Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸
Volume 15, No. 2, Summer 2019 (IR-WRR)
۳۲۹-۳۴۱

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

مینا سودی[۱]، حجت احمدی[۲*]، مهدی یاسی[۳]، استفانو سیبیلا[۴] و سجاداحمد حمیدی[۵]

چکیده

دریاچه ارومیه واقع در شمال‌غرب 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 پایین‌دست می‌تواند تخمین زده شود. بر این اساس در تحقیق حاضر منحنی فرمان سدهای مخزنی شهیدکاظمی، شهرچای، زولا، دیریک، عجب‌شیر، ونیار 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 پایین‌دست) محاسبه شد. در گام بعدی مؤلفه‌ی Q_{AAD} (حجم آب در دسترس سالانه در آخرین ایستگاه آبسنجی) 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 به‌عنوان سناریو مؤثر بر احیای دریاچه انتخاب شد. درنهایت مقدار ماهانه Q_{CAH} (نزدیک‌ترین هیدروگراف به هیدروگراف طبیعی رودخانه) در آخرین ایستگاه آبسنجی 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

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 ایندیانا، پنسیلوانیا، ایالات متحده‌ی امریکا.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

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

M. Soudi [1], H. Ahmadi[2], M. Yasi3, S. Sibilla[4], and S.A. Hamidi[5]*

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

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
3- Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: m_yasi@yahoo.com
4- Associate Professor, Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia, Pavia, Italy. Email: stefano.sibilla@unipv.it
5- Assistant Professor, Department of Physics, Indiana University, Pennsylvania, USA. Email: shamidi@iup.edu
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

دریاچه ارومیه دومین دریاچه شور جهان بعد از دریای مرده می‌باشد (Karbasi et al., 2010) که در شمال‌غرب ایران بین استان‌های آذربایجان‌غربی 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 دریاچه‌ی ارومیه از سال ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۶

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

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

در حوضه‌ی‌آبریزدریاچه ارومیه ۲۲ رودخانه جریان دارد که رودخانه‌های زرینه‌رود، سیمینه‌رود، آجی‌چای، گدارچای، 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 گدارچای 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[1]) 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 درحال بهره‌برداری سد شهرچای روی رودخانه شهرچای، سد شهیدکاظمی 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 گدارچای 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 حال‌بهره‌برداری شهیدکاظمی، زولا، دیریک، شهرچای، عجب‌شیر، ونیار و علویان مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۱ موقعیت رودخانه‌ها و آخرین ایستگاه‌های آبسنجی پایین‌دست آن‌ها نشان داده شده است. آخرین ایستگاه آبسنجی روی رودخانه‌های شهرچای، زرینه‌رود، مهابادچای، قلعه‌چای، زولاچای، صوفی‌چای، گدارچای، نازلوچای، باراندوزچای، روضه‌چای، سیمینه‌رود و آجی‌چای به ترتیب ایستگاه‌های کشتیبان، نظام‌آباد، گردیعقوب، شیشوان، یالغوزآغاج، بناب، پل‌بهراملو سنتو، آباجالوسفلی، بابارود، گویجعلی‌اصلان، میاندوآب 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 صوت عدم اصلاح روند برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی و ساماندهی ننمودن 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).

www.SID.ir

Archive of SID

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 زیمباوه (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 زرینه‌رود (Ashouri, 2015)، روضه‌چای (Gholamzadeh, 2014)، سیمینه‌رود (Rezaei, 2015)، گدارچای (Habibi, 2015)، زولاچای (Ajh, 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 آوردها 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[2], 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 اکولوژیک 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 زیست آرتمیای 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 ازجمله 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).

