

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد جریان اکولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن در استان کردستان با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی

رزا شاه‌محمدنژاد^۱، مطلب بایزیدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

چکیده

به‌منظور پیشگیری از اثرات منفی درازمدت طرح‌های توسعه منابع آب بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، لازم است نیازمندی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه در قالب یک نیاز آب اکولوژیکی، تعریف شده و در تعاملات تخصیص آب مدنظر قرار گیرد. هدف اصلی در این پژوهش، ارزیابی و برآورد توزیع ماهانه جریان اکولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن، با دوره آماری ۲۵ ساله و با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، تحلیل منحنی تداوم جریان، انتقال منحنی تداوم جریان، اسمختین و مدل ذخیره رومیزی است. نتایج این پژوهش نشان داد، روش انتقال منحنی تداوم جریان به دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان‌های اکولوژیکی پیشنهادی خود، نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت دارد و به‌منظور حفظ الگوی کلی تغییرپذیری جریان، از شیفت منحنی تداوم جریان طبیعی استفاده می‌کند. این روش تطابق بهتری با پتانسیل جریان رودخانه قزل‌اوزن و روش مدیریت اکولوژیکی آن دارد. برای حفظ رودخانه قزل‌اوزن در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت اکولوژیکی C) به ترتیب شدت جریان متوسط سالانه معادل $3/11$ (۲۳٪ متوسط جریان سالانه)، $1/91$ (۲۲٪ متوسط جریان سالانه)، $1/43$ (۲۵٪ متوسط جریان سالانه)، $0/84$ (۳۰٪ متوسط جریان سالانه) و $0/28$ (۳۲٪ متوسط جریان سالانه) مترمکعب بر ثانیه، باید در محدوده پنج ایستگاه هیدرومتری بیانلو، نسا، علیا، سلامت‌آباد، حسن‌خان و شادی‌آباد برقرار باشد.

واژه‌های کلیدی: انتقال منحنی تداوم جریان، جریان اکولوژیکی، رودخانه قزل‌اوزن، روش‌های هیدرولوژیکی، مدل ذخیره رومیزی

مقدمه

تداوم جریان معین تعریف می‌شوند. این جریان‌ها شرایط مستعد نگهداری مجموعه‌ای از زیستگاه‌های آبی و فرآیندهای اکوسیستم را فراهم می‌کنند. به‌منظور تعیین نیاز آب اکولوژیکی، با توجه به مقیاس مکانی مطالعه، داده‌های موجود، گام زمانی ارزیابی و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. که این روش‌ها را به طور عمده می‌توان در قالب چهار روش متمایز شامل روش هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه‌ها و روش جامع طبقه‌بندی کرد. برخی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های هیدرولوژیکی شامل تنانت، اسمختین، تسمن، منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی است. مطالعات بررسی نیاز آب اکولوژیکی برای اولین بار توسط سرویس حیات وحش آمریکا از ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ در این کشور به کار رفت و قانون رسمی جریان اکولوژیکی در سال ۱۹۷۰ به‌عنوان نتیجه در دستورالعمل سیاست‌گذاری ملی اکولوژیکی و سند برنامه ریزی منابع آب به ثبت رسید. عمده کارهای انجام شده در این زمینه بر روی رودخانه‌ها متمرکز شده است (پور صالحیان و همکاران، ۱۳۹۱). در ایران نیز در قوانین مختلف مرتبط با مدیریت منابع آب بر

تخصیص آب اکولوژیکی هنوز در مدیریت منابع آب از اولویت کمی برخوردار است و وضعیت اکوسیستم‌های آبی هر روز بدتر می‌شود. بنابراین در موقعیت کنونی لازم است، تحقیقات گسترده‌ای در قالب یک برنامه تحقیقاتی جامع برای ارزیابی نیاز اکولوژیکی انجام شود (Smakhtin et al., 2004). برآورد حداقل جریان اکولوژیکی مهم‌ترین راهکار برای برقراری تعادل بین بهره‌برداری اقتصادی از رودخانه و حفظ حیات اکولوژیکی آن است. نیازهای اکولوژیکی اغلب به‌عنوان مجموعه‌ای از دبی‌های جریان با مقدار، زمان وقوع، فراوانی و

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: M.byzedi@gmail.com)

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.5.6.4

RVA استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که سدها اثرات منفی شدیدی بر وضعیت‌های اکولوژیکی حوضه آبریز Huaih مخصوصاً در فصول خشک دارند. آن‌ها با استفاده از ضوابط روش Tennant و با توجه به بار آلودگی زیاد در فصول خشک از ۲۰٪ متوسط چندساله جریان به‌عنوان نیاز اکولوژیکی استفاده کردند که این جریان ۲۰ درصدی پیشنهادی در محدوده RVA متوسط جریان‌های ماهانه در ماه‌های خشک قرار داشت (Hu et al, 2008). یان و همکاران به ارزیابی اثرات سد در رژیم‌های پایین‌دست جریان رودخانه Yellow با روش هیدرولوژیکی IHA^۲ پرداخته‌اند. در این روش ۳۹ درصد جریان ماهانه برای ماه‌های اکتبر تا فوریه، ۴۸ درصد جریان متوسط ماهانه برای ماه‌های مارس تا سپتامبر به‌عنوان جریان حداقل در نظر گرفته می‌شود (Yan et al., 2010). وولچک و همکاران در پژوهشی جریان اکولوژیکی رودخانه Yaselda در یونان را از ۵ روش بررسی کردند. تفاوت معنی‌داری در نتایج آن‌ها آشکار شد، مقادیر برآورد شده روش‌های مختلف بسیار با هم متفاوت بود و برخی از روش‌ها مقدار جریان اکولوژیکی را در بعضی از دوره‌های سال، بالاتر از جریان طبیعی رودخانه برآورد کرد. آن‌ها روش انتقال منحنی تداوم جریان را به‌عنوان روش انتخابی خود برای برآورد جریان اکولوژیکی این رودخانه پیشنهاد دادند (Volchek et al., 2019). محمود و همکاران پژوهشی با هدف تعیین نیاز جریان اکولوژیکی رودخانه‌های Lancang ، Yangtze و Yellow با استفاده از چهار روش هیدرولوژیکی انتقال منحنی تداوم جریان، تنانت، منحنی تداوم جریان و روش شاخص جریان کم‌آبی انجام دادند. بر اساس نتایج مطالعه، آن‌ها جریان اکولوژیکی را به ترتیب ۷۶٪، ۷۲٪ و ۷۷٪ میانگین جریان سالانه برای رودخانه‌های Lancang، Yangtze و Yellow برای حفاظت از اکوسیستم رودخانه تعیین کردند (Mahmood et al., 2020). کریمی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های اکولوژیکی، نیاز اکولوژیکی رودخانه شهر چای را برآورد کردند. نتایج بررسی‌ها و مقایسه آن‌ها بین روش‌های مختلف ارزیابی جریان اکولوژیکی نشان داد که مقادیر محاسباتی از روش انتقال منحنی تداوم جریان به دلیل در نظر گرفتن خصوصیات اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه، نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. مصطفوی (۱۳۹۲) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود برای ارزیابی جریان اکولوژیکی رودخانه باراندوزچای از ۸ روش هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، شاخص‌های تداوم جریان، انتقال منحنی تداوم جریان، اسمختین، شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی $7Q_{10}$ و $7Q_2$ ، مدل ذخیره رومیزی، محدوده تغییرپذیری RVA و روش شبیه‌ساز زیستگاه (روش کیفیت آب موسوم به رابطه Q) استفاده کرد، وی جریان پیشنهادی توسط مدل ذخیره رومیزی در کلاس C را با در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و هیدرولوژیکی،

ضرورت حفاظت از نیازمندی‌های اکوسیستم‌های آبی تأکید شده است. خوشبختانه در سال‌های اخیر، توجه تصمیم‌گیران امور آب و محیط زیست به این امر، منجر به تلاش برای تدوین و تنظیم سازوکارهای مختلف در خصوص کاهش اثرات سوء اکولوژیکی تنظیم جریان، شده است.

