



## ارزیابی نیاز آبی زیست محیطی با استفاده از روش هیدرولیکی محیط خیس شده

مریم دهقانزاده قاینی<sup>۱</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۲\*</sup>، آرزینا فراشی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد.

### چکیده

آب و خاک از مهم ترین عوامل تشکیل دهنده حیات می باشند که استفاده صحیح از آن ها و حفاظت از این منابع همراه با سایر منابع طبیعی یک وظیفه همگانی است. گسترش طرح های توسعه منابع آب با توجه به روند فزاینده جمعیت، امری اجتناب ناپذیر است؛ اما از سوی دیگر ذخیره، تنظیم و برداشت بسیار زیاد از منابع آب رودخانه ها سبب برهم خوردن رژیم طبیعی جریان آب در بخش وسیعی از حوضه های آبخیز رودخانه ها شده است. بنابراین، ضرورت تعیین حقایق زیست محیطی (حقایق محیط زیست) در سیاست ها و دستور کارهای ملی و بین المللی مدیریت منابع آب اهمیت دو چندان یافته است. در این پژوهش از روش هیدرولیکی محیط خیس شده با استفاده از معیارهای شیب منحنی، حداکثر انحنای نقطه ایده آل برای حداقل تعیین نیاز آبی زیست محیطی در رودخانه زرینگل استفاده شده است. روش شیب دبی معادل  $20/13$  درصد متوسط دبی سالانه، روش انحنای  $7/45$  درصد و روش نقطه ایده آل  $15/50$  درصد را پیشنهاد می دهد. ضمن آنکه نتایج روش شیب و نقطه ایده آل در محدوده نتایج حاصل از روش تنانت قرار گرفته اند. روش نقطه ایده آل با دبی  $0/32$  متر مکعب بر ثانیه به عنوان روش بهینه برگزیده شد.

**کلمات کلیدی:** حقایق زیست محیطی، روش هیدرولیکی، رودخانه زرینگل، نقطه ایده آل.

### مقدمه

رودخانه ها در اغلب نقاط جهان در اثر ساخت سدها، طرح های مهندسی رودخانه و نیز افزایش استحصال آب برای مصارف کشاورزی، شهری و... دستخوش تغییرات قرار گرفته اند. بر اساس برآورد کمیسیون بین المللی سدها، احداث سد، انتقال آب بین حوضه ای و استحصال آب برای کشاورزی،  $60\%$  رودخانه های جهان را در معرض تهدید قرار داده است. این مداخلات منجر به

\*: ایمیل نویسنده مسئول: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)



بروز اثرات چشمگیری از جمله کاهش کل جریان رودخانه و تحت تأثیر قرار دادن تغییرات فصلی جریان و نیز اندازه و تناوب سیلاب‌ها می‌شود. در بسیاری از موارد، این تغییرات می‌تواند اثرات منفی روی خدمات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی فراهم شده به وسیله اکوسیستم‌ها داشته باشد که به نوبه خود میزان آسیب‌پذیری مردم وابسته به این خدمات را افزایش می‌دهد. جریان‌های مورد نیاز برای حفاظت از این خدمات جریان‌های زیست محیطی نامیده می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۰).

در حدود ۲۰۷ روش برای تعیین نیاز آب زیست محیطی در ۴۴ کشور از سراسر جهان شناسایی شده است. این روش‌ها را به طور عمده می‌توان در قالب ۴ روش متمایز شامل: روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های هیدرولیکی، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه‌ها و روش‌های جامع طبقه‌بندی کرد. 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 می‌تواند با دقت مناسب به تعیین آبمورد نیاز بر حسب درجه کیفی محیط زنده پردازند در اختیار کارشناسان مهندسی رودخانه و محیط‌زیست قرار دارد (پورصالحان و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های هیدرولوژیکی به خاطر سهولت کاربرد، بسیار پرطرفدار بوده و با بیش از ۶۱ روش حدود ۳۰٪ از کل روش‌های جریان زیست محیطی در سطح جهان را تشکیل می‌دهند. روش تنانت<sup>۱</sup> (مونتانا) پرکاربردترین روش هیدرولوژیکی می‌باشد (تارمه، ۲۰۰۳). این روش مورد تایید وزارت نیرو است. از دیگر روش‌های پرکاربرد این گروه روش منحنی تداوم جریان<sup>۲</sup> (FDC) و روش محدوده تغییرات<sup>۳</sup> (RVA) هستند، که در آمریکا به صورت گسترده ای بکار می‌روند.

