تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 2, Summer 2018 (IR-WRR)
۲۲۴-۲۳۵

استفاده از مدل RVA در تبیین رژیم اکولوژیکی رودخانه‌ها به منظور تعیین جریان زیست‌محیطی

سمیه خان‌محمدی فلاح[۱] و علیرضا شکوهی[۲*]

چکیده

در بسیاری از کشورها منجمله کشورهای در حال توسعه، به علت کمبود داده و همچنین هزینه زیاد مطالعات زیست‌محیطی، روش‌های هیدرولوژیکی ساده‌ای نظیر تنانت و Q_{95} برای تعیین حق‌آبه رودخانه‌ها از اولویت برخوردار هستند. در این مطالعه نشان داده شد که روش‌های هیدرولوژیکی مزبور از دقت و سازگاری لازم با محیط‌زیست رودخانه برخوردار نمی‌باشند. به منظور نمایش مشکلات تأمین داده و اجرای مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه از مدل River2D استفاده به عمل آمد. رژیم اکولوژیکی پیشنهادی این مدل برای رودخانه مورد مطالعه اساساً با نتایج دو روش هیدرولوژیکی یاد شده متفاوت بود. در این تحقیق روش RVA، با این فرض که از سادگی روش‌های هیدرولوژیکی برخوردار است و در عین حال می‌تواند نتیجه‌ای نزدیک به روش‌های شبیه‌ساز زیستگاه بدست دهد، مورد آزمون قرار گرفت. در مطالعه موردی انجام شده علاوه بر نمایش وضعیت رودخانه در صورت اعمال روش‌های تنانت و Q_{95}، جریان اکولوژیکی حاصل از مدل River2D در مقیاس ماهانه دربین دو محدوده بالا و پایین روش RVA به‌دست آمد. در بررسی آماری دبی‌های ماهانه رودخانه مورد مطالعه این نتیجه نیز بدست آمد که برای داده‌های دارای چولگی بهتر است از میانه جریان ماهانه تاریخی به جای میانگین استفاده به عمل آورد. در نهایت این نتیجه‌گیری به عمل آمد که دبی حاصل از River2D در رودخانه در همه ماه‌ها قابل تأمین نمی‌باشد، در حالی که روش RVA جریان زیست‌محیطی حداقلی بدست می‌دهد که می‌تواند تمام معیارهای مورد انتظار برای حفظ محیط زیست در رودخانه را ارضا نماید.

کلمات کلیدی: روش‌های هیدرولوژیکی، مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه، رژیم اکولوژیکی، RVA.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۵/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۰/۱۵

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Using RVA Model for Defining River Ecological Regime for Determining Environmental Flow

S. Khanmohammady Fallah [1] and A. Shokoohi[2]*

Abstract

In many countries, especially developing countries, due to data shortage and costly environmental studies, simple hydrologic methods, such as the Tenant and Q_{95} methods, are main methods for determining environmental flow requirements. In this study, it was shown that employing these methods could lead to results which do not comply with ecological conditions of rivers. For illustrating difficulties in providing required data for running physical habitat simulation models the River2D as a 2D hydraulic model was used. The ecological regime of the studied river resulted from River2D was completely different from the outcomes of the two aforementioned hydrologic methods. The RVA method was investigated based on the assumption that the method is as simple as the other hydrologic methods while it is capable of giving results as precise as habitat simulation models. In the case study, the situation of the river based on the suggested EF by the Tenant and Q_{95} methods was shown and it was illustrated that the monthly ecological flow determined via River2D was captured by the upper and lower limits of the RVA method. Moreover, it was concluded that using monthly median flow instead of mean monthly flow is preferable in the presence of skewness. Finally, it was determined that the discharges prescribed by River2D could not be supplied in all months, while the RVA minimum monthly environmental flows could satisfy all the necessary conditions for conserving biotic and abiotic habitat in the study river.

Keywords: Hydrologic Methods, Habitat Simulation Model, Ecological Regime, RVA.

Received: August 18, 2017
Accepted: January 5, 2018

1- M.Sc. Graduate, Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir
*- Corresponding Author

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

به دلیل کمبود دانش کافی در مورد چگونگی رفتار طبیعت و بازگشت اثرات کم‌توجهی به داشتن رودخانه سالم به محیط انسانی، تأمین جریان زیست‌محیطی آخرین مقوله‌ای است که در پروسه تخصیص جریان در نگرش انسان محور بدان پرداخته می‌شود (king et al., 2008; Arthington et al., 2006). در حال حاضر در مورد اهمیت رژیم جریان رودخانه در شکل‌گیری طولانی مدت فرآیندهای اکولوژیکی عمده توافق وجود دارد (Poff and Zimmerman, 2010; McClain et al., 2014; Tsai et al., 2016) و دست‌یابی به یکپارچگی اکولوژیکی از طریق حفظ جریان طبیعی ضروری قلمداد گردیده است (Homa et al., 2005). در مواجه با برداشت بی‌رویه از رودخانه‌ها، روش‌های ارزیابی جریان زیست‌محیطی سعی در تعیین استانداردهایی دارند که می‌توانند بدون صدمه به زیستگاه آبی و غیرآبی در رودخانه اعمال شوند (Shokoohi and Hong, 2011; Bahukandi and Ahuja, 2013). هم اکنون بیش از ۲۰۰ روش ارزیابی جریان زیست‌محیطی در دنیا در حال استفاده می‌باشد (Tharme, 2003). انتخاب بهترین روش برای تخصیص جریان زیست‌محیطی در یک رودخانه به عوامل زیادی بستگی دارد: سطح حفاظت از رودخانه، اهمیت تقلید از رژیم طبیعی رودخانه که خود به عامل قبلی بستگی دارد، دسترسی به داده، سادگی روش و در نهایت سهولت کاربرد. در حالی که برخی روش‌ها، با صرف هزینه‌ای ناچیز در آماده‌سازی اطلاعات موردنیاز، حداقل حق‌آبه زیست‌محیطی را تعیین می‌کنند، روش‌های دیگری وجود دارند که هزینه و زمان زیادی برای تعیین رژیم جریان اکولوژیکی مناسب و تشخیص اجزای گیاهی و غیرگیاهی رودخانه صرف می‌کنند (Zarakani et al., 2017). اولین گروه این روش‌ها، که جریان زیست‌محیطی را مقداری ثابت تعریف می‌کنند، به نام روش‌های هیدرولوژیکی شناخته شده‌اند. گروه دوم، که اساساً تلاش در تقلید از رژیم جریان طبیعی رودخانه در حضور اثرات انسانی دارند به دو گروه تقسیم می‌شوند که به ترتیب اهمیت و دقت عبارتند از: روش‌های شبیه‌ساز زیستگاه و روش‌های جامع‌نگر. روش مونتانا یا تنانت و روش Q_{95} ، مثال‌هایی از گروه اول و روش‌های River2D و BBM مثال‌هایی از گروه دوم هستند (Zhang et al., 2016). روش‌های هیدرولوژیکی خاصی وجود دارند که قادرند با معرفی تعدادی شاخص، رژیم اکولوژیکی برای برداشت مطمئن از رودخانه را تعیین کنند. در اینجا مفهوم جریان زیست‌محیطی به عنوان مقداری ثابت از متوسط جریان سالانه (MAF[1])، با مفهوم "محدوده‌ای از جریان" جایگزین می‌شود (Mullick et al., 2010; Olden et al., 2012; Zhang et al., 2016). از این گروه روش‌های تغییر هیدرولوژیکی[2] (Richter et al., 1996) و متریک‌های اکو-جریان (Vogel et al., 2007) به طور گسترده استفاده شده‌اند و به عنوان روش‌های مناسب و معقول برای ارزیابی و کنترل گسترده تغییرات رودخانه‌ها استفاده می‌شوند (Gao et al., 2012; Zhang et al., 2015).