اورث و موغان در مطالعه‌ای بر روی ۲۴ مورد از رودخانه‌های اوکلاهما دریافتند که روش تنانت برای استفاده در رودخانه‌های این منطقه باید اصلاح شود. آن‌ها میزان جریان اکولوژیکی موردنیاز در شرایط قابل‌قبول را ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه^۱ برای جولای تا دسامبر (به‌جای اکتبر تا مارس) و ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه را برای ژانویه تا ژوئن (به‌جای آوریل تا سپتامبر) پیشنهاد کردند (Orth and Maughan, 1981). هیوز و هانارت برای ارزیابی‌های اولیه نیازهای جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها در آفریقای جنوبی یک روش رومیزی به نام مدل ذخیره رومیزی^۲ را توسعه دادند. کاربرد یک شاخص هیدرولوژیکی (ضریب تغییرپذیری جریان‌ها تقسیم بر نسبت جریان کل که جریان پایه است، CV/BFI) را با استفاده از داده‌های جریان رودخانه در محل محاسبه می‌کند. سپس، منحنی‌هایی برای تعریف درصدی از حجم متوسط جریان سالانه که برای مؤلفه‌های مختلف (کم‌آبی‌ها و سیلاب‌ها) رژیم جریان اکولوژیکی موردنیاز است، به کار گرفته می‌شوند (Hughes and Hannart, 2003). کاشایگیلی و همکاران در تحقیق خود تحت عنوان تخصیص جریان اکولوژیکی در حوضه رودخانه، به بررسی حداقل آب موردنیاز اکولوژیکی در حوضه آبریز Great Ruaha در تانزانیا پرداختند. در آن پژوهش در مورد بعضی از مفاهیم مانند مفهوم جریان اکولوژیکی و محدودیت اطلاعات و شناسایی رابطه‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی همچنین در مورد تخصص، اطلاعات ناکافی و قانون حمایت از جریان اکولوژیکی بحث کردند (Kashaigili et al., 2005). اسمختین و آنپوتاس در مطالعه‌ای برای ارزیابی شدت جریان اکولوژیکی ۱۳ رودخانه در هند از روشی بر پایه منحنی تداوم جریان استفاده کردند. این روش از داده‌های جریان ماهانه استفاده می‌کند و با تضمین اینکه تغییرپذیری جریان طبیعی در سری زمانی جریان اکولوژیکی به‌دست‌آمده حفظ شود، نیاز جریان اکولوژیکی را برای کلاس‌های مختلف مدیریت زیستی رودخانه ارائه می‌دهد (Smakhtin and Anputhas, 2006). شیفرای در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی جریان اکولوژیکی در رودخانه Blue Nile با استفاده از مدل ذخیره رومیزی، نیاز اکولوژیکی را در حداقل وضعیت قابل‌قبول، ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه پیشنهاد کرد (Shiferaw, 2007). هیو در بررسی تأثیرات سدها بر روی وضعیت‌های اکولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه Huaih در چین از روش

1- Mean Annual Runoff (MAR)

2- Desktop Reserve Model (DRM)

نه تنها به جمع‌آوری اطلاعات زیاد و متنوعی وابسته است، بلکه باید تغییر نگرش اساسی در سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت منابع آب صورت گیرد و برای حل مشکل زمان‌بر بودن دو رویکرد فوق‌الذکر از یک طرف و اورژانسی بودن وضعیت رودخانه‌های کشور، مخصوصاً تالاب‌ها و اکوسیستم‌های پایین‌دست آن‌ها از طرف دیگر، توصیه می‌گردد با انتخاب مدل‌های ساده‌تر (هرچند با خطای بیشتر) و جایگزین نمودن تدریجی آن‌ها با مدل‌های کامل‌تر، نیاز فعلی و آتی پیکره‌های آبی تأمین شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قزل‌اوزن-سفیدرود با مساحت تقریبی ۵۹۰۰۰ کیلومترمربع از حوضه‌های مهم کشور است که به لحاظ اقتصادی و اجتماعی تأثیرات قابل توجهی بر استان‌های کردستان، همدان، زنجان، آذربایجان شرقی، اردبیل، تهران، قزوین و گیلان دارد. در شکل ۱ و ۲ به ترتیب موقعیت حوضه آبریز سفیدرود بزرگ و محدوده‌های مطالعاتی این حوضه نشان داده شده است (مطالعات بهنگام سازی منابع آب، جلد ۵، شماره ۸، ۱۳۹۴). در مطالعه حاضر حوضه آبریز قزل‌اوزن در استان کردستان، شامل دو محدوده مطالعاتی قروه-دهگلان و دیواندره-بیجار مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۳ موقعیت منطقه مورد مطالعه و رودخانه‌های واقع در آن نشان داده شده است (مطالعات بهنگام سازی منابع آب، جلد ۵، شماره ۸، ۱۳۹۴). محدوده مطالعاتی قروه-دهگلان با وسعت ۷۲۳۶/۶ کیلومترمربع در جنوب حوضه آبریز سفیدرود بزرگ واقع شده است. مهم‌ترین سازه آبی موجود در این دشت سد سنگ‌سیاه می‌باشد. از شاخه‌های مهم آن می‌توان شور، اوزون‌دره و چم‌تلوار را نام برد (مطالعات بهنگام سازی منابع آب، جلد ۵، شماره ۸، ۱۳۹۴). این محدوده جریان سطحی ورودی ندارد و رواناب سطحی خروجی آن بر اساس اطلاعات ایستگاه هیدرومتری سلامت آباد در دوره درازمدت ۴۵ ساله برابر ۸/۴۶۴ مترمکعب بر ثانیه و معادل ۲۶۶/۹ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شده است. ایستگاه هیدرومتری سلامت آباد که بر روی رودخانه چم‌شور بنا شده است، معرف وضعیت آینده حوضه مورد بررسی می‌باشد. بررسی آمار این ایستگاه بیانگر رژیم دائمی آینده این رودخانه می‌باشد. رودخانه تلوار، مهم‌ترین رودخانه محدوده می‌باشد. این رودخانه با شاخه‌های متعدد، وسیع‌ترین حوضه آبریز در بین شاخه‌های تشکیل‌دهنده قزل‌اوزن را دارا می‌باشد. محدوده مطالعاتی دیواندره-بیجار سرشاخه اصلی قزل‌اوزن را شامل می‌شود که می‌توان آن را قزل‌اوزن علیا نامید و تا محل تلاقی با رودخانه تلوار ادامه دارد. محدوده مطالعاتی دیواندره-بیجار با وسعت ۵۳۶۲/۸ کیلومترمربع در جنوب غرب حوضه آبریز واقع شده است. این محدوده جریان سطحی

به‌عنوان حداقل جریان اکولوژیکی برای رودخانه باراندوزچای توصیه کرد که ۱/۹۳ مترمکعب در ثانیه است. احمدی پور و یاسی (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای بر روی رودخانه نازلو نشان دادند که روش تحلیل منحنی تداوم جریان که از جمله رویکردهای هیدرولوژیکی می‌باشد، برای محاسبه جریان اکولوژیکی این رودخانه به دلیل در نظر نگرفتن ویژگی‌های اکولوژیکی رودخانه گزینه مناسبی نیست. روش تنانت هم‌مقدار جریان اکولوژیکی لازم برای حفظ اکوسیستم رودخانه را کمتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند. نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد که تلفیق رویکردهای اکو هیدرولوژیکی، اکو هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، میزان جریان اکولوژیکی را به‌طور دقیق‌تری ارزیابی و محاسبه می‌کنند. رضایی و یاسی (۱۳۹۴) طی انجام مطالعاتی بر رودخانه سیمینه‌رود برای محاسبه مقدار جریان اکولوژیکی از روش‌های مختلفی استفاده کردند. مقایسه نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که روش تغییر منحنی تداوم جریان با توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان اکولوژیکی نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. از طرفی دیگر به دلیل این‌که اطلاعات اکولوژیکی مورد نیاز برای تعیین جریان‌های اکولوژیکی در ایران هنوز موجود نمی‌باشد، استفاده از مدل نرم‌افزاری GEFC نیز می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه نماید. رزاقی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی برآورد نیاز اکولوژیکی رودخانه مه‌آباد چای در جنوب غرب دریاچه ارومیه با چهار روش هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی پرداختند. آن‌ها روش تغییر منحنی تداوم جریان در کلاس C را برای برآورد جریان اکولوژیکی برای رودخانه مه‌آباد چای، پیشنهاد کردند.

با توجه به تغییرات شدید اقلیمی در جهان و توسعه کشاورزی و افزایش شدید مصرف آب، ضرورت مطالعات و ارزیابی جریان‌های اکولوژیکی نه تنها در کل رودخانه، بلکه در بازه‌های مختلف آن آشکار است و باید که بیش‌ازپیش به این امر توجه نمود. مطالعات انجام‌شده مصداق اهمیت این موضوع می‌باشند. هدف از این مطالعه ارزیابی و برآورد توزیع جریان‌های ماهیانه برای حفاظت یا احیای اکوسیستم رودخانه قزل‌اوزن و مقایسه برآوردهای به‌دست‌آمده با روش‌های مختلف و انتخاب بهترین روش تعیین جریان اکولوژیکی برای رودخانه قزل‌اوزن است.