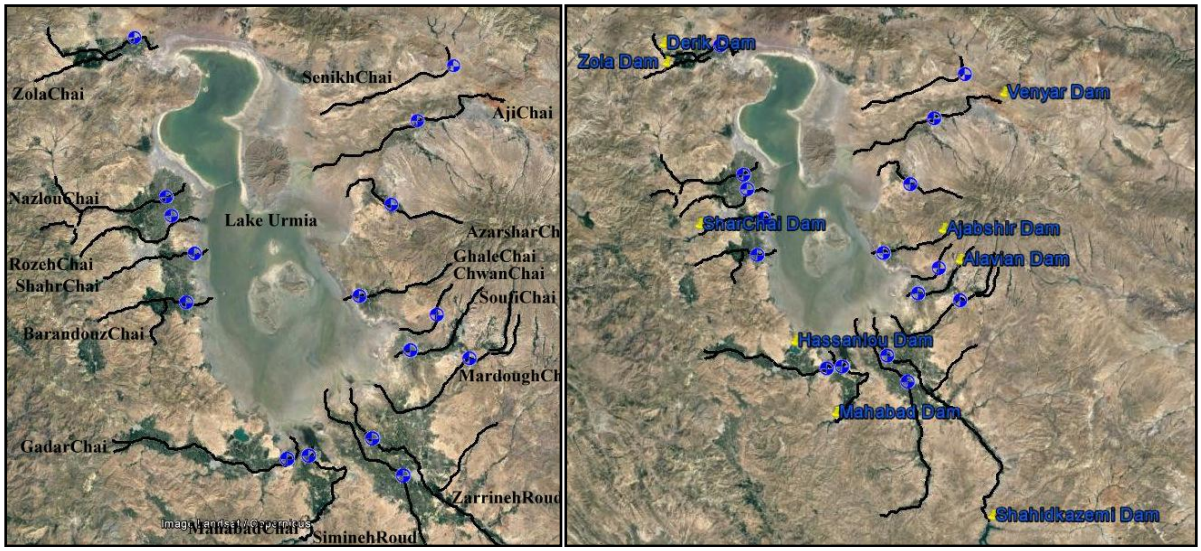
مهم‌ترین هدف این تحقیق تعیین مقدار آب سطحی استفاده شده در پایین‌دست سدها و تعیین برنامه زمانی بهره‌برداری از سدهای احداث شده در مسیر رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز دریاچه ارومیه است به نحوی که رودخانه‌ها با کمترین تغییر نسبت به رژیم طبیعی خود جریان داشته باشند، بدین منظور از روش ساده ارائه شده توسط Haghighi 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 آوردها در پایین‌دست سدهای موردمطالعه 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^3/s)	Standard Deviation	Coefficient of Variation (m^3/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	Goijali 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-NazlouChai	Babaroud Abajalou Sofla	8.430 9.804	11.952 18.308	1.418 1.867	1981-2011 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

www.SID.ir

Archive of SID



(ب) (الف)

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 سدهای در حال بهره‌برداری (الف) و رودخانه‌ها و آخرین ایستگاه‌های آبسنجی (ب) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

۲- روش تحقیق

۲-۱- محاسبه اثر سد بر مقدار جریان ورودی از رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه

دو روش برای محاسبه اثر سد روی اندازه جریان رودخانه‌ها 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 می‌شود:

$$MIF_1=\frac{AOF}{AIF} \qquad (۱)$$

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) می‌باشند.

روش دوم به‌عنوان 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 رابطه‌ی زیر تعریف شده است تعیین می‌گردد:

$$MIF_2=\frac{AF_{Post}}{AF_{Pre}} \qquad (۲)$$

مؤلفه‌ی AF_{Post}[7] در معادله‌ی فوق مقدار سالانه حجم یا بده جریان خروجی از ایستگاه آبسنجی پایین‌دست 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 می‌باشد. در روش دوم دو دوره زمانی مختلف استفاده می‌شود در شرایطی که در منطقه مورد مطالعه تغییر اقلیم وجود داشته باشد استفاده از معادله‌ی (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 می‌تواند توسط رواناب حوضه آبریز پایین‌دست سد تقویت شود و یا اینکه به دلیل برداشت آب در مسیر رسیدن به دریاچه کاهش یابد؛ در روش ارائه شده توسط Haghighi and Klove (2015) مقدار حجم جریان اختصاص یافته جهت رهاسازی از سد، رژیم طبیعی جریان در ایستگاه مرجع (نزدیک‌ترین ایستگاه آبسنجی به دریاچه برای هر رودخانه) و موقعیت سد، مؤلفه‌های تعیین کننده‌ی مقدار جریان ورودی به دریاچه می‌باشند. برای سدهای مخزنی شهید کاظمی، شهرچای، زولا، دیریک، عجب‌شیر، ونیار و علویان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که داده‌ی آبسنجی آن‌ها برای دوره زمانی کافی در دسترس می‌باشد حجم آب بهینه برای رهاسازی از سدها بر اساس روش فوق‌الذکر و گام‌های زیر محاسبه شد:

www.SID.ir

Archive of SID

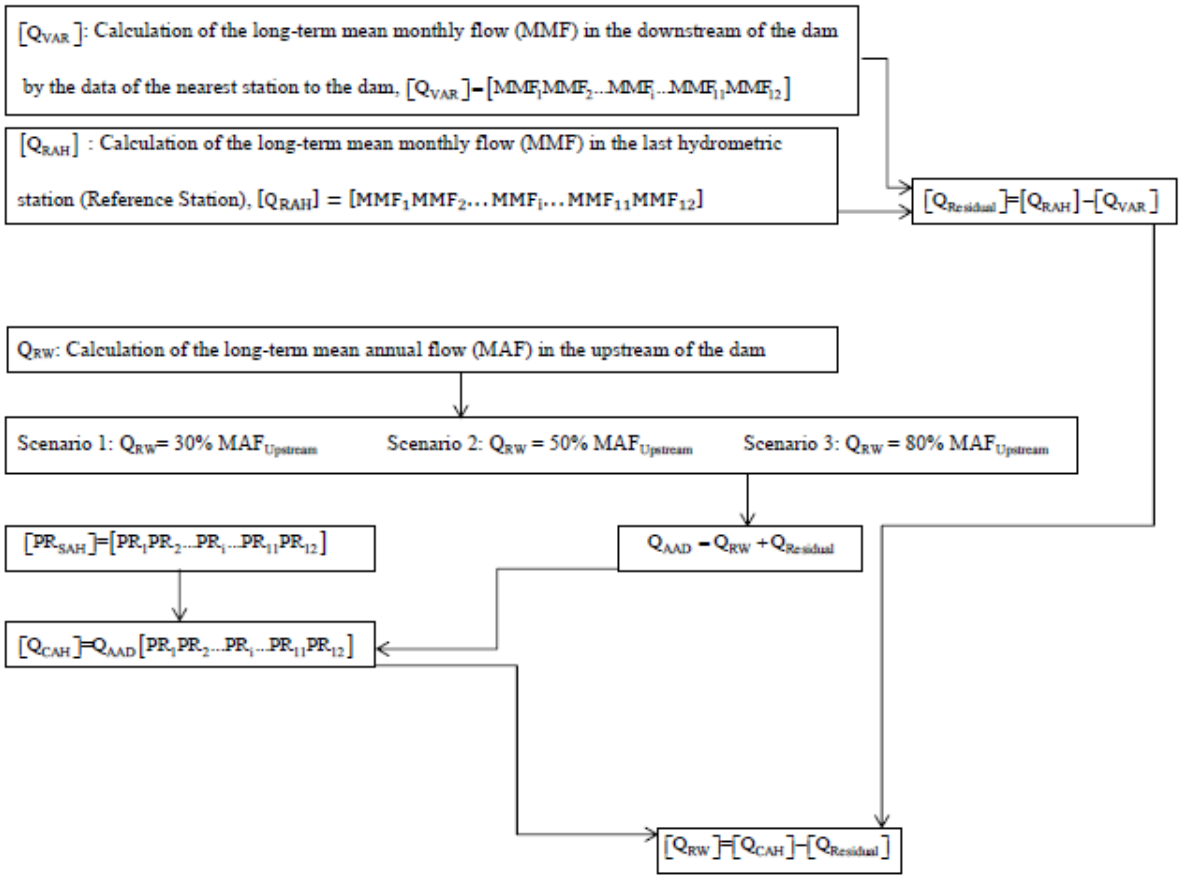


Fig. 2- Flowchart of the calculation of the term Q_{RW}

شکل ۲- روندنمای محاسبه‌ی مؤلفه‌ی Q_{RW}

گام اول: تعیین هیدروگراف سالانه استاندارد (SAH[9])

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 درواقع 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:

$$[PR_{SAH}]=[PR_1PR_2\dots PR_i\dots PR_{11}PR_{12}] \quad (۳)$$

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

$$PR_i=\frac{Q_i}{\sum_{i=1}^{i=12} Q_i} \quad (۴)$$

در رابطه‌ی فوق مؤلفه‌ی Q_i مقدار بده در ایستگاه آب‌سنجی در ماه iام می‌باشد و مؤلفه‌ی $\sum_{i=1}^{i=12} Q_i$ 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 مابین 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

www.SID.ir

Archive of SID

سد و $[Q_{VAR}]$ هیدروگراف جریان سالانه در ایستگاه محل سد می‌باشد. از آنجا که مؤلفه‌ی $[Q_{Residual}]$ 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.

$$[Q_{Residual}]=[Q_{RAH}]-[Q_{VAR}] \quad (۵)$$

به دلیل عدم همپوشانی اطلاعات در برخی از ایستگاه‌های آبسنجی ازجمله گردیعقوب و پل‌سرخ در حوضه آبریز رودخانه مهابادچای محاسبه مؤلفه‌ی $Q_{Residual}$ امکان‌پذیر نبوده است؛ بنابراین محاسبات برای مهابادچای صورت نگرفته است.

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

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

$$Q_{AAD}=Q_{RW}+Q_{Residual} \quad (۶)$$

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:

$$[Q_{CAH}]=Q_{AAD}[PR_1PR_2\dots PR_i\dots PR_{11}PR_{12}] \quad (۷)$$

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

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

$$[Q_{RW}]=[Q_{CAH}]-[Q_{Residual}] \quad (۸)$$

در بیشتر مناطق جریان‌زیست‌محیطی بر اساس درصدی از MAF بدون در نظر گرفتن رژیم طبیعی رودخانه تعریف می‌شود (Haghighi, 2014) در مطالعه حاضر با محاسبه مقدار مؤلفه‌ی 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 مؤلفه‌ی $Q_{Residual}$ با استفاده از رابطه‌ی (۵)، مؤلفه‌ی Q_{AAD} با استفاده از رابطه‌ی (۶) همچنین برای سه سناریو مختلف بهره‌برداری از سد مقدار مؤلفه‌ی Q_{RW} با استفاده از رابطه‌ی (۸) محاسبه شد.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

مؤلفه‌ی 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 آبسنجی (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 مؤلفه‌ی (MIF_2) برای تمامی رودخانه‌های مهم محاسبه شده است جهت حذف اثر سدها بر رژیم جریان سعی 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 حوضه‌ی‌آبریز اتفاق افتاده است.