مطالعه حاضر با این فرض اینکه بهترین راه‌کار مدیریت رودخانه ایجاد جریانی است که از رژیم طبیعی رودخانه پیروی می‌کند، در درجه اول سعی نموده است به بررسی روش‌های هیدرولوژیکی ساده، بخصوص روش تنانت که در ایران برای تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی به رسمیت شناخته شده است بپردازد و سپس با شناسایی توانایی‌های روش RVA[3] به عنوان یک روش هیدرولوژیکی، برای اولین بار آن را در مقام مقایسه با روش‌های شبیه‌ساز ایستگاه (مدل River2D) در شبیه‌سازی رژیم اکولوژیکی رودخانه بکار گیرد. پژوهش حاضر می‌خواهد با تکیه بر نتایج تحقیقات پیشین (Shokoohi and Yong, 2011; Shokoohi and Amini, 2014) نشان دهد در حالی که دو روش هیدرولوژیکی شناخته‌شده یعنی روش‌های تنانت و Q_{95}، جریان حداقل زیست‌محیطی را به گونه‌ای تعیین می‌کنند که ممکن است منجر به فجایای زیست‌محیطی شود، می‌توان با استفاده از روش RVA در تعیین حق آبه زیست‌محیطی، در جایی که داده‌های دردسترس تنها محدود به داده‌های هیدرولوژیکی هستند، رژیم اکولوژیکی رودخانه را حفظ نمود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، رودخانه کاظم‌رود واقع در حوضه آبریز چالوس در شمال ایران است (شکل ۱). در خروجی رودخانه ایستگاهی با مختصات جغرافیایی ۵۰۸۵۳۰ شرقی و ۴۰۶۴۹۶۴ شمالی در زون ۳۹ وجود دارد. طول داده‌های ثبت‌شده ایستگاه از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۳ می‌باشد. میانگین دبی ماهانه طبیعی برای رودخانه کاظم‌رود در ایستگاه، مطابق جدول ۱ است.

Table 1- Mean monthly discharge of the Kazemroud river

جدول ۱- میانگین دبی ماهانه رودخانه کاظم‌رود

Month	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.
Discharge (cumecs)	3.00	3.01	3.01	2.2	2.53	3.85	3.86	2.29	1.23	1.14	0.73	1.53

Archive of SID
www.SID.ir

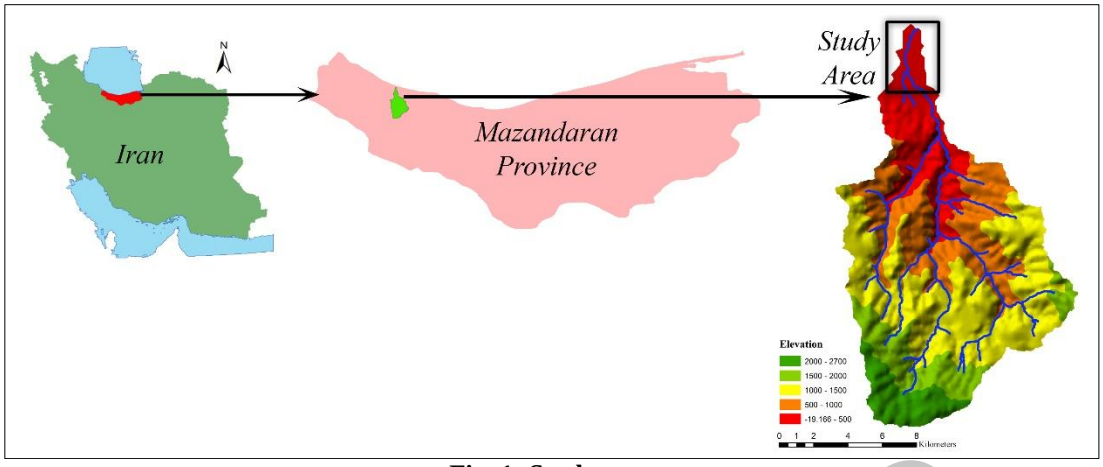

Fig. 1- Study area

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش محدوده تغییرپذیری (RVA)

اکوسیستم رودخانه هم به جریان‌های کم نیاز دارد و هم به جریان‌های زیاد (Vogel et al., 2006; King et al., 2008). زمانی که رودخانه جریانی خارج از محدوده نرمال آن داشته باشد، پتانسیل حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری خود را از دست می‌دهد (Richter et al., 1996). ریکتر و همکاران، پارامترهایی همچون سیلاب‌های سالانه، تداوم و فراوانی جریان‌های کم، زمان جریان‌های بالا و پالس‌های پایین رودخانه را به عنوان پیشران‌های اکولوژیکی پیشنهاد کردند که می‌توان از آنها برای ارزیابی شرایط واقعی رودخانه بدون مطالعه مستقیم موجودات زنده و تمام اجزای گیاهی آن استفاده نمود (Richter et al., 1996,1997). آنها برای تعیین میزان تغییرات اکولوژیکی رودخانه ۳۳ پارامتر که به عنوان IHA[۳] یعنی شاخص تغییرات هیدرولوژیکی شناخته می‌شوند و نیز تکنیک RVA را معرفی نمودند (Richter et al., 1996,1997,1999; Smakhtin et al., 2006). این روش برای رودخانه‌هایی توسعه داده شد که در آنها یکپارچگی اکوسیستم رودخانه در مدیریت محیط‌زیستی آن نقش مهمی دارد (King et al., 2008; Shokoohi and Hong, 2011). تکنیک RVA به عنوان روشی علمی و مؤثر برای مدیریت رودخانه‌ها پذیرفته شده است (Yang et al., 2008; Zhang et al., 2009; Sun and Feng, 2013; Li et al., 2015b). در واقع، ایده اصلی روش RVA نگهداری شرایط جریان در محدوده تغییرات طبیعی آن و در عین حال فراهم نمودن ابزاری ساده برای مدیریت زیست‌محیطی بدون نیاز به تحقیقات پرهزینه و زمانبر اولیه می‌باشد. اساس ایده استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی به جای مطالعه تمام اجزای گیاهی و جانوری رودخانه مرتبط کردن شاخصه‌های اصلی این اجزا با ۵ گروه از متغیرهای هیدرولوژیکی می‌باشد (جدول ۲) به نحوی‌که با حفظ هرکدام از آنها در فاصله‌ای منطقی از میانه یا میانگین جریان رودخانه، شرایط اکولوژیکی تحت تأثیر اثرات انسانی ایمن خواهد ماند (Richter et al., 1996). جدول ۲، پارامترهای IHA را نشان می‌دهد که بر اساس کاربردهای اکولوژیکی، به پنج گروه تقسیم شده‌اند. در هر کدام از این گروهها، خصوصیاتی همچون بزرگی، مدت دوام، زمان رخداد، فراوانی و سرعت تغییرات واقعه هیدرولوژیکی مد نظر قرار می‌گیرند (Tang et al., 2012). در روش RVA محدوده تغییرات هر کدام از پارامترهای IHA از روی رژیم طبیعی جریان استخراج شده و به عنوان تابع هدف برای مدیریت جریان مد نظر قرار می‌گیرد (Richter et al., 1997). برای تحلیل جریان زیست‌محیطی در روش RVA (در نرم‌افزار IHA) دو روش آماری یعنی روش‌های پارامتری و ناپارامتری معرفی شده‌اند (Anonymous, 2016). تحلیل پارامتری زمانی به کار می‌رود که داده‌های جریان توزیع نرمال داشته باشند. در این حالت، رژیم جریان با استفاده از دبی میانگین ماهانه تعیین می‌گردد. در این حالت حدود RVA، که شامل تمام نوسانات قابل قبول جریان است، با اضافه و کم‌کردن یک انحراف معیار به میانگین جریان ماهانه به دست می‌آید. در روش ناپارامتریک، از میانه جریان ماهانه استفاده می‌شود که در این حالت حدود RVA و درواقع محدوده تغییرات رژیم جریان رودخانه با اضافه و کم‌کردن ۱۷ درصد به این مقدار، تعیین می‌گردد.