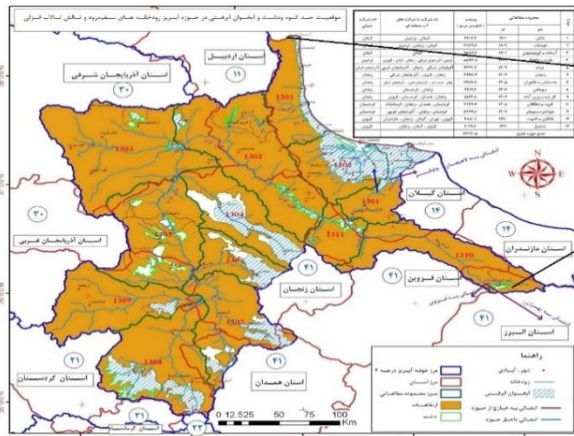
تمام روش‌های مورداستفاده در این تحقیق هیدرولوژیکی بوده و در هیچ‌یک از آن‌ها از پارامترهای اکولوژیکی در محاسبه جریان اکولوژیکی استفاده نشده است، که این امر مستلزم مطالعات و آزمایش‌های میدانی، جهت شناسایی شاخص‌های اکولوژیکی و شرایط زیستی مطلوب و محدوده قابل تحمل گونه‌های هدف، می‌باشد؛ لذا لازم است اندازه‌گیری فصلی عناصر و ترکیبات مهم و شاخص در ایستگاه‌های معین در طول سال انجام شود. تعیین نیاز آبی رودخانه‌ها

ورودی ندارد و رواناب سطحی خروجی آن در دوره درازمدت ۴۵ ساله، بر اساس اطلاعات ایستگاه هیدرومتری بیانلو و به کارگیری روش نسبت‌ها برابر ۱۶/۰۲۹ مترمکعب بر ثانیه به دست آمده است. ایستگاه هیدرومتری بیانلو که بر روی رودخانه سورال بنا شده است، معرف وضعیت آبدهی حوضه موردبررسی می‌باشد. بررسی آمار این ایستگاه بیانگر رژیم دائمی آبدهی این رودخانه می‌باشد (مطالعات بهنگام سازی منابع آب، جلد ۵، شماره ۹، ۱۳۹۴). جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در این پژوهش و شکل ۴ و ۵ به ترتیب کل ایستگاه‌های هیدرومتری محدوده مطالعاتی قروه_دهگلان و دیواندره_بیجار را نشان می‌دهد (مطالعات بهنگام سازی منابع آب، جلد ۵، شماره ۸ و ۹، ۱۳۹۴). رودخانه قزل‌اوزن در استان کردستان دارای چندین ایستگاه هیدرومتری است، که مهم‌ترین آن‌ها ایستگاه‌های سلامت‌آباد، شادی‌آباد، حسن‌خان، نساره‌علیا و بیانلو می‌باشند که در شاخه‌های اصلی این رودخانه در استان کردستان،

روش‌های مورد استفاده در تعیین جریان اکولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن

واقع گردیده‌اند. لذا برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی در رودخانه قزل‌اوزن از داده‌های این ۵ ایستگاه بهره گرفته شده است. توزیع جریان متوسط ماهانه در این ۵ ایستگاه، در جدول ۲ نشان داده شده است.

در این تحقیق با توجه به هزینه، وقت و اطلاعات موجود از ۶ روش هیدرولوژیکی تنانت (Tennant)، تسمن (Tessman)، اسمختین (Smakhtin)، تحلیل منحنی تداوم جریان (FDC)، انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting) و مدل ذخیره رومیزی (DRM) برای محاسبه جریان اکولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن استفاده شده است.



شکل ۲- محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز سفیدرود بزرگ



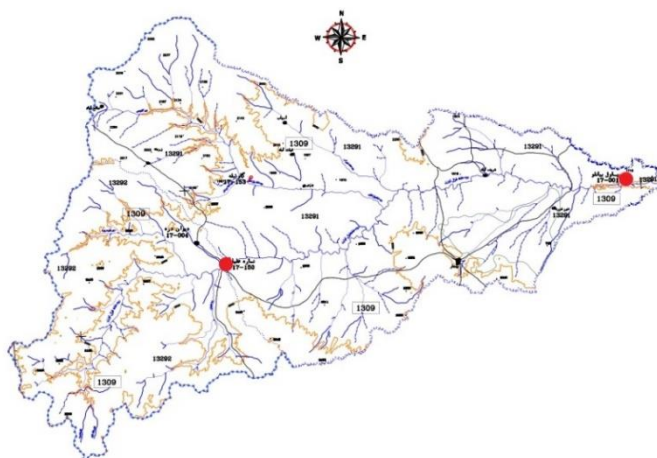
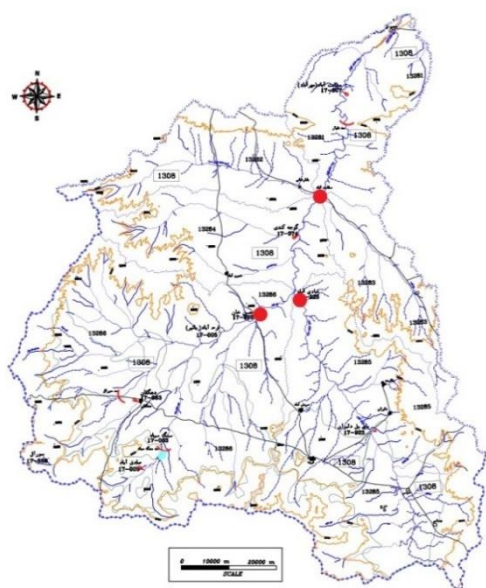
شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز سفیدرود بزرگ



شکل ۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه و رودخانه‌های واقع در حوضه آبریز قزل‌اوزن-سفیدرود

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

سال تأسیس	مشخصات جغرافیایی			رودخانه	ایستگاه	محدوده مطالعاتی
	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض	طول			
۱۳۵۰	۱۵۴۰	۳۶-۰۰-۱۶	۴۷-۵۷-۴۸	قزل اوزن	بیانلو (یساول)	دیواندره-بیجار
۱۳۶۵	۱۷۲۵	۳۵-۵۲-۲۶	۴۷-۰۷-۳۸	قزل اوزن	نساره علیا	
۱۳۶۵	۱۶۹۰	۳۵-۲۶-۱۸	۴۷-۴۱-۲۳	تلوار	حسن خان	
۱۳۴۷	۱۶۵۰	۳۵-۵۱-۲۶	۴۷-۵۴-۰۰	تلوار	سلامت آباد	قروه-دهگلان
۱۳۶۷	۱۷۱۰	۳۵-۲۸-۴۱	۴۷-۴۶-۳۲	چم شور	شادی آباد	



شکل ۴- ایستگاه‌های هیدرومتری محدوده مطالعاتی قروه-دهگلان شکل ۵- ایستگاه‌های هیدرومتری محدوده مطالعاتی دیواندره-بیجار

جدول ۲- دبی متوسط ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

ایستگاه	دبی (مترمکعب بر ثانیه)												
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین جریان سالانه
بیانلو	۱/۵۲	۴/۶۴	۷/۰۸	۹/۲۱	۱۲/۰۶	۲۷	۵۴/۲۱	۳۲/۹۶	۷/۴۶	۲/۲۲	۰/۹۷	۰/۶	۱۳/۳۳
نساره علیا	۰/۶۴	۲/۶۴	۴/۷۵	۵/۶۳	۹/۴۴	۱۸/۵۳	۳۵/۶۷	۲۰/۵	۴/۴۸	۰/۹۲	۰/۳۳	۰/۱۳	۸/۶۳
حسن خان	۰/۸۸	۱/۸۴	۲/۹۹	۲/۷۱	۳/۲۱	۵/۰۵	۸/۵۴	۵/۹۱	۱/۳	۰/۴۳	۰/۲۷	۰/۳۷	۲/۷۹
سلامت آباد	۱/۷۵	۳/۷۴	۶/۹	۵/۸۵	۷/۰۱	۹/۷۶	۱۵/۴۵	۱۱/۴	۲/۷۲	۰/۹۵	۰/۷	۰/۶۱	۵/۵۷
شادی آباد	۰/۱۳	۰/۵۲	۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۹۸	۱/۷	۲/۸۸	۱/۹۲	۰/۳۸	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۸۶

روش تنانت

تنانت، روشی برای تعیین جریان اکولوژیکی مورد نیاز برای ماهی-ها معروف به روش مونتانا یا به طور متداول تر، روش تنانت معرفی کرد. این روش درصدی از متوسط جریان سالانه را برای تعیین کیفیت زیستگاه ماهیان به کار می برد، که در جدول ۳ ارائه شده است. تنانت از ۵۸ مقطع عرضی از ۱۱ رودخانه در مونتانا، نبراسکا^۱ و

