

## استفاده از روش محیط خیس شده برای برآورد حداقل جریان زیست محیطی رودخانه بشار

سید جمال پورصالحان<sup>۱\*</sup>، محمد صدقی اصل<sup>۲</sup> و منصور پرویزی<sup>۳</sup>

\* نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یاسوج، گروه مهندسی عمران،

یاسوج، ایران [Poursalehan@hotmail.com](mailto:Poursalehan@hotmail.com)

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۳- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه یاسوج

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۷

### چکیده

حداقل جریان زیست محیطی در رودخانه سطح مطمئنی از حفاظت را برای محیط زیست وابسته به آب تهیه می‌کند. در کشور ما استفاده از روش هیدرولیکی محیط خیس شده می‌تواند گامی رو به جلو در این زمینه باشد. در این روش نحوه تشخیص نقطه بحرانی در منحنی دبی-محیط خیس شده همچنان با ابهاماتی رو به رو است. در این زمینه روش‌های شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل توسط محققین مختلف ارائه شده است. در مقاله حاضر ضمن بیان روش محیط خیس شده، جریان زیست محیطی رودخانه بشار با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی محاسبه گردید. متوسط نتایج روش‌های شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل به ترتیب معادل ۲۳ درصد، ۸/۴ درصد و ۲۰/۶ درصد متوسط جریان سالانه رودخانه است. نتایج روش‌های شیب و نقطه ایده‌آل در محدوده قابل قبول حاصل از نتایج کار Tennant قرار گرفتند ولی روش نقطه ایده‌آل به دلیل استفاده مستقیم از نقاط نمودار و سرعت بیشتر در محاسبات به عنوان روش برتر انتخاب شد.

**کلید واژه‌ها:** جریان زیست محیطی، رودخانه بشار، روش محیط خیس شده، نقطه بحرانی، روش نقطه ایده‌آل.

### Application of The Wetted Perimeter Method for Predicting Minimum Environmental flow of Beshar River

S. J. Poursalehan<sup>1</sup>, M. Sedghi-Asl<sup>2</sup> and M. Parvizi<sup>3</sup>

- 1- (Corresponding Author), Department, of Civil Engineering, Yasouj Branch, Islamic Azad University, Yasouj, Iran.
- 2- Assistant professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj.
- 3- Assistant professor, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj.

Received: 18 Oct 2012

Accepted: 7 May 2013

### Abstract

Minimum environmental flow in rivers provides a certain level of protection for the aquatic environment. In Iran using hydraulic method of wetted perimeter could be a step forward in this field. How to identify the critical point in P-Q curve is still faced with uncertainty in this method. Slope, Curvature and Ideal Point Methods presented by different researchers in this filed. In this article beside description of wetted perimeter method, the environmental flow of Beshar River calculated by using hydraulic parameters. The average of results of Slope, Curvature and Ideal Point Methods is 23%, 8.4% and 20.6% of average annual flow of river, respectively. The results of Slope and Ideal Point Methods are in the acceptable rang of the Tennant method. But the Ideal Point method is superior choice due to the direct use of the chart and more rapidly in calculation.

**Keywords:** Environmental flow, Beshar river, Wetted perimeter method, Critical point, Ideal point method

### مقدمه

برای یک رودخانه چندین هدف متضاد شناخته شده است که شامل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی می‌باشد. در مدیریت سنتی منابع آب، اهداف اقتصادی اهمیت اصلی را به خود اختصاص داده است. برداشت‌های فراوانی از رودخانه جهت رفع تقاضا برای استفاده آبیاری، شهری و صنعتی صورت گرفته است که این باعث ایجاد خسارت به محیط زیست آبی و زندگی جانداران وابسته به رودخانه بخصوص در مناطق با رژیم خشک شده است (۱۰).

در سال‌های اخیر بهره‌های زیست محیطی از رودخانه مانند ارزش اکولوژیکی و همچنین آسیب پذیری آن بیشتر مورد توجه قرار گرفته است که برآیند این تلاش‌ها منجر به اختصاص جریان زیست محیطی<sup>۱</sup> برای رودخانه شد. در همین زمینه با توجه به داده‌های در دسترس نزدیک به ۲۰۰ روش مختلف برای محاسبه جریان زیست محیطی در رودخانه به‌وجود آمده است (۱۴). سیر تحول این روش‌ها چنان بوده است که هم اکنون طیفی گسترده از روش‌های ساده مبتنی بر تخصیص رقمی ثابت بر حسب درصدی از میانگین جریان سالانه رودخانه تا مدل‌های پیچیده ریاضی که می‌توانند با دقت مناسب به تعیین آب مورد نیاز بر حسب درجه کیفی محیط زنده بپردازند در اختیار کارشناسان مهندسی رودخانه و محیط زیست قرار دارد. جدول (۱) نشان دهنده دسته بندی موجود در زمینه روش‌های گوناگون برآورد حداقل جریان زیست محیطی رودخانه به‌همراه معرف‌ترین روش‌های هر دسته و معایب و مزایای آنهاست که به صورت کلی آمده است.

روش‌های هیدرولوژیکی به عنوان مثال تنانت<sup>۲</sup> (۱۳)، محدودیت‌ها، و انجام تغییرات فصلی و سالانه را در نظر نمی‌گیرند. روش‌های پیچیده زیستگاهی، جامع و ترکیبی به عنوان مثال روش جریان افزایشی درون رودخانه (۸) هرچند از دقت بیشتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردارند ولی نیاز به اطلاعات دقیق زیست محیطی و برنامه‌های کاربردی دارد که در عمل به کار بردن این روش‌ها را بسیار محدود می‌کند. در این میان روش محیط خیس شده<sup>۳</sup> به دلیل رویکرد دقیق و تعریف روشن ریاضی از طریق تعیین نقطه بحرانی<sup>۴</sup> در رابطه بین محیط خیس شده (طول تماس مرطوب بین جریان و کانال، عمود بر مسیر جریان) و دبی جریان، همچنین استفاده از داده‌های هیدرولیک رودخانه از قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار است (۱، ۵، ۶، ۹، ۱۱ و ۱۲). شکل (۱) نشان دهنده رابطه محیط خیس شده، دبی و نقطه بحرانی است. نقطه بحرانی را این‌گونه می‌توان تعریف کرد که بسته به شکل مقطع، در زیر این نقطه بر روی منحنی با یک تغییر کوچک در دبی محیط خیس شده به طور چشمگیری کاهش می‌یابد ولی در بالای نقطه بحرانی تغییر زیاد در دبی تأثیر کمی بر

افزایش محیط خیس شده دارد (۶ و ۱۱). در این روش فرض بر این است که اگر آستانه دبی ارضا شود، تابع اکولوژیکی رودخانه می‌تواند تضمین شود. واضح است که اهمیت نقطه بحرانی حاصل از روش هیدرولیکی فوق‌الذکر در چیست؛ در پایین‌تر از این نقطه بحرانی و عدم تأمین محیط خیس شده کافی، شن و قلوه سنگ کف رودخانه از آب بیرون افتاده و خاصیت خود را به عنوان بستر مناسب برای تولید غذا توسط ارگانیزم‌های آبی از دست می‌دهند، از طرف دیگر پوشش گیاهی دیواره‌های کناری رودخانه به عنوان غذای دسته‌جانی از ماهیان از بین می‌روند و در نهایت با کاهش کیفیت آب و احتمال تجمع بیش از حد ماهیان در محدوده‌ای کوچک منجر به رقابت شدید میان آنها برای زنده ماندن خواهد شد (۸).