روش هیدرولیکی در ابتدا برای تعیین جریان‌های درون رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها در آمریکا گسترش یافت. در سال‌های اخیر این روش‌ها در کنار روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه تقویت شده و یا اینکه در قالب روش‌های جامع قرار گرفته‌اند. در این روش‌ها هیدرولیک رودخانه به صورت تابعی از جریان مدل‌سازی شده و رابطه‌ای بین پارامترهای هیدرولیکی نظیر محیط خیس شده، عمق و سرعت جریان رودخانه با فراوانی زیستگاه گونه هدف برقرار می‌شود. سپس جریان زیست محیطی به عنوان مقدار دبی که شرایط بهینه زیستگاه‌ها را فراهم کند، تعریف می‌شود. روش محیط خیس شده معمول‌ترین روش ازدسته روش‌های هیدرولیکی می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۰).

روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه بر پایه فرضیه‌هایی مشابه با روش‌های هیدرولیکی قرار دارند اما با جزئیات بیشتری به بررسی روند تغییر شرایط فیزیکی زیستگاه‌ها در دبی‌های مختلف جریان رودخانه می‌پردازند (عریان و همکاران، ۱۳۹۲). جریان زیست محیطی از منحنی شاخص مطلوبیت زیستگاه بر حسب جریان یا احتمال تجاوز جریان بر حسب شاخص مطلوب زیستگاه تعیین می‌شود. مدل PHABSIM مهم‌ترین و پرکاربردترین روش شبیه‌سازی زیستگاه می‌باشد. ولی این مدل تنها برای شرایط زیستگاهی ماهی‌ها توسعه داده شده است و سایر گونه‌های گیاهی و جانوری را در نظر نمی‌گیرد.

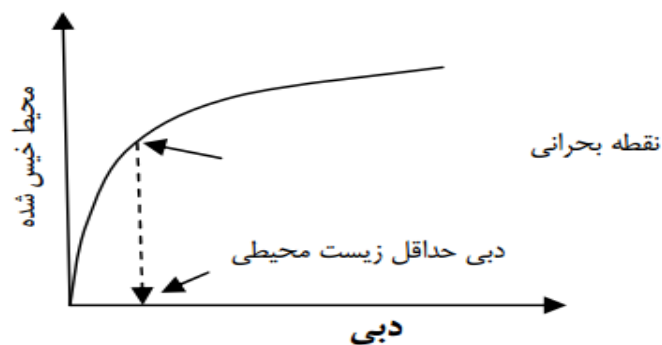
در روش‌های جامع مهم‌ترین ویژگی‌های رژیم جریان آب که شرایط مطلوب اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و... سیستم رودخانه را به میزان بالایی تحت تأثیر قرار می‌دهد شناسایی شده و برای هر یک از این ویژگی‌ها سطح آب مورد نیاز را تعیین می‌نماید و در نهایت همه این مقادیر را برای ایجاد یک رژیم جریان آب مناسب با هم ترکیب می‌کند (عریان و همکاران، ۱۳۹۲).

1. Tennant  
2. Flow Duration Curve  
3. Range of Variability Approach

4. Instream Flow Incremental Methodology  
5. Building Block Methodology  
6. Downstream Response to Imposed Flow Transformation