وایومینگ^۳، نتیجه گرفت که ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه^۴، حداقل جریان برای بقای کوتاه مدت ماهی ها است. ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه در نظر گرفته شده، قادر به حفظ وضعیت های بقای نسبتاً خوب بوده و ۶۰ درصد متوسط جریان سالانه برای زیستگاه مطلوب مناسب

2- Nebraska

3- Wyoming

4- Average Annual Flow (AAF)

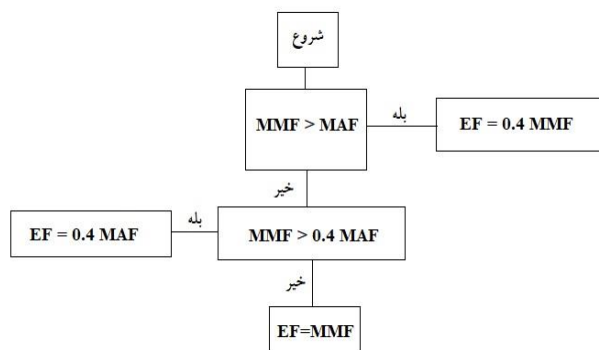
1- Montana

(MAR) برای کل ماه‌های هر کدام از این دوره‌ها (کم‌آبی و پرآبی) با وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه‌ها مطابقت نخواهد داشت. بنابراین MAR ۳۰٪ برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت و MAR ۱۰٪ بقیه ماه‌های سال به‌عنوان جریان اکولوژیکی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این تغییرات لحاظ شده در روش تنانت تحت عنوان تنانت اصلاح‌شده توسط وزارت نیرو ارائه شده است.

است (Tennant, 1976). بنابراین تنانت از میان یک روش نسبتاً پیچیده، روشی ساده برای کاربرد استاندارد که می‌تواند با داده‌های بسیار کم استفاده شود ارائه داد. این تکنیک فقط متوسط جریان سالانه را برای رودخانه به کار می‌برد. در ایران روش تنانت می‌تواند به‌عنوان مدلی جهت توسعه سطوح جریان حداقل در سطح برآورد اولیه حوضه آبریز به کار رود. اگرچه اصلاح این روش به‌طوری‌که بتواند در ایران استفاده شود، مستلزم کارهای صحرایی گسترده می‌باشد. در نظر گرفتن درصد مشخصی از متوسط جریان سالانه

جدول ۳- جریان اکولوژیکی برای ماهیان، حیات وحش و مقاصد تفریحی

رژیم‌های پیشنهادی جریان پایه (درصدی از متوسط جریان سالانه)		توصیف جریان‌ها
اکتبر_مارس	آوریل_سپتامبر	
۲۰۰	۲۰۰	شستشوی سریع یا حداکثر
۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	محدوده بهینه
۶۰	۴۰	بسیار عالی
۵۰	۳۰	عالی
۴۰	۲۰	خوب
۳۰	۱۰	قابل قبول
۱۰	۱۰	ضعیف
۱۰<	۱۰<	بسیار ضعیف



شکل ۶- فلوجارت تعیین جریان اکولوژیکی به روش تسمن

روش تسمن

تسمن با اقتباس از پیشنهادهای فصلی روش تنانت، از ترکیبی از متوسط جریان ماهانه (MMF)^۱ و متوسط جریان سالانه (MAF)^۲ برای تعیین حداقل جریان ماهانه موردنیاز استفاده کرد، که در شکل ۶ مراحل این روش به‌صورت فلوجارتی ارائه شده است (Tessman,

1980).

اگر $MAF < 40\% MMF$ باشد، MMF به‌عنوان حداقل جریان ماهانه در نظر گرفته می‌شود.
 اگر $MAF > 40\% MMF$ باشد، $40\% MAF$ به‌عنوان حداقل جریان ماهانه در نظر گرفته می‌شود.
 اگر $MAF < MMF$ باشد، $40\% MMF$ به‌عنوان حداقل جریان ماهانه در نظر گرفته می‌شود.

1- Mean Month Flow (MMF)
 2- Mean Annual Flow (MAF)

تحلیل منحنی تداوم جریان

یکی از خصوصیات مربوط به جریان آب که در ارزیابی نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبارت است از منحنی تداوم جریان^۱، این روش یکی از مفیدترین روش‌های نمایش محدوده کامل دبی جریان‌های رودخانه از رخدادهای کم‌آبی تا سیلابی است که رابطه بین مقدار و فراوانی جریان را نشان می‌دهد. شاخص‌های جریان کم‌آبی مختلفی از منحنی‌های تداوم جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. جریان‌های بین محدوده ۷۰ تا ۹۹ درصد زمان تجاوز (Q70 تا Q99) معمولاً به عنوان جریان‌های کم‌آبی استفاده می‌شوند. جریان‌های Q90 و Q95 شاخص‌هایی هستند که اکثر مواقع به عنوان شاخص‌های جریان کم‌آبی به کار می‌روند. جریان متوسط ماهانه (Q50) نیز در ماه‌های تابستان، شاخص تداوم جریان دیگری است (IWMI, 2004).

روش اسمختین

اسمختین و همکارانش، از این روش برای بررسی ۱۲۸ حوضه آبریز در نقاط مختلف جهان، به منظور ارزیابی وضعیت بهره‌برداری از رودخانه‌های جهان با لحاظ نمودن نیاز آب اکولوژیکی استفاده کردند. این روش یک روش هیدرولوژیکی است که برای ارزیابی در سطح اولیه و در مقیاس مکانی بزرگ (بین‌المللی و ملی) به کار می‌رود. در این روش نیاز آب اکولوژیکی (EWR)^۲ به صورت ترکیبی از نیاز حداقل جریان اکولوژیکی (LFR)^۳ و نیاز حداکثر جریان اکولوژیکی (HFR)^۴ در نظر گرفته شده است، که در جدول ۴ ارائه شده است. LFR، حداقل آب مورد نیاز برای ماهیان و سایر موجودات آبی در سال و HFR نیز در موارد سیلاب و تأثیر آن در شکل رودخانه و گیاهان اطراف رودخانه نمود پیدا می‌کند (Smakhtin et al., 2004).

انتقال منحنی تداوم جریان

اسمختین و آنپوتاس به منظور ارزیابی جریان اکولوژیکی در سامانه رودخانه از این روش استفاده کردند. این روش که یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژی مطلوب ارائه می‌دهد اصطلاحاً انتقال منحنی تداوم جریان نامیده می‌شود. در این روش چهار مرحله اصلی وجود دارد که اولین مرحله، تهیه منحنی تداوم جریان طبیعی (FDC) در بازه رودخانه‌ای مورد نظر با استفاده از داده‌های ماهانه جریان است. در این روش، محور احتمالات منحنی تداوم جریان با نمایش ۱۷ درصد احتمال وقوع (۰/۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱) تهیه

می‌گردد. این نقاط تضمین می‌کنند که تمام محدوده جریان‌ها به قدر کافی پوشش داده شده و همین‌طور ادامه کار را در مراحل بعدی آسان می‌سازند. پس از رسم منحنی تداوم جریان طبیعی، در مرحله بعد از تغییرات (شیفت) عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال استفاده می‌شود تا منحنی تداوم جریان اکولوژیکی برای هر کلاس مدیریتی محاسبه شود. یک شیفت در منحنی تداوم جریان طبیعی به این معنی است که جریانی که ۹۹/۹۹ درصد مواقع رخ می‌داد، اکنون ۹۹/۹ درصد مواقع رخ می‌دهد. مهم‌ترین مسئله در این روش استفاده مناسب از شیفت‌های عرضی در هر کلاس مدیریت اکولوژیکی است (Smakhtin and Anputhas., 2006). در این روش ۶ کلاس مدیریتی اکولوژیکی (A-F) استفاده می‌شود که کلاس A برای حالت طبیعی و کلاس F به طرز بحرانی تغییر یافته است. در این تحقیق از کلاس C یعنی نسبتاً تغییر یافته استفاده شده است. منحنی تداوم جریان اکولوژیکی برای هر کلاس، رژیم جریان اکولوژیکی قابل قبول برای آن کلاس را به طور خلاصه ارائه می‌دهد. با استفاده از یک میانگین فضایی می‌توان منحنی‌های تداوم جریان اکولوژیکی را به سری‌های زمانی جریان اکولوژیکی ماهانه تبدیل کرد، به همین منظور از روشی که هیوز و اسمختین در ۱۹۹۶ ارائه دادند، استفاده می‌شود. از این روش برای تولید سری زمانی سایت‌های فاقد اطلاعات با استفاده از سایت‌های دارای اطلاعات استفاده می‌شود. در این روش برای هر ماه، یک درصد بر روی منحنی تداوم جریان طبیعی تشخیص داده می‌شود و سپس در همان درصد، مقدار جریان ماهانه از روی منحنی تداوم جریان اکولوژیکی قرائت می‌شود مراحل کار در شکل ۷ نشان داده شده است.

