



## تعیین نیاز آبی زیست محیطی رودخانه زرینگل با استفاده از روش های هیدرولیکی

مریم دهقانزاده قاینی<sup>۱</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۲\*</sup>، آرزیتا 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

بهره برداری خردمندانه از منابع آب به گونه ای که کارکردها و ارزش های اکوسیستم های آبی حفظ شود، همواره از مهمترین اهداف مدیریت جامع منابع آب به شمار می رود. اجرای پروژه های آبی از قبیل انحراف آب، پمپاژ، احداث سد و... تأثیرات جبران ناپذیری بر اکوسیستم اطراف و پایین دست رودخانه می گذارد. در این میان به نظر می رسد بهترین راه حل برای کاهش این اثرات برآورد نیاز آبی زیست محیطی باشد. استفاده از روش هیدرولیکی محیط خیس شده می تواند گزینه ای بسیار مناسب در زمینه ی برآورد حداقل جریان زیست محیطی در رودخانه های کشور باشد. در این مقاله از روش هیدرولیکی محیط خیس شده برای برآورد نیاز آبی زیست محیطی رودخانه زرینگل استفاده شده است. برای تعیین نقطه ی بحرانی از ۳ روش: نقطه ی ایده آل با ضریب مقیاس ۱، نقطه ی ایده آل با ضریب مقیاس ۲ و نقطه ی ایده آل اصلاح شده، استفاده شده است. روش نقطه ی ایده آل یک، دبی ۰/۳۵ مترمکعب بر ثانیه، روش نقطه ی ایده آل دو، دبی ۰/۷۹ متر مکعب بر ثانیه و روش نقطه ی ایده آل اصلاح شده دبی ۱/۱۴ متر مکعب بر ثانیه را پیشنهاد می دهد. در نهایت دبی ۰/۳۵ مترمکعب بر ثانیه که حاصل از روش نقطه ایده آل یک می باشد، به عنوان روش برتر انتخاب شد. این روش در محدوده ی پیشنهادی روش تنانت قرار می گیرد.

**کلمات کلیدی:** نیاززیست محیطی، نقطه ی بحرانی، نقطه ی ایده آل اصلاح شده، محیط خیس شده.

### مقدمه

از مهمترین عوامل تهدیدکننده اکولوژیک رودخانه ها، توسعه طرح های منابع آبی و دخالت های انسانی در میزان برداشت از آب موجود و آلودگی ناشی از فاضلاب های صنعتی و شهری می باشد. تغییرات منفی فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیک بوجود آمده در رودخانه حاکی از این رویداد است. یکی از آسانترین راه ها برای دست یابی به آب مورد نیاز، استفاده از منابع آب رودخانه هاست و

<sup>۱</sup> ایمیل نویسنده مسئول: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)



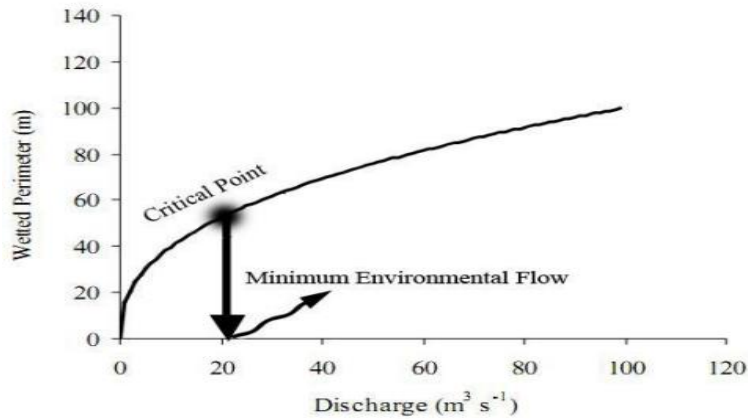
این در حالی است که اکوسیستم‌های آبی برای ادامه‌ی حیات خود نیازمند این آب می‌باشد (دیسون، ۲۰۰۳). به منظور پیشگیری از اثرات منفی درازمدت طرح‌های آبی بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، لازم است نیازمندی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه در قالب نیاز آب زیست‌محیطی تعریف شده و در تعاملات تخصیص آب مد نظر قرار گیرد. ولی موضوع نیاز زیست‌محیطی مفهومی جدید در ایران است (عبدی و همکاران، ۱۳۹۳).