روش کاهش جریان رودخانه‌ای<sup>۴</sup> (IFIM) که در آمریکا توسعه یافته است، رایج‌ترین و مستندترین روش جامع است. روش<sup>۵</sup> (BBM) و<sup>۶</sup> (DRIFT) از دیگر روش‌های جامع هستند که در آفریقای جنوبی توسعه یافته‌اند (بی‌نام، ۱۳۹۰). استفاده از هریک از روش‌های فوق محاسن، معایب و همچنین محدودیت‌های خاص خود را دارد. در روش‌های هیدرولوژیکی، به‌عنوان مثال روش تنانت، از تغییرات طبیعی پهنه آبی صرف‌نظر می‌شود و تنها یک حداقل جریان پایه را تعیین می‌کند که از معایب این روش می‌باشد. روش‌های پیچیده زیستگاهی و جامع، به‌عنوان مثال DRIFT، به‌زمان داده بیشتر و دقیق‌تری نیازمند است، که در عمل استفاده از این روش‌ها را محدود می‌سازد. در این میان روش محیط خیس شده به دلیل رویکرد دقیق و تعریف روشن ریاضی از طریق تعیین نقطه بحرانی در رابطه بین محیط خیس شده و دبی جریان و همچنین استفاده از داده‌های هیدرولیک رودخانه از قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار است (پورصالحان و همکاران، ۱۳۹۲). همانطور که در شکل مشخص است در پایین‌تر از نقطه بحرانی شرایط به سرعت عوض می‌شود، زیرا با کوچکترین تغییر در دبی محیط خیس شده به سرعت کاهش می‌یابد و بعد از این نقطه تغییرات زیاد دبی منجر به تغییرات اندک در محیط خیس شده می‌شود. در روش محیط خیس شده فرض بر این است که رابطه‌ای میان محیط‌خیس شده و محیط قابل دسترس برای آبزیان وجود دارد (شکوهی و هانگ، ۱۳۸۹).



شکل ۱. رابطه بین دبی و محیط تر شده - نقطه بحرانی و دبی حداقل زیست محیطی (شکوهی و هانگ، ۱۳۸۹).

با وجود همه مزیت‌ها و دلایلی که روش محیط خیس شده بر پایه آنها بنا شده است ولی در این روش همچنان ابهاماتی نیز وجود دارد که مهمترین آن تعیین نقطه بحرانی در منحنی می‌باشد. ۴ روش کلی برای تعیین نقطه بحرانی وجود دارد که عبارتند از: روش مشاهده‌ای (چشمی)، روش شیب، روش انحنا و روش نقطه ایده‌آل. باید توجه نمود که محل دقیق نقطه بحرانی به صورت چشمی ممکن نیست و این روش کاملاً بستگی به نظر کارشناسی دارد، که در اینجا مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. با توجه به موارد ذکر شده هدف از انجام این تحقیق، مقایسه نتایج روش‌های مختلف تعیین نقطه بحرانی در روش محیط خیس شده به منظور تعیین حداقل نیاز زیست محیطی است.



## مواد و روش‌ها

همانگونه که بیان شد روش‌های متعددی برای تعیین نیاز زیست محیطی ارائه شده‌اند. در این میان روش محیط خیس شده (به عنوان یکی از روش‌های هیدرولیکی) به دلیل رویکرد دقیق و تعریف روشن ریاضی از طریق تعیین نقطه بحرانی در رابطه بین محیط خیس شده و دبی جریان و همچنین استفاده از داده‌های هیدرولیک رودخانه از قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار است (پورصالحان و همکاران، ۱۳۹۲). رابطه میان محیط تر شده و دبی تابعی از هندسه مقاطع ونحوه افزایش دبی در مقابل عمق است. با استفاده از رابطه معروف مانینگ (رابطه ۱) می‌توان روابط بین محیط تر شده و دبی را برای مقاطع مثلثی (رابطه ۲) و مستطیلی (رابطه ۳) بدست آورد (گیپل و استواردسن، ۱۹۹۸).

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

$$P = cQ^b \quad (2)$$

$$P = a \ln Q + 1 \quad (3)$$

در رابطه ۱، Q: 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، S: شیب جریان و در رابطه (۲) P: معرف محیط خیس شده عمود بر مسیر جریان بر حسب متر می‌باشد. a و b ضرایب حاصل از برازش بهترین منحنی از بین نقاط نمودار بی بعد می‌باشد.