مدل ذخیره رومیزی

این روش برای اولین بار توسط هیوز و هانارت برای ارزیابی‌های اولیه نیازهای جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها در آفریقای جنوبی توسعه داده شده است (Hughes and Hannart, 2003). مدل ذخیره رومیزی (DRM) یکی از این روش‌ها است که قادر است نیاز جریان اکولوژیکی را در شرایطی که یک ارزیابی سریع مورد نیاز است و داده‌های موجود محدود می‌باشند محاسبه کند. این مدل برای وضعیت‌های مشاهده شده در آفریقای جنوبی توسعه یافته است. در آفریقای جنوبی رودخانه‌ها نسبت به وضعیت اکولوژیکی مطلوب، تقسیم‌بندی می‌شوند و متعاقباً نیازهای جریان نیز طبقه‌بندی می‌گردند. این سیستم طبقه‌بندی نشان می‌دهد در عین حال که برخی رودخانه‌ها از نظر اکولوژیکی پراهمیت هستند اما به دلیل نیازهای توسعه اجتماعی-اقتصادی همه رودخانه‌ها نمی‌توانند در وضعیت‌های نزدیک به شرایط طبیعی باقی بمانند؛ بنابراین چهار کلاس مدیریت اکولوژیکی ممکن (A-D) تعریف می‌شود. کلاس A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییر نیافته است. کلاس B رودخانه‌های تغییر یافته ولی تا حد زیادی طبیعی، کلاس C رودخانه‌های نسبتاً

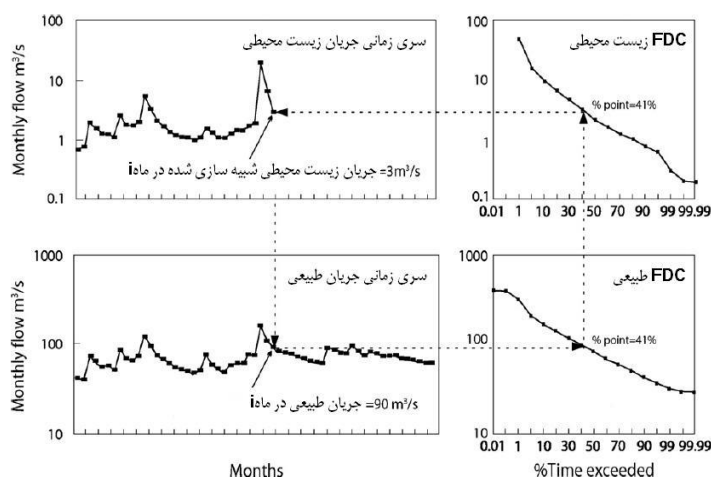
- 1- Flow Duration Curve (FDC)
- 2- Environmental Water Requirement
- 3- Environmental low-flow Requirement
- 4- Environmental high-flow Requirement

می‌گیرند که این سیستم طبقه‌بندی در مدل DRM استفاده می‌شود و نیازهای جریان بر اساس آن محاسبه می‌شود. به کلاس بالاتر آب بیشتری برای حفظ اکوسیستم تخصیص داده می‌شود و تغییرپذیری جریان بیشتر حفظ می‌شود (مهدی‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۷).

تغییر یافته و کلاس D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییر یافته با خسارات زیاد به زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم است. رودخانه‌های کلاس B و C بین این حدود قرار می‌گیرند. در این دسته‌بندی‌ها، طبقه‌بندی‌های انتقالی (مثلاً A/B و B/C) نیز برای افزایش محدوده جریان‌های اکولوژیکی ممکن مورداستفاده قرار

جدول ۴- تخمین حداکثر جریان اکولوژیکی با روش اسمختین (مصطفوی، ۱۳۹۲)

توضیحات	نیاز جریان حداکثر (HFR)	نیاز جریان حداقل (Q_{90})
در حوضه‌های با رژیم متغیر که جریان عمدتاً بر اثر سیلاب در فصل تر به وجود می‌آید.	HFR = 20% MAR HFR = 15% MAR HFR = 7% MAR	$10\% MAR > Q_{90}$ $> Q_{90} > 10\% MAR$ 20% MAR $> Q_{90} > 20\% MAR$ 30% MAR
در حوضه‌های با رژیم ثابت، جایی که جریان در طول سال ثابت و نیاز جریان حداقل به‌عنوان جزء اصلی است.	HFR = 0	$30\% MAR < Q_{90}$



شکل ۷- روند تولید یک سری زمانی کامل جریان اکولوژیکی از منحنی تداوم جریان اکولوژیکی (شاعری کریمی، ۱۳۸۹)

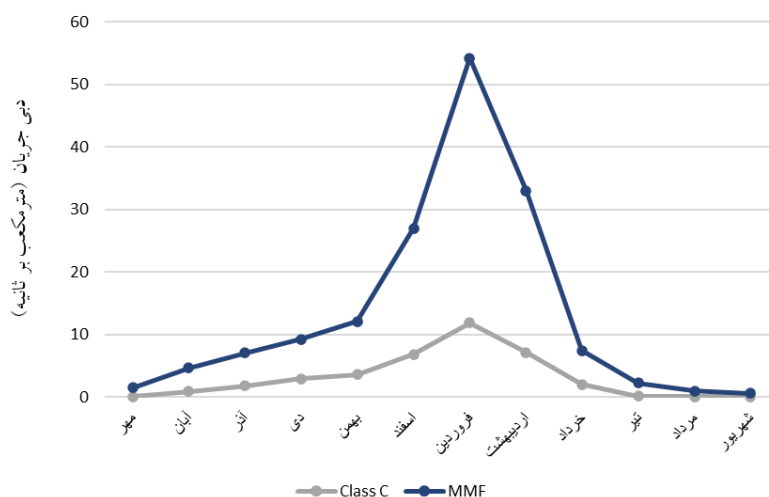
و حسن‌خان (واقع بر رودخانه تلوار، مهم‌ترین سرشاخه رودخانه قزل اوزن) و شادی‌آباد (واقع بر رودخانه چم‌شور، از مهم‌ترین سرشاخه‌های رودخانه قزل اوزن)، به ترتیب ۴، ۲/۵۹، ۱/۶۷، ۰/۸۴ و ۰/۲۶ مترمکعب در ثانیه برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت و ۱/۳۳، ۰/۸۶، ۰/۵۶، ۰/۲۸ و ۰/۰۹ مترمکعب در ثانیه برای ماه‌های خرداد تا اسفند به دست آمده است. روش تنانت فقط برای ارزیابی اولیه می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد. روش تنانت فارغ از میزان جریان متوسط ماهانه، مقداری را به‌عنوان جریان اکولوژیکی پیشنهاد می‌دهد که ممکن است در برخی موارد حتی از جریان طبیعی رودخانه در ماه‌هایی از سال بیشتر باشد. در رودخانه قزل اوزن نیز در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور جریان اکولوژیکی از جریان طبیعی رودخانه بیشتر است. زیاد بودن جریان اکولوژیکی از جریان طبیعی رودخانه در

نتایج و بحث

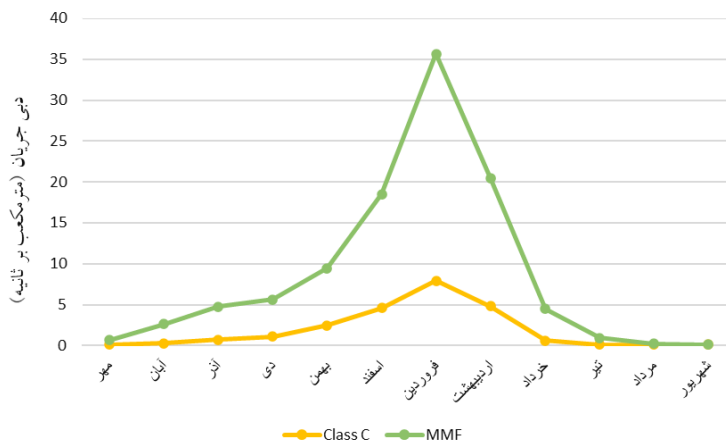
روش‌های مختلف، جریان‌های اکولوژیکی مختلفی را پیشنهاد می‌کنند. خلاصه نتایج برآورد حداقل جریان اکولوژیکی رودخانه قزل اوزن در موقعیت پنج ایستگاه بیانلو، نسا‌علیا، سلامت‌آباد، حسن‌خان و شادی‌آباد، از شش روش هیدرولوژیکی، در جدول ۵ نمایش داده شده است. در روش تنانت، درصدهای مختلفی از متوسط جریان سالانه به‌عنوان جریان اکولوژیکی پیشنهاد می‌شود. این درصدها در حالت قابل قبول ۳۰ درصد متوسط جریان ماهانه برای ماه‌های پربابی و ۱۰ درصد متوسط جریان ماهانه برای ماه‌های کم‌آبی در نظر گرفته شد. بنابراین، نیاز آب اکولوژیکی رودخانه قزل اوزن در ایستگاه‌های بیانلو و نسا‌علیا (واقع بر رودخانه قزل اوزن)، سلامت‌آباد