با وجود همه دلایل منطقی که این روش بر پایه آنها بنا شده همچنان عدم اطمینان‌هایی هم وجود دارد که مهمترین آن نحوه تشخیص نقطه شکست (بحرانی) در منحنی است (۱، ۳، ۶، ۱۱ و ۱۲). تاکنون چهار روش برای تعیین نقطه بحرانی در منحنی پیشنهاد شده است: روش چشمی<sup>۵</sup> (۴)، روش شیب<sup>۶</sup> (۶ و ۱۱)، روش انحنا<sup>۷</sup> (۶ و ۱۱) و روش نقطه ایده آل<sup>۸</sup> (۱۲). روش چشمی یک روش کاملاً سلیقه‌ای است (۱، ۶ و ۱۱)، که در اینجا مورد بحث قرار نمی‌گیرد.

به طور خلاصه، در روش شیب، نقطه بحرانی جایی تعریف شده است که شیب منحنی برابر با یک است. در روش انحنا این نقطه جایی تعریف شده است که انحنا در منحنی حداکثر است. روش نقطه ایده آل یک نگرش تصمیم‌گیری چند معیاره بر اساس وزن دهی به دو هدف متناقض (از نظر برداشت آب) از رودخانه است. یکی حداکثر آبیگری برای بهره برداری اقتصادی و دیگری حداقل آبیگری جهت حفظ حداکثر محیط خیس شده و در نتیجه حفظ حیات زیست محیطی رودخانه (در بخش مواد و روش‌ها این سه روش در حد کفایت بیان می‌شود). هنوز بحث بر این‌که برای نتیجه بهتر کدام روش را باید بکار برد همچنان ادامه دارد (۳، ۶، ۱۱ و ۱۲).

گیپل و استواردسون<sup>۹</sup> (۶) ضمن تشریح روش محیط خیس شده بیان داشتند که استفاده از روش انحنا نسبت به روش شیب مقدار بیشتری برای جریان زیست محیطی به دست می‌دهد ولی در مورد اینکه کدام روش نتایج بهتری ارائه می‌کند، بحث نکردند. لیو و همکاران<sup>۱۰</sup> (۱۱) با فرض مثلثی شکل بودن همه مقاطع به صورت ریاضی اثبات کردند که در یک مقطع مثلثی روش انحنا

5- By-eye

6- Slope method

7- Curvature method

8- Ideal point method (IPM)

9- Gippel and Stewardson

10- Liu et al.

1- Environmental flow

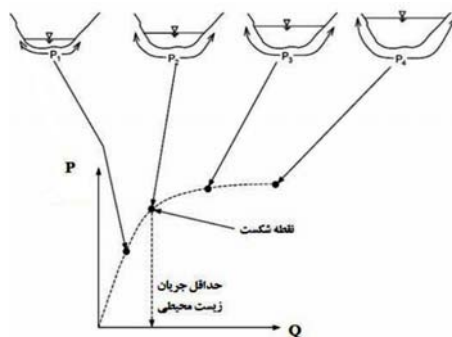
2- Tennant

3- Wetted perimeter method

4- Critical point

جدول ۱- روش‌های برآورد جریان زیست محیطی رودخانه (۲)

کاربردها	معایب	مزایا	روش	طبقه بندی
برای رودخانه‌ها در مراحل ابتدایی مطالعات، کالیبراسیون روش‌های دیگر	عدم در نظر گرفتن تغییرات فصلی و سالانه (سال‌های تر و خشک) عدم در نظر گرفتن ریخت شناسی جریان	عدم نیاز به اندازه‌گیری داده‌ها، آسان برای استفاده	تنانت (تنانت، ۱۹۷۶) 7Q10 (کایسی و همکاران، ۱۹۹۸) تگزاس (ماتوس و باو، ۱۹۹۱)	هیدرولوژیکی
حداقل جریان پایه زیست محیطی	عدم در نظر گرفتن تغییرات فصلی	داده‌های جدید مورد نیاز محدود است، عدم نیاز به داده‌های طولانی مدت جریان، بدون نیاز به گونه و محیط زیست	محیط خیس شده (آبرتینی و همکاران، ۱۹۹۶؛ گیل و استوارسون، ۱۹۹۸)	هیدرولیکی
برای اهداف مختلف امکان پذیر است	زمان زیادی صرف جمع آوری داده‌های زیست محیطی می‌شود	ترکیب داده‌های بیولوژیکی و جریان	IFIM (گوره و همکاران، ۱۹۹۱؛ استالکر و همکاران، ۱۹۹۴)	زیست گاهی
تغییرات مکانی و زمانی جریان مورد نیاز آب	تعریف جریان‌های مختلف مشخص نیست، دشوار برای استفاده	ارزیابی تاثیر تغییرات جریان روی محیط زیست رودخانه، جامع، سیستماتیک	BBM (کینگ و تارمه، ۱۹۹۴؛ رانتری و وادسون، ۱۹۹۸؛ کینگ و لو، ۱۹۹۸)	ترکیبی
سایت خاص، ناحیه سایت بخصوص	مقیاس کلان، روش کامل نیست	بر اساس اندازه‌گیری داده‌های هیدرولوژیکی و کیفیت آب، آسان برای محاسبه	غلظت آلاینده، تصفیه آب (وانگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۲) سونگ و همکاران، ۲۰۰۵) انتقال آب-ماسه (مین و لیو، ۲۰۰۹) تیخیر (ین و همکاران، ۲۰۰۱)	دیگران



شکل ۱- رابطه شماتیک بین محیط خیس شده و دبی و نقطه شکست منحنی

(۳۰-۱۰ درصد متوسط جریان سالانه) بیان داشتند که اعداد به دست آمده از روش انحنای مطابقت بیشتری با این محدوده دارد، و نتایج حاصل از روش شیب را اغراق آمیز بیان کردند. آنها همچنین

مقدار کمتری از جریان زیست محیطی را نسبت به روش شیب پیش‌بینی می‌کند. آنها سپس با انجام یک مطالعه موردی و مقایسه نتایج حاصل از هر دو روش با محدوده قابل قبول روش تنانت

تشریح روش‌های شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل در تعیین نقطه شکست در منحنی دبی-محیط خیس شده. برآورد حداقل جریان زیست محیطی رودخانه بشار با استفاده از روش‌های مذکور. مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با دیگر پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه و بیان و رفع برخی از ابهامات موجود.