Table 3- MIF_2 of effective parameters aside from dams

جدول ۳- MIF_2 برای اثر عوامل تأثیرگذار به‌جز 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

www.SID.ir

Archive of SID

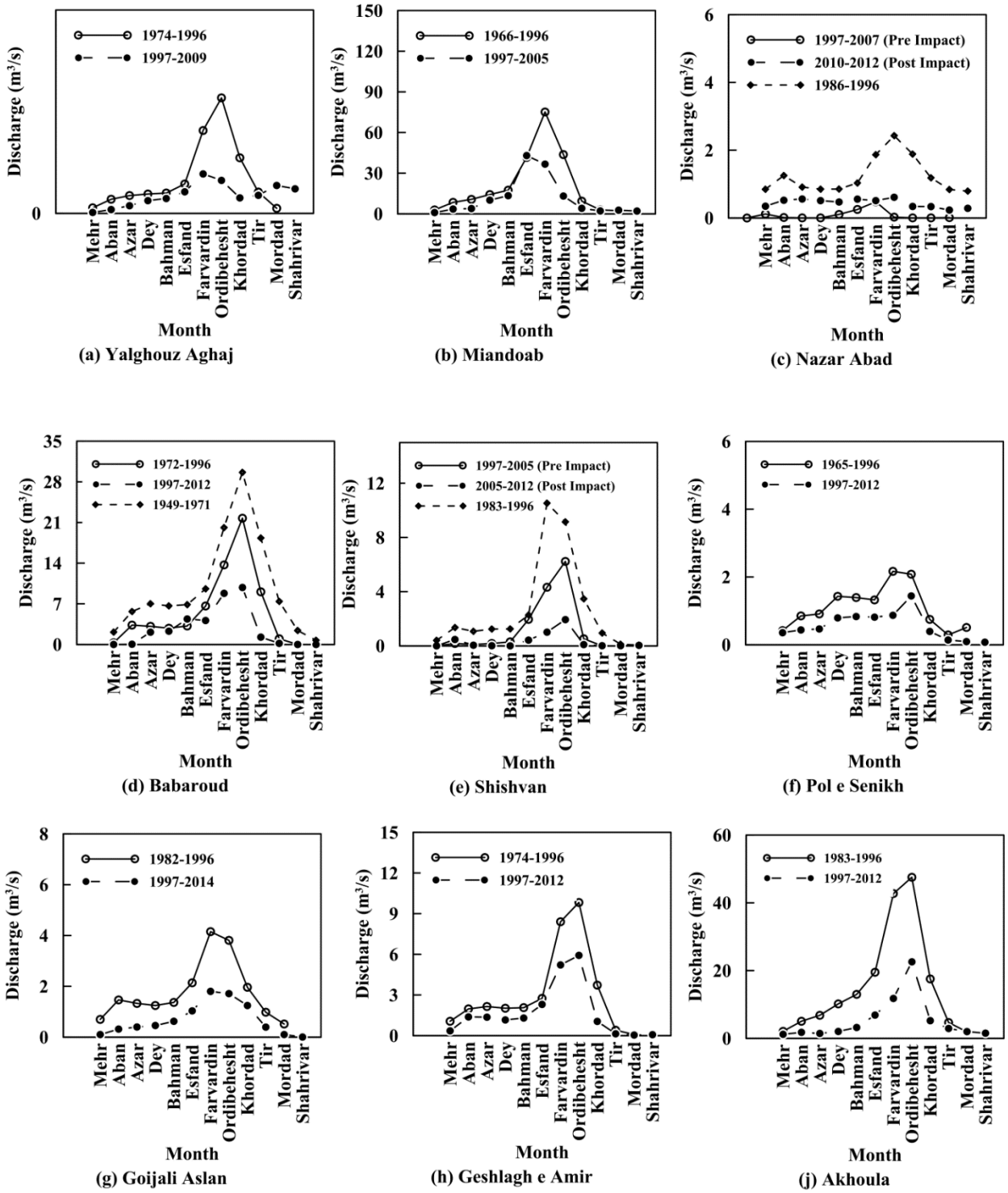


Fig. 3- Mean annual flow (MAF) at hydrometric stations for different time periods

