

## Introducing a Holistic Ecological Model under Data Shortage for Determining River Ecological Water Requirements

M. Zarakani<sup>1</sup>, A. Shokoohi<sup>2\*</sup> and V.P. Singh<sup>3</sup>

### Abstract

River flow regime is dynamic and comprises different characteristics. Low flows, small floods, and high floods are among the most important components of the regime and play special roles in retaining the river in a healthy condition. Allocating the minimum environmental flow as a fixed figure, disregarding these important components of the river regime, is common in river management in the country. The present research, noticing the imposed danger to environment through such policies and using the ideas embedded in Building Block Method (BBM) as a holistic method, obtained the river environmental flows under the condition of data shortage. The employed criteria used in this research for defining the required thresholds to achieve the proper regime were; providing living creatures in the river with appropriate hydraulic conditions, retaining river bed morphology, protecting main channel shape, saving riparian vegetation cover, and coinciding with the watershed climate. Based on the results, wetted perimeter technique was employed when supplying drinking and industrial water, a combination of historical minimum discharge and Q95 was used when supplying agricultural water, a 2-year flood was used for saving river morphology and flushing sediment from its bed, and a 5-year flood was employed for supplying water to the river flood plain. As the main achievement, this research introduced a comprehensive ecological regime defining the required thresholds for a healthy river in an IWRM framework.

**Keywords:** Environmental flow components, Simplified holistic method, Ecological regime, River.

Received: June 26, 2016

Accepted: January 9, 2017

## معرفی رژیم جامع اکولوژیکی در شرایط کمبود داده برای تعیین حق آبه زیست محیطی رودخانه‌ها

معصومه زرکانی<sup>۱</sup>، عیوضا شکوهی<sup>۲\*</sup> و ویجی پی سینگ<sup>۳</sup>

### چکیده

جریان رودخانه‌ها رژیمی پویا و دینامیک بوده و از اجزای مختلفی تشکیل شده است. جریان‌های کم، سیلاب‌های کوچک و سیلاب‌های بزرگ بخش‌های مهمی از این جریان را تشکیل می‌دهند و نقش خاصی را در سلامت محیط‌زیست رودخانه‌ها ایفا می‌کنند. تاکنون در بهره‌برداری از رودخانه‌های کشور بدون توجه به نقش این اجزا جریان ثابتی به محیط‌زیست رودخانه اختصاص داده شده است که می‌تواند خطرات زیست محیطی زیادی به دنبال داشته باشد. در این مقاله با برداشت از ایده روش اجزای سازنده به توسعه یک روش جامع نگر در شرایط کمبود داده پرداخته شده و با تعریف معیارهای مورد نیاز، جریان‌های زیست محیطی رودخانه به عنوان مهمترین اجزای رژیم اکولوژیکی انتخاب شدند. در این تحقیق معیارهای مورد استفاده برای تعریف آستانه‌های مورد نیاز برای تعیین رژیم جریان مطلوب عبارت بودند از: فراهم آوردن شرایط مناسب هیدرولیکی برای موجودات زنده درون رودخانه، حفظ مورفولوژی بستر رودخانه، حفاظت از شکل آبراهه اصلی، نگهداری از پوشش گیاهی اطراف رودخانه و همسویی با اقلیم حاکم بر حوضه آبریز. براساس نتایج، در صورت استفاده از جریان رودخانه برای شرب و صنعت دبی حاصل از روش هیدرولیکی حداکثر انحناء، و در صورت تامین آب کشاورزی، ترکیبی از حداقل دبی تاریخی و دبی حاصل از روش Q95، برای حفظ شکل و مورفولوژی رودخانه و همچنین دبی شستشو سیلاب ۲ ساله و برای تغذیه سیلاب‌دشتهای سیلاب ۵ ساله در نظر گرفته شد. بدین ترتیب نتیجه این تحقیق معرفی رژیم جامع اکولوژیکی با تعریف آستانه‌های لازم در شرایط کمبود داده برای حفظ یک رودخانه سالم در چهارچوب مدیریت جامع حوضه آبریز می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** اجزاء جریان زیست محیطی، روش جامع نگر ساده، رژیم اکولوژیکی، رودخانه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۴/۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۲۰

1- M.Sc. Graduate Student of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

3- Distinguished Professor of Biological and Agricultural Engineering Department, Texas A&M University, College Station, USA.

\*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب؛ دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)؛ قزوین؛ ایران

۲- استاد گروه مهندسی آب؛ دانشکده فنی و مهندسی؛ دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)؛ قزوین؛ ایران

۳- استاد گروه مهندسی کشاورزی و بیوتکنولوژی، دانشگاه A&M تگزاس، کالج استیشن، امریکا

\*- نویسنده مسئول  
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پاییز ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

جریان زیست‌محیطی، جریانی است که با برقراری آن کیفیت، کمیت و زمان‌بندی مناسب برای حفظ جریان آب سالم در رودخانه تضمین شده و رفاه جامعه انسانی تأمین می‌گردد (Poff et al., 2010). روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی را در چهار دسته ۱- هیدرولوژیکی، ۲- نرخ هیدرولیکی، ۳- شبیه‌ساز زیستگاه و ۴- روش‌های جامع‌نگر قرار می‌دهند (Tharme, 2003). یک وجه مشترک در میان همه این روشها آن است که در مواجهه با برداشت از رودخانه‌ها تلاش دارند تا درجه‌ای از تغییر را که می‌توان بر یک رودخانه‌ای اعمال نمود تا به محیط زنده و غیرزنده آسیبی وارد نشود تعیین نمایند (Shokoohi and Hong, 2011; Bahukandi and Ahuja, 2013). از میان روش‌های مختلف یاد شده گرایش زیادی به استفاده از روشهای ساده هیدرولوژیکی وجود دارد در حالیکه این روش‌ها بیشتر به ارائه اعدادی ثابت و بدون در نظر گرفتن تنوع نیازهای زیستی موجود در رودخانه‌ها مبادرت می‌ورزند (Shokoohi and Amini, 2014; Zhang et al. 2016). خوشبختانه هم اکنون اتفاق نظر کاملی میان همگان در مورد اهمیت رژیم جریان و ثبات آن در در طول مدت زمانی دراز برای انجام پروژه‌های اصلی اکولوژیکی رودخانه وجود دارد (Poff and Zimmerman, 2010). گرایش به توسعه روشهای جامع‌نگر در کشورهای توسعه یافته نیمکره شمالی، علیرغم همه مشکلاتی که از نظر تأمین داده، هزینه و مدت زمان اجرای طرح وجود دارد به همین دلیل می‌باشد (McClain et al., 2014; Tsai et al., 2016). بسیاری از محققین، روش جامع‌نگر را در تعیین جریان زیست‌محیطی یکی از پیشرفت‌های مهم در علوم زیست محیطی اعلام کرده‌اند (Tharme, 1996; Dunbar et al., 1998; Arthington, 1998; Olden et al., 2012; Nikghalb and Shokoohi, 2013). در روش‌های جامع‌نگر جریان‌های مهم و یا بحرانی برحسب معیارهایی مانند مقدار و زمان جریان برای تمام اجزا یا مشخصه‌های اکوسیستم رودخانه تعریف می‌شود. روش اجزای سازنده (BBM) یکی از این روش‌ها می‌باشد که توسط کینگ و تارمه (Knig and Tharme, 1994) و کینگ (King, 1996) معرفی شده است. کینگ و لاو (King and Louw, 1998) و کینگ و همکاران (King et al., 2008) این روش را به طور جامع تشریح نموده‌اند. اولین استفاده از این روش در آفریقای جنوبی و همزمان در سال ۱۹۹۶ در استرالیا گزارش شده است (Arthington & Lloyd, 1998). علیرغم این سابقه طولانی روش مزبور همچنان در حال توسعه و به روز شدن می‌باشد

(Arthington et al., 2004). به طور مختصر، این روش مبتنی بر این مفهوم است که گروهی از جریان‌های رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نسبت به سایر جریان‌ها برای حفاظت از اکوسیستم رودخانه مهم‌تر هستند و نه فقط مقدار بلکه زمان‌بندی و فراوانی آنها نیز باید به حساب آورده شوند (Hughes, 2001; Hughes and Hannart, 2003; Anonymous, 2011).