۲-۳- روش‌های شبیه‌ساز زیستگاه و River2D

در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های شبیه‌ساز زیستگاه داده‌های بیشتر و دقیق‌تری نیاز دارند. در این روش‌ها، ویژگی‌های هیدرولیکی آبراهه رودخانه همانند عمق و سرعت برای تعیین دبی، که

Archive of SID

www.SID.ir

Table 2- Different types of flows in rivers and their importance in ecosystem performance (Zarakani et al., 2017)

جدول ۲- انواع مختلف جریان رودخانه و اهمیت این جریان‌ها در عملکرد اکوسیستم (پارامترهای IHA) (Zarakani et al., 2017)

Environmental Flow Component	Importance in ecosystem
Monthly Low Flow	Providing adequate and suitable habitat
Extreme Low Flows	Providing minimum habitat for living creatures including plants, preys and predators for short time
High flows	Establishing macro habitat through shaping main channel and providing/establishing normal water quality condition
Floods	Small floods: Washing bed sediment; Large floods: connecting main channel and floodplain to enhance aquatic life and saving life in floodplain in order to saving life in main channel

مربوط به محیط‌زیست گیاهی و جانوری است، با استفاده از منحنی‌های مناسب‌بودن زیستگاه یعنی HSC[۴] برای گونه‌های انتخاب شده، محاسبه می‌شوند. منحنی‌های مناسب‌بودن زیستگاه به عنوان یک رابط بین هیدرولیک و زیستگاه آبی رودخانه عمل می‌کند (Bovee, 1986). در این روش، رودخانه به تعدادی سلول تقسیم می‌شود و ویژگی‌های هیدرولیکی آنها از طریق درونیابی بین مقطعی به دست می‌آید. ترکیب HSCهای مختلف برای هرسلول یک شاخص مناسب‌بودن ترکیبی[۵] به وجود می‌آورد که با ضرب‌کردن در مساحت سلول، فاکتور دیگری به نام مساحت قابل استفاده وزنی[۶] (WUA) را به‌دست می‌دهد. اجرای مدل برای دبی‌های متفاوت منحنی‌های دبی–WUA را می‌دهد که در آنها رابطه بین دبی و کیفیت و کمیت میکروزیستگاه[۷] قابل دست‌یابی است (Nikghalb et al., 2016). این منحنی مهم برای بررسی تغییرات زیستگاه متناسب با دبی استفاده می‌شود. یکی از شناخته شده‌ترین مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه، مدل PHABSIM است که بسته‌ای از مدول‌های هیدرولیکی و زیستگاهی می‌باشد (Milhous and Waddle, 2012). مدول هیدرولیکی این مدل یک بعدی است و برای رودخانه‌هایی با تغییرات معنی‌دار در پلان و بستر و بدون نقشه‌برداری از جزئیات منجر به برآورد ناصحیح پارامترهای هیدرولیکی می‌شود (Kondolf et al., 2000; Nikghalb and Shokoohi, 2012). در سال‌های اخیر، به منظور حل برخی از مشکلات مدل یک بعدی، مدل‌سازی دو بعدی در شبیه‌سازی زیستگاه مرسوم شده است. در مدل‌سازی دو بعدی، هم پلان و هم مقطع عرضی رودخانه در نظر گرفته می‌شوند (Nikghalb and Shokoohi, 2012). یکی از شناخته شده‌ترین مدل‌ها در این زمینه، نرم‌افزار River2D که توسط دانشگاه آلبرتا کانادا توسعه داده شده است (anonymous-b, 2016). River2D برای استفاده در آبراهه‌های طبیعی طراحی شده است (Steffler and Blackburn, 2002) و قادر است هم جریان‌های بحرانی و هم جریان‌های فوق بحرانی را شبیه‌سازی نماید (Nikghalb and Shokoohi, 2012; Schwartz Neff, 2011).

۲-۴- روش تنانت

روش تنانت و یا مونتانا پرکاربردترین روش هیدرولوژیکی استفاده شده برای تخصیص جریان زیست‌محیطی در بسیاری از کشورهاست (Tharme, 2003). این روش توسط تنانت برای ۱۱ رودخانه در مونتانا، وایومینگ و نبراسکا در ایالات متحده آمریکا و به منظور ارزیابی محل عبور ماهی‌ها در بستر رودخانه توسعه داده شد (Tenant, 1976; Shokoohi and Hong, 2011; Shokoohi and Amini, 2014). تنانت ۱۰ درصد از متوسط جریان سالانه (MAF[۸]) را به عنوان حداقل جریان ممکن (MEF[۹]) برای حفظ ماهی‌ها در کوتاه مدت، ۳۰ درصد و ۶۰ درصد از متوسط جریان سالانه را به ترتیب به عنوان شرایط خوب و مناسب زیستگاه تعریف نمود. از آنجایی که تنانت معیارهای مورد نیاز برای استفاده از این روش را تعیین نکرد، شباهت مورفولوژیکی رودخانه مورد نظر به رودخانه مورد مطالعه تنانت، پیش‌نیاز استفاده از این روش می‌باشد. موضوع دیگر در رابطه با این روش این است که تغییرات روزانه و ماهانه جریان در نظر گرفته نمی‌شوند (Smakhtin, 2006). به منظور به کاربردن روش تنانت، یک سال به دو دوره تقسیم می‌شود: ۱- از مهر تا اسفند، ۲- از فروردین تا شهریور، و سپس بر اساس قوانین در نظر گرفته‌شده برای مدیریت جریان رودخانه، جریان زیست‌محیطی آزاد می‌گردد. جزئیات مربوط به این روش در جدول ۳ مشاهده می‌شوند.