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

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[11], 2015)، این بدین معنی است که بخشی از کاهش بده رودخانه‌ها به تغییر کاربری اراضی و افزایش مصرف آب 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.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به مطالب ذکر شده برای حذف اثر تغییر بده رودخانه‌ها در اثر کاهش بارندگی و افزایش مصرف آب، در مطالعه حاضر داده‌های آبسنجی 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 آبسنجی 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 ۲۰۰۵-۱۹۹۷ 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، ونیار، 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 نسبتا کم در مقایسه با سایر سدهای مورد بررسی حداقل تأثیر را بر روی رژیم جریان رودخانه‌ی زولاچای داشته است. لازم به دکر است به دلیل عدم وجود ایستگاه آبسنجی روی یکی ازآبراهه‌های 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 (a-۴) و (f-۴) به ترتیب هیدروگراف رودخانه در دو دوره قبل و بعد از ساخت سد شهرچای روی رودخانه‌ی شهرچای در ایستگاه‌های آبسنجی 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 درحالی 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 صورتی‌که 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 (به‌غیراز 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 آبسنجی سدهای در حال بهره‌برداری بررسی شده در تحقیق حاضر نشان داده شده است.

برای اینکه جریان مطابق جدول مذکور در محل آخرین ایستگاه آبسنجی 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 آبسنجی رودخانه‌های شهرچای، زولاچای و زرینه‌رود (در محل ایستگاه مرجع) با مقدار Q_{CAH} محاسبه شده در این تحقیق مقایسه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