در این مقاله با استفاده از توصیه‌های روش BBM، رژیم اکولوژیکی شامل حداقل دبی مورد نیاز برای موجودات زنده درون رودخانه، جریان‌های سیلابی کوچک برای شستشو و حفظ مورفولوژی بستر رودخانه، و جریان‌های سیلابی بزرگ‌تر مورد نیاز برای حفاظت از شکل کانال و پوشش گیاهی رودخانه تعریف گردیده است. در این مطالعه سعی شده است از روابط اختصاصی تولید شده و کالیبره شده برای این روش در آفریقای جنوبی نظیر تعیین رده‌های اکولوژیکی و استفاده از مفاهیمی همچون شاخص تغییرپذیری در تعیین جریان‌های حداقل بر حسب نوع و روش مدیریت اکولوژیکی (Anonymous, 2011; Noori Gheidari et al., 2011) و نهایتاً اعمال هر نوع ضریب برای تعیین دبی‌های اکولوژیکی که وابسته به ارقام بدست آمده برای مکانی خاص باشد و با نظر گروه کارشناسی نهایی گردد، خودداری به عمل آید. براین اساس، هدف مطالعه حاضر ارائه راهکاری است که بتواند با داشتن همه عناصر و اجزای یک روش جامع از هر نوع تفسیر نظری بدور بوده و قادر باشد با حداقل داده‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و با صرف هزینه و زمان در حد ساده‌ترین روشهای هیدرولوژیکی، رژیم اکولوژیکی لازم برای حفظ سلامت رودخانه را بدست دهد.

در همین ارتباط در تحقیق حاضر برای تشخیص و تعیین انواع جریان‌های مورد نیاز برای حفظ و مدیریت سیستم اکولوژیکی رودخانه در هنگام بهره‌برداری، از تجربیات و نظرات Richter et al. (1996, 1997) و همچنین تجربیات گزارش شده (Zhang et al., 2015) در استفاده جداگانه از هر یک از مؤلفه‌های سیستم هیدرولوژیکی بهره‌برداری به عمل آمده است. انواع مختلف جریان‌های رودخانه در شکل ۱ و نقش آنها در عملکرد اکوسیستم رودخانه در جدول ۱ خلاصه شده است.

با توجه به جدول ۱ جریان مورد نیاز برای محیط زیست رودخانه باید به شکلی تعیین شود که شامل جریان‌های کم، سیلاب‌های کوچک و سیلاب‌های بزرگ باشد.

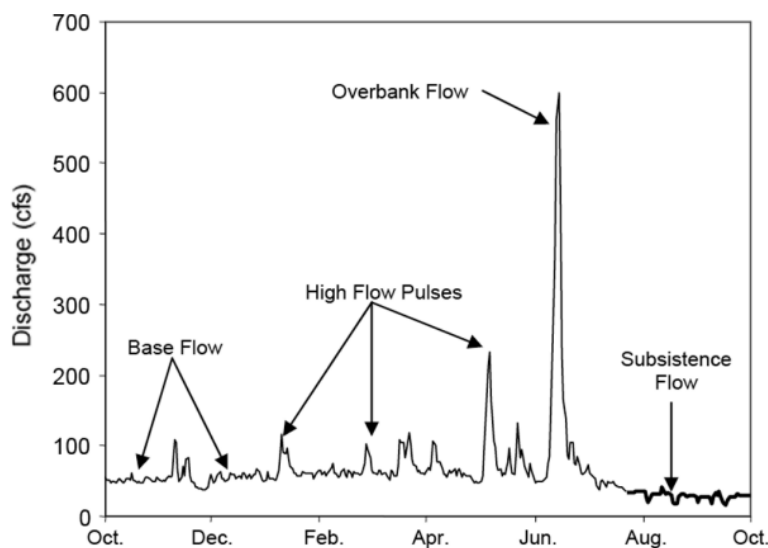


Fig. 1- Four components of river regime  
 شکل ۱- نمایش بخش‌های قابل مشاهده در رژیم رودخانه‌ها (shokoochi and hong, 2011)

Table 1- Different types of flow in rivers and their importance in ecosystem performance (adapted from Anonymous, 2009)

جدول ۱- انواع مختلف جریان رودخانه و اهمیت این جریان‌ها در عملکرد اکوسیستم (اقتباس از Anonymous, 2009)

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 save life in the main channel

حفظ شرایط زیستی ماهیان رودخانه بوده است. در این روش حداقل میزان رهاسازی به صورت درصد مشخصی از میانگین سالانه دبی رودخانه محاسبه می‌گردد (Shokoochi and Yasi, 2015; Abdi and Amini, 2014; Shokoochi and Hong, 2011). برطبق پیشنهاد تنانت ۱۰٪، ۳۰٪ و ۶۰ درصد متوسط جریان سالانه (MAF<sup>2</sup>) به ترتیب به عنوان حداقل جریان برای بقای کوتاه مدت ماهی‌ها، حفظ وضعیت زیستگاه در شرایط نسبتاً خوب و مناسب تخصیص می‌یابد (Anonymous, 2011).

#### • روش Q95

منحنی تداوم جریان (FDC<sup>3</sup>) یکی از روش‌های مناسب برای خلاصه کردن خصوصیات فراوانی جریان رودخانه است. این منحنی از طریق تقسیم‌بندی هیدروگراف جریان (معمولاً متوسط جریان

#### ۲- مواد و روش‌ها

##### تعیین حداقل دبی زیست‌محیطی

در رابطه با جریان‌های کم، با استفاده از دو دسته از روش‌های هیدرولوژیکی (تنانت و Q95%) و هیدرولیکی (محیط خیس شده با دو الگوریتم متفاوت شیب منحنی و حداکثر انحنا) حداقل دبی زیست‌محیطی تعیین و با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

##### • روش مونتانا (تنانت)

روش مونتانا یا تنانت (۱۹۷۶) جهت برآورد حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها، برپایه مطالعات صحرایی در ایالات مرکزی- غربی آمریکا با برقراری رابطه بین جریان رودخانه و حفظ طبیعت اطراف رودخانه توسعه داده شده است (Tenant, 1976). هدف اصلی این روش

روزانه) و مرتب کردن داده‌ها به صورت نزولی حاصل می‌شود. با استفاده از این منحنی اطلاعاتی در مورد احتمال اینکه چند درصد جریان بزرگتر یا مساوی مقداری مشخص خواهد بود به دست می‌آید (Ahmadipour and Yasi, 2014; Vogel et al., 2007; Shokoohi and Amini, 2014). روش Q95 با استفاده از منحنی تداوم جریان، جریانی قرائت می‌شود که ۹۵٪ از ایام سال در رودخانه برقرار است (Eslami and Shokoohi, 2013).

#### • محیط خیس شده

در روش محیط خیس شده عملاً فرض می‌شود که رابطه‌ای میان محیط خیس شده و محیط قابل دسترس برای آبریزان وجود دارد (Suxia et al., 2006). اگر دبی حد بحرانی در رودخانه‌ای تأمین شود، با توجه به اینکه در دبی مزبور بوده است که به گواه شرایط موجود سیستم به تعادل هیدرواکولوژیکی رسیده است، می‌توان ادامه حیات اکولوژیکی آن رودخانه را تضمین کرد (Amini and Shokoohi, 2014; Shokoohi and Amini, 2014; Shokoohi and Hong, 2011). برای تعیین این نقطه بحرانی دو روش شیب منحنی و حداکثر انحنا وجود که برای آشنایی بیشتر می‌توان به مراجع فوق‌الذکر مراجعه نمود. در روش شیب منحنی با مشتق گرفتن از منحنی تغییرات دبی در مقابل محیط خیس شده می‌توان معادله‌ای را بدست آورد که به ازای هر نقطه‌ی تماس، شیب منحنی یاد شده را در همان نقطه و لذا دبی حداقل زیست‌محیطی را به دست می‌دهد. (Gippel and Stewardson, 1998) در روش حداکثر انحنا با توجه به تعریف بنیادی انحنا، مبنی بر یافتن نقطه‌ای بر روی منحنی که در آنجا روند تغییر شیب عوض می‌شود، مقدار این تابع فقط به ازای یک نقطه در منحنی محیط خیس شده - دبی، ماکزیمم خواهد بود که همان نقطه بحرانی حداقل جریان زیست‌محیطی را بدست می‌دهد (Amini and Shokoohi, 2014; Shokoohi and Hong, 2011).