تعیین نقطه بحرانی با روش شیب منحنی:

بر اساس این روش نقطه بحرانی جایی است که به ازای آن شیب منحنی برابر با ۱ می‌باشد که از رابطه ۴ قابل استخراج است.

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

حال با استفاده از رابطه (۴) و با مشتق‌گیری از روابط (۲) و (۳) دبی متناظر با نقطه شکست برای هر مقطع بدست می‌آید. با ضرب این عدد در  $Q_{max}$ ، حداقل جریان زیست محیطی برای مقطع مورد نظر بدست می‌آید.

تعیین نقطه بحرانی با روش حداکثر انحنا:

گیپل و استواردسون (۱۹۹۸)، بعد از معرفی روش شیب، روش دیگری به نام حداکثر انحنا را عنوان نمودند و بیان داشتند انحنا در منحنی با استفاده از رابطه (۵) بدست می‌آید. آنها k را نقطه‌ای تعریف نمودند که شیب عوض می‌شود همچنین بیان داشتند تابع انحنا در هر نقطه‌ای از منحنی اولاً تابع زاویه‌ای است که خط مماس بر منحنی در آن نقطه با افق می‌سازد و ثانیاً تابع طول منحنی تا نقطه مورد نظر است. این تابع فقط به ازای یک نقطه در منحنی ماکزیمم است که آن نقطه، همان نقطه بحرانی می‌باشد.

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



با مقدار دهی به  $q$  و محاسبه  $k_c$  و سپس ضرب در  $q$  معادل  $k_c$  در  $Q_{max}$  حداقل جریان زیست محیطی برای مقطع مورد نظر بدست می آید.

تعیین نقطه بحرانی با روش نقطه ایده آل:

شانگ (۲۰۰۸) روش نقطه ایده آل را معرفی نموده، وی این روش را بهترین روش برای حل بهینه معادله بوجود آمده از دو هدف متناقض از رودخانه یکی حداکثر برداشت و دیگری حداکثر محیط خیس شده می داند. در این روش از رابطه (۶) استفاده شده است.

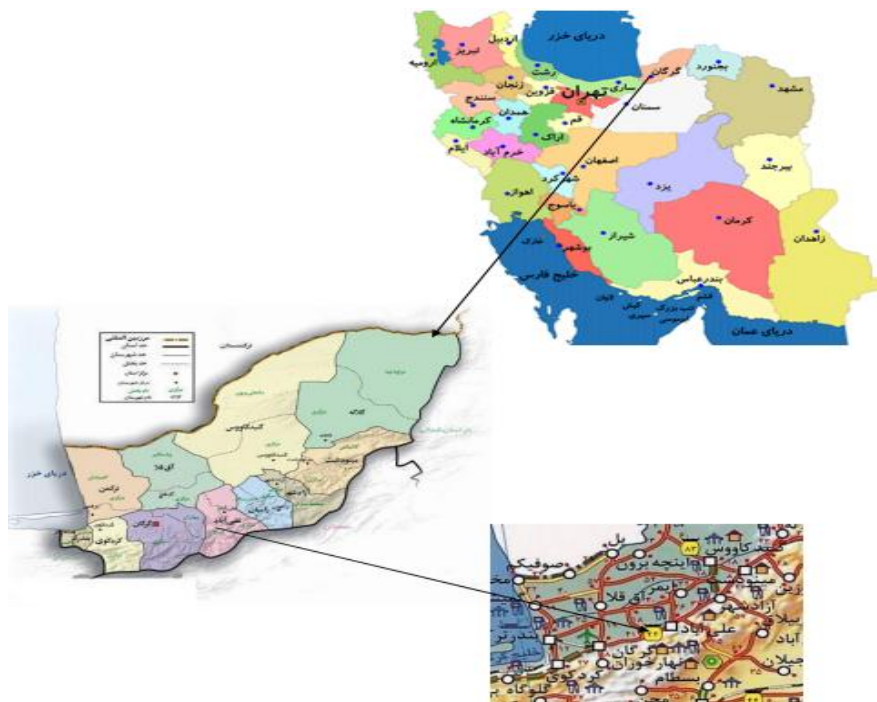
$$dr = [w_1^r(1-p)^r + (w_2q)]^{1/r} \quad (6)$$