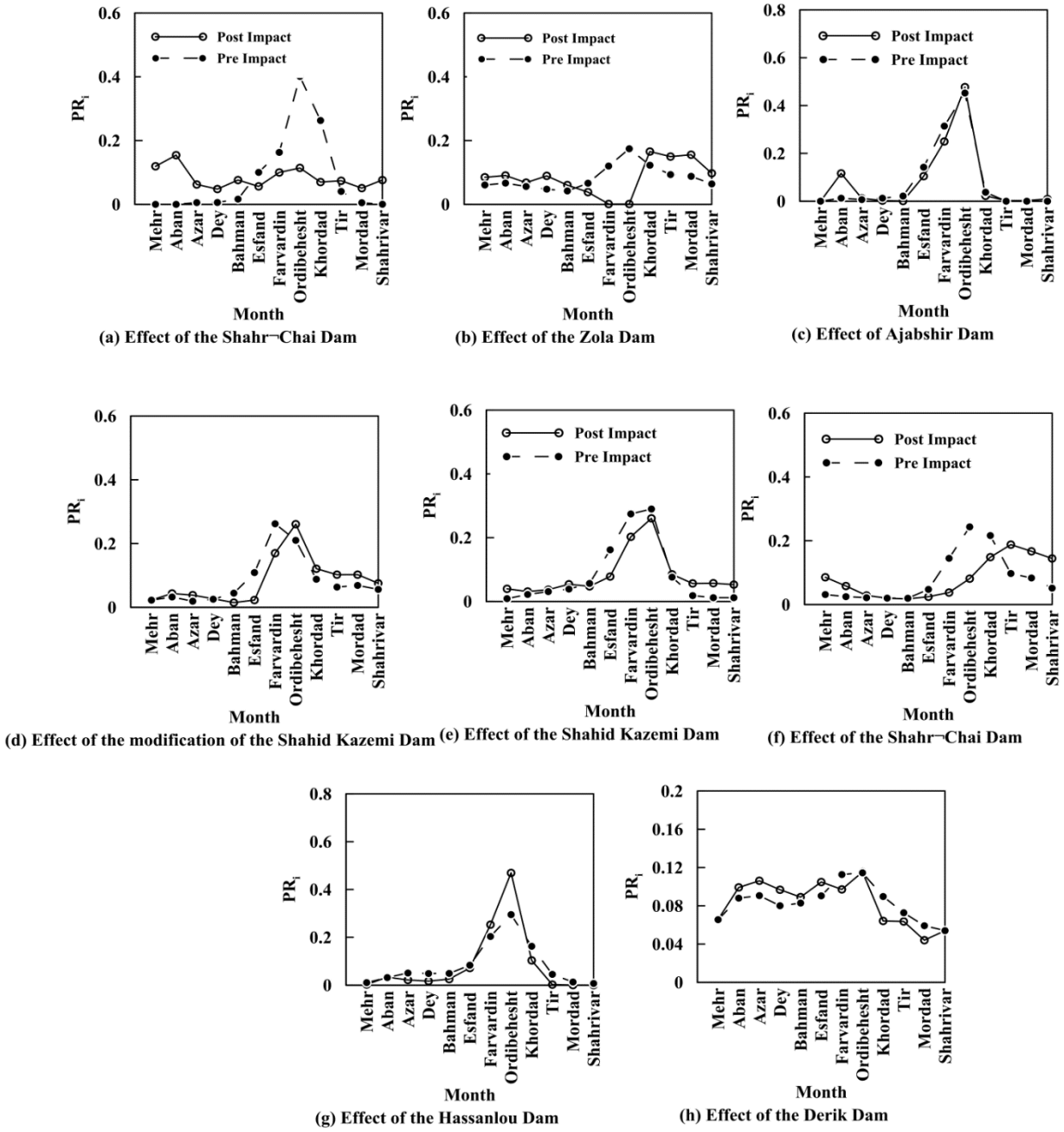


Fig. 4- Changes in standardized annual hydrograph following the construction of dams

شکل ۴- تغییر در هیدروگراف استاندارد سالانه در اثر ساخت سدها

مطابق شکل مذکور در برخی ایستگاه‌ها سناریو ۱ و ۲ نیاز آب زیست‌محیطی را تأمین نمی‌کند درحالی‌که 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.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

Table 4- Magnitude Impact factor (MIF) of dam construction
جدول ۴- ضریب تأثیر اندازه جریان (MIF_2) برای اثر سدها

River Name	Dam Name	Activation	Pre-Impact	Post-Impact	Station	MIF_2
Zarrinehroud	Shahid Kazemi Dam	1971	1955-1971	1985-1996	Sarighamish	1.27
		Modificated 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^3/year)
جدول ۵- بده سالانه در دسترس در ایستگاه‌های مرجع (میلیون مترمکعب در سال)

River Name	Release Point	Reference Station	Time Period	Q_{AAD} (Mm^3/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)	Akhoula	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_{CAH} (Mm^3/month) for reference stations in Scenario 3
جدول ۶- مقدار Q_{CAH} (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

www.SID.ir

Archive of SID

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

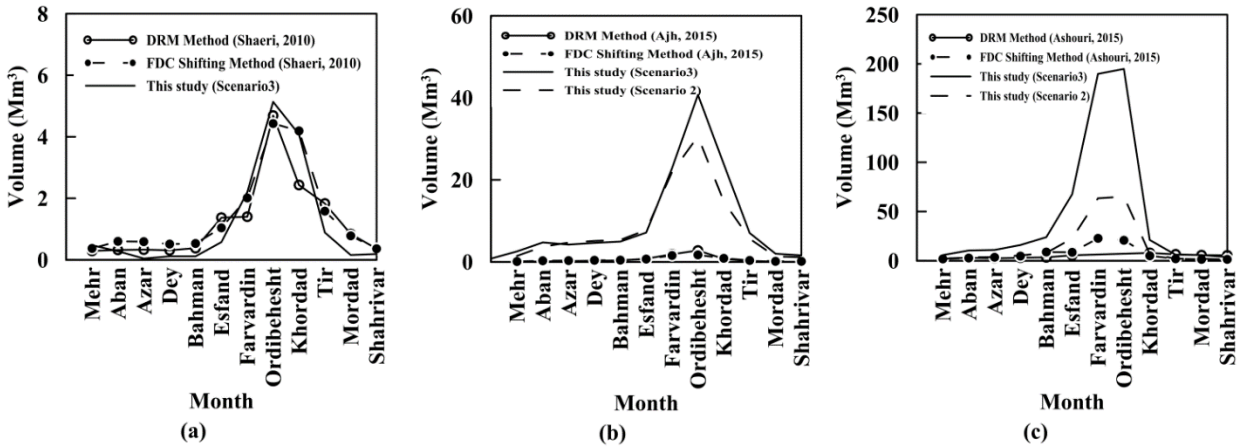


Fig. 5- Comparison between Q_{CAH} with the calculated Environmental flow (Q_{EF}) by researchers
شکل ۵- مقایسه بین مؤلفه‌ی Q_{CAH} با جریان زیست‌محیطی (Q_{EF}) محاسبه شده توسط محققین