۲-۵- روش Q_{95}

روش Q_{95} دیگر روش هیدرولوژیکی مهم است که در آن، جریان زیست‌محیطی با آنالیز منحنی تداوم جریان به دست می‌آید. در این روش هیدرولوژیکی ساده، حداقل جریان زیست‌محیطی جریانی است که در ۹۵ درصد سال در رودخانه جریان دارد.

Archive of SID
www.SID.ir

Table 3- Suggested discharges in the Tenant method as percent of MAF (Tenant, 1976)
جدول ۳- دبی‌های پیشنهادی روش تنانت به عنوان درصدهایی از میانگین جریان سالانه (Tenant, 1976)

Description of flows	October–March	April–September
Flushing or maximum	200%	
Optimum range	60–100%	
Outstanding	40%	60%
Excellent	30%	50%
Good	20%	40%
Fair or degrading	10%	30%
Poor or minimum	10%	10%
Severe degradation	0–10%	

اطلاعات زیادی در رابطه با این روش و نیز روش تنانت در مراجع وجود دارد (Arthington & Zalucki, 1998; Schoeller & Sánchez, 2005; Shokoohi and Hong, 2011; Shokoohi and Amini, 2014).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- جریان‌های میانه/میانگین ماهانه و حدود RVA

با اجرای روش RVA برای رودخانه کاظم‌رود، در کنار خروجی‌های متفاوتی که عنوان‌های ذکر شده در جدول ۲ را تأمین می‌کنند، میانگین و میانه دبی ماهانه در هر دو محدوده کم و زیاد، که شامل تمام دبی‌های مجاز برای حفظ زیستگاه رودخانه نزدیک به شرایط طبیعی هستند، به‌دست می‌آیند. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار IHA، انجام محاسبات به صورت پارامتریک و هم به صورت ناپارامتریک است. همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود جریان متوسط برای همه ماه‌های سال کمتر از میانگین جریان متناظر می‌باشد که به معنی وجود یک چولگی مثبت در تابع توزیع احتمال دبی ماهانه رودخانه است (شکل ۲). براساس این مشاهدات، نتیجه‌گیری شد که توزیع نرمال، انتخاب مناسبی برای تعریف رفتار احتمالاتی جریان ماهانه رودخانه کاظم‌رود نیست.

۳-۲- نتایج روش River2D

براساس گزارشات موجود (anonymous, 2008)، مهم‌ترین ماهی موجود در منطقه، ماهی Luciobarbus Capita است. براین اساس ماهی مزبور به عنوان گونه شاخص برای تعیین منحنی‌های مناسب‌بودن زیستگاه در نظر گرفته شد. باتوجه به فعالیت‌های عمرانی اخیر در داخل و اطراف رودخانه کاظم‌رود، محل‌های مهاجرت این ماهی به شدت تخریب شده است و همچنین زیستگاه تخم‌های Luciobarbus capito در معرض خطر واقع شده و در سال‌های اخیر مسیر مهاجرت ماهی‌ها به سمت رودخانه تغییر پیدا کرده است.

Table 4- Mean and Median flow, low and high boundaries of RVA (m^3/sec)
جدول ۴- جریان میانه و میانگین و حدود بالا و پایین روش RVA (m3/sec)

Month	Non-parametric method			Parametric method		
	Median	RVA boundaries		Mean	RVA boundaries	
		Low	High		Low	High
October	2.01	1.169	2.598	3.705	1.271	6.914
November	1.82	1.318	2.805	4.037	2.737	6.688
December	1.97	1.645	3.676	3.167	1.694	4.64
January	2	1.484	2.648	2.413	1.266	3.56
February	2.8	1.883	4.284	3.885	1.771	5.999
March	3.39	3.028	5.558	5.021	2.121	7.921
April	4.15	2.063	5.548	4.204	1.673	6.735
May	0.73	0.5956	1.184	1.675	0.6	3.451
June	0.575	0.4428	0.6622	0.7286	0.4059	1.051
July	0.47	0.3628	0.7172	0.9898	0.3735	2.001
August	0.54	0.4284	0.6288	0.6322	0.2549	1.009
September	1.28	0.872	1.603	2.35	0.7353	3.965

Archive of SID
www.SID.ir

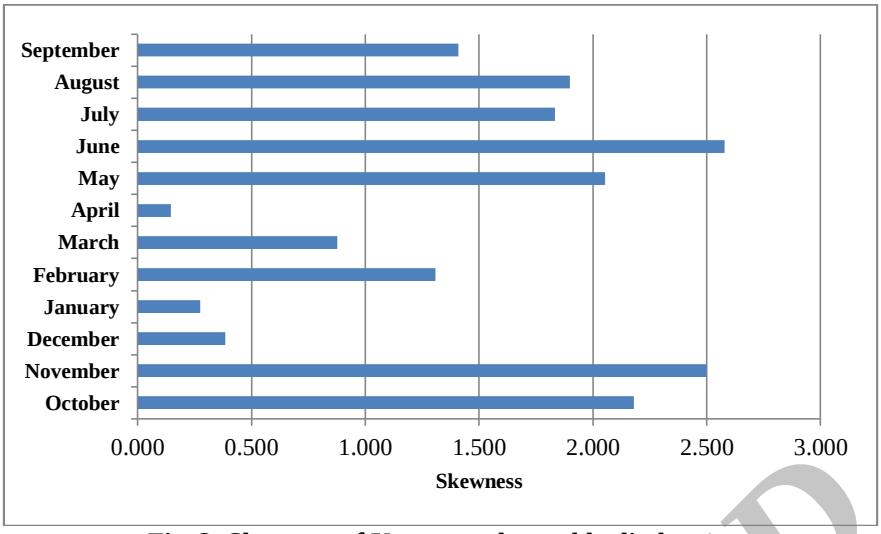

Fig. 2- Skewness of Kazemroud monthly discharges

شکل ۲- چولگی دبی ماهانه کاظم‌رود

بنابراین، مرحله مهاجرت به عنوان مرحله هدف (مهم‌ترین مرحله) زندگی Luciobarbus capito انتخاب شد. باتوجه به گونه شاخص رودخانه، ۱۰ کیلومتر آخر کاظم‌رود به سمت دریای مازندران برای مطالعه نقطه نظرات زیست‌محیطی مناسب تشخیص داده شد.

نتایج شبیه‌سازی River2D برای رابطه دبی–WUA و رژیم اکولوژیکی ماهانه پیشنهادی در شکل ۳ و جدول ۵ ارائه شده‌اند (Nikghalb et al., 2016).

۳-۳- روش تنانت

نتایج به‌کارگیری روش تنانت برای مطالعه موردی با در نظرگرفتن شرایط مختلف زیستگاهی در جدول ۶ مشاهده می‌شود.