### مواد و روش‌ها

در ادامه به تشریح مراحل انجام محاسبات مربوط به حداقل جریان زیست محیطی با استفاده از روش محیط خیس شده بر اساس سه روش شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل برای تعیین نقطه شکست در منحنی پرداخته می‌شود. رابطه معروف مانینگ برای بدست آوردن دبی به صورت زیر است:

$$Q = n^{-1}AR^{2/3}S^{1/2} \quad (1)$$

که در آن  $Q$ : معرف دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه،  $n$ : ضریب زبری مانینگ،  $A$ : سطح مقطع جریان بر حسب متر مربع،  $R$ : شعاع هیدرولیکی بر حسب متر و  $R = \frac{A}{P}$  که  $P$ : معرف محیط خیس شده عمود بر جریان بر حسب متر،  $S$ : شیب طولی رودخانه و بدون بعد می‌باشد. اکنون با مشخص بودن شکل مقطع عرضی، شیب طولی و ضریب زبری مانینگ نمودار دبی-محیط خیس شده تا محل شکست در منحنی (با توجه به شکل مقطع) به صورت بی بعد رسم شود ( $p = P/P_{max}$ ,  $q = Q/Q_{max}$ ). سپس با برازش بهترین رابطه از میان نقاط نمودار، منحنی بی بعد دبی-محیط خیس شده حاصل می‌شود. معمولاً برای مقطع مثلثی شکل نمودار توانی (رابطه ۲) و برای مقاطع مستطیلی شکل نمودار لگاریتمی (رابطه ۳) بهترین برازش را دارند (۶).

$$p = cq^b \quad (2)$$

$$p = a \ln(q) + 1 \quad (3)$$

$a$ ،  $b$  و  $c$ : ضرایب حاصل از برازش بهترین منحنی از بین نقاط نمودار بی بعد هستند. اکنون با مشخص شدن رابطه منحنی توانی یا لگاریتمی اقدام به تعیین نقطه شکست در منحنی می‌شود، همان‌طور که بیان شد این کار با سه روش شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل انجام می‌شود:

### تعیین نقطه شکست با روش شیب

بر اساس این روش نقطه بحرانی نقطه‌ای است که به ازای آن شیب منحنی در رابطه زیر بگنجد (۶ و ۱۱):

بیان داشتند که برای تکیه بر نتایج هر دو روش باید مقاطع متعددی از رودخانه بررسی شود. شانگ<sup>۱</sup> (۱۲) با معرفی روش نقطه ایده‌آل بیان داشت که این روش به دلیل در نظر گرفتن همزمان دو جنبه اقتصادی و زیست محیطی با وزن دهی به دو پارامتر دبی و محیط خیس شده و نیز به دلیل استفاده مستقیم از نمودار دبی-محیط خیس شده از سادگی و قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار است.

آنچه تاکنون در ایران صورت گرفته استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی بوده است. طبق توصیه مقدار جریان زیست محیطی برای رودخانه‌ها مطابق با نتایج حاصل از روش تنانت در حد قابل قبول است (۳). در زمینه استفاده از روش‌های دقیق‌تر مانند روش محیط خیس شده اقدام چندانی صورت نگرفته است. در تحقیقات محدود که به مهمترین آنها نیز اشاره خواهد شد، به دلیل وجود اشتباهات محاسباتی و همچنین عدم آشنایی با نحوه انجام روش، تکیه بر نتایج آن قابل اطمینان نیست. همچنین روش نقطه ایده‌آل تاکنون در کشور معرفی نشده است.

شکوئی و هانگ<sup>۲</sup> (۳) در مطالعه موردی بر روی رودخانه صفارود (دبی متوسط سالانه ۲ متر مکعب بر ثانیه) در شمال کشور اقدام به استفاده از روش محیط خیس شده برای محاسبه حداقل جریان زیست محیطی کرده‌اند. در پژوهش آنها از دو روش شیب و انحنا برای تعیین نقطه شکست در منحنی استفاده شده است. آنها نتایج حاصل از روش شیب را در مقایسه با متوسط جریان سالانه رودخانه غیر واقع و اغراق آمیز دانستند، ولی نتیجه حاصل از روش انحنا را برای رودخانه مورد نظر قابل قبول بیان کردند. آنها دبی معادل ۶۰ درصد متوسط جریان سالانه را برای حداقل جریان زیست محیطی رودخانه مورد مطالعه پیشنهاد کردند. در پژوهش دیگری یاسی و امینی (۴) به محاسبه جریان زیست محیطی رودخانه شهر چای در شمال غرب کشور با استفاده از روش محیط خیس شده پرداختند. در پژوهش آنها اشاره‌ای به چگونگی تعیین نقطه شکست در منحنی دبی-محیط خیس شده نشده است، ولی با توجه به منابع مورد استفاده به نظر می‌رسد اینکار به صورت چشمی انجام شده است. در نهایت دبی معادل ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه به عنوان حداقل جریان زیست محیطی رودخانه مورد مطالعه توسط آنها پیشنهاد شد.

از آنجا که عدم شناخت جریان‌های زیست محیطی در کشور تأثیر قابل توجهی بر اکوسیستم و حیات زنده جانوری و گیاهی گذاشته و همچنین تحقیقات کافی در این زمینه انجام نشده است، لذا در این پژوهش به مطالعه جریان زیست محیطی رودخانه بشار یکی از سرشاخه‌های کارون بزرگ پرداخته می‌شود. اهداف این پژوهش را اینگونه می‌توان بیان کرد: تشریح روش هیدرولیکی محیط خیس شده طبق آخرین منابع موجود.

1- Shang

2- Shokoohi and Hong

در روابط (۶) و (۷) با مقدار دهی به  $q$  و محاسبه  $k_c$  و سپس ضرب  $q$  معادل  $k_c$  حداکثر ( $k_{max}$ )، در  $Q_{max}$  حداقل جریان زیست محیطی برای مقطع مورد نظر حاصل می‌شود.