نیازهای آبی زیست‌محیطی دربرگیرنده‌ی رژیم‌های آبی است که می‌توانند با حداقل ریسک ارزش‌های اکولوژیکی اکوسیستم‌های آبی را حفظ نمایند (بران، ۱۳۸۷). با وجود پیشرفت‌های گسترده در زمینه مطالعات آبی، سیاست‌های روشنی در مورد تعیین مقدار دبی زیست‌محیطی و مدیریت مصارف بین رقابت‌کنندگان در کشورهای در حال توسعه وجود ندارد. به منظور تعیین نیاز آب زیست‌محیطی، با توجه به مقیاس مکانی مطالعه، داده‌های موجود، گام زمانی ارزیابی و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند (تارمه، ۲۰۰۳).

روش‌های تعیین نیاز زیست‌محیطی در ۴ گروه عمده طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های هیدرولیکی، روش‌های شبیه‌ساز زیستگاه و روش‌های جامع. در روش هیدرولیکی معمولاً نیاز جریان زیست‌محیطی با استفاده از تغییرات متغیرهای هیدرولیکی مقطع عرضی رودخانه (مانند محیط تر شده) در مقابل جریان بدست می‌آید. این متغیرها جانشینی برای فاکتورهای زیستی (عمق و سرعت مورد نیاز گونه) یا فیزیکی زیستگاه (مشخصات بستر) که محدودیتی برای گونه‌های هدف هستند، بکار می‌روند. این روش که اساساً برای ارزیابی محیط‌های آبی مناسب برای ماهیان بوجود آمده‌است، با بیش از ۲۳ طریق مورد برآورد قرار می‌گیرد (مارچاند، ۲۰۰۶؛ شکوهی و امینی، ۱۳۹۳) و ۱۱٪ از مطالعات انجام شده در سطح جهان در زمینه‌ی نیاز آبی زیست‌محیطی را به خود اختصاص داده‌است. ضمن آن‌که در سال‌های اخیر در توسعه و پیشرفت روش‌های شبیه‌ساز زیستگاه و جامع نیز بکار گرفته شده‌است (تارمه، ۲۰۰۳).

روش هیدرولیکی محیط خیس شده به دلیل رویکرد دقیق و تعریف صریح ریاضی از طریق تعیین نقطه‌ی بحرانی در رابطه‌ی بین محیط خیس شده و دبی جریان از قابلیت اعتماد بیش‌تری برخوردار است. شکل (۱) رابطه‌ی محیط خیس شده، دبی و نقطه‌ی بحرانی را نشان می‌دهد. در پایین‌تر از نقطه‌ی بحرانی و عدم تأمین محیط خیس شده کافی، شن و قلوه سنگ کف رودخانه بیرون افتاده و خاصیت خود را به‌عنوان بستر مناسب به‌عنوان تولید غذا توسط ارگانیزم‌های آبی از دست می‌دهد. از طرف دیگر پوشش گیاهی دیواره‌های کناری رودخانه به‌عنوان غذای دسته‌جاتی از ماهیان از بین می‌رود و در نهایت با کاهش کیفیت آب و احتمال تجمع بیش از حد ماهیان در محدوده‌ای کوچک منجر به رقابت شدید میان ماهیان می‌شود (گردون، ۲۰۰۴). با توجه به همه‌ی دلایل منطقی و روشنی که این روش برپایه آنها بنا شده‌است، همچنان عدم اطمینان‌هایی نیز وجود دارد که مهمترین آن تعیین نقطه‌ی شکست می‌باشد. تا کنون ۴ روش برای تعیین نقطه‌ی بحرانی عنوان شده‌اند که عبارتند از: روش چشمی، روش شیب منحنی، روش حداکثر انحنا و روش نقطه‌ی ایده‌آل.

در این مقاله پیرامون روش نقطه ایده‌آل، برای تعیین نقطه‌ی بحرانی در روش هیدرولیکی تعیین نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها بحث و بررسی صورت می‌گیرد. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی با استفاده از ۳ روش: نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس ۱، نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس ۲ و نقطه‌ی ایده‌آل اصلاح شده می‌باشد.



شکل ۱. رابطه‌ی شماتیک بین محیط خیس شده، دبی، نقطه‌ی شکست منحنی و حداقل جریان زیست محیطی.