۳-۴- روش Q_{95}

برای استخراج حداقل جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش Q_{95}، منحنی تداوم جریان رودخانه کاظم‌رود با استفاده از داده‌های روزانه جریان محاسبه و در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، مقدار Q_{95} برابر با ۰/۲۵ مترمکعب محاسبه شد.

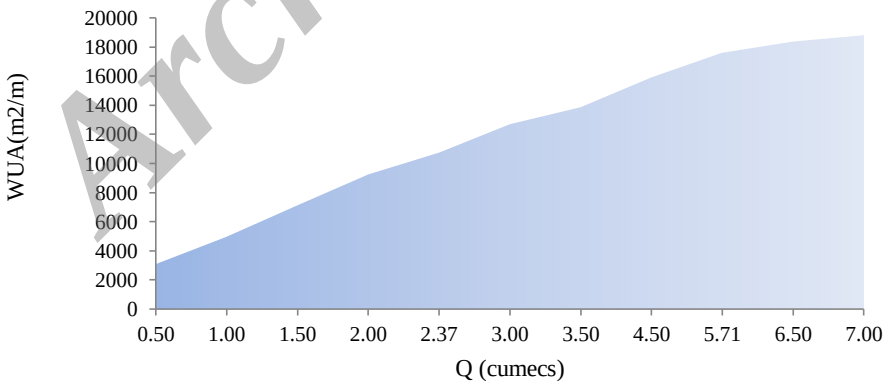

Fig. 3- WUA-discharge curve derived via River2D simulation

شکل ۳- منحنی دبی–WUA حاصل از شبیه‌سازی River2D

Table 5- The River2D suggested ecological regime (cms)

جدول ۵- رژیم اکولوژیکی ماهانه پیشنهادی River2D (m3/s)

Month	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.
Environmental Flow (m^3/sec)	2.61	2.45	2.46	1.9	2.06	2.77	2.75	1.83	1.16	0.9	0.58	1.27

Archive of SID
www.SID.ir

Table 6- Results of the Tennant method

جدول ۶- نتایج روش تنانت

Month	Ecological Condition			
	Perfect	Good	Weak	Acceptable
October	1.18	0.94	0.23	0.71
November	1.18	0.94	0.23	0.71
December	1.18	0.94	0.23	0.71
January	1.18	0.94	0.23	0.71
February	1.18	0.94	0.23	0.71
March	1.18	0.94	0.23	0.71
April	0.71	0.47	0.23	0.23
May	0.71	0.47	0.23	0.23
June	0.71	0.47	0.23	0.23
July	0.71	0.47	0.23	0.23
August	0.71	0.47	0.23	0.23
September	0.71	0.47	0.23	0.23

۳-۵- مقایسه بین جریان‌های زیست‌محیطی متفاوت حاصل از روش‌های مذکور

در شکل‌های ۵ و ۶ نتایج به دست‌آمده از طریق روش‌های Q_{95} و تنانت علاوه بر موارد دیگر ملاحظه می‌گردد. مشاهده می‌شود که جریان زیست‌محیطی حداقل که توسط Q_{95} و تنانت (۱۰ درصد میانگین جریان سالانه) محاسبه شده است خیلی پایین‌تر از میانگین و میانه جریان در تمام ماه‌های یک سال آبی می‌باشند. بر اساس آنچه که توسط محققین دیگر گزارش شده است (Shokoohi and Hong, 2011; Shokoohi and Amini, 2014; Zarakani et al., 2017)، اگر در رودخانه‌ای چنین جریان زیست‌محیطی تجویز شود، زیستگاه رودخانه با فاجعه مواجه خواهد شد. در گزینه‌ای دیگر برای داشتن شرایط مناسب در بخش اول سال یعنی در سراسر فصل پاییز و زمستان، دبی‌ها در سطح ۲۰ درصد MAF نگه داشته شدند، در حالی‌که برای بقیه سال دبی‌ها تا ۴۰ درصد MAF افزایش یافتند.

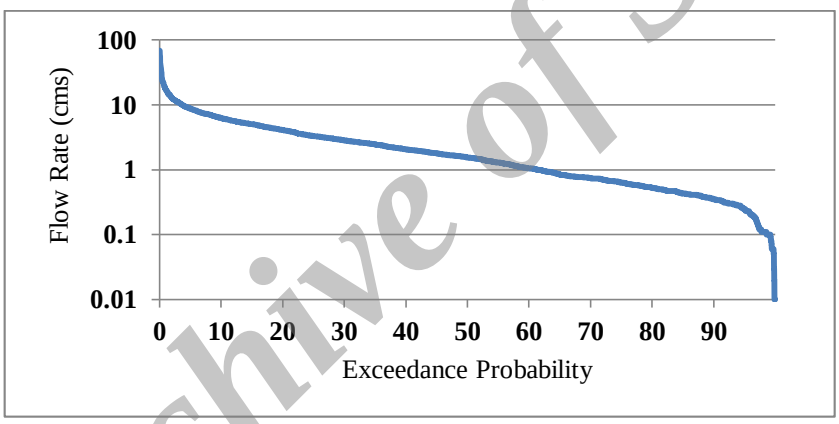

Fig. 4- Flow Duration Curve of Kazemroud River

شکل ۴- منحنی تداوم جریان کاظم‌رود

در حقیقت، در حالی‌که در بهار و تابستان با افزایش رقابت برای استفاده از آب برای مقاصد مختلف کشاورزی، شرب و صنعت روبرو هستیم، به نظر می‌رسد افزایش دبی‌های اکولوژیکی برای تابستان و به ویژه در بهار بر اساس روش تنانت توصیه‌ای متکی بر محور حفظ محیط‌زیست باشد که می‌تواند منجر به بروز درگیری بین گروههای بهره‌بردار گردد. این فصول، در بخش‌های جنوبی دریای خزر که منطقه‌ای نیمه مدیترانه‌ای است، فصل مهاجرت ماهی‌ها از دریا به رودخانه و تخم‌ریزی و تولید مثل برای گونه‌های مختلف است (Abdoli and Naderi, 2008). در هر حال دبی زیست‌محیطی توصیه‌شده بر اساس شکل‌های ۵ و ۶ بیشتر از میانه/میانگین دبی ماهانه در بخش اعظم دو فصل بحرانی یاد شده بوده و رودخانه نمی‌تواند این نیاز را به طور مشخص برآورد نماید. با توجه به حقابه‌های موجود و در نظر گرفتن نیاز روزافزون آینده، مشکلات به‌کار بردن چنین روش‌هایی بدون واسنجی بیشتر آشکار می‌شود. این حقیقت می‌تواند دلیل این امر باشد که بیشتر کشورهای دنیا نسخه‌ای اصلاح شده از روش تنانت را برای تخصیص و ارزیابی جریان‌های زیست‌محیطی بکار بسته‌اند (Tharme, 2003).