### تعیین نقطه شکست با روش نقطه ایده آل

در مدیریت جریان رودخانه دو هدف متناقض با هم در نظر گرفته می‌شوند: یکی حفاظت از زیستگاه و دیگری استفاده اقتصادی از آب. برای استفاده اقتصادی از آب، هدف بیشتری آبیگری از رودخانه است. از طرف دیگر تأمین حداکثر محیط خیس شده برای اهداف زیست محیطی ارجحیت دارد که این تصمیم گیری چندگانه می‌تواند به صورت رابطه (۸) نشان داده شود (۱۲):

$$\begin{cases} \text{minimize} & q \\ \text{maximize} & p = p(q) \\ \text{subject to} & 0 \leq q \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

دو هدف در رابطه (۸) ناسازگار هستند (حداقل  $q$  و حداکثر  $p$ ). برای این نوع مدل‌های چند منظوره معمولاً راه حل کارآمد روش نقطه ایده‌آل است (۱۲). در واقع نقطه ایده‌آل یک نقطه با شیب برابر با یک در فضای هدف (نمودار بی بعد دبی-محیط خیس شده) است که در رابطه زیر صدق کند:

$$\text{minimize } f = d = w_1(1-p) + w_2q \quad (9)$$

$w_1$  و  $w_2$ : وزن‌های نامنفی هستند که با توجه به اهمیت هر کدام از جنبه‌های زیست محیطی یا اقتصادی به ترتیب به  $p$  یا  $q$  داده می‌شوند. برای حل بهینه و در نظر گرفتن هر دو جنبه معمولاً مقدار هر دو ضریب، واحد در نظر گرفته می‌شوند (۱۲). به بیان ساده برای محاسبه جریان زیست محیطی در این روش باید بعد از رسم نمودار بی بعد دبی-محیط خیس شده مقدار  $d$  برای تمام نقاط نمودار با توجه به رابطه (۹) محاسبه شود و با مشخص شدن کمترین مقدار  $d$  ( $d_{min}$ ) و دبی معادل آن ( $q_{ipm}$ ) و ضرب آن در  $Q_{max}$ ، حداقل جریان زیست محیطی برای مقطع مورد نظر حاصل می‌شود. در شکل (۲) این مراحل نشان داده شده است. نقطه معادل  $d_{min}$  در واقع نقطه‌ای از نمودار دبی-محیط خیس شده است که در محل گذار از شیب بیشتر از یک به کمتر از یک قرار دارد. نمودار  $d - q$  بستری برای نشان دادن این تغییرات شیب در نمودار  $p - q$  است. در این روش مستقیماً از نقاط نمودار استفاده می‌شود.

$$\frac{dp}{dq} = 1 \quad (4)$$

حال بر اساس این رابطه و با مشتق گیری از روابط (۲) و (۳) دبی متناظر با نقطه شکست ( $q$ ) برای نمودار توانی از رابطه  $a = q$  و برای نمودار لگاریتمی از رابطه  $bq^{b-1} = 1$  به دست می‌آید. با ضرب عدد حاصل از این روابط در دبی حداکثر ( $Q_{max}$ )، بر حسب متر مکعب بر ثانیه) حداقل جریان زیست محیطی برای مقطع مورد نظر به دست می‌آید. در صورت با ارزش بودن و حساس بودن گونه‌های زنده مورد مطالعه می‌توان شیب کمتری (کمتر از یک) را ملاک عمل قرار داد و اتخاذ تصمیم نهایی موقوف به نظر کارشناسی است (۶).

### تعیین نقطه شکست با روش انحنا

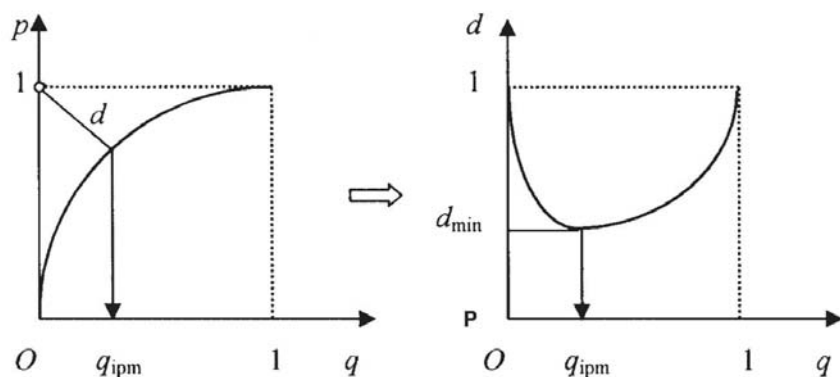
انحنا در منحنی حاصل از رابطه بین دبی و محیط خیس شده به صورت رابطه (۵) بیان می‌شود. در روش انحنا، با توجه به تعریف بنیادی انحنا مبنی بر یافتن نقطه‌ای بر روی منحنی که در آنجا روند تغییر شیب عوض می‌شود، تابع انحنا در هر نقطه از منحنی اولاً تابع زاویه‌ای است که خط مماس بر منحنی در آن نقطه با افق می‌سازد و ثانیاً تابع طول منحنی تا آن نقطه است. مقدار این تابع که در رابطه (۵) ملاحظه می‌شود به ازای یک نقطه در منحنی دبی-محیط خیس شده حداکثر خواهد بود که همان نقطه بحرانی است (۶ و ۱۱).

$$k_c = \frac{\frac{d^2p}{dq^2}}{\left[1 + \left(\frac{dp}{dq}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (5)$$

که برای نمودار توانی از رابطه (۶) و برای نمودار لگاریتمی از رابطه (۷) استفاده می‌شود.

$$|k_c| = \frac{|b(b-1)q^{b-2}|}{\left[1 + (bq^{b-1})^2\right]^{3/2}} \quad (6)$$

$$|k_c| = \frac{\frac{|-a|}{q^2}}{\left[1 + \left(\frac{a}{q}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (7)$$



شکل ۲- طرح ساده روش نقطه ایده آل

که از ۰/۰۲۸ تا ۰/۰۴ متغییر است. شیب طولی متوسط ۰/۰۰۴۷ و دبی متوسط سالانه رودخانه ۵۶ مترمکعب بر ثانیه است. شکل (۳) محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبات در شکل‌های (۴) و (۵) و جدول (۲) آورده شده است. محاسبات برای ۱۶ مقطع از رودخانه که معرف کل رودخانه در محدوده مورد مطالعه هستند انجام شد. شکل (۴) در واقع مجموعه بسیار متنوعی از مقاطع رودخانه بشار به همراه نمودار دبی-محیط خیس شده، شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل و همچنین دبی حداکثر است که به صورت بسیار کاملی در کنار هم آورده شده است. برای استفاده از آن با ضرب دبی بی بعد ( $q$ ) معادل شیب برابر با یک (محل برخورد نمودار شیب با محور افقی) و  $k_{max}$  (در نمودار انحنا) و  $d_{min}$  (در نمودار نقطه ایده‌آل) در دبی حداکثر ( $Q_{max}$ ) مربوط به مقطع عرضی مورد نظر، مقدار جریان زیست محیطی بر حسب متر مکعب بر ثانیه برای هر سه روش به دست می‌آید.