در این رابطه  $W_1$  و  $W_2$  ضرایب نامنفی هستند که به ترتیب با توجه به اهمیت هر کدام از جنبه های اکولوژیکی و اقتصادی به  $p$  و  $q$  داده می شوند.  $r$  ضریب مقیاس است که معمولاً ۱ در نظر گرفته می شود. با مشخص کردن ضرایب رابطه که در اینجا ۱ در نظر گرفته شده است و جایگذاری اعداد دبی و محیط خیس شده مربوط به هر نقطه از نمودار و محاسبه  $d$ ، دبی متناظر با نقطه ای که کمترین مقدار  $d$  را دارد به عنوان حداقل جریان زیست محیطی شناخته می شود.

### منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی استان گلستان، در شهرستان علی آباد کتول و در نزدیکی شهر علی آباد کتول و ضلع شرقی این شهر قرار دارد. محدوده مطالعاتی بخشی از رودخانه زرینگل از حوالی پل ارتباطی روستای شیرین آباد آغاز و تا محل تلاقی این رودخانه با جاده ارتباطی گرگان مشهد امتداد می یابد. حوضه آبریز رودخانه زرینگل (حوضه آبریز مطالعاتی) مساحتی معادل ۳۹۰ کیلومتر مربع داشته و طول شاخه اصلی آن حدود ۳۰ کیلومتر می باشد. رودخانه زرینگل یکی از رودخانه های دائمی حوضه آبریز دریای خزر است که از طبیعت منحصربه فرد جنگل ابر در حوضه جنوب شرقی علی آباد کتول سرچشمه می گیرد. این رودخانه وظیفه تأمین و سیراب کردن حیات زیستی و جانوری محدوده خود را هم بر عهده دارد (شکل ۲).

ضریب مانینگ در این رودخانه با استفاده از گزارش های موجود و استفاده از تصاویر برای مقاطع تعیین شد. این ضریب ۰/۰۳۹ تا ۰/۰۵ متفاوت می باشد. دبی متوسط رودخانه ۲/۰۷۳ متر مکعب بر ثانیه می باشد. تعداد ۲۰ مقطع در طول مسیر انتخاب شد و محیط خیس شده، مساحت و سایر داده های مورد نیاز با توجه به ۳ روش ذکر شده در مورد هر یک از این مقاطع تعیین شدند...



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان گلستان.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از به کار گیری ۳ روش ذکر شده در شکل (۳) و جدول (۱) ارائه شده است. همانطور که در شکل (۳) و جدول (۱) مشخص است، روش شیب همواره جریان زیست محیطی بیشتری نسبت به روش انحنا به خود اختصاص می دهد.

این نتیجه بانتهای تحقیقات شانگ (۲۰۰۸)، شکوهی وهانگ (۱۳۸۹)، لیو و همکاران (۲۰۰۶) و پورصالحان و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد، اما با نتایج گپیل و استواردسون (۱۹۹۸) مغایر می باشد.

نتایج روش شیب بین اعداد ۶/۲۷٪ تا ۸۰/۵۵٪ متوسط جریان سالانه بدست آمده است. نتایج روش انحنا بین اعداد ۰/۹۶٪ تا ۴۷/۷۹٪ متوسط جریان سالانه می باشد و نتایج حاصل از روش نقطه ایده آل اعداد بین ۱/۴۴٪ تا ۲۵/۰۸٪ متوسط جریان سالانه را به خود اختصاص می دهد. با متوسط گیری از نتایج هر سه روش مشخص می شود که روش شیب منحنی دبی معادل ۲۰/۱۳ درصد از جریان متوسط سالانه رودخانه، روش حداکثر انحنا دبی معادل ۷/۴۵ درصد و روش نقطه ایده آل دبی معادل ۵۵/۵۰ درصد را به خود اختصاص می دهند.