چولگی مثبت دبی ماهانه رودخانه کاظم‌رود (شکل ۲)، استفاده از تحلیل ناپارامتری جریان زیست‌محیطی را پیشنهاد می‌کند ولی با توجه به این حقیقت که تقریباً تمام روش‌های دیگر از جریان میانگین برای تحلیل استفاده می‌کنند، در این پژوهش از روش پارامتری (PAR-RVA) نیز برای تحلیل جریان و تعیین حدود بالا و پایین رژیم اکولوژیکی استفاده شد. شکل ۵ نتایج تحلیل PAR-RVA را نشان

Archive of SID
www.SID.ir

می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که River2D قادر به شبیه‌سازی نوسانات طبیعی جریان رودخانه می‌باشد. در حالی که نیاز زیست‌محیطی به دست آمده از این روش تقریباً برای همه ماه‌ها کمتر از میانگین جریان ماهانه می‌باشد. در ماه اردیبهشت، تیر و مرداد این جریان زیست‌محیطی برابر با جریان ماهانه و در خرداد بزرگتر از میانگین جریان ماهانه است. قابل توجه‌ترین نکته موجود در نتایج نشان داده شده در شکل ۵، قرار گرفتن رژیم اکولوژیکی تعیین شده توسط River2D در بین محدوده‌های RVA است.

شکل ۶ نتایج RVA در حالت ناپارامتری (NPAR-RVA) را نشان می‌دهد، که در مقایسه با PAR-RVA محافظه‌کارانه‌تر (conservative) است. در واقع، داشتن چولگی مثبت در دبی ماهانه رودخانه منجر به مقادیر کوچک‌تر برای میانه جریان در مقایسه با میانگین داده‌ها شد. نکته جالب در این شکل قرار گرفتن منحنی جریان اکولوژیکی River2D بالای منحنی میانه جریان و خارج از محدوده‌های NPAR-RVA در نیمه دوم سال بوده است. این نتیجه می‌تواند هشداری برای مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه باشد که از میانگین جریان ماهانه رودخانه بدون درنظر گرفتن رژیم رودخانه و رفتار احتمالاتی داده‌ها استفاده می‌نمایند.

با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ این نتیجه‌گیری به‌عمل آمد که NPAR-RVA قادر به ارائه رژیم اکولوژیکی برای رودخانه از دو نقطه نظر علمی و عملی است. از نظر عملی و با در نظر گرفتن حقآبه بهره‌وران رودخانه، مشخص شد که جریان اکولوژیکی باید جایی بین میانگین جریان و حد پایین حاصل از NPAR-RVA باشد. به منظور بررسی تأثیر روش‌های پارامتری و ناپارامتری بر رژیم اکولوژیکی، با تمرکز بر حدپایین RVA به عنوان حداقل نیاز آبی اکولوژیکی، مقایسه‌ای بین PAR-RVA و NPAR-RVA صورت گرفت. نتایج ارائه‌شده در شکل ۷ نشان می‌دهد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین حداقل جریان زیست‌محیطی تعیین شده توسط این دو روش برای نیمه دوم سال مشاهده نمی‌شود. در این شکل، سه ماه خاص وجود دارد، آبان، که در این ماه روش پارامتری مقدار بالاتری برای MEF تعیین نموده است. اسفند و فروردین که در آنها روش‌های ناپارامتری مقدار بیشتری را داشته است. با محدود کردن بحث به مطالعه موردی و ماه‌های اصلی مهاجرت ماهی‌ها در منطقه (Abdoli and Naderi, 2008) تخصیص جریان بیشتر در این دو ماه توسط روش ناپارامتری و حفظ زیستگاه آبزیان در محدوده‌ای قابل قبول، امتیاز غیرقابل انکاری برای روش ناپارامتری در تحلیل جریان زیست‌محیطی از طریق RVA محسوب می‌شود. در شکل ۶، مشاهده می‌شود که MEF پیشنهاد شده توسط دو روش هیدرولوژیکی دیگر، یعنی روش‌های تنانت و Q_{95} به محدوده پایین NPAR-RVA حتی برای یک ماه هم نرسیده‌اند، به‌طوری که در تیرماه بهترین MEF معرفی‌شده در حدود ۱۲۰ لیتر در ثانیه است که کمتر از مقدار مشابه توسط NPAR-RVA است.

۴- نتیجه‌گیری

هدف اصلی مطالعه حاضر پاسخ به این سؤال در مورد تخصیص EFR[۱۰] بوده است که: جایگاه دقیق روش‌های هیدرولوژیکی در مقایسه با مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه که دقیق‌تر اما پرهزینه‌تر و زمان‌برتر از نظر تأمین اطلاعات مورد نیاز هستند کجاست؟