#### جریان‌های سیلابی کوچک (دبی شست و شو)

رودخانه به عنوان محلی برای زندگی موجودات زنده و در رأس همه ماهیان، باید برای همه مراحل زندگی موجودات آبرزی دارای کیفیتی مناسب باشد. حفظ این کیفیت در گرو حفظ شرایط بهینه مرفولوژیکی رودخانه می‌باشد. می‌توان اتفاقاتی را که در بستر رودخانه بر اثر عبور سیلاب‌های کوچک روی می‌دهد در دو دسته جای داد: ۱- شستشوی ذرات ریز موجود در بافت سطحی رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای توسط جریان‌های پایه‌ی فصلی ۲-

جابجایی مواد درشت‌دانه (هرچند با فراوانی کمتر). فرآیند اول، بستر رودخانه را برای تخم‌گذاری ماهی‌ها مناسب می‌گرداند و به نگهداری منافذی که در هنگام ایجاد جریان‌های شدید مانند سیل، پناهگاهی برای بی‌مهرگان است کمک می‌کند. فرآیند دوم ذرات درشت‌تر را از لجن و خزه پاک می‌کند و به حفظ ساختار آبراهه کمک می‌نماید (King et al., 2008; Arthington et al., 2004; Arthington et al., 2012). بر این اساس روش مناسب برای تعیین جریان زیست‌محیطی ( $EF^4$ ) باید شامل جریان‌هایی باشد که وظایف ذکر شده در فوق را انجام دهد. به این جریان‌ها اصطلاحاً جریان‌های "شست‌وشو" می‌گویند که در واقع سیلاب‌های کوچک با فراوانی نسبتاً بالایی هستند که ممکن است دو یا سه بار در سال اتفاق بیافتند (King et al., 2008). قواعد کاملاً مشخصی برای تعیین مقدار دبی شست‌وشو تعریف نشده است، اما آنچه که مشخص است این است که در این جریان سرعت در آبراهه باید به حدی افزایش یابد که ذرات سیلت، ماسه و شن‌ریز یعنی ذراتی با حداکثر قطر ۲ میلی‌متر شسته شوند (King et al., 2008). بر این اساس در این تحقیق از سرعت و تنش بحرانی برای تعریف جریان شست‌وشو استفاده به عمل آمد. نکته مهم دیگر آن است که دبی شست‌وشو هنگامی اثر بخش خواهد بود که در زمان مناسبی در رودخانه رها شود. همان‌طوری که گفته شد هدف اصلی این جریان‌ها آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهی‌ها و ایجاد پناهگاه مناسب برای بی‌مهرگان است. در نهایت با توجه به این امر که رژیم هیدرولوژیکی نیروی پیش‌رانه تحولات اکولوژیکی به حساب می‌آید (Poff and Zimmerman, 2010) جریان پیشنهادی باید در محدوده رژیم طبیعی رودخانه تعریف گردد. بر این اساس جریان‌هایی برای حفظ مرفولوژی بستر مناسب خواهند بود که علاوه بر ایجاد سرعت مناسب برای شستن ذرات کوچک، با احتمالی قابل قبول هر ساله در رودخانه جریان داشته باشند. بدین ترتیب دبی شست‌وشو با پی‌موندن مراحل زیر تعیین می‌گردد: ۱- ماه‌های مناسب برای رهاسازی دبی شست‌وشو با در نظر گرفتن زمان مناسب برای فعالیت بی‌مهرگان و همچنین زمان تخم‌ریزی ماهی‌های موجود در رودخانه تعیین می‌شود ۲- جریان‌هایی که احتمال وقوع آن‌ها (با توجه به داده‌های ثبت شده) در این ماه‌ها زیاد است مشخص می‌گردند ۳- سرعت ایجاد شده به وسیله دبی‌های بدست آمده در مرحله دوم در رودخانه محاسبه می‌گردد. سرعت مناسب سرعتی خواهد بود که بستر رودخانه را از مواد ریزدانه بشوید.

## جریان‌های سیلابی بزرگ

### • تعیین جریان مورد نیاز برای حفاظت از شکل کانال

زمانی محیط زیست رودخانه حفظ می‌شود که از شکل آبراهه نیز حفاظت شود. بدون مدیریت مناسب علاوه بر اینکه کانال به تدریج از رسوب پر می‌شود، به تدریج گیاهان اطراف رودخانه نیز به سمت آبراهه هجوم می‌آورند و با ایجاد اختلال در جریان نرمال رودخانه می‌توانند در نهایت باعث مرگ اکولوژیکی رودخانه بشوند. یکی از نقش‌هایی که سیلاب‌های بزرگ دارند حفظ شکل آبراهه رودخانه به وسیله شستن رسوباتی است که طی زمان‌های طولانی (به مدت ۱ یا ۲ سال) بر روی هم انباشته شده‌اند. تعیین جریان مورد نیاز برای شکل دادن به آبراهه ممکن است پیچیده باشد. به عنوان مثال، در موارد بسیاری عقیده بر این است که سیلاب‌های غالب، که در مناطق مرطوب هر ساله یا یک سال در میان و در مناطق نیمه خشک با فراوانی کمتر (دوره بازگشت بزرگتر) اتفاق می‌افتند، مهمترین نقش را در حفظ شکل کانال دارند. این نوع جریان را به طور معمول جریان غالب و یا جریانی که آبراهه را پر می‌کند می‌نامند. (Williams and Wolman, 1984; Carling, 1988; Kochel, 1988). در تحقیقات اولیه انجام شده دبی پر را جریانی با دوره بازگشت ۱/۵ سال معرفی نمودند ولی پژوهش‌های بعدی نشان داد که این رابطه ساده همیشه درست نیست. اولاً ثابت شد که در مناطق نیمه خشک که تغییرات رژیم جریان بیشتر است، "دبی پر" حجم بیشتری از سیل با دوره بازگشت ۱/۵ سال داشته و تا دوره بازگشت ۳ تا ۱۰ ساله را می‌تواند شامل شود (Pickup & Warner, 1976). ثانیاً در کانال‌هایی که پوشیده از شن درشت‌دانه و یا قلوه سنگ هستند، به جریانی بیشتر از "دبی پر" نیاز است تا بار رسوبات بستر به طور مؤثر منتقل شود (Carling, 1988). نهایتاً، در مواردی که مقطع عرضی رودخانه شکل پیچیده‌ای دارد و از دو کانال تشکیل شده است بطور معمول یک کانال فعال وجود دارد که "دبی پر" در آن در محدوده مقادیر معمول "دبی‌های پر" است و دیگری یک کانال بزرگتر که به وسیله سیلاب‌هایی با حجم بیشتر شکل می‌گیرد (Graf 1988; Van Niekerk et al., 1995; Rowntree and Wadson, 1999). در این مورد برای بسیاری از رودخانه‌ها، کانال بزرگ را می‌توان عملاً به عنوان سیلاب دشت رودخانه در نظر گرفت. کینگ و همکارانش در توصیه‌های روش‌های جامع‌نگر به ویژه BBM بیان نمودند که کانال فعال کوچکتر باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا شکل‌گیری این بخش از آبراهه به وسیله سیل‌های منظم اتفاق می‌افتد (King et al., 2008).

تحقیق حاضر از فرضیه "جریان غالب" یا "دبی پر" به عنوان فرضیه‌ای منطقی برای تعیین جریان لازم برای شکل‌دهی آبراهه اصلی رودخانه که تقریباً کانال فعال را به طور کامل از آب پر کند، استفاده نموده است. در این حالت جریان سیلابی مورد نظر می‌بایست هر ساله یا یک سال در میان در رودخانه وجود داشته باشد و زمان رهاسازی آن نیز زمانی خواهد بود که در حوضه، سیلابی با این مقدار اتفاق بیافتد. براساس موارد فوق‌الذکر، در این مطالعه جریان مورد نیاز برای حفظ شکل کانال جریانی با دوره بازگشت ۲ ساله در نظر گرفته شده و در مطالعه موردی نیز این مهم کنترل گردیده است که دبی مزبور کانال فعال را به طور کامل از آب پر نماید.

### • تعیین جریان مورد نیاز برای حفاظت از پوشش گیاهی اطراف رودخانه

بخش بزرگی از اکوسیستم کنار رودخانه را پوشش گیاهی تشکیل می‌دهد. پوشش گیاهی آبری و کنار رودخانه‌ای سبب تثبیت کانال رودخانه، کناره‌های رودخانه، و سیلاب دشت می‌شود، دما و کیفیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در عین حال زیستگاه، پناهگاه و محلی برای مهاجرت گونه‌های آبری و خشکی‌زی فراهم می‌نماید. پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان یک منبع غذایی مورد استفاده بسیاری از جمله انسان قرار گیرد. گذشته از موارد بهره‌وری مستقیم، پوشش گیاهی سیمای زیبایی به محیط رودخانه و اطراف آن می‌دهد که برای انسان و اهداف گردشگری بسیار با ارزش است. زمانی که سطح آب در کانال به اندازه‌ای بالا می‌آید که سیلاب‌دشت را می‌پوشاند رسوبات و مواد مغذی در سیلاب‌دشت ترسیب شده و رطوبت افزایش می‌یابد. این اتفاق محیط را برای رشد گیاهان مناسب می‌کند. بدیهی است که در وهله اول شرایط هیدرولوژیکی هر رودخانه مشخص می‌کند که هر چند سال یک بار آب می‌تواند وارد سیلاب‌دشت شود. براین اساس لازم است دبی سیلابی مورد نیاز برای سیلاب‌دشت به صورت موردی تعیین گردد. آنچه که مسلم است این دبی سیلابی دارای دوره بازگشتی بیشتر از ۲ (یا ۲/۳۳ سال در صورتی که با ارقام حدی سری هیدرولوژیکی تحلیل فراوانی صورت گیرد) خواهد بود. اما تصمیم‌گیری قطعی در خصوص اعمال این سیلاب‌های بزرگ در مدیریت جریان رودخانه، علیرغم اهمیتی که برای آنها ذکر شد، با بقیه دبی‌هایی که تا کنون مورد بحث واقع گردیدند متفاوت بوده و به مجموعه‌ای از عوامل دیگر از جمله عوامل اجتماعی و سیاسی وابسته می‌باشد.