به کار رفت. بر اساس این روش، محدوده جریان‌های کم‌آبی برای ایستگاه بیانلو بین Q_{50} ۴/۳۹ تا Q_{90} ۰/۰۱۵، و ایستگاه نساړه‌علیا بین Q_{50} ۳/۱ تا Q_{90} ۰/۰۱۲، و ایستگاه سلامت‌آباد بین Q_{50} ۲/۳۲ تا Q_{90} ۰/۰۱۶، و ایستگاه حسن‌خان بین Q_{50} ۰/۰۰۵ تا Q_{90} ۰، و ایستگاه شادی‌آباد بین Q_{50} ۰/۲۷ تا Q_{90} ۰، متمرکب در ثانیه می‌باشد. در روش اسمختین، نیاز آب اکولوژیکی به‌صورت ترکیبی از نیاز حداقل جریان اکولوژیکی (LFR) و نیاز حداکثر جریان اکولوژیکی (HFR) در نظر گرفته می‌شود. بر اساس این روش، Q_{90} به‌عنوان نیاز حداقل جریان اکولوژیکی و محدوده بین ۷ تا ۲۰ درصد متوسط جریان ماهانه به‌عنوان نیاز حداکثر اکولوژیکی در نظر گرفته می‌شود. نتایج ارزیابی دبی جریان اکولوژیکی از روش اسمختین برای ایستگاه بیانلو، نساړه‌علیا، سلامت‌آباد، حسن‌خان و شادی‌آباد به ترتیب برابر ۱/۷۳۸، ۱/۷۳۸، ۱/۱۳، ۲۰/۱۱ و ۰/۵۵۸ مترمکعب در ثانیه، به ترتیب معادل ۲۰/۱۴، ۲۰/۲۹، ۲۰، ۲۵/۸۱ درصد جریان متوسط سالانه است. بر اساس روش DRM برای حفظ شرایط اکولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای کلاس A حدوداً ۳۲ تا ۴۰/۸۹ درصد، کلاس B ۲۴/۰۴ تا ۲۹/۴ درصد، کلاس C ۱۸/۷ تا ۲۲/۸۳ درصد و کلاس D (حداقل کلاس قابل قبول) ۱۵/۶۲ تا ۱۹/۴۸ درصد متوسط جریان مورد نیاز است. در این تحقیق، کلاس C به‌عنوان وضعیت اکولوژیکی مطلوب برای رودخانه قزل‌اوزن در ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شد.

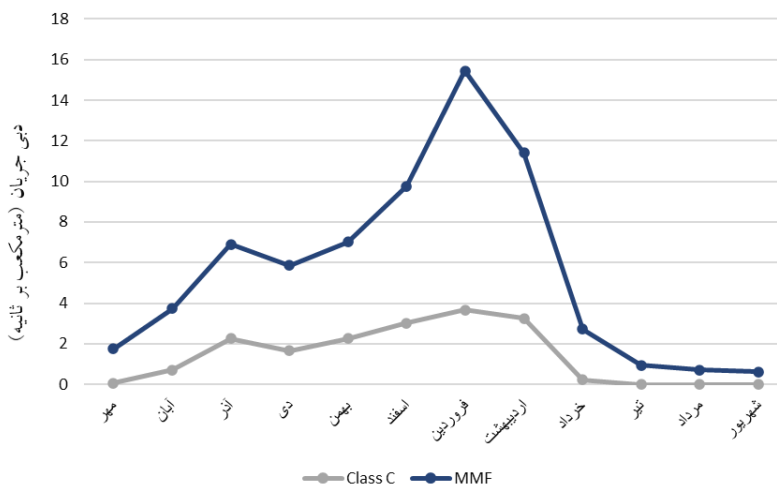
ماه‌هایی از سال بی‌معنی است. اورث، موفان، وات و مان هم در مطالعاتی که بر روی رودخانه‌ها انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که روش تنانت باید اصلاح شود و کاربرد این روش در صورت اصلاح و استفاده از مطالعات بیشتر، مناسب هستند (Orth and Maughan, 1981; Watt, 2007; Mann, 2006). روش تسمن با مقایسه جریان ماهانه موجود با متوسط جریان سالانه، حداقل نیاز آب اکولوژیکی مورد نیاز را در ماه‌های مختلف پیشنهاد می‌کند. به‌طور متوسط می‌توان گفت این روش نیاز اکولوژیکی را برای ایستگاه‌های بیانلو، نساړه‌علیا، سلامت‌آباد، حسن‌خان و شادی‌آباد به ترتیب جریان‌های ۶/۴۱، ۴/۰۵، ۲/۵۹، ۱/۳ و ۰/۳۹ مترمکعب در ثانیه و به ترتیب معادل ۴۸، ۴۷، ۴۶، ۴۷، ۴۶ درصد متوسط جریان سالانه را پیشنهاد می‌کند. جریان اکولوژیکی رودخانه در ایستگاه‌های بیانلو، نساړه‌علیا و سلامت‌آباد در ماه‌های تیر تا آبان و در ایستگاه‌های حسن‌خان و شادی‌آباد در ماه‌های تیر تا مهر کل جریان طبیعی رودخانه را به‌عنوان جریان اکولوژیکی در نظر می‌گیرد. علت این امر تفاوت زیاد بین متوسط جریان ماهانه ماه‌های پرآبی و کم‌آبی است. اما برآورد کل جریان رودخانه به‌عنوان جریان اکولوژیکی در ماه‌های کم‌آبی که میزان جریان در رودخانه کم است منطقی به نظر می‌رسد. روش تسمن نیز به دلیل اینکه تابع کلاس‌های مدیریتی نیست و برای همه رودخانه‌ها از یک الگو پیروی می‌کند، نمی‌تواند نتایج دقیقی ارائه دهد. ولی نسبت به روش تنانت ارجحیت دارد، چرا که نسبت به جریان‌های ماهانه رودخانه بی‌تفاوت نیست و در هر ماه میزان جریان متفاوتی را ارائه می‌دهد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴). برای برآورد شدت جریان اکولوژیکی از روش تحلیل منحنی تداوم جریان، شاخص‌های تداوم جریان مختلفی



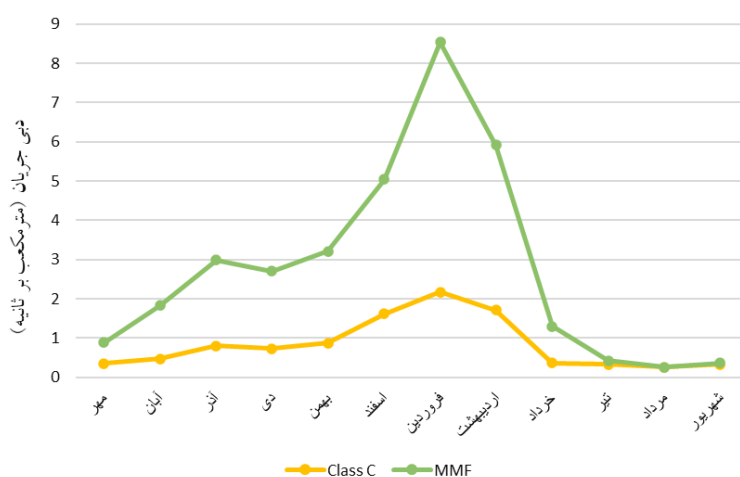
شکل ۸- نمودار جریان اکولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن ایستگاه بیانلو در کلاس مدیریت زیستی C



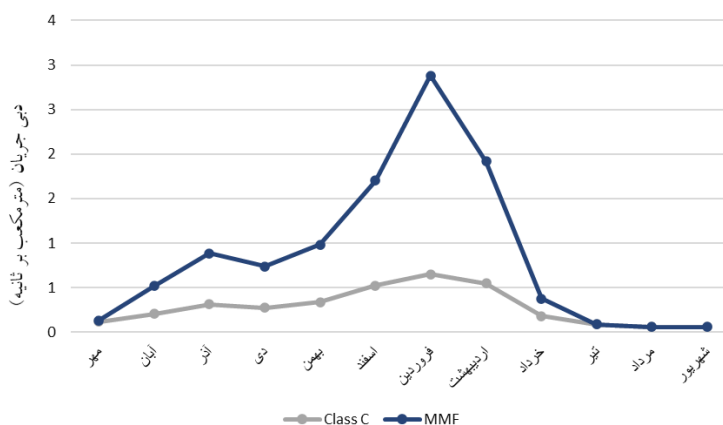
شکل ۹- نمودار جریان زیست محیطی رودخانه قزل اوزن ایستگاه نساره علیا در کلاس مدیریت زیستی C



