توجهی در پایین دست آن‌ها وجود دارد به طور مثال در پایین دست ایستگاه آبنجی نظام‌آباد روی رودخانه زرینه‌رود ۵۲۰۷ هکتار اراضی کشاورزی وجود دارد که از آب رودخانه آبیاری می‌شوند بنابراین به دلیل فاصله نسبتاً زیاد ایستگاه‌های مذکور مقدار جریان ورودی از هر رودخانه به دریاچه ارومیه مقدار متفاوتی با مقدار اندازه‌گیری شده در محل آخرین ایستگاه آبنجی دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در نزدیک‌ترین محل که امکان آبنجی وجود دارد ایستگاه آبنجی احداث گردد. به طور مثال ایستگاه آبنجی ملک‌کندی بر روی رودخانه‌ی مردوق‌چای و ایستگاه قره‌پاپاق بر روی رودخانه‌ی زرینه‌رود قرار دارند و که به ترتیب در سال ۱۹۶۶ و ۱۹۷۱ تعطیل شده‌اند پیشنهاد می‌شود ایستگاه‌های مذکور دوباره فعال گردند.
- نتایج تحقیق حاضر نشان داد که برای حفظ جریان زیست‌محیطی محاسبه شده توسط محققین در محل آخرین ایستگاه آبنجی بایستی میزان مصرف آب در فاصله بین سد و ایستگاه مذکور نیز در بهره‌برداری از سدها مدنظر قرار گیرد.

## پی‌نوشت‌ها

- 1- JICA Japan International Corporation Agency
- 2- WRMC Water Resources Management Company
- 3- MIF<sub>1</sub> Magnitude Impact Factor
- 4- AOF Annual Outflow
- 5- AIF Annual Inflow
- 6- IHA Indicator of Hydrological Alteration
- 7- AF<sub>Post</sub> Annual Outflow From the Dam After Dam Construction
- 8- AF<sub>Pre</sub> Annual Flow Rate Before Dam Construction
- 9- SAH Standardised Annual Hydrograph
- 10- MAF Mean Annual River Flow
- 11- ULRC Urmia Lake Restoration Committee

- within ecosystems. *Conservation Biology* 10:1163-1174
- Shaeri S (2010) Evaluation of environmental flows in rivers using Eco-Hydrological methods (Case study: the ShahrChai, NazlouChai and BarandouzChai River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Soudi M, Ahmadi H, Yasi M, Hamidi S A (2017) Sustainable restoration of Urmia Lake: history, threats, opportunities and challenges. In: Proc. of 10th World Congress on Water Resources and Environment "Panta Rhei", 5-9 July, Athens, Greek, 2013-2020
- Soudi M, Ahmadi H, Yasi M, Hamidi S A (2018) Assessment of main findings on Urmia Lake research and restoration efforts. *Water Utility Journal* 19:1-10
- Urmia Lake Restoration Committee (ULRC) (2015) Lake Urmia drying reasons and probable treats (In Persian)
- Yasi M (2017) Management of rivers and dams in supplying and delivering water to Urmia Lake. *Journal of Strategic Researches in Agriculture and Natural Resource Sciences* 2(01):59-76 (In Persian)
- Zoljoodi M, Didevarasl A (2014) Water level fluctuations of Urmia Lake: relationship with the long-term changes of meteorological variables (Solutions for water crisis management in Urmia Lake Basin). *Atmospheric and Climate Sciences* 4(03):358-368
- Jalili S, Hamidi S A, Namdar Ghanbari R (2016a) Climate variability and anthropogenic effects on Lake Urmia water level fluctuations, northwestern Iran. *Hydrological Sciences Journal* 61(10):1759-1769
- Japan International Cooperation Agency (JICA), Ministry of Energy (MOE), Water Resource Management Company (WRMC) (2016) Data collection survey on hydrological cycle of Lake Urmia Basin in the Islamic Republic of Iran. Draft final report, 6-6 p.
- Karbassi A, Bidhendi G N, Pejman A, Bidhendi M E (2010) Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia. *Journal of Great Lakes Research*. 36(3):419-424
- Mostafavi S (2013) Evaluation of environmental flows in rivers using eco-hydrological methods (case study: the BarandouzChai River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Razzaghi A (2017) Evaluation of environmental flows in rivers using Eco-Hydrological methods (Case study: the MahabadCahi River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Rezaee N (2015) Evaluation of environmental flows in rivers using Eco-Hydrological methods (Case study: the Siminehroud River). M.Sc. Thesis, Department of Water Engineering, Urmia University (In Persian)
- Richter BD, Baumgartner JV, Powell J & Braun DP (1996) A method for assessing hydrologic alteration