همان‌طور که از شکل‌های (۴) و (۵) و جدول (۲) مشخص است، روش شیب همواره جریان بیشتری نسبت به روش انحنا به دست می‌دهد، که این با نتایج حاصل از کار لیو و همکاران (۱۱)، شانگ (۱۲) شکوهی و هانگ (۳) مطابقت دارد. ولی گیپل و استواردسون (۶) این نتایج را برعکس بیان کردند. با توجه به شکل (۴)، در ۱۳ مقطع نمودار توانی و در ۳ مقطع نمودار لگاریتمی از برازش بهتری برخوردار است. لیو و همکاران (۱۱) فقط از رابطه توانی استفاده کردند و گیپل و استواردسون (۶) و شانگ (۱۲) هر دو رابطه را کاربردی دانستند و همان‌طور که اشاره شد گیپل و استواردسون (۶) برای مقاطع مستطیلی شکل رابطه لگاریتمی را توصیه کردند. شکوهی و هانگ (۳) برای مقطع مورد مطالعه از رابطه لگاریتمی

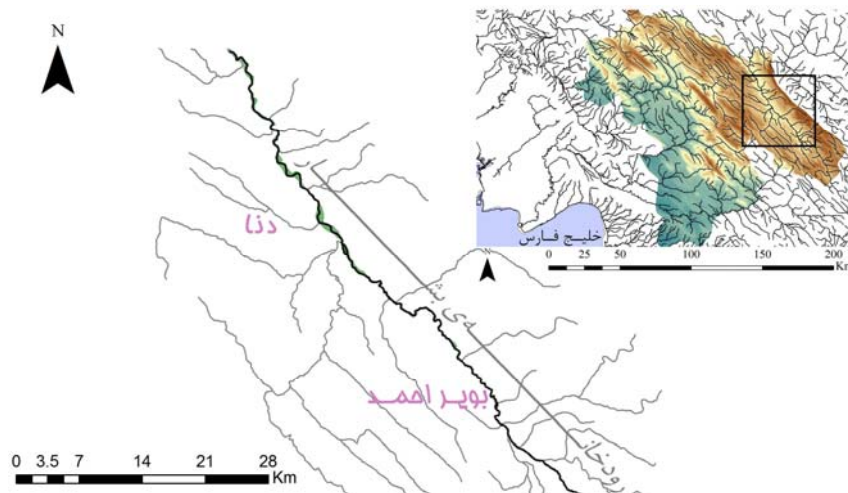
### مطالعه موردی

در ادامه جریان زیست محیطی رودخانه بشار در استان کهگیلویه و بویر احمد با استفاده از روش محیط خیس شده بر اساس سه روش شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل برای تشخیص نقطه شکست در منحنی دبی-محیط خیس شده، محاسبه می‌شود. این رودخانه یکی از سرشاخه‌های رودخانه خرسان بوده و در شهرستان یاسوج و قسمتی از شهرستان اردکان جریان دارد و آبهای قسمتی از این سرزمین مرتفع را جمع‌آوری نموده و وارد رودخانه کارون می‌نماید. شاخه‌های اولیه این رودخانه از کوه‌های واقع در شمال غربی اردکان سرچشمه می‌گیرند. طول رودخانه بشار ۱۵۰ کیلومتر است. این حوزه بسیار مرتفع و کوهستانی است. رژیم رودخانه برفی-بارانی و دائمی است.

محدوده مورد مطالعه در مناطق نسبتاً کوهستانی و بعضی مناطق دشتی از حوضه آبریز بشار قرار گرفته است. موقعیت این رودخانه و عبور آن از داخل شهر یاسوج و اراضی بسیار مستعد و گرانبه‌های مجاور این رودخانه و همچنین وضعیت مناسب اقلیمی آن به گونه‌ای است که در حال حاضر به عنوان یکی از مناطق مهم جهت استفاده‌های صنعتی، شهرسازی، تفریحی و به خصوص کشاورزی مورد توجه اهالی منطقه می‌باشد. این عوامل باعث شده تا وضعیت طبیعی رودخانه در این نواحی دستخوش تغییر شده و خطر تشدید خسارات محتمل است (۲). به همین دلیل بررسی جریان زیست محیطی برای این رودخانه جهت جلوگیری از آسیب جدی به آن ضروری به نظر می‌رسد.

مصالح بستر در تمام طول بازه تقریباً شبیه هم و جنس مواد بستر نسبتاً درشت دانه شنی تا قلوه سنگ است و در سیلاب دشت نیز با توجه به کاربری اراضی جنس مواد کناره متفاوت است ولی عمدتاً سنگی و یا ریزدانه با پوشش گیاهی نسبتاً زیاد می‌باشد.

ضریب مانینگ رودخانه با استفاده از گزارش‌های موجود (۲)، دانه بندی و استفاده از عکس برای هر مقطع عرضی تعیین شده

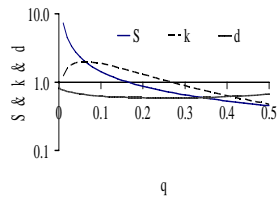


شکل ۳- محدوده مورد مطالعه از رودخانه بشار

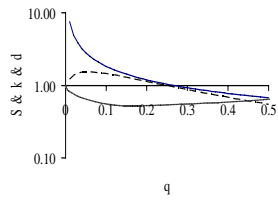
استفاده کردند. توصیه می‌شود جهت دقیق‌تر بودن محاسبات بهترین برازش از میان دو رابطه انتخاب شود. نتایج حاصل از روش شیب بین اعداد ۶/۱۶ درصد و ۴۸/۲۱ درصد متوسط جریان سالانه رودخانه و نتایج حاصل از روش انحنا بین اعداد ۱/۶۴ درصد و ۲۷/۵ درصد و نقطه ایده آل بین ۳/۲۸ درصد و ۶۱/۹۶ درصد از این مقدار قرار می‌گیرند. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش نقطه ایده آل محدوده وسیع‌تری از اعداد را شامل شده و این با توجه به استفاده مستقیم این روش از نقاط موجود بر روی نمودار و استفاده از مقاطع بسیار متنوع کاملاً توجیه پذیر است. با میانگین گیری از نتایج حاصل از هر سه روش مشخص می‌شود که روش شیب دبی معادل ۲۳/۰ درصد از جریان متوسط سالانه رودخانه، روش انحنا ۸/۴ درصد و روش نقطه ایده آل ۲۰/۶ درصد از این مقدار را به دست می‌دهند. تنانت دریافت که ۱۰٪ متوسط جریان سالانه حدود ۵۰٪ از حداکثر محیط خیس شده (شاخص زنده مانی ماهی‌ها) را تهیه می‌کند (۱۳). وی همچنین برای حفظ شرایط رودخانه در سطح قابل قبول جریانی معادل ۱۰-۳۰ درصد متوسط جریان سالانه رودخانه را ضروری دانست. شکوهی و هانگ استفاده از محدوده قابل قبول تنانت برای حفظ حیات زیست محیطی رودخانه را کم و موجب آسیب جدی به آن دانستند (۳) که این با نتایج پژوهش حاضر، لیو و همکاران (۱۱)، شانگ (۱۲) و تنانت (۱۳) مغایرت دارد. علت را این‌گونه می‌توان بیان کرد که در پژوهش آنها برای روش شیب و انحنا از نمودار بی بعد دبی-محیط خیس شده استفاده نشده و همچنین آنها تنها از یک مقطع عرضی رودخانه برای برآورد جریان زیست محیطی استفاده کردند، مسلماً تکیه بر نتایج یک مقطع نمی‌تواند چندان قابل اطمینان باشد. همچنین دو محقق یاد شده و لیو و همکاران (۱۱) نتایج حاصل از روش شیب را اغراق آمیز بیان کردند، که در مورد دوم این‌گونه می‌توان بیان کرد که آنها برای راحت‌تر شدن محاسبات، مقاطع عرضی را کاملاً مثلثی شکل فرض کردند. با توجه به