## مشخصات منطقه مطالعاتی

آزارود از رودخانه‌های مستقل زیر حوضه چالوس است که در جنوب شرق شهرستان تنکابن جریان دارد. این رودخانه از کوه‌های پیت غار با ارتفاع ۴۳۳۹ متر و کوره سر با ارتفاع ۳۱۳۰ متر واقع در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر تنکابن سرچشمه می‌گیرد و در نهایت به دریای مازندران می‌ریزد. دو ایستگاه هیدرومتری دینارسرا و نشتارود به ترتیب در بالادست و پایین دست این رودخانه قرار دارند. شکل ۲ مقاطع برداشت شده به تعداد ۲۷ مقطع در بازه زیستی (که در حدود ۵ کیلومتر از انتهای این رودخانه را تشکیل می‌دهد) برای انجام محاسبات را نشان می‌دهد.

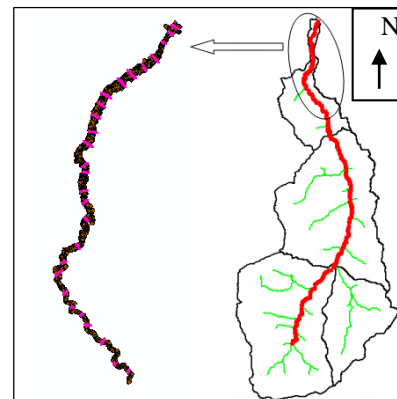


Fig. 2- Selected parts of the river for surveying  
شکل ۲- مقاطع برداشت شده در بازه زیستی رودخانه

## اطلاعات هیدرولوژیکی

ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده برای محاسبات هیدرولوژیکی، ایستگاه هیدرومتری دینارسرا می‌باشد که در ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی واقع شده است. در این ایستگاه از سال ۱۳۵۴ داده‌های دبی- اشل موجود است. جدول ۲ اطلاعات آبدی ماهیانه رودخانه آزارود در این ایستگاه را نشان می‌دهد.

## نتایج

### دبی حداقل نیاز زیست محیطی

#### • روش‌های هیدرولوژیکی

با استفاده از دبی سالانه (جدول ۲) و معیارهای روش تنانت، مقادیر دبی زیست محیطی رودخانه به ازای درصدهای مختلف جریان محاسبه شده و در جدول ۳ آمده است.

همین‌طور با ترسیم منحنی تداوم جریان (شکل ۳) حداقل دبی به روش ۹۵٪ تعیین می‌شود.

Table 3- Results of the Tenant Method

جدول ۳ - نتایج حاصل از روش تنانت

100%	60%	30%	10%	Percent of Mean Annual Flow
2.85	1.71	0.85	0.28	Discharge (m <sup>3</sup> /s)

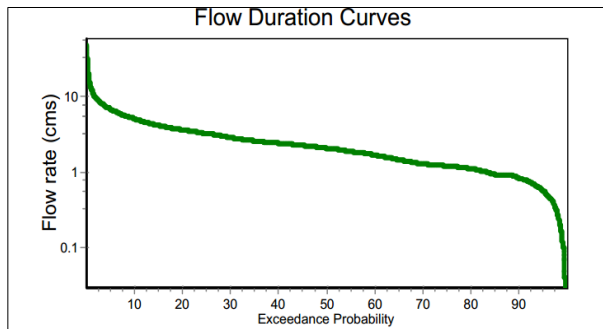


Fig. 3- Flow Duration Curve of Azaroud River  
شکل ۳- منحنی تداوم جریان رودخانه آزارود

با توجه به شکل ۳ Q<sub>۹۵</sub> معادل ۰/۹ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد.

#### • روش هیدرولیکی

برای انجام محاسبات مربوط به یافتن حداقل دبی به روش هیدرولیکی، برای عمق‌های مختلف جریان از ۱ سانتی‌متر تا عمق آبراهه اصلی با افزایش هر عمق به اندازه ۱ سانتی‌متر (Shokoohi, 2015)، منحنی تغییرات دبی در مقابل محیط خیس شده ترسیم گردید و با برازش بهترین معادله بر آن با استفاده از روش حداقل مربعات برای هر مقطع معادله‌ای بدست آمد و سپس با استفاده از دو روش شیب منحنی و حداکثر انحنا حداقل دبی زیست محیطی محاسبه گردید. حداقل دبی زیست محیطی بدست آمده از روش شیب منحنی و حداکثر انحنا به ترتیب ۳/۱۴ و ۲/۰۹ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد.

## تعیین دبی و زمان مناسب برای حفظ مورفولوژی و شستشوی بستر (دبی شستشو)

زمان مناسب برای رهاسازی دبی شستشو باید دو شرط مهم را ارضا نماید: ۱- قبل از تخم‌ریزی ماهیان موجود در رودخانه باشد و ۲- تقاضا برای سایر مصارف آب حداقل باشد. در منطقه مورد مطالعه، تخم‌ریزی ماهیان در دو فصل بهار و پاییز صورت می‌گیرد (Anonymous, 2008). از طرفی با آغاز ماه مهر تقاضای کشاورزی که بیشترین مصرف آب رودخانه را در پی دارد کاهش می‌یابد. بنابراین زمان رهاسازی دبی‌های لازم برای حفظ مورفولوژی بستر می‌تواند هر یک از ماه‌های پاییز و زمستان باشد.

**Table 2- Monthly discharge of the Azaroud River (Dinarsara station)**

جدول ۲- آبدهی ماهیانه رودخانه آزارود (ایستگاه دینارسرا)

	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sep.	Annual
Mean Discharge (m <sup>3</sup> /S)	3.7	2.48	2.63	2.24	2.63	3.47	4.41	3.52	2.82	2.31	1.61	2.17	2.85
Coeff. Of Var.	1.27	0.44	0.56	0.46	0.38	0.44	0.47	0.52	0.45	0.5	0.48	0.66	0.4
Max Discharge (m <sup>3</sup> /S)	27.9	5.66	7.37	5.2	4.94	7.69	9.28	9.2	5.46	6.13	4.08	7.32	6.35
Min. Discharge (m <sup>3</sup> /S)	0.41	0.90	0.79	0.49	1.04	1.00	1.13	1.19	0.59	0.94	0.07	0.03	1.24
Vol. (MCM)	9.58	6.44	6.38	5.81	6.82	8.7	11.81	9.43	7.54	6.19	4.31	5.81	89.27
Seasonal Vol. (MCM)	22.85			21.32			28.78			16.32			
Seasonal Vol. (%)	25.59			23.89			32.24			18.28			

بررسی اولیه نشان می‌دهد که بهترین ماه برای رهاسازی جریان در پاییز، مهرماه و در زمستان، اسفندماه می‌باشد. اکنون جریان مناسب برای شست‌وشوی بستر با در نظر گرفتن احتمال وقوع دبی و سرعت متناظر با آن قابل تعیین است. برای این منظور، سرعت ایجاد شده به وسیله جریان‌هایی که احتمال وقوع جریانی برابر یا بیشتر از آن‌ها در دو ماه مهر و اسفند ۶۰٪، ۷۰٪ و ۸۰٪ است در هر مقطع محاسبه می‌شود. با توجه به آنکه احتمال وقوع دبی متوسط ۵۰ درصد است، در نظر گرفتن مقادیر احتمال رخداد بزرگتر از ۶۰ درصد (یعنی دبی کمتر از میانگین) محتاطانه بوده و عملاً برای کم کردن میزان ریسک مدیریت زیست‌محیطی در صورت وقوع خشکسالی و داشتن دبی کمتر از میانگین ماهانه در ماه‌های مهر و اسفند در رودخانه می‌باشد. نتایج حاصله در جدول ۴ نشان داده شده است.

بررسی اولیه نشان می‌دهد که بهترین ماه برای رهاسازی جریان در پاییز، مهرماه و در زمستان، اسفندماه می‌باشد. اکنون جریان مناسب برای شست‌وشوی بستر با در نظر گرفتن احتمال وقوع دبی و سرعت متناظر با آن قابل تعیین است. برای این منظور، سرعت ایجاد شده به وسیله جریان‌هایی که احتمال وقوع جریانی برابر یا بیشتر از آن‌ها در دو ماه مهر و اسفند ۶۰٪، ۷۰٪ و ۸۰٪ است در هر مقطع محاسبه می‌شود. با توجه به آنکه احتمال وقوع دبی متوسط ۵۰ درصد است، در نظر گرفتن مقادیر احتمال رخداد بزرگتر از ۶۰ درصد (یعنی دبی کمتر از میانگین) محتاطانه بوده و عملاً برای کم کردن میزان ریسک مدیریت زیست‌محیطی در صورت وقوع خشکسالی و داشتن دبی کمتر از میانگین ماهانه در ماه‌های مهر و اسفند در رودخانه می‌باشد. نتایج حاصله در جدول ۴ نشان داده شده است.