شکل ۱۰- نمودار جریان زیست محیطی رودخانه قزل اوزن ایستگاه سلامت آباد در کلاس مدیریت زیستی C



شکل ۱۱- نمودار جریان زیست محیطی رودخانه قزل اوزن ایستگاه حسن خان در کلاس مدیریت زیستی C



شکل ۱۲- نمودار جریان زیست محیطی رودخانه قزل اوزن ایستگاه شادی آباد در کلاس مدیریت زیستی C

جدول ۵- مقادیر جریان اکولوژیکی در ایستگاههای هیدرومتری رودخانه قزل اوزن از روشهای مختلف

نیاز آب اکولوژیکی در ایستگاههای هیدرومتری رودخانه قزل اوزن (EWR)

شادی آباد		حسن خان		سلامت آباد		نساره علیا		بیانلو		روش
(m³/s)	(MAR%)	(m³/s)	(MAR%)	(m³/s)	(MAR%)	(m³/s)	(MAR%)	(m³/s)	(MAR%)	
-/۵۳	۶۱/۶۲	۱/۸۱	۶۴/۸۷	۳/۴۵	۶۱/۹۳	۵/۴۹	۶۳/۶۱	۸/۲۹	۶۲/۲۳	کلاس A
-/۳۷	۴۲/۰۲	۱/۲۳	۴۴/۰۸	۲/۲۱	۳۹/۶۷	۳/۱۸	۳۶/۸۴	۴/۹۰	۳۶/۷۸	کلاس B
-/۲۸	۳۲/۳۶	۰/۸۴	۳۰/۰۳	۱/۴۳	۲۵/۶۴	۱/۹۱	۲۲/۰۹	۳/۱۱	۲۳/۳۶	کلاس C
-/۲۰	۲۲/۲۵	۰/۵۹	۲۱/۱۴	-/۸۰	۱۴/۳۶	۱/۱۵	۱۳/۳۲	۱/۸۹	۱۴/۱۸	کلاس D
-/۱۶	۱۸/۶۰	۰/۴۳	۱۵/۴۱	-/۳۷	۶/۶۴	-/۶۸	۷/۸۷	۱/۱۳	۸/۴۸	کلاس E
-/۱۳	۱۵/۱۱	۰/۳۶	۱۲/۹۰	-/۱۴	۲/۵۱	-/۳۷	۴/۲۸	-/۶۵	۴/۸۷	کلاس F
-/۳۰	۳۴/۸۸	۰/۸۹	۳۱/۸۹	۱/۸۸	۳۳/۷۵	۳/۵۲	۴۰/۷۸	۵/۳۳	۴۰/۰۱	کلاس A
-/۲۶	۳۰/۲۳	۰/۷۸	۲۷/۹۵	۱/۶۴	۲۹/۴۴	۳/۰۴	۳۵/۲۲	۴/۶۰	۳۴/۵۳	کلاس A/B
-/۲۲	۲۵/۵۸	۰/۶۷	۲۴/۰۱	۱/۴۰	۲۵/۱۳	۲/۵۳	۲۹/۳۱	۳/۸۳	۲۸/۷۵	کلاس B
-/۲۰	۲۲/۲۵	۰/۵۹	۲۱/۱۴	۱/۲۴	۲۲/۲۶	۲/۲۳	۲۹/۸۴	۳/۳۶	۲۵/۲۲	کلاس B/C
-/۱۸	۲۰/۴۲	۰/۵۲	۱۸/۷۰	۱/۱۱	۱۹/۸۷	۱/۹۷	۲۲/۸۳	۲/۹۸	۲۲/۳۷	کلاس C
-/۱۶	۱۸/۶۰	۰/۴۸	۱۷/۲۰	۱/۰۳	۱۸/۴۹	۱/۸۴	۲۱/۳۲	۲/۷۹	۲۰/۹۴	کلاس C/D
-/۱۴	۱۶/۲۷	۰/۴۳	۱۵/۴۱	-/۹۲	۱۶/۵۱	۱/۶۸	۱۹/۳۵	۲/۵۴	۱۹/۰۶	کلاس D
-/۰۹	۱۰	۰/۲۸	۱۰	-/۵۶	۱۰	-/۸۶	۱۰	۱/۳۳	۱۰	مهر تا اسفند
-/۲۶	۳۰	۰/۸۴	۳۰	۱/۶۷	۳۰	۲/۵۹	۳۰	۴	۳۰	فروردین تا شهریور
-/۲۶	۳۰	۰/۸۴	۳۰	۱/۶۷	۳۰	۲/۵۹	۳۰	۴	۳۰	فروردین و اردیبهشت
-/۰۹	۱۰	۰/۲۸	۱۰	-/۵۶	۱۰	-/۸۶	۱۰	۱/۳۳	۱۰	خرداد تا اسفند
-/۳۹	۴۶	۱/۳	۴۷	۲/۵۹	۴۶	۴/۰۵	۴۷	۶/۴۱	۴۸	تسمن
-/۲۲	۲۵/۸۱	۰/۵۵	۲۰	۱/۱۳	۲۰/۲۸	۱/۷۳	۲۰/۱۳	۲/۶۸	۲۰/۱۱	اسمخین
-/۲۷	۳۲/۰۴	۰/۷۷	۲۷/۶۳	۲/۳۲	۴۱/۶۹	۳/۱	۳۵/۹۷	۴/۳۹	۳۲/۹۳	Q50
-/۰۱	۰/۵۴	.	.	-/۰۲	-/۲۹	-/۰۱۲	-/۱۳	-/۰۱۵	-/۱۱	شاخصهای تداوم جریان
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Q90
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Q95
-/۲۸	۳۲/۳۶	۰/۸۴	۳۰/۰۳	۱/۴۳	۲۵/۶۴	۱/۹۱	۲۲/۰۹	۳/۱۱	۲۳/۳۶	جریان اکولوژیکی پیشنهادی

۰/۵۲۲ و ۰/۱۷۶ مترمکعب در ثانیه، به ترتیب معادل با ۲۲/۳۷، ۲۲/۸۳، ۱۹/۸۷، ۱۸/۷ و ۲۰/۴۲ درصد متوسط آورد سالانه (MAR) است. روش تغییر منحنی تداوم جریان با توجه به اینکه کلاسهای مختلف زیستی را بر اساس شرایط رودخانه شامل می‌شود، یکی از روشهای

جریان اکولوژیکی رودخانه قزل اوزن در ایستگاههای بیانلو، نساره علیا،

سلامت آباد، حسن خان و شادی آباد به ترتیب برابر ۲/۹۸۱، ۱/۹۷، ۱/۱۰۷،

نتیجه‌گیری

در روش‌های جامع، شبیه‌ساز زیستگاه و هیدرولیکی برآورد جریان اکولوژیکی، نیاز به داده‌های اکولوژیکی دقیق دارند و بسیار پرهزینه و زمان‌بر می‌باشند. همچنین احتمال تناقض اطلاعات به‌دست‌آمده در این روش‌ها زیاد می‌باشد. برای مثال روش‌های هیدرولیکی تنها یک مقطع از رودخانه را در نظر گرفته و مقاطع زیاد نیاز به هزینه و زمان زیاد دارد؛ و یا روش‌های شبیه‌ساز زیستگاه فقط برای گونه شاخص تمرکز می‌کنند. روش تنانت فقط بر روی متوسط جریان سالانه تکیه دارد. رودخانه‌هایی که دچار زوال و افت اکولوژیکی شده‌اند، از متوسط جریان سالانه قابل قبولی برخوردار نبوده و قادر به نگهداری زیستگاه طبیعی خود نیستند. در این شرایط، استفاده از روش تنانت در پروژه‌های احیا و بازگردانی توصیه نمی‌شود. بنابراین روش تنانت باید در موقعیت‌ها و پروژه‌های حفاظتی رودخانه مورد استفاده قرار گیرد، و برای اهداف احیا و بازگردانی باید از مدل‌های ترکیبی زیستگاه استفاده کرد. روش تسمن برخلاف روش تنانت، جریان طبیعی ماهانه را نیز در نظر می‌گیرد. این امر موجب می‌شود که جریان اکولوژیکی برای هر ماه به شکل منطقی‌تری به دست آید اما روش تسمن نیز چون فقط اطلاعات هیدرولوژیکی را در نظر می‌گیرد و به اطلاعات بوم‌شناختی رودخانه توجه ندارد، صرفاً می‌تواند به‌عنوان یک روش ارزیابی برای دستیابی به نتایج اولیه و سریع کاربرد داشته باشد. در یک دید کلی می‌توان از این روش همراه با روش‌های دیگر برای کسب بهترین نتیجه استفاده کرد. روش تحلیل منحنی تداوم جریان برای رودخانه‌های، با شدت تغییرات زیاد (جریان پایه کم) اصلاً پاسخگو نمی‌باشند و مقادیر خیلی کم و ناچیز را به‌عنوان جریان اکولوژیکی پیشنهاد می‌دهد. روش اسمختین نیز مانند روش تنانت برای همه ماه‌های سال مقداری را به‌عنوان جریان اکولوژیکی پیشنهاد می‌دهد. که این مقدار ممکن است در برخی ماه‌های سال از جریان طبیعی رودخانه بیشتر باشد که معنی‌دار نیست. روش اسمختین نیز چون از داده‌های جریان ماهیانه تأثیر نمی‌پذیرد نمی‌تواند به‌تنهایی روش مناسبی برای تعیین جریان اکولوژیکی یک رودخانه باشد. از این روش نیز می‌توان در ارزیابی‌های سریع استفاده کرد، اما اتکا به این روش منطقی به نظر نمی‌رسد و بایستی همراه با روش‌های دیگر برای کسب بهترین نتیجه مورد استفاده قرار گیرد. روش انتقال منحنی تداوم جریان به‌منظور حفظ الگوی کلی تغییرپذیری جریان، از شیفت منحنی تداوم جریان طبیعی استفاده کرده، و بر این اساس نیاز آب اکولوژیکی را برای کلاس‌های مدیریت اکولوژیکی A تا F پیشنهاد می‌کند. در این تحقیق کلاس مدیریتی C به‌عنوان کلاس مورد نظر انتخاب شد. در این کلاس، زیستگاه‌ها و دینامیک بیوتا مختل شده ولی عملکردهای اساسی اکوسیستم هنوز دست نخورده‌اند. اساس