حساسیت زیاد این روش به شکل مقطع همان‌طور که در شکل (۴) نیز مشخص است، این کار باعث بوجود آمدن اعداد اغراق آمیز شده است. در پژوهش آنها نمودار دبی-محیط خیس شده و شیب و انحنا رسم نشده و به بیان رابطه‌های کلی بسنده شده است. شانگ (۱۲) دبی ۲۱ درصد متوسط جریان سالانه را برای حداقل جریان زیست محیطی رودخانه مورد مطالعه پیشنهاد کرد. وی متوسط جریان سالانه رودخانه را برای دبی حداکثر ( $Q_{max}$ ) پیشنهاد کرد که این کار با دو ابهام همراه است، اول اینکه روش محیط خیس شده یک روش هیدرولیکی است و بهتر است به جای استفاده از پارامترهای هیدرولوژیکی (جریان متوسط سالانه) از پارامترهای هیدرولیکی (نقطه شکست در منحنی) استفاده شود، و دوم اینکه در بعضی مقاطع عرضی همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده نمودار دبی-محیط خیس شده قبل از رسیدن دبی به متوسط جریان سالانه به نقطه شکست در منحنی می‌رسند. پژوهش حاضر نشان می‌دهد در صورت انجام روش محیط خیس شده به صورت کاملاً هیدرولیکی و با جزئیات بیان شده نتایج قابل قبولی حاصل می‌شود. در روش شیب به دلیل استفاده از نمودار معادل می‌توان برای نقاط کمتری از مقطع عرضی محاسبات مساحت و محیط خیس شده را انجام داد. البته عدم همبستگی منحنی معادل با نقاط نمودار (مقاطع ۶، ۱۱، ۱۲ و ۱۶ از شکل (۴) را ببینید) از دقت این روش می‌کاهد. در روش نقطه ایده آل برای دقیق‌تر بودن محاسبات باید از نقاط بیشتری در رسم نمودار دبی-محیط خیس شده استفاده کرد که البته با استفاده از نرم افزارهای در دسترس این کار به سادگی امکان پذیر است و استفاده از این روش را کاملاً توجیه پذیر می‌کند. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است بیشترین همبستگی بین منحنی و نقاط نمودار در مقاطع ۱۰ و ۱۳ وجود دارد و همان‌طور که در جدول (۲) آمده است مقدار این دو روش در این مقاطع بسیار به هم نزدیک هستند.

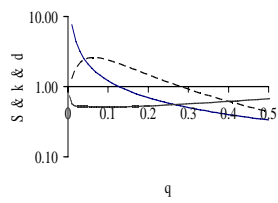
منحنی‌های شیب، انحنا و نقطه ایده‌آل



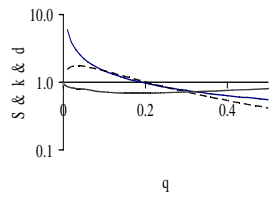
q



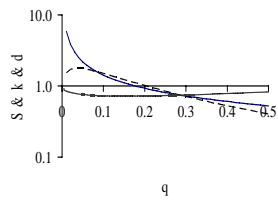
q



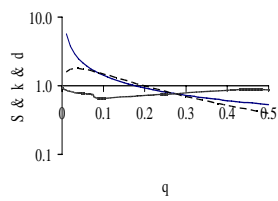
q



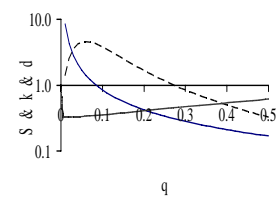
q



q

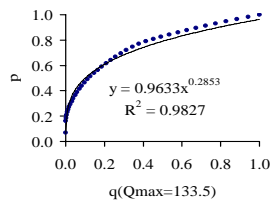


q

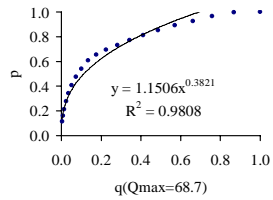


q

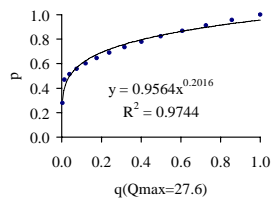
نمودار دبی-محیط خیس شده



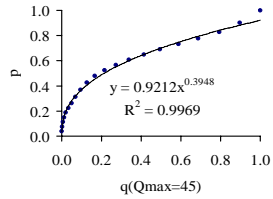
q(Qmax=133.5)



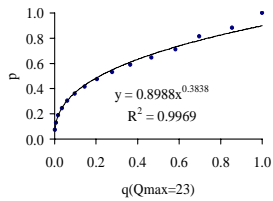
q(Qmax=68.7)



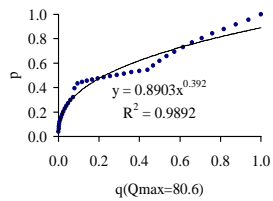
q(Qmax=27.6)



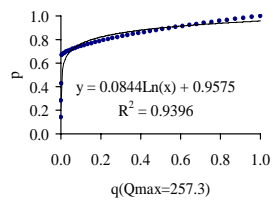
q(Qmax=45)



q(Qmax=23)

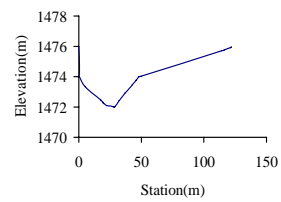


q(Qmax=80.6)

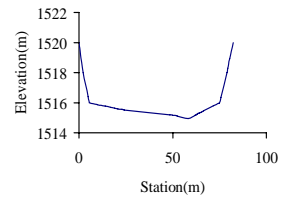


q(Qmax=257.3)