### ۳- تعیین دبی و زمان سیلاب‌های بزرگ

برای تعیین این دبی لازم است که با توجه به شکل هندسی مقاطع، مرز بین آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت مشخص گردد. در شکل ۵ که با استفاده از نرم افزار WINXSPRO ترسیم شده است نمونه‌ای از شکل هندسی یکی از مقاطع و مرز بین آبراهه و سیلاب‌دشت نشان داده شده است.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴ سرعت متوسط ایجاد شده به وسیله دبی‌هایی با احتمال وقوع متفاوت در دو ماه اسفند و مهر در شکل ۴ نشان داده شده است.

همانطوری که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین سرعت ایجاد شده در مقاطع ۲۷ گانه برداشت شده در محدوده زیستی، به ترتیب ۱/۲۰ و ۰/۷۶ متر بر ثانیه می‌باشد که با توجه به

**Table 4 – Discharges with the exceedance probability of 60%, 70%, and 80%**

جدول ۴- دبی‌هایی که احتمال وقوع جریانی برابر یا بیشتر از آن ۶۰٪، ۷۰٪ و ۸۰٪ است

Month	Oct.			March		
	60%	70%	80%	60%	70%	80%
Discharge (m <sup>3</sup> /S)	11.6	5.82	4.07	4.58	3.78	2.90

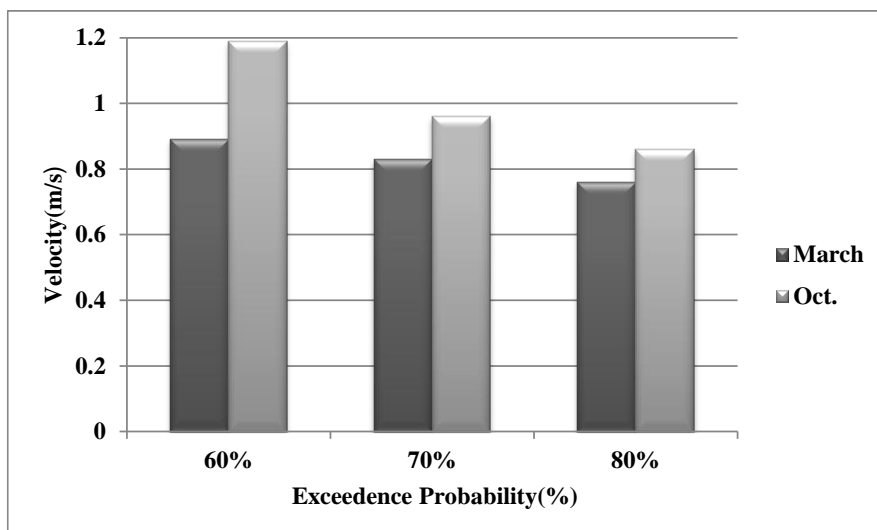


Fig. 4- Flow velocity with different exceedence probabilities in October and March  
 شکل ۴- سرعت ایجاد شده به وسیله دبی‌هایی با احتمال وقوع متفاوت در دو ماه اسفند و مهر

از نتایج بدست آمده و ملاحظه پیرامون مرطوب و سطح مقطع ایجاد شده توسط هر یک از این جریان‌ها مشخص گردید که دبی با دوره بازگشت ۲ ساله، کمتر از ۳۰٪ مقاطع را به طور کامل پوشانده و به طور متوسط ۷۵٪ از مساحت کل آبراهه را پر می‌نماید. این در حالی است که جریان‌های با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ سال تقریباً اکثر مقاطع را به طور کامل از آب پر کرده و وارد سیلاب‌دشت می‌شوند. براساس نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که آبراهه مورد مطالعه از دو بخش تشکیل شده است ۱- کانال فعال که تقریباً ۷۵٪ از کل آبراهه را تشکیل می‌دهد و به وسیله دبی‌هایی با دوره بازگشت ۲ ساله شکل گرفته و از آب پر می‌شود ۲- کانال بزرگ‌تر که به وسیله سیلاب‌هایی با دوره بازگشت بیشتر شکل گرفته است.

به عنوان نتیجه‌گیری از این بخش، جریانی با دوره بازگشت ۲ سال به میزان ۲۲/۸۳ مترمکعب بر ثانیه به عنوان دبی مورد نیاز برای حفاظت از شکل کانال مناسب تشخیص داده شد. برای ورود آب به سیلاب‌دشت و حفظ پوشش گیاهی اگرچه هر دو دبی با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ ساله سیلاب‌دشت را فرا می‌گرفتند، اما با توجه به آنکه که دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال سرعت بیشتری دارد و ممکن است باعث فرسایش و وارد آوردن خسارت به زمین‌های اطراف رودخانه شود، برای خطرپذیری کمتر جریان با دوره بازگشت ۵ سال به مقدار ۴۳/۳۶ مترمکعب بر ثانیه به عنوان دبی برقرار کننده ارتباط بین سیلاب‌دشت و آبراهه که مهم‌ترین وظیفه آن حفاظت از پوشش گیاهی است انتخاب گردید.

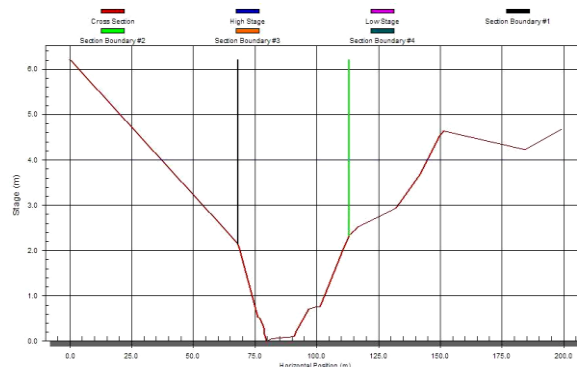


Fig. 5- A sample of the river cross section (vertical lines are dividing the main channel from the floodplain)

شکل ۵- نمونه‌ای از یک مقطع در بازه زیستی رودخانه، (خطوط عمود نشان دهنده مرز بین آبراهه و سیلاب‌دشت است)

در این بخش ابتدا دبی مناسب برای حفظ شکل آبراهه اصلی که در عین حال متضمن شست و شوی رسوبات درشت دانه باشد و در همان حال آبراهه اصلی را نیز از هجوم گیاهان حاشیه رودخانه حفظ نماید و سپس دبی سیلابی برای ورود به سیلاب‌دشت برای حفظ اکوسیستم گیاهی و جانوری اطراف رودخانه تعیین می‌گردد. با بررسی داده‌های موجود و انجام تحلیل فراوانی روی آنها و سپس ملاحظه پهنه بستر سیلابی به ازای دبی‌های مختلف، جریان‌های با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله که به ترتیب معادل ۲۲/۸۳، ۴۳/۳۶ و ۶۱/۴۴ متر مکعب بر ثانیه بدست آمدند، برای آزمون انتخاب گردیدند.



## نتیجه گیری و بحث

خواهد شد. در مقابل، روش شیب منحنی جریانی را محاسبه می‌کند که از میانگین دبی سالانه نیز بیشتر است یعنی جریانی را نشان می‌دهد که در رودخانه وجود ندارد.

با کمی دقت در شکل ۶ می‌توان دریافت روش تنانت ۳۰٪ و Q95 از یکطرف، و همچنین تنانت ۶۰٪ و حداکثر انحنا از طرف دیگر تقریباً جواب‌های نزدیک به هم دارند. روش تنانت ۳۰٪ و Q95 تقریباً حداقل دبی هر ماه رودخانه را نشان می‌دهند. نتیجه به دست آمده در خصوص مساوی شدن Q95 و تنانت ۳۰٪ مخصوص همین رودخانه و مطالعه موردی به عمل آمده می‌باشد. بطور معمول دبی Q95 در محدوده تنانت ۱۰٪ بدست می‌آید (Shokoohi and Richter et al., 1998). با توجه به آنکه در مورد رودخانه آزارود، داده‌های مورد استفاده مربوط به یک دوره ۳۵ ساله هستند، لذا ارقام مورد استفاده از صحت لازم برای ارزیابی مورد نظر در قیاس با رژیم طبیعی این رودخانه برخوردار می‌باشند. در شکل ۶ دبی متوسط و حداقل ماهانه به همراه جریانی‌های حداقل محاسبه شده به روش‌های مختلف نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۶ می‌توان دریافت که جواب‌های روش تنانت ۱۰٪ و شیب منحنی مردود هستند. روش تنانت ۱۰٪ جریانی را پیشنهاد می‌کند که به جز دو ماه شهریور و مرداد حتی با حداقل دبی ماهانه هر ماه نیز تفاوت بسیاری دارد. استفاده از این روش برای رژیم درازمدت در مطالعه موردی حاضر منجر به مرگ اکولوژیکی رودخانه