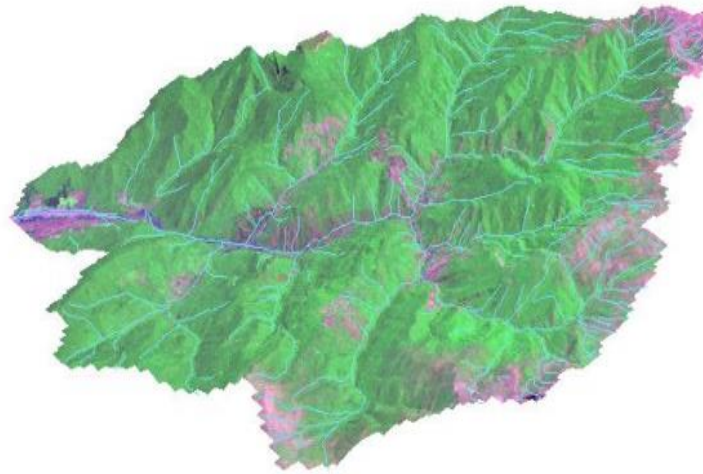
## مواد و روش‌ها

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. در سطح استان گلستان به دلیل ریزش‌های جوی مناسب، اکثر جریان‌های آبی به صورت دائمی و سیلابی می‌باشد. 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 می‌یابد. حوضه آبریز رودخانه زرینگل (حوضه آبریز مطالعاتی) دارای مساحتی معادل ۳۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد که طول شاخه اصلی آن حدود ۳۰ کیلومتر است.

رودخانه زرینگل نیز یکی از رودخانه‌های دائمی می‌باشد، که از آبدهی مناسبی برخوردار است. در حاشیه رودخانه روستاهای متعدد و اراضی کشاورزی قرار دارد که عمدتاً در مواقع سیلابی دچار خسارت می‌شوند. بر این اساس، انجام مجموعه اقداماتی که منجر به کاهش وقوع سیلاب‌ها و خطرات ناشی از آنها شود، ضرورتی اجتناب ناپذیر در جهت تأمین امنیت حاشیه رودخانه‌ها می‌باشد که می‌تواند با مهیا کردن شرایط استفاده بهینه از منابع آب و خاک، در توسعه منطقه نیز نقش بسزایی داشته باشد. یکی از این اقدامات، تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها و رعایت آن از جانب کاربران حاشیه رودخانه‌ها می‌باشد.

متوسط بارندگی در این منطقه ۸۱۴/۱۷ میلی‌متر می‌باشد. ضریب مانینگ در این رودخانه با استفاده از بازدیدهای میدانی و با توجه به گزارش‌های موجود برای مقاطع تعیین شد. این ضریب از ۰/۰۳۹ تا ۰/۰۵۰ برای مقاطع مختلف متفاوت می‌باشد. دبی متوسط رودخانه ۲/۰۷۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل ۲ مدل سه بعدی حوضه‌ی زرینگل را نشان می‌دهد.



شکل ۲. مدل سه بعدی منطقه مورد مطالعه

### روش هیدرولیکی

در این بخش مراحل انجام روش هیدرولیکی به صورت گام به گام بیان میشود. ابتدا مقادیر محیط خیس شده، سطح مقطع جریان و دبی، به ازاء مقادیر مختلف ارتفاع جریان با استفاده از رابطه معروف مانینگ تعیین می شود:

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

که در این رابطه  $Q$  معرف دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $A$  سطح مقطع جریان بر حسب مترمربع،  $R$  شعاع هیدرولیکی بر حسب متر و  $S$  شیب طولی رودخانه و بدون بعد می باشد.

مرحله بعد رسم نمودار دبی - محیط خیس شده ی مقطع عرضی تا ارتفاعی از مقطع که دبی متناظر با آن تقریباً برابر دبی متوسط جریان سالانه رودخانه است، می باشد. پس از این مرحله، نمودار بی بعد  $p-q$  رسم می شود. به این منظور، مقادیر دبی و محیط خیس شده از مرحله قبل بر حداکثر هر یک از این مقادیر تقسیم می شود ( $p = \frac{P}{P_{max}}$  و  $q = \frac{Q}{Q_{max}}$ ) سپس نمودار بی بعد  $p-q$  رسم می شود.

پس از ترسیم نمودار  $p-q$ ، بهترین نمودار توانی یا لگاریتمی با توجه به ضریب همبستگی از نقاط نمودار بی بعد رسم شده و معادله ی بهترین نمودار برازش داده شده تعیین می شود.