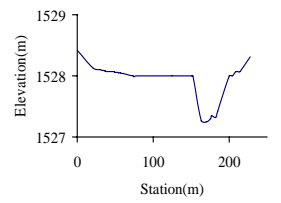
مقطع عرضی



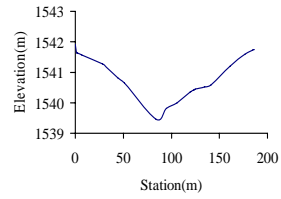
۱



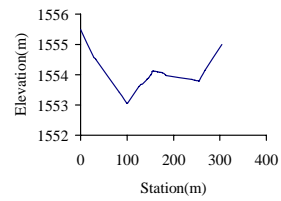
۲



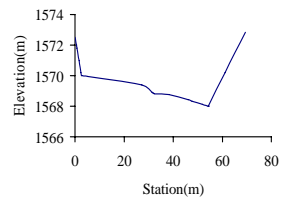
۳



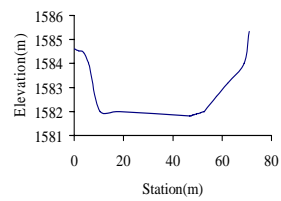
۴



۵

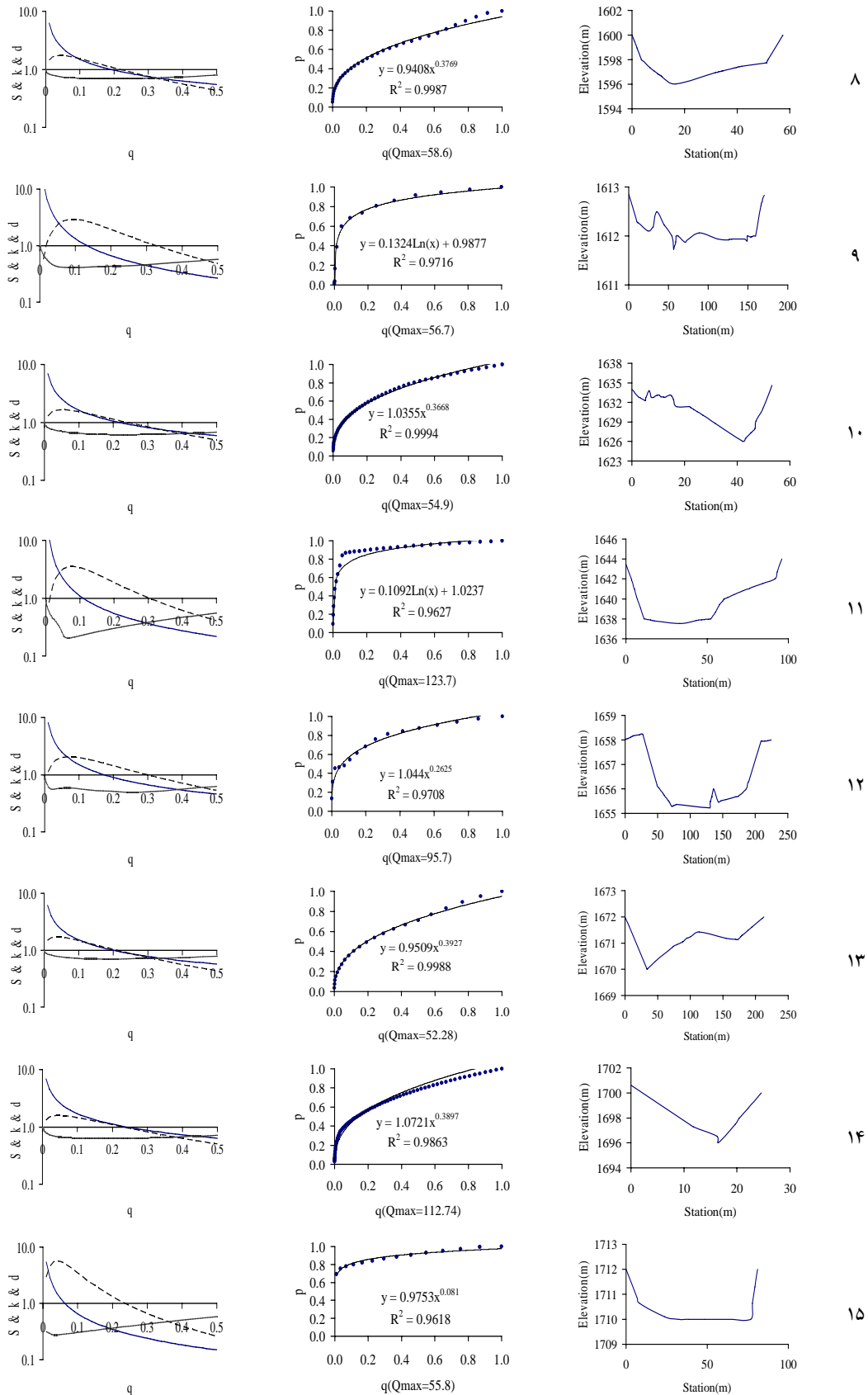


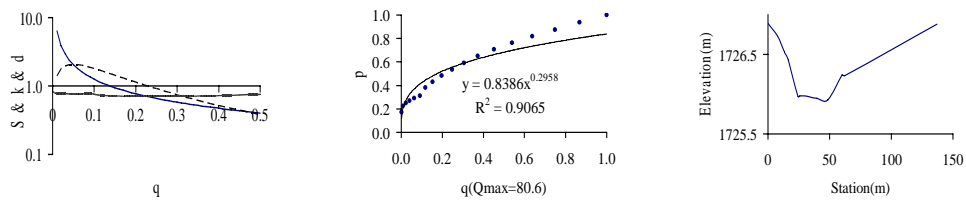
۶



۷



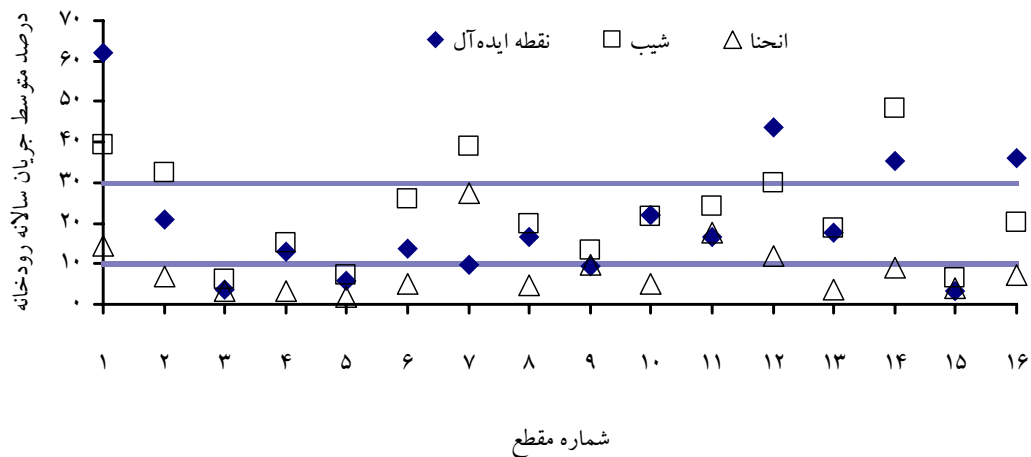




شکل ۴- مقاطع عرضی، نمودار دبی- محیط خیس شده و نمودارهای شیب انحنا و نقطه ایده آل

جدول ۲- نتایج حداقل جریان زیست محیطی رودخانه ( $Q(m^3/s)$ ) با سه روش مختلف

مقطع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
شیب	۲۲	۱۸/۲	۳/۴۵	۸/۵	۴/۱۴	۱۴/۵	۲۱/۹	۱۱/۱
انحنا	۸	۳/۸	۱/۸	۱/۸	۰/۹۲	۲/۸	۱۵/۴	۲/۶
نقطه ایده آل	۳۴/۷	۱۱/۷	۲	۷/۲	۳/۳	۷/۷	۵/۵	۹/۴
مقطع	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
شیب	۷/۶	۱۲/۱	۱۳/۶	۱۶/۷۵	۱۰/۴۵	۲۷	۳/۶	۱۱/۳
انحنا	۵/۴	۲/۷	۹/۹	۶/۷	۲/۱	۵/۱	۲/۲	۴
نقطه ایده آل	۵/۳	۱۲/۴	۹/۲۵	۲۴/۴	۱۰	۱۹/۷	۱/۸	۲۰/۲



شکل ۵- نتایج حداقل جریان زیست محیطی بر حسب درصد متوسط جریان سالانه رودخانه

### نتیجه گیری

محاسبه جریان زیست محیطی برای رودخانه در شرایط کنونی یک ضرورت است. روش‌های بسیار مختلفی برای انجام این کار به وجود آمده، که انتخاب بهترین روش برای یک منطقه خاص با توجه به زمان، امور مالی و داده‌های موجود باید صورت گیرد. استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی فقط در مراحل اولیه توصیه می‌شود و در مراحل بعدی استفاده از روش‌های دقیق‌تر برای صحت‌سنجی و تدقیق نتایج حاصل از مراحل اولیه امری ضروری است. در شرایط کنونی کشور برای این کار استفاده از روش هیدرولیکی محیط خیس شده به دلیل

این نشان دهنده استفاده از تعداد نقاط کافی برای رسم نمودار دبی-محیط خیس شده در این پژوهش و همچنین نشان دهنده دقت روش نقطه ایده آل است. مزیت دیگر روش نقطه ایده آل نسبت به روش شیب اینست که در این روش با توجه به اهمیت جنبه‌های اقتصادی یا زیست محیطی می‌توان ضرایب مناسبی به پارامترهای دبی و محیط خیس شده در رابطه (۹) اختصاص داد و پاسخ بهینه را به دست آورد.

معادل برای نقاط و عدم نیاز به عملیات مشتق‌گیری و در نتیجه سرعت محاسبات بالاتر، به عنوان روش برتر انتخاب می‌شود.

سرانجام دبی ۱۱/۵ متر مکعب بر ثانیه (معادل ۲۰/۶ درصد متوسط جریان سالانه رودخانه) به عنوان حداقل جریان زیست محیطی رودخانه‌ی بشار پیشنهاد می‌شود. در نهایت تأکید می‌شود با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش استفاده از حداقل پیشنهاد روش تنانت (۱۳) (۱۰ درصد متوسط جریان سالانه رودخانه) که معمولاً در ایران به عنوان جریان زیست محیطی استفاده می‌شود، دست کم در مورد رودخانه‌ی مورد مطالعه نمی‌تواند انتخابی مناسب باشد.

عدم نیاز به داده‌های پیچیده و همچنین دلایل منطقی که این روش بر پایه‌ی آنها شکل گرفته توصیه می‌شود. با این وجود انتخاب روش مناسب برای تعیین نقطه‌ی شکست در منحنی همچنان با ابهاماتی روبرو است.