قابل اعتماد است که عموماً نتایج متناسب‌تری را نسبت به سایر روش‌های ارزیابی جریان اکولوژیکی رودخانه‌ها دارد. کریمی و همکاران (۱۳۸۹) و عبدی و یاسی (۱۳۹۲) با استفاده از روش‌های اکولوژیکی، نیاز اکولوژیکی رودخانه را برآورد کردند. نتایج بررسی‌ها و مقایسه آن‌ها نیز بین روش‌های مختلف ارزیابی جریان اکولوژیکی نشان داد که مقادیر محاسباتی از روش انتقال منحنی تداوم جریان به دلیل در نظر گرفتن خصوصیات اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه، نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. در این تحقیق وضعیت اکولوژیکی رودخانه قزل اوزن برابر کلاس C در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که برای حفظ رودخانه قزل اوزن در پنج ایستگاه بیانلو، نواره‌علیا، سلامت‌آباد، حسن‌خان و شادی‌آباد در شرایط قابل قبول (کلاس C) دبی جریان ۳/۱۱، ۱/۹، ۱/۴۲، ۰/۸۳ و ۰/۲۷ مترمکعب در ثانیه (۲۲/۰۹ تا ۳۲/۳۶ درصد MAR) مورد نیاز است. توزیع جریان اکولوژیکی پیشنهادی، روش انتقال منحنی تداوم جریان (FDC-shifting) برای ایستگاه‌های ذکر شده در شکل‌های ۸ تا ۱۲ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج جدول ۵، برای حفظ رودخانه قزل اوزن در ایستگاه‌های مورد مطالعه کلاس A، ۶۱/۶۲ تا ۶۴/۸۷ درصد MAR، در کلاس B، ۳۶/۷۸ تا ۴۴/۰۸ درصد MAR، در کلاس C، ۲۲/۰۹ تا ۳۲/۳۶ درصد MAR، در کلاس D ۱۳/۳۲ تا ۲۳/۲۵ درصد MAR، در کلاس E، ۶/۶۴ تا ۱۸/۶۰ درصد MAR، در کلاس F، ۲/۵۱ تا ۱۵/۱۱ درصد MAR مورد نیاز است. بر اساس روش انتخابی (انتقال منحنی تداوم جریان کلاس C) جریان اکولوژیکی پیشنهادی رودخانه قزل اوزن در ایستگاه بیانلو، نواره‌علیا، سلامت‌آباد، حسن‌خان و شادی‌آباد به شرح زیر است:

- ایستگاه بیانلو: سالانه، جریان ۹۸/۲۱ میلیون مترمکعب (۳/۱۱ مترمکعب بر ثانیه)، معادل با ۲۳/۳۶ درصد متوسط آورد سالانه
- ایستگاه نواره‌علیا: سالانه، جریان ۶۰/۱ میلیون مترمکعب (۱/۹۱ مترمکعب بر ثانیه)، معادل با ۲۲/۰۹ درصد متوسط آورد سالانه
- ایستگاه سلامت‌آباد: سالانه، جریان ۴۵/۰۴ میلیون مترمکعب (۱/۴۳ مترمکعب بر ثانیه)، معادل با ۲۵/۶۴ درصد متوسط آورد سالانه
- ایستگاه حسن‌خان: سالانه، جریان ۲۶/۴۳ میلیون مترمکعب (۰/۸۴ مترمکعب بر ثانیه)، معادل با ۳۰/۰۳ درصد متوسط آورد سالانه
- ایستگاه شادی‌آباد: سالانه، جریان ۸/۷۹ میلیون مترمکعب (۰/۲۸ مترمکعب بر ثانیه)، معادل با ۳۲/۳۶ درصد متوسط آورد سالانه

- این روش یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژی مورد نظر را ارائه می‌دهد.
- جریان محاسباتی به صورت درصدی از جریان متوسط سالانه نبوده و به صورت توزیع ماهانه می‌باشد.
- انعطاف‌پذیری این روش در ماه‌های کم‌آبی و پرآبی بیشتر است.
- سهم منطقی از پتانسیل جریان را به‌عنوان جریان اکولوژیکی برای کلاس‌های مدیریتی مختلف در نظر می‌گیرد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان به دلیل همکاری صمیمانه و در اختیار گذاشتن داده‌های لازم، تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

- احمدی‌پور، ظ. و یاسی، م. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های اکوهیدرولوژیکی-هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه). مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک. ۹ (۲): ۸۲-۶۹.
- بیان منابع آب محدوده مطالعاتی دیواندره-بیجار. ۱۳۹۴. مطالعات بهنگام سازی بیان منابع آب حوزه آبریز سفیدرود بزرگ. ارزیابی منابع آب. ۵ (۹).
- بیان منابع آب محدوده مطالعاتی قروه-دهگلان. ۱۳۹۴. مطالعات بهنگام سازی بیان منابع آب حوزه آبریز سفیدرود بزرگ. ارزیابی منابع آب. ۵ (۸).
- پور صالحیان، ج.، پرویزی، م. و صدقی اصل، م. ۱۳۹۱. بررسی جریان زیست‌محیطی رودخانه بشار. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران. اهواز. ایران.
- رزاقی، آ.، احمدی، ح.، حقدوست، ن.ع. و حصار، ی. ۱۳۹۷. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه با روش‌های اکوهیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه مهاباد چای). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵ (۶): ۴۷-۶۵.
- رضایی، ن. و یاسی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی جریان زیست‌محیطی سیمینه‌رود با روش‌های هیدرولوژیکی. اولین همایش ملی علوم زمین و توسعه شهری. دانشگاه تبریز. تبریز. ایران.
- شاعری کریمی، س. ۱۳۸۹. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی. دانشگاه ارومیه. ارومیه.

روش مدل ذخیره رومیزی بر این پایه است که تحت وضعیت‌های طبیعی، قسمت‌های مختلف رژیم جریان، نقش‌های مختلفی در عملکرد اکولوژیکی یک رودخانه بازی می‌کنند. بنابراین حفظ تفاوت‌های اساسی بین جریان‌های فصول تر و خشک، ضروری است. بنابراین مؤلفه‌های مختلف جریان با هم ترکیب شده و یک رژیم جریان قابل قبولی را از نظر اکولوژیکی ایجاد می‌کنند. در این روش نیز نیاز آب اکولوژیکی به صورت ترکیبی از نیاز کم‌آبی و پرآبی ارائه می‌شود. در روش مدل ذخیره رومیزی نیز از طبقه‌بندی‌های اکولوژیکی استفاده می‌شود با این تفاوت که دو کلاس E و F روش انتقال منحنی تداوم جریان، در روش مدل ذخیره رومیزی قابل قبول نمی‌باشند. از میان این روش‌ها، دو روش مدل ذخیره رومیزی و انتقال منحنی تداوم جریان به دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان‌های اکولوژیکی پیشنهادی خود، نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت دارند. از آنجاکه اطلاعات اکولوژیکی مورد