پس از انجام مراحل ذکر شده، نقطه ی شکست در نمودار بی بعد  $p-q$ ، با استفاده از روش های زیر تعیین می شود:

روش نقطه ی ایده آل با ضریب مقیاس یک:

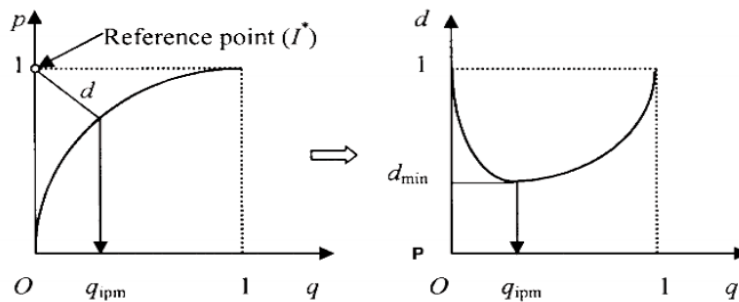
با استفاده از رابطه ی (۲) و با قرار دادن ضرایب وزن دهی ( $w_1$  و  $w_2$ ) و ضریب مقیاس ( $r$ ) برابر با یک، رابطه ی (۳) به ازای نقاط مختلف نمودار مدل شده ی دبی - محیط خیس شده مقدار  $d_1$  محاسبه می شود.

$$dr = [w_1^r(1-p)^r + (w_2q)^r]^{1/r} \quad (2)$$



$$d_1 = (1 - p) + (q) \quad (3)$$

شانگ (۲۰۰۸)،  $d$  را فاصله از نقطه‌ی مرجع و شکل (۳) را بهترین تعریف برای آن بیان کرد. پس از تعیین  $q$  معادل  $d_1$ ،  $q$  بدست آمده از این مرحله در دبی حداکثر ( $Q_{max}$ ) ضرب شده و جریان زیست محیطی برای هر مقطع محاسبه می‌شود. در شکل (۳) مراحل روش نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس یک به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۳. طرح ساده‌ی روش نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس یک (شانگ، ۲۰۰۸)

روش نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس دو:

این روش همانند روش نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس یک می‌باشد، با این تفاوت که ضریب مقیاس ( $\tau$ ) برابر با ۲ در نظر گرفته می‌شود.

$$d_2^2 = (1 - p)^2 + (q)^2 \quad (4)$$

روش نقطه‌ی ایده‌آل اصلاح شده:

رسم نمودار دبی-محیط خیس شده برای نقاط با اختلاف ارتفاع ۵ سانتی‌متر از همدیگر (عدم نیاز به بی بعد کردن نمودار دبی-محیط خیس شده). گام بعدی محاسبه‌ی مقدار  $D$  برای نقاط مختلف ارتفاعی محاسبه شده از مرحله قبل با استفاده از رابطه‌ی (۵) می‌باشد:

$$D = w_1(P_{max} - P) + w_2(Q) \quad (5)$$

$D$ ، معیاری برای نشان دادن روند تغییر شیب برای نمودار  $P-Q$  است. نقطه‌ای از منحنی  $P-Q$  که  $D$  حاصل از آن کمترین مقدار را دارد، نقطه‌ای است که در آن روند شیب نقاط نمودار از بیشتر از یک به کمتر از یک تغییر می‌کند. در واقع این نقطه محل شیب برابر با یک در منحنی دبی-محیط خیس شده است. نمودار  $D-O$  بستری برای نشان دادن این تغییرات شیب برای نقاط نمودار  $P-Q$  است.

در نهایت  $Q$  معادل  $D$  حداقل به‌عنوان جریان زیست محیطی مقطع مورد نظر انتخاب می‌شود.