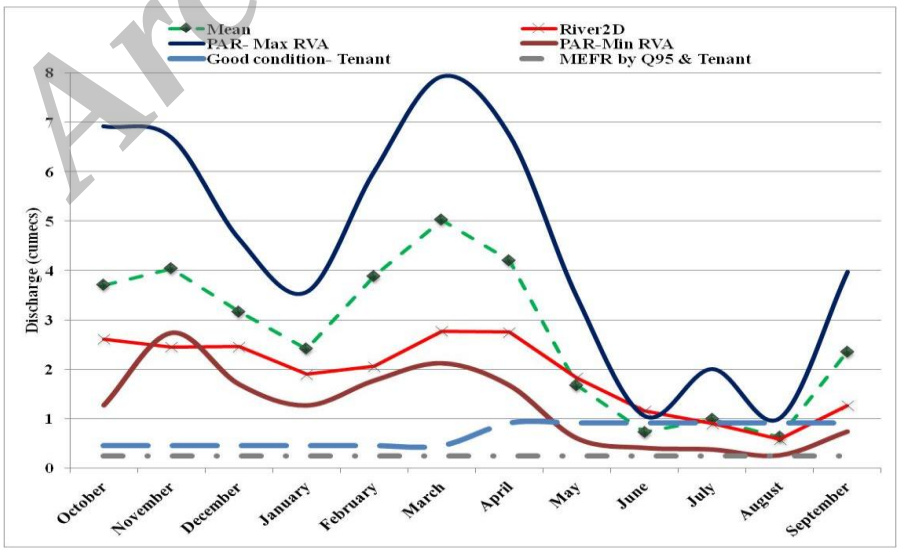

Fig. 5- Comparing parametric RVA results with River2D, Tenant and Q95 methods

شکل ۵- مقایسه نتایج پارامتری RVA با روش‌های River2D ، تنانت و Q_{95}

Archive of SID
www.SID.ir

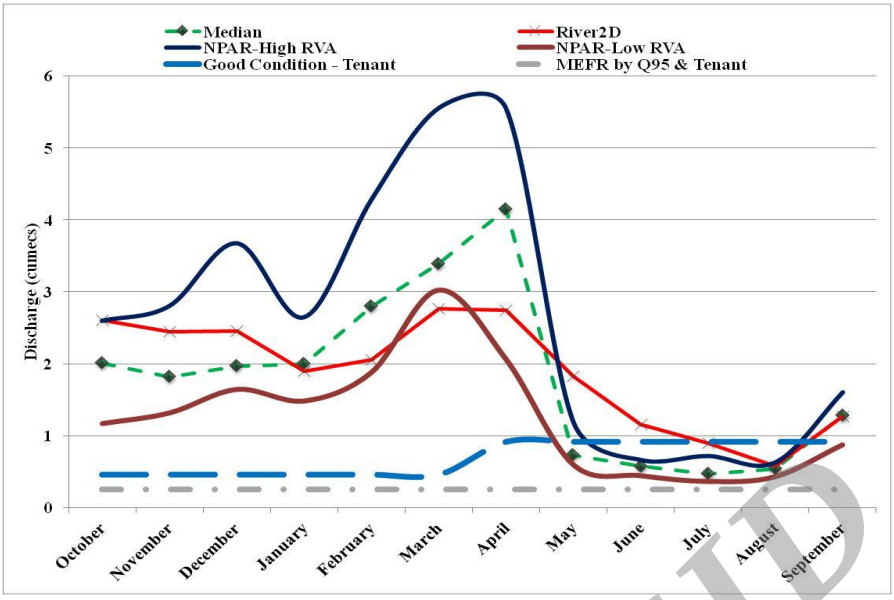

Fig. 6- Comparing non-parametric RVA results with River2D, Tenant and Q95 method

شکل ۶- مقایسه نتایج ناپارامتری RVA با روش‌های River2D، تنانت و Q_{95}

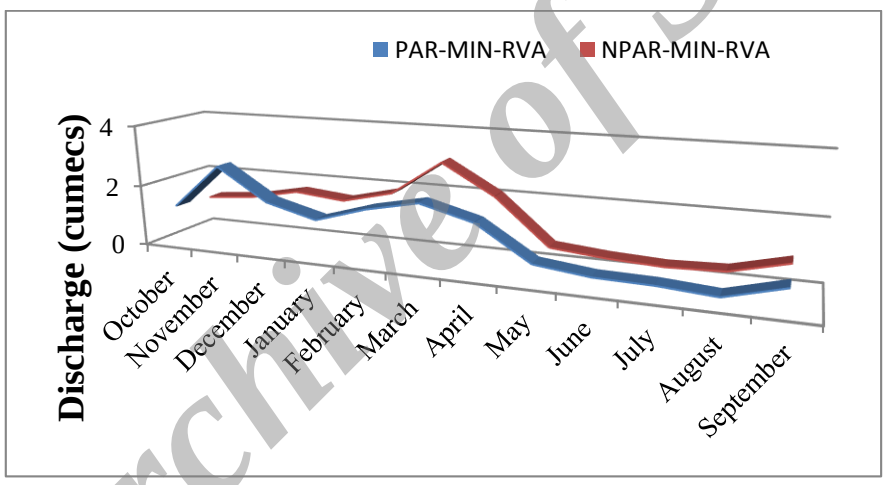

Fig. 7- Minimum environmental flow via parametric and non-parametric RVA method

شکل ۷- حداقل جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری RVA

مزایای روش‌های هیدرولوژیکی واضح است: کم‌هزینه و سریع بوده و بهترین و شاید تنها انتخاب کارشناسان در ارزیابی جریان زیست‌محیطی تحت شرایط کمبود داده می‌باشند. در واقع تنها نیاز تمام روش‌های این گروه، داده‌های دبی رودخانه می‌باشد. معایب چنین روش‌هایی نیز مشخص است: دقت کم، تعیین مقداری ثابت برای EFRدر سراسر سال/فصل آبی بدون در نظر گرفتن تغییرات طبیعی جریان و تجویز EFR بدون در نظر گرفتن نوع و وضعیت موجودات زنده رودخانه و نیازهایشان در مراحل مختلف زندگی. از طرفی، مزیت‌های غیرقابل انکاری برای مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه وجود دارد که می‌توان مواردی همچون تعیین EFR ماهانه متغیر و یا یک رژیم اکولوژیکی قابل اعتماد برای حفظ کل زیستگاه گیاهی و جانوری را ذکر کرد. مشکلی که در اجرای این مدل‌ها در تخصیص EFR وجود دارد این است که تأمین زمان و هزینه آماده‌سازی پروژه‌ها با داده‌های مورد نیاز در بسیاری نقاط کشور مقدور نیست.

River2D به عنوان یک روش شبیه‌ساز زیستگاهی شناخته‌شده از یکطرف و روش‌های تنانت، Q_{95} و RVA به عنوان پرکاربردترین روش‌های هیدرولوژیکی به منظور یافتن راه حلی مناسب انتخاب شدند. در این مطالعه نشان داده شد که در حالی که River2D می‌تواند با موفقیت، رفتار طبیعی و درون‌سالی رودخانه را شبیه‌سازی کند، حدود بالا و پایین RVA، رژیم اکولوژیکی پیشنهاد شده توسط River2D برای رودخانه کاظم‌رود را پوشش می‌دهد. MEF معرفی‌شده توسط

Archive of SID
www.SID.ir

Q_{95} و تنانت، خیلی پایین‌تر از میانگین و میانه جریان‌های تاریخی رودخانه بود. نتایج به دست آمده، ضرورت غیرقابل انکار نیاز به واسنجی این روش‌ها را بطور مستقل برای هر رودخانه نشان می‌دهد. مقدار ثابت MEF معرفی‌شده توسط این روش‌ها بدون واسنجی، می‌تواند به فجایای زیست‌محیطی در رودخانه منجر شود. در روش تنانت برای حفظ شرایط مطلوب در رودخانه، پس از برداشت آب از رودخانه برای اهداف دیگر، مقدار جریان بیشتر از مقدار میانه/میانگین دبی رودخانه در بهار و تابستان بوده است که عملاً غیرواقعی و غیرکاربردی است.

RVA در حالی‌که دقیقاً مانند دو روش هیدرولوژیکی دیگر تنها از داده‌های دبی استفاده می‌کند، با توجه به چولگی داده‌ها تحت دو فرآیند متفاوت به کارگرفته شد. در تحلیل‌های مربوط به RVA اگر داده‌ها به خوبی منطبق با توزیع نرمال باشند از روش پارامتری و در غیر این صورت از روش ناپارامتری استفاده می‌شود. در این پژوهش مشاهده شد که روش ناپارمتری (NPAR-RVA)، با چولگی مثبت در داده‌های دبی ماهانه، محافظه‌کارانه‌تر و در عین حال عملی‌تر از روش پارامتری (PAR-RVA) است. نهایتاً پذیرفته شد که حد پایین NPAR-RVA قادر به تعیین رژیم اکولوژیکی جریان است به‌طوری که با رژیم تاریخی رودخانه سازگار باشد. کیفیت و اعتمادپذیری روش NPAR-RVA در عین عملکرد بسیار سریع و ساده، به اندازه نتایج حاصل از مدل شبیه‌ساز زیستگاه مورد استفاده در این پژوهش دقیق می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌توان گفت که اگر بخواهیم روش‌های ارزیابی EFR را از طریق نتایج آنها و نه نوع داده‌های مورد نیازشان تقسیم‌بندی نماییم، روش RVA می‌تواند در جایی مابین روش‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های شبیه‌ساز زیستگاه قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

۱- Mean Annual Flow
2- Indicator of Hydrologic Alteration
3- Range of Variability Approach
4- Habitat Suitability Curves
5- Composite Suitability Factor
6- Weighted Usable Area
7- Microhabitat
8- Mean Annual Flow
9- Minimum Environmental Flow
10- Environmental Flow Requirement