تحقیق حاضر نشان داد که در صورت انجام دقیق روش محیط خیس شده با تمام جزئیات بیان شده، نتایج حاصل از روش شیب و نقطه ایده‌آل در محدوده‌ی قابل قبول حاصل از نتایج کار تنانت (۱۳) قرار می‌گیرند. از میان این دو، روش نقطه‌ی ایده‌آل با توجه به استفاده‌ی مستقیم از نقاط نمودار دبی-محیط خیس شده و همچنین وجود نرم افزارهایی که امکان رسم این نمودار با تعداد نقاط کافی را فراهم می‌کنند و نیز به دلیل عدم نیاز به رسم منحنی

### منابع

- ۱- بی نام. ۱۳۹۱. راهنمای تعیین آب مورد نیاز اکوسیستم‌های آبی. استاندارد صنعت آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی و آبفا، وزارت نیرو، ۱۲۷ صفحه.
- ۲- بی نام. ۱۳۹۰. گزارش تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد. شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد.
- ۳- شکوهی، ع. ر. و ی. هانگ. ۱۳۹۰. استفاده از مشخصه‌های مرفولوژیکی در رودخانه‌های دایمی برای تعیین حداقل نیاز آبی محیط آکولوژیکی. مجله محیط شناسی، سال سی و هفتم، ۵۸: ۱۲۸-۱۱۷.
- ۴- یاسی، م. و س. امینی شادباد. ۱۳۸۸. برآورد حداقل جریان زیستی-هیدرولیکی رودخانه شهرچای. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- 5- Annear, T. C. and A. L. Conder. 1984. Relative bias of several fisheries instream flow methods. *North American Journal of Fisheries Management*, 4 (4B): 531-539.
- 6- Gippel, C. J. and M. J. Stewardson. 1998. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research and Management*, 14 (1): 53-67.
- 7- Gao, J., Gao Zhao, Y. and G. Hormann. 2010. Minimum ecological water depth of a typical stream in Taihu lake basin. *China. Quaternary International*, 226: 136-142.
- 8- Gore, J. A., King, J. M. and K. C. D. Hamman. 1991. Application of the instream flow incremental methodology to Southern African Rivers: Protecting endemic fish of the Olifants river. *Water South Africa*, 17 (3): 225-236.
- 9- Gordon, N. D., McMahon, T. A. and B. L. Finlayson. 2004. *Stream hydrology: An introduction for ecologists*. Second ed. John Wiley and Sons, New York, 444 pp.
- 10- Lei, Z. D., Zhen, B. L., Shang, S. H., Yang, S. X., Cong, Z. T., Zhang, F. W., Mao, X. H. and H. Y. Zhou. 2001. Formation and utilization of water resources of Tarim river. *Science in China (Series E)*, 44: 615-624.
- 11- Liu, S. X., Mo, X. G. and J. Xia. 2006. Uncertainty analysis in estimating the minimum ecological instream flow requirements via wetted perimeter method: Curvature technique or slope technique. *Acta Geographia Sinica*, 61 (3): 273-281
- 12- Shang, S. H. 2008. A multiple criteria decision-making approach to estimate minimum environmental flows based on wetted perimeter. *River Research And Application*, 24: 54-67.

- 13- Tennant, D. L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental. Fisheries, (1): 6-10.
- 14- Tharme, R. E. 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.