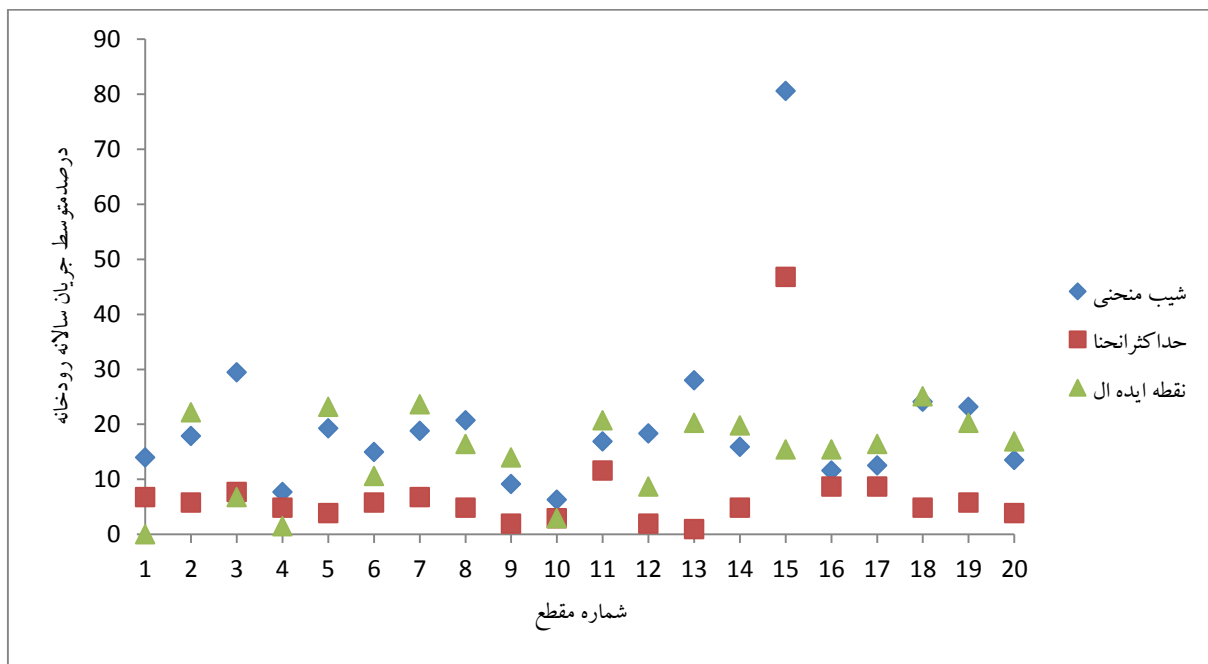
تنانت (۲۰۰۳) دریافت که ۱۰٪ متوسط جریان سالانه حدود ۵۰٪ از حداکثر محیط خیس شده را تأمین می کند. وی همچنین برای حفظ شرایط رودخانه در سطح قابل قبول، جریانی معادل ۱۰-۳۰ درصد متوسط جریان سالانه رودخانه را ضروری دانست. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات لیو و همکاران (۲۰۰۶)، شانگ (۲۰۰۸) و پورصالحان و همکاران (۱۳۹۲) همخوانی دارد، ولی شکوهی و هانگ (۱۳۸۹) این مقدار را قابل قبول نمی دانند. در پژوهش آنها دبی حداقل پیشنهادی روش تنانت از دبی خشکسالی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال نیز کمتر است. به نظر می رسد چون در تحقیق شکوهی و هانگ (۱۳۸۹) تنها از یک مقطع استفاده شده است چنین نتیجه ای را گزارش نموده اند. بنا بر این به نظر می رسد که استفاده از یک مقطع و استناد به نتایج آن چندان قابل



اطمینان نمی‌باشد. همانطور که از شکل (۳) مشخص است درصدهای مربوط به روش شیب منحنی و حداکثر انحنا در محدوده روش تنانت قرار گرفته‌اند.