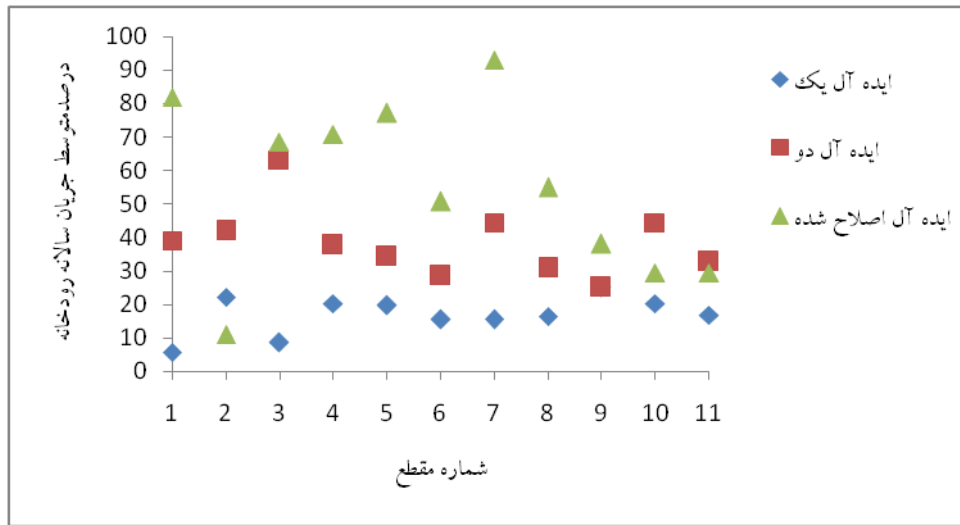
## نتایج و بحث

پس از انتخاب مقاطع رودخانه و با توجه به مشخصات هندسی و هیدرولیکی این مقاطع مقادیر نیاز زیست محیطی بر اساس روش های ذکر شده و با توجه به معادلات ۱ تا ۵ محاسبه شد. نتایج حاصل از سه روش عنوان شده در شکل (۴) و جدول (۱) ارائه شده است. همانطور که از جدول (۱) و شکل (۴) مشخص است نتایج حاصل از روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس ۲ معمولاً بزرگتر یا مساوی حاصل از روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس یک می باشد. این موضوع با نتایج حاصل از تحقیق شانگ (۲۰۰۸) و پورصالحان و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد. در مقطع شماره ۹ مقدار عددی ۲ روش یاد شده با یکدیگر برابر می باشد، ولی همانگونه که در جدول (۱) و شکل (۴) مشهود است در سایر مقاطع مقدار عددی روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس دو از مقدار عددی روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس یک بزرگتر می باشد. در این میان روش نقطه‌ای ایده آل اصلاح شده با حذف خطاهای ناشی از عدم همبستگی نمودار معادل، بی بعد کردن نمودار و نیز عدم سلیقه‌ای بودن از مقدار خطای کمتر و همچنین از اطمینان بیشتری نسبت به دیگر روش ها برخوردار است (پورصالحان و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس ۱، اعداد بین ۵/۷٪ تا ۲۵/۲۶٪ متوسط جریان سالانه می باشد. نتایج روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس ۲، اعداد بین ۲۵/۰۸٪ تا ۶۳/۱۹٪ است و روش نقطه‌ای ایده آل اصلاح شده بین ۱۱/۰۹٪ تا ۹۳/۱۰٪ از متوسط جریان سالانه را به خود اختصاص می دهد. با متوسط گیری از نتایج سه روش فوق مشخص می شود که روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس یک، دبی معادل ۱۶/۹۲٪ از جریان متوسط سالانه رودخانه، روش نقطه‌ای ایده آل با ضریب مقیاس دو، دبی معادل ۳۸/۳۷٪ از جریان متوسط رودخانه و روش نقطه‌ای ایده آل اصلاح شده، دبی معادل ۵۵/۰۳٪ جریان متوسط سالانه رودخانه را به خود اختصاص می دهند.

**جدول ۱.** حداقل نیاز زیست محیطی رودخانه (مترمکعب بر ثانیه) براساس سه روش مختلف تعیین نقطه‌ای شکست

| مقطع           | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    | ۱۰   | ۱۱   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| روش            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ایده آل یک     | ۰/۱۲ | ۰/۴۶ | ۰/۱۸ | ۰/۴۲ | ۰/۴۱ | ۰/۳۲ | ۰/۳۲ | ۰/۳۴ | ۰/۵۲ | ۰/۴۲ | ۰/۳۵ |
| ایده آل دو     | ۰/۸۱ | ۰/۸۷ | ۱/۳۱ | ۰/۷۸ | ۰/۷۱ | ۰/۵۹ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۰/۵۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۸ |
| ایده آل اصلاحی | ۱/۷  | ۰/۲۳ | ۱/۴۲ | ۱/۴۷ | ۱/۶  | ۱/۰۵ | ۱/۹۳ | ۱/۱۴ | ۰/۷۹ | ۰/۶۱ | ۰/۶۱ |



شکل ۱. حداقل جریان زیست محیطی مورد نیاز برحسب درصد متوسط جریان سالانه رودخانه زرینگل در مقاطع مختلف