۵- مراجع

Abdoli A, Naderi M (2008) Biodiversity of fishes of the southern basin of the Caspian Sea. Tehran, Scientific publication of Abzian, 237 p

Anonymous (2009) Comprehensive project of west of Mazandaran river engineering. Co-consulting Engineers Ab-energy-mohit, Mazandaran regional Water Company, Ministry of Energy of Iran

Anonymous (2009) Indicator of hydrologic alteration. User manual version 7.1, Last access 2016, 81p

Arthington AH, Zalucki JM (1998) Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: review of methods. Occasional Paper No. 27/98 Land and Water Resources Research and Development Corporation: Canberra, Australia

Arthington AH, Bunn SE, Poff NL, Naiman RJ (2006) The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. Ecological Applications 16(4):1311-1318

Bahukandi KD, Ahuja NJ (2013) Building block methodology assisted knowledge-based system for environmental-flow assessment of Suswa river of Dehradun Dist., India: A reminiscent framework. International Research Journal of Environment Sciences 2(12):74-80

Bovee KD (1986) Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. Washington, DC: USDI Fish and Wildlife Service Instream Flow Information Paper #21 FWS/OBS-86/7, 235 p

Gao B, Yang D, Zhao T, Yang H (2012) Changes in the eco-flow metrics of the Upper Yangtze River from 1961 to 2008. J. of Hydrology 448:30-38

Homa ES, Vogel RM, Smith MP, Apse CD, Huber-Lee A, Sieber J (2005) An optimization approach for balancing human and ecological flow needs. EWRI 2005 World Water and Environmental Resources Congress, ASCE, Anchorage, Alaska

King JM, Tharme RE, De Villiers MS (2008) Environmental flow assessment for rivers: Manual for the Building Block method. WRC Report No TT 354/08, 364 p

Kondolf GM, Larsen EW & Williams JG (2000) Measuring and modeling the hydraulic environment for assessing instream flows. North American Journal of Fisheries Management 20(4):1016-1028

Li P, Qian H, Howard KW, Wu J (2015a) Building a new and sustainable "Silk Road economic belt". Environ Earth Sci 74(10):7267-7270

Li Y, Chang J, Tu H, Wang X (2015b) Impact of the Sanmenxia and Xiaolangdi reservoirs operation on the hydrologic regime of the lower Yellow River. J Hydrol Eng 21(3):10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001290

McClain ME, Subalusky AL, Anderson EP, Dessu SB, Melesse AM, Ndomba PM, Mtamba JOD,

Archive of SID
www.SID.ir

Shokoohi A, Amini M (2014) Introducing a new method to determine rivers' ecological water requirement in comparison with hydrological and hydraulic methods. International Journal of Environmental Science and Technology 11(3):747-756

Shokoohi A, Hong Y (2011) Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran sea basin-Iran), Hydrological Processes 25:3490:3498

Smakhtin V, Shilparker RL, Hughes DA (2006) Hydrology-based assessment of environmental flows: An example from Nepal. Hydrological Sciences Journal 51(2):207-222, DOI: 10.1623/hysj.51.2.207

Steffler P, Blackburn J (2002) River2D: two-dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat. Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual, University of Alberta, 120 p

Sun T, Feng ML (2013) Multistage analysis of hydrologic alterations in the Yellow River, China. River Res Appl 29(8):991-1003

Tag J, Yin X, Yu C, Yang Z (2012) Suitable environmental flow release criteria for both human and riverine ecosystems: accounting for the uncertainty of flows. Mathematical Problems in Engineering Volume 2012, Article ID 704989, 14 p. Doi: 10.1155/2012/704989

Tharme RE (2003) A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications, 19:397-442

Tsai WP, Chang FJ, Herricks EE (2016) Exploring the ecological response of fish to flow regime by soft computing techniques. Ecol Eng 87:9-19

Vogel RM, Sieber J, Archfield SA, Smith MP, Apse CD, Huber-Lee A (2007) Relations among storage, yield, and instream flow. Water Resour Res 43:W05403

Yang T, Zhang Q, Chen YD, Tao X, Xu CY, Chen X (2008) A spatial assessment of hydrologic alteration caused by dam construction in the middle and lower Yellow river, China. Hydrol. Process 22(18):3829-3843

Zarakani M, Shokoohi A, Singh VP (2017) Introducing a holistic ecological model under data shortage for determining rivers' ecological water requirements. Iran-Water Resources Research 13(2):1-17 (In Persian)

Tamatamah RA, Mligo C (2014) Comparing flow regime, channel hydraulics, and biological communities to infer flow–ecology relationships in the Mara River of Kenya and Tanzania. Hydrol. Sci. J. 59(3-4):801-819

Milhous RT, Waddle TJ (2012) Physical Habitat Simulation (PHABSIM) software for Windows (v.1.5.1). Fort Collins, CO: USGS Fort Collins Science Center

Mullick RA, Babel M, Perret SR (2010) Flow characteristics and environmental flow requirements for the Teesta River, Bangladesh. International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh (ICEAB10), Japan

Nikghalb S, Shokoohi A (2012) Using two dimensional hydrodynamic method to allocate environmental flow in rivers. 9th international congress on river engineering. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Nikghalb S, Shokoohi A, Singh VP, Yu R (2016) Ecological regime versus minimum environmental flow: comparison of results for a river in a semi Mediterranean region. Water Resources Manage 30:4969-4984

Olden JD, Kennard MJ, Pusey BJ (2012) A framework for hydrologic classification with a review of methodologies and applications in ecohydrology. Ecohydrology 5(4):503-518

Poff NL, Zimmerman JKH (2010) Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. Freshwater Biol 55(1):194-205

Richter BD, Baumgartner JV, Braun DP, Powell J (1998) A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. Research & Management 14:329–340

Richter BD, Baumgartner JV, Powell J, Braun DP (1996) A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conserv Biol 10(4):1163-1174

Richter BD, Baumgartner JV, Wigington R, Braun DP (1997) How much water does a river need? Freshwater Biology 37:231-249

Schoeller S, Sánchez MJ (2005) Determining instream flow, analysis of methods and their application to the river Ebro in Spain. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, 60 p

Schwartz J, Neff K (2011) Use of River2D hydrodynamic model for stream restoration assessment and design. World Environmental and Water Resources Congress 2011:2593-2602

Archive of SID
www.SID.ir

indicators with consideration of hydrological alterations. J. of Hydrology 529:711-722

Zhang Q, Xu C, Chen Y, Yang T (2009) Special assessment of hydrologic alteration across the Pearl river Delta, China, and possible underlying causes. Hydro. Process 23:1565–1574

Zhang H, Singh VP, Zhang Q, Gui L, Sun W (2016) Variation in ecological flow regimes and their response to dams in the upper Yellow River basin. Environmental Earth Science 75:938:1-16 DOI: 10.1007/s 12665-016-5751-x

Zhang Q, Gu X, Singh VP, Chen X (2015) Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological

Archive of SID

www.SID.ir