با توجه به شکل ۶ می‌توان دریافت که جواب‌های روش تنانت ۱۰٪ و شیب منحنی مردود هستند. روش تنانت ۱۰٪ جریانی را پیشنهاد می‌کند که به جز دو ماه شهریور و مرداد حتی با حداقل دبی ماهانه هر ماه نیز تفاوت بسیاری دارد. استفاده از این روش برای رژیم درازمدت در مطالعه موردی حاضر منجر به مرگ اکولوژیکی رودخانه

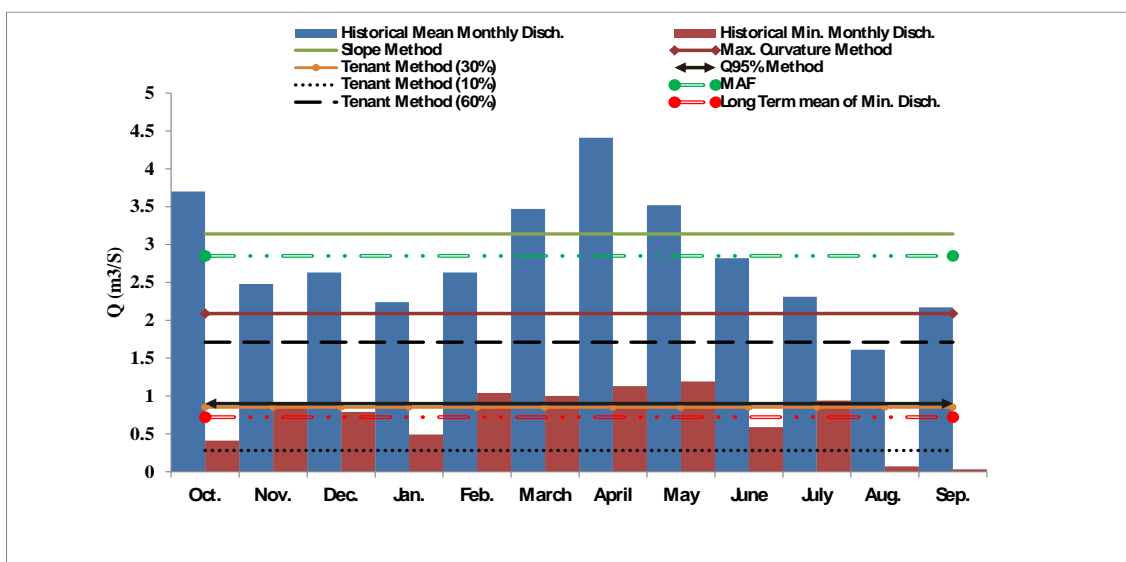


Fig. 6- Minimum and mean monthly discharge as well as minimum environmental discharge determined via different methods

شکل ۶- حداقل دبی و دبی متوسط ماهانه، همچنین حداقل دبی زیست‌محیطی تعیین شده به روش‌های مختلف

می‌باشد. در این حالت با پذیرش دبی‌های پیشنهادی Q95 به عنوان آستانه قابل تحمل موجودات زنده، در هر ماه که دبی حداقل ماهانه تاریخی از دبی پیشنهادی روش مزبور کوچکتر باشد دبی روش Q95 در رودخانه جاری می‌گردد. با توجه به اینکه حداقل دبی زیست‌محیطی پیشنهادی با این روش از یک روش واحد بدست نیامده است از عنوان روش ترکیبی برای نامیدن آن استفاده گردید.

نتیجه مباحث فوق در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

همانطور که اشاره شد حداقل دبی به تنهایی نیاز محیط‌زیست رودخانه را برطرف نمی‌کند. دبی شستشو و دبی‌های شکل‌دهی به کانال و دبی مورد نیاز برای برقراری ارتباط میان آبراه اصلی و دشت‌های سیلابی سایر جریان‌هایی هستند که برای حفاظت از اکوسیستم رودخانه ضروری است. براساس محاسبات انجام شده دبی شستشو برای دوبار در سال در ماه‌های مهر و اسفند به ترتیب برابر ۴/۰۷ و ۲/۹۰ متر مکعب بر ثانیه، دبی شکل‌دهی کانال و به عبارتی دیگر دبی جریان پر برابر ۲۲/۸۳ متر مکعب بر ثانیه و دبی سیلابی بزرگ برای تغذیه دشت‌های سیلابی معادل ۴۳/۳۶ متر مکعب بر ثانیه برآورد گردیده و در شکل ۹ نشان داده شده‌اند.

همانطوری که در شکل ۹ ملاحظه می‌گردد دبی‌های حداکثر تاریخی دبی شستشو را برای هر دو ماه مهر و اسفند تأمین می‌نمایند. همین شکل ملاحظه می‌گردد که دبی حداکثر مشاهداتی در مهرماه می‌تواند جریان لازم برای شکل‌دهی آبراه اصلی را نیز فراهم نماید.

انتخاب دبی زیست‌محیطی مناسب برای رودخانه آزارود همانطوری که ملاحظه می‌شود کار ساده‌ای نبوده و نمی‌توان به کمک اعداد ثابتی که روش‌های یاد شده ارائه نموده‌اند به تخصیص جریان پرداخت. لازم است الگوی مناسب بهره‌برداری از دیدگاه زیست‌محیطی با توجه به پذیرفتن قید برداشت آب برای مصارف شرب و کشاورزی تعریف گردد. در این حالت برای برداشت آب از رودخانه آزارود، همانند هر رودخانه دیگر در این منطقه و مناطق دیگر، دو گزینه مطرح می‌باشد:

- ۱- برداشت آب برای مصارف شرب و صنعت: در حال حاضر آمار دقیقی از میزان نیاز شرب و صنعت قابل تأمین از رودخانه آزارود در دست نیست ولی در صورتی که هدف تنها به این دو نوع مصرف محدود گردد، پیشنهاد بهینه برای جریان زیست‌محیطی، روش هیدرولیکی محیط خیس شده حداکثر انحنای می‌باشد. در چنین وضعیتی با توجه به محدود بودن مصارف شرب و صنعت (در قیاس با مصارف کشاورزی) استفاده از روش هیدرولیکی حداکثر انحنای، حداکثر مقدار ممکن از جریان رودخانه را به جریان زیست‌محیطی اختصاص می‌دهد. در این حالت جریان مازاد بر دبی پیشنهادی این روش، قابل انحراف است. در این وضعیت مرداد وضعیت ویژه‌ای دارد که در آن اجازه برداشت از رودخانه داده نشده و آب مورد نیاز بخش‌های مصرف در این ماه باید از ماه‌های قبل تأمین گردند.
- ۲- در صورت برداشت آب برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی، پیشنهاد بهینه برای جریان زیست‌محیطی تقلید رژیم طبیعی رودخانه و برقراری جریان حداقل مشاهده شده تاریخی

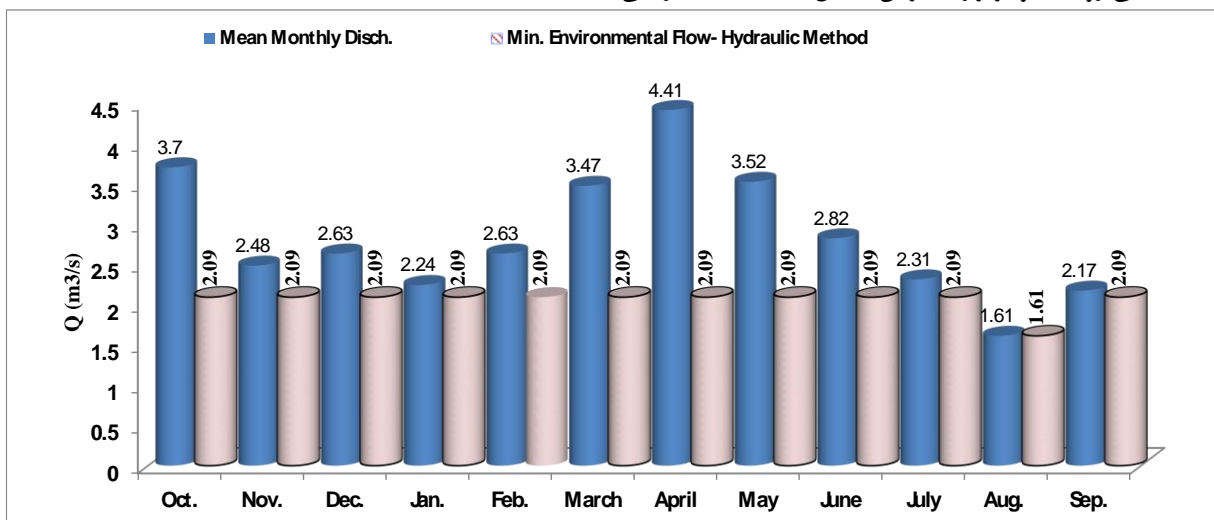


Fig. 7- Mean monthly discharge and minimum environmental discharge determined via Hydraulic method  
 شکل ۷- دبی متوسط ماهانه و حداقل دبی زیست‌محیطی تخصیص یافته از روش هیدرولیکی