## نتیجه گیری

با توجه به توسعه روز افزون در زمینه کشاورزی، صنعت و به طبع آن افزایش برداشت از آب رودخانه‌ها به صورت پمپاژ، انحراف آب و احداث سد و بند بر روی رودخانه‌ها، آنچه مسلم است ضرورت انجام مطالعات برآورد حداقل جریان زیست محیطی برای رودخانه می‌باشد. در این مقاله از روش هیدرولیکی محیط خیس شده (و تعیین نقطه‌ی بحرانی) برای برآورد نیاز آبی زیست محیطی استفاده شده است. این روش به علت استفاده از مشخصه‌های واسط بین محیط اکولوژیکی و جریان رودخانه، فقط از تعدادی از داده‌های مورفولوژیکی رودخانه استفاده می‌کند که به آسانی قابل دسترس می‌باشد.

در این تحقیق، برای تعیین نقطه‌ی بحرانی از ۳ روش: نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس ۱، نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس ۲ و نقطه‌ی ایده‌آل اصلاح شده، استفاده شده است. روش نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس یک، دبی ۰/۳۵ متر مکعب بر ثانیه، روش نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس دو، دبی ۰/۷۹ متر مکعب بر ثانیه و روش نقطه‌ی ایده‌آل اصلاح شده دبی ۱/۱۴ متر مکعب بر ثانیه، را به عنوان نیاز زیست محیطی در این رودخانه برآورد می‌نماید.

همانطور که عنوان شد در روش نقطه‌ی ایده‌آل اصلاح شده نمودار بی بعد نمی‌شود و درصد خطای این روش نیز کمتر است که از این نظر روشی مناسب به نظر می‌رسد. ولی اختصاص دادن بیش از نیمی از دبی متوسط سالانه (۱/۱۴ متر مکعب بر ثانیه) به عنوان نیاز زیست محیطی در شرایطی که برای بسیاری از رودخانه‌های کشور این نیاز برآورد نمی‌شود، در مراحل اولیه توجیه عملی ندارد.

با توجه به این که دبی برآورد شده با استفاده از روش نقطه‌ی ایده‌آل با ضریب مقیاس یک، در محدوده‌ی پیشنهادی روش تنانت قرار گرفته است (۲۰-۳۰ درصد دبی متوسط سالانه)، این روش به عنوان روش برتر برای تعیین نقطه‌ی بحرانی در روش هیدرولیکی محیط خیس شده، به منظور تعیین نیاز آبی زیست محیطی انتخاب می‌شود. در نهایت دبی ۰/۳۵ متر مکعب بر ثانیه با توجه به روش نقطه‌ی ایده‌آل ۱، برای رودخانه زرینگل پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این پیشنهاد می‌شود انجام مطالعات برآورد حداقل جریان زیست محیطی در قالب بخشی از مطالعات طرح‌های مهندسی رودخانه به مورد اجرا گذاشته شود.



## مراجع

- امینی، م. و شکوهی، ع.ر. (۱۳۹۳). حل تحلیلی تعیین نقطه شکست نمودار محیط تر شده - دبی در روش هیدرولیکی تعیین حداقل جریان زیست محیطی. مجله علمی-پژوهشی، دوره ۹، شماره ۱، صفحه‌های ۲۷-۴۳.
- بیران، ص. (۱۳۸۷). جایگاه قانونی حقایق زیست محیطی. فصلنامه راهبرد، سال هفدهم، شماره ۱، صفحه‌های ۱۲۹-۱۶۴.
- پورصالحان، س.ج.، صدقی اصل، م. و پرویزی، م. (۱۳۹۱). مطالعه حداقل جریان زیست محیطی رودخانه مارون. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی یاسوج.
- عبدی، ر.، یاسی، م.، سکوتی اسکوتی، ر. و محمدی، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی نیاز زیست محیطی رودخانه زرینه رود با روش های هیدرولوژیکی، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۳، صفحه‌های ۲۱۱-۲۲۳.
- Dyson, M., Bergkamp, G., and Scanlon, J. (2003). The Essentials of Environmental Flows. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., and Finlayson, B.L., (2004). Stream Hydrology: an Introduction for Ecologists. Second ed. John Wiley and Sons. New York.
- Marchand, M.D. (2006). Environmental flow Requirement for River: on integrated approach for river and coastal zone management, Report No. Z 2850 WI/, Delf Hydraulics.
- Shang, S. H. (2008). A multiple criteria decision-making approach to estimate minimum environmental flows based on wetted perimeter. River Research and Application, 24, pp. 54-67.
- 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, pp. 397-442.