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 پایین‌دست 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 اختصاص‌یافته برای پایین‌دست و شرایط حوضه آبریز پایین‌دست آن دارد. در یک روش هیدرولوژیکی جدید رژیم جریان بهینه سدها در طول سال با استفاده از جریان آب حوضه آبریز پایین‌دست آن می‌تواند تخمین زده شود. بر این اساس در تحقیق حاضر نیز منحنی فرمان سدهای مخزنی شهید کاظمی، شهرچای، زولا، دیریک، عجب‌شیر، ونیار 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 $Q_{Residual}$ (مقدار آب فراهم شده توسط حوضه آبریز پایین‌دست 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 به‌عنوان سناریو مؤثر بر احیای دریاچه انتخاب شد درنهایت 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 سدها رهاسازی شود بنابراین پیشنهاد می‌گردد شرایط پایداری سدها تحت شرایط مذکور در مطالعات آتی مورد بررسی قرارگیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

جهت بهره‌برداری از سدهای فعال در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در نظر گرفتن سهم جریان پایین‌دست اهمیت زیادی دارد. همان‌طور که برای رودخانه‌های مهم دریاچه ارومیه محاسبه شد مقدار مؤلفه‌ی $Q_{Residual}$ در بیشتر رودخانه‌ها مقدار منفی و قابل‌توجه دارد. بنابراین در مقدار جریان ورودی به دریاچه نیز تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای داشته است؛ به‌طوری‌که تحت سناریو ۱ به دلیل مصرف آب در پایین‌دست سدهای بررسی شده در این تحقیق، هیچ آبی وارد دریاچه ارومیه نخواهد شد؛ بنابراین کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار برای کاهش مقدار مؤلفه‌ی $Q_{Residual}$ مؤثر واقع شود. به دلیل فاصله نسبتاً زیاد آخرین ایستگاه آبسنجی در برخی رودخانه‌ها اراضی کشاورزی قابل‌توجهی در پایین‌دست آن‌ها وجود دارد به طور مثال در پایین‌دست ایستگاه آبسنجی 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 آبسنجی دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در نزدیک‌ترین محل که امکان آبسنجی وجود دارد ایستگاه آبسنجی احداث گردد. به‌طور مثال ایستگاه آبسنجی ملک‌کندی بر روی رودخانه‌ی مردوق‌چای و ایستگاه قره پاپاق بر روی رودخانه‌ی زرینه‌رود قرار دارند و که به ترتیب در سال ۱۹۷۱ و ۱۹۶۶ 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 آبسنجی بایستی میزان مصرف آب در فاصله بین سد و ایستگاه مذکور نیز در بهره‌برداری از سدها مدنظر قرار گیرد.

پی نوشت‌ها

1- JICA Japan International Corporation Agency
2- WRMC Water Resources Management Company
3- MIF_1 Magnitude Impact Factor
4- AOF Annual Outflow
5- AIF Annual Inflow
6- IHA Indicator of Hydrological Alteration
7- AF_{Post} Annual Outflow From the Dam After Dam Construction
8- AF_{Pre} Annual Flow Rate Before Dam Construction
9- SAH Standardised Annual Hydrograph
10- MAF Mean Annual River Flow
11- ULRC Urmia Lake Restoration Committee

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

Ghaheri 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

www.SID.ir

Archive of SID

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

www.SID.ir