جدول ۱. حداقل جریان زیست محیطی رودخانه (مترمکعب بر ثانیه) بر اساس سه روش شیب، انحنا و نقطه ایده آل

شماره مقطع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
روش شیب	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۶۱	۰/۱۶	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۱۹	۰/۱۳
انحنا	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۶
نقطه ایده آل	۰/۱۲	۰/۴۶	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۴۸	۰/۲۲	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۰۶
شماره مقطع	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
روش شیب	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۵۸	۰/۳۳	۱/۶۷	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۲۸
انحنا	۰/۲۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۹۷	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۸
نقطه ایده آل	۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۳۵



شکل ۳. حداقل جریان زیست محیطی مورد نیاز برحسب درصد متوسط جریان سالانه رودخانه زیرنگل در مقاطع مختلف رودخانه



## نتیجه گیری کلی

ارزیابی نیاز آبی زیست محیطی یکی از مهمترین مسائلی است که برای زنده ماندن پائین دست سدها، بندها و همچنین حیات اطراف مسیر جریان رودخانه می بایست تعیین شود. با توجه به اینکه روش های جامع و شبیه ساز زیستگاه نیاز به صرف زمان و هزینه بیشتری دارند و علاوه بر آن روش های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به عنوان پایه و اساس این روش ها به حساب می آیند، از این رو به نظر می رسد روش های هیدرولیکی شرایط بهتری برای استفاده جهت تعیین نیاز آبی زیست محیطی را دارا می باشند.

در این تحقیق از روش هیدرولیکی محیط خیس شده استفاده شد و نتایج تعیین نقطه بحرانی محیط خیس شده با روش شیب منحنی و روش نقطه ایده آل، در محدوده پیشنهادی روش تناخت قرار گرفته اند. روش شیب دبی  $0/41$  مترمکعب بر ثانیه که معادل  $20/13$  درصد دبی متوسط سالانه و روش نقطه ایده آل دبی  $0/32$  متر مکعب بر ثانیه که معادل  $15/50$  درصد دبی متوسط سالانه است را ارائه داده است.

با توجه به نتایج موجود روش نقطه ایده آل به دلیل استفاده مستقیم از نمودار دبی - محیط خیس شده، عدم نیاز به عملیات مشتق گیری پی در پی، کاهش درصد خطای محاسباتی و صرفه جویی در زمان به عنوان روش برتر انتخاب می شود. از این رو دبی  $0/32$  متر مکعب بر ثانیه به عنوان حداقل نیاز زیست محیطی رودخانه زرینگل پیشنهاد می شود.

## مراجع

- بی نام. (۱۳۹۰). راهنمای تعیین آب مورد نیاز اکوسیستم های آبی، استاندارد صنعت آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی و آبفا، وزارت نیرو، نشریه ۵۵۷، ۱۲۷ صفحه.
- پورصالحان، س.ج.، صدقی اصل، م. و پرویزی، م. (۱۳۹۲). استفاده از روش محیط خیس شده برای برآورد حداقل جریان زیست محیطی رودخانه بشار، مجله علوم و مهندسی آبیاری (علمی کشاورزی)، جلد ۳۷، شماره ۱، صفحه های ۱۰۷-۱۱۳.
- شکوهی، ع.ر. و هانگ، ی. (۱۳۸۹). استفاده از مشخصه های مرفولوژیکی در رودخانه های دائمی برای تعیین حداقل نیاز آبی زیست محیطی، مجله محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷، صفحه های ۱۱۷-۱۲۸.
- عریان، س.، صادقیان، م.ص.، مخدوم فرخنده، م. و زرنکابی، م.ر. (۱۳۹۲). مقایسه روش های تعیین حقایق محیط زیستی رودخانه ها و پیشنهاد رویکرد مناسب برای کاربرد در ایران با استفاده از روش تصمیم گیری تاپسیس، پژوهش های محیط زیست، سال چهارم، شماره ۸، صفحه های ۳-۱۴.
- Gippel, C.J. and Stewardson, MJ. (1998). Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows, *Regulated Rivers: Research and Management*, 14(1), 53-67.
- Liu, S. X., Mo, X. G. and J. Xia. (2006). Uncertainty analysis in estimating the minimum ecological in-stream flow requirements via wetted perimeter method: Curvature technique or slope technique *Acta Geographica Sinica*, 61(3), 273-281.
- 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.





- Tennant, D.L.(1976). In stream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1, 6–10.
- 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, 397-442.