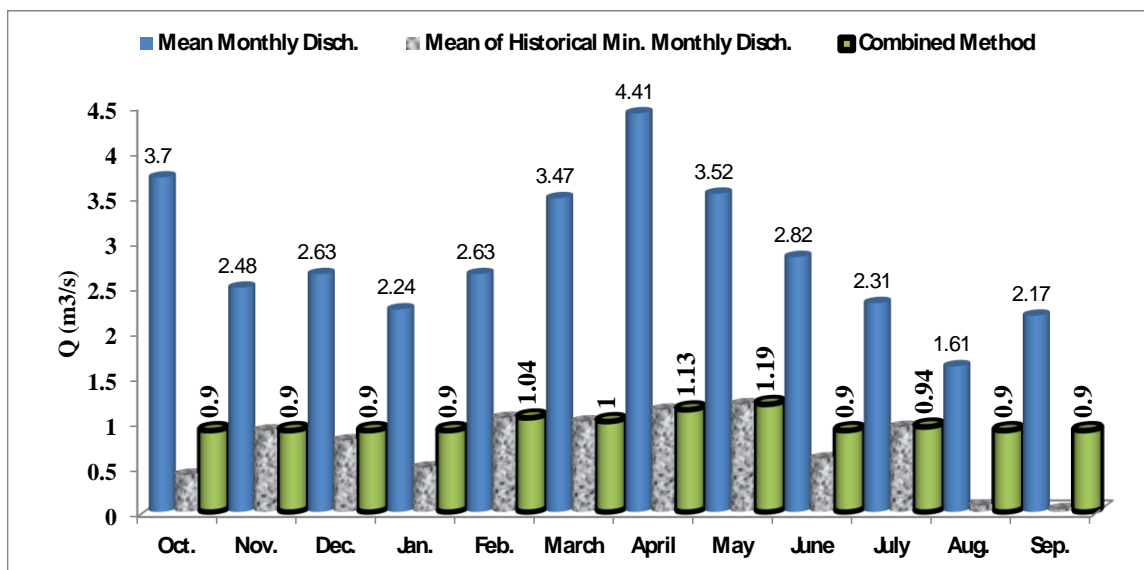


Fig. 8- Mean monthly discharge and minimum environmental discharge determined via combined method  
 شکل ۸- دبی متوسط ماهانه و حداقل دبی زیست محیطی تخصیص یافته از روش ترکیبی

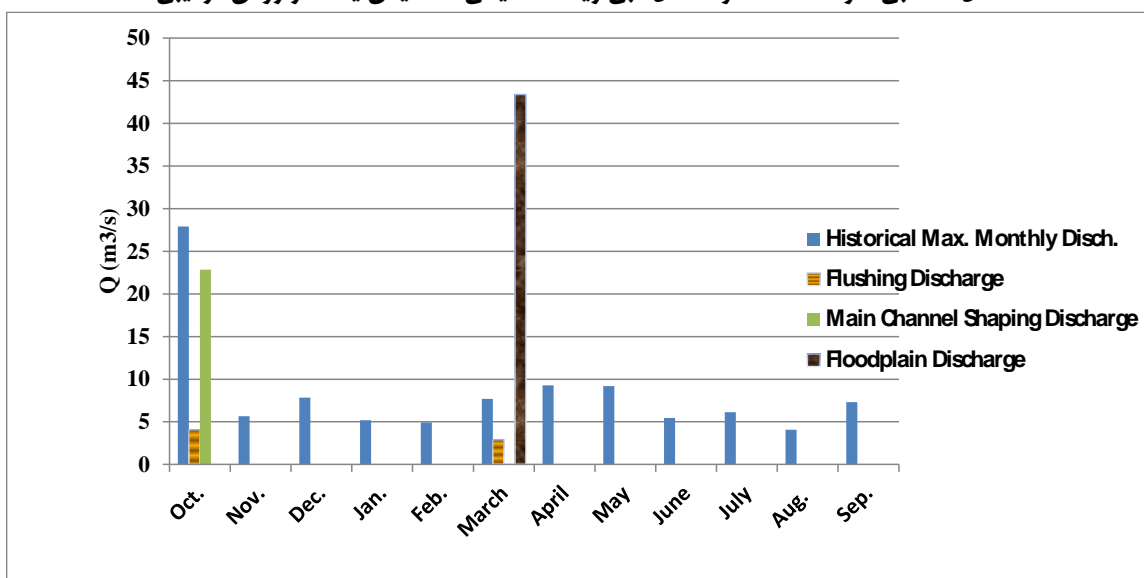


Fig. 9- Discharges regarding maximum monthly flow, bed flushing, main channel shaping and floodplain supply

شکل ۹- جریان حداکثر ماهانه، جریان مورد نیاز برای شستشوی بستر، دبی شکل دهی آبراهه اصلی و دبی ورودی به دشت سیلابی

امکان پذیر نمی باشد و عملاً با مدیریت و ذخیره جریان و سپس آزادسازی آن می توان دبی مزبور را در رودخانه جاری نمود. علاوه بر این مورد، مسأله دیگری نیز در خصوص رودخانه آزارود و هر رودخانه دیگری شبیه به آزارود وجود دارد و آن این است که به طور معمول به علت عدم رعایت حریم رودخانه، بخش هایی از دشت های سیلابی مورد تجاوز واقع شده و به زیر کشت و کار رفته و یا در آن ها به ساختمان سازی مبادرت شده است. در این حالت مدیریت جاری

بر این اساس مهر ماه برای برقراری جریان مزبور مناسب تشخیص داده شد. با این نحوه مدیریت جریان، عملاً دبی شستشو هم تأمین می گردد و بر این اساس لازم نیست یکبار برای شستشو و بار دیگر برای حفظ شکل آبراهه اصلی جریان های محاسبه شده را در رودخانه جاری نمود. در خصوص دبی ورودی به سیلابدشت همانطوری که ملاحظه می گردد تأمین دبی مزبور از جریان های طبیعی و به صورت هرساله

ساختن سیل در سیلابدشت، با مسائل خاص اجتماعی گره می‌خورد که نیازمند بررسی‌های خاص موردی و ایجاد تمهیدات لازم برای جلوگیری از وارد آمدن خسارت به مزارع، باغات و مستحداثات موجود می‌باشد. اولین و ساده‌ترین راه حل مهندسی که در مورد آزارود نیز صادق است استفاده از بازه‌هایی خاص در طول رودخانه برای ورود جریان سیلابی به سیلابدشت و سپس هدایت مجدد آن به سیلابدشت می‌باشد.

### جمع‌بندی

در این تحقیق تلاش شده است تا با استفاده از مفاهیمی که در مدل‌های جامع‌نگر در خصوص تأمین همه ابعاد نیازهای زیست‌محیطی رودخانه‌ها وجود دارد، بدون آنکه درگیر مسائل مبتلابه این نوع مدل‌ها از قبیل کمبود داده، زمان‌بر بودن تهیه مقدمات اجرای مدل و همچنین هزینه‌های مترتب بر آن شد، به تقلید از رژیم طبیعی رودخانه پرداخته و حداقل‌های لازم برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه‌ها فراهم گردد. در این مقاله، دستورالعملی جامع برای مدیریت زیست‌محیطی رودخانه‌ها با استفاده از حداقل امکانات موجود ارائه گردید و فرضیات مورد استفاده بر روی رودخانه آزارود در شمال ایران به آزمون گذاشته شد. در مطالعه انجام شده به دبی حداقل زیست‌محیطی، دبی شستشو، دبی لازم برای حفظ شکل و مورفولوژی رودخانه و دبی تغذیه‌کننده سیلابدشت‌ها، و به نحوه تأمین دبی‌های مزبور توجه شده در نهایت راه‌حلی مناسب برای دستیابی به آنها ارائه گردیده است. بر اساس نتایج حاصله، دبی حداقل زیست‌محیطی رودخانه برحسب نوع بهره‌برداری، اهداف مدیریت زیست‌محیطی و همچنین بر حسب اقلیم حاکم، در دو حالت قابل تعریف است. در حالت اول، رودخانه برای مصارف محدود شرب و صنعت مورد بهره‌برداری واقع شده و جریان مازاد برای حفظ رودخانه‌ای شاداب و سالم و برای اهدافی همچون گردشگری در رودخانه باقی خواهد ماند. در این حالت لازم است دبی حداقل محیط زیستی از روش هیدرولیکی ( محیط خیس شده و روش ویژه حداکثر انحنای بدست آید. در صورت کمبود جریان در رودخانه نسبت به دبی زیست‌محیطی محاسبه شده، دبی زیست‌محیطی محدود به دبی جاری در رودخانه شده و برداشت از رودخانه ممنوع خواهد بود. نیازهای تعهد شده باید از طریق گردش درون‌سالی و از ذخیره ماهی‌های قبل تأمین گردد. این سیاست‌گذاری در سال‌های مرطوب تا نرمال هیدرولوژیکی قابل اجرا است. در حالت دوم، یا دبی رودخانه برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و یا اینکه منطقه دچار خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گردد. در

این حالت حداقل دبی زیست‌محیطی با تقلید از دبی حداقل ماهانه تاریخی تعیین می‌شود. در ماهی‌هایی که متوسط دراز مدت دبی حداقل مشاهده شده در رودخانه از دبی حاصل از Q95 کمتر باشد، این دبی، جریان حداقل زیست‌محیطی را بدست می‌دهد.

در مطالعه موردی انجام شده دبی شستشو دو بار در سال؛ یک بار در ابتدای پاییز و بار دیگر در انتهای زمستان با توجه به وضع مهاجرت گونه‌های شاخص ماهیان منطقه تحت مطالعه در نظر گرفته شد. این دبی‌ها شرایط لازم برای زندگی گونه‌های آبی و همچنین تخم‌ریزی ماهیان را برآورده می‌نمایند. در منطقه تحت مطالعه، متوسط دراز مدت دبی‌های حداکثر مشاهده شده برای تأمین این جریان کافی است. برای حفظ شکل و دیگر خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه دبی جریان پر با دوره بازگشت ۲ سال محاسبه شد. مطالعه انجام شده نشان داد که دبی مزبور در مهرماه در رودخانه آزارود مشاهده می‌شود، لذا مدیریت رودخانه چنان صورت می‌گیرد که این جریان در ماه مزبور در این رودخانه رها گردد. با توجه به اینکه یکی از دبی‌های شستشوی سالانه در همین ماه در نظر گرفته شده است، براین اساس دبی شستشو فقط برای اسفند ماه در نظر گرفته می‌شود. در مورد تغذیه دشت‌های سیلابی نیز از میان گزینه‌های موجود، دبی با دوره بازگشت ۵ سال برای این منظور انتخاب شد که اولاً به علت عدم رخداد طبیعی هر ساله در رودخانه و سپس در نظر گرفتن مسأله تجاوز به حریم رودخانه و وجود کشت و کار و مستحداثات در سیلابدشت‌های هر دو طرف رودخانه، نیازمند بررسی‌های بیشتر از دیدگاه اجتماعی و سپس مهندسی رودخانه است تا بتوان زمان و مکان مناسب برای انحراف و سپس بازگشت جریان مازاد به رودخانه را مدیریت نمود.

### پی‌نوشت‌ها

- 1-Building Block Methodology
- 2-Mean Annual Flow
- 3-Flow Duration Curve
- 4-Environmental Flow
- 5-Flushing Flow

### ۵- مراجع

- Abdi R, Yasi M (2015) Evaluation of environmental flow requirements using eco-hydrologic-hydraulic methods in perennial rivers. *Water Science and Technology*, 72(3):354-363
- Ahmadi-pour z, Yasi M (2014) Evaluation of Eco-hydrology-hydraulics methods for environmental

- channel stability thresholds. *Earth Surface Processes and Landforms* 13:355-367
- Eslami A, Shokoohi A (2013) Analysis of stream flow conditions using hydrologic environmental drought index. *Journal of Watershed Engineering and Management* 5(2):125-133
- Gippel CJ, Stewardson MJ (1998) Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research and Management*, 14:53–67
- Graf WL (1988) *Fluvial processes in dry land rivers*. Springer Verlag, New York, 346p
- Hughes, DA (2001) Providing hydrological information and data analysis tools for the determination of ecological instream flow requirements for South African rivers. *Journal of Hydrology*, 241:140-151
- Hughes DA, Hannart P (2003) A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. *Journal of Hydrology*, 270:167-181
- King J, Louw, D (1998) Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology, *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1(2):109-124, doi: 10.1080/14634989808656909
- King JM (1996) Quantifying the amount of water required for maintenance of aquatic ecosystems. *Water Law Review*. Discussion document for policy development. Report for the Department of Water Affairs and Forestry. August 1996. Pretoria, 31p
- King JM, Louw D (1998) Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1:109-124
- King JM, Tharme RE (1994) Assessment of the Instream Flow Incremental Methodology and initial development of alternative instream flow methodologies for South Africa. *Water Research Commission Report No. 295/1/94*. Water Research Commission, Pretoria, 590p
- 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, 364p
- Kochel RC (1988) Geomorphic impact of large floods: review and new perspectives on magnitude and frequency. 169 -187. In: Baker, V.R. (Ed.). *Flood Geomorphology*. New York: Wiley. C14
- flows in Rivers (Case Study: Nazloo River, Urmia Lake Basin). *Journal of Hydraulics* 9(2):69-82
- Amini M, Shokoohi A (2014) An analytical solution for finding the deflection point of the wetted perimeter – discharge curve by hydraulic methods for the determination of environmental flow requirements. *Journal of Hydraulics* 9(1):27-43
- Anonymous (2008) *Comprehensive project of west of Mazandaran river engineering*. Co-consulting Engineers Ab-Energy Mohit, Mazandaran Regional Water Company, Ministry of Energy of Iran, 280p
- Anonymous (2009) *Indicator of hydrologic alteration*. User manual Version 7.1, Last access 2016, 81p
- Anonymous (2011) *Guidline for finding aquatic ecosystems environmental water requirement*, No. 556. Ministry of Energy, Ab and ABFA, Bureau of engineering and technical criteria of water and wastewater, 113p
- Arthington AH, James CS, Mackay SJ, Rolls R, Sternberg D, Barnes A (2012) *Hydro-ecological relationships and thresholds to inform environmental flow management*, Science Report, International Water Centre, Brisbane.
- Arthington AH, Tharme RE, Brizga SO, Pusey BJ, Kennard MJ (2004). *Environmental flow assessment with emphasis on holistic methodologies*. In proceeding of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries volume 2, *Sustaining Livelihoods and Biodiversity in the New Millennium*, 11 – 14 February 2003, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia.
- 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, Lloyd R (1998) *Logan river trial of the building block methodology for assessing environmental flow requirements*. Workshop report. Centre for Catchment and In-stream Research and Department Natural Resources, Brisbane, Australia, 85p
- 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
- Carling PA (1988) *The concept of dominant discharge applied to two gravel bed stream in relation to*

- 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 Process* 25:3490–3498
- 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
- Smakhtin VU, Shilpakar RL, Hughes DA (2006) Hydrology-based assessment of Environmental flows: an example from Nepal. *Hydrological Sciences Journal* 51(2):207-222
- Suxia L, (2006) Estimating the minimum in-stream flow requirements via wetted perimeter method based on curvature and slope techniques. *J. of Geographical Sciences* 16 (2):242-250
- Tennant DL (1976) Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources, *Fisheries* 1:6–10
- 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– 441
- Tsai WP, Chang FJ, Herricks EE (2016) Exploring the ecological response of fish to flow regime by soft computing techniques. *Ecological Engineering* 87:9-19
- Van Niekerk AW, Heritage GL, Moon BP (1995) River classification for management: the geomorphology of the Sabie River in the eastern Transvaal. *South African Geographical Journal* 77(2):68-76
- Williams, GP, Wolman MG (1984) Downstream effects of dams on alluvial rivers. US Geological Survey Professional Paper 1286. U.S.G.S., Washington D.C.
- 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 indicators with consideration of hydrological alterations. *Journal of Hydrology* 529:711-722
- Mays LW (2010) *Water resources engineering*, 2nd Edition. John Wiley and Sons. NYC, USA, 928p
- McClain ME, Subalusky AL, Anderson EP, Dessu SB, Melesse AM, Ndomba PM, Mtamba JOD, 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
- Nikghalb S, Shokoohi A (2013) Using two dimensional hydrodynamic method to allocate environmental flow in rivers. 9th international congress on river engineering. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
- Noori Gheidari MH, Abdesharif Esfahani M, Ebrahimi L (2011) Using Developed Building Block Method in Estimating of Environmental Flow (Case study: Gumbar River). *Journal of Water and Soil* 25(3):646-655
- 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
- Pickup G, Warner RF (1976) Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge. *Journal of Hydrology* 29:51-75
- 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
- Rowntree KM, Wadson RA (1999) A hierarchical geomorphological model for the classification of selected South African river systems. Water Research Commission Final Report. Water Research Commission, Pretoria, 334 p
- Shokoohi A (2015) Sensitivity analysis of hydraulic models regarding hydromorphologic data derivation methods to determine environmental water requirement. *Journal of Water and Waste Water* 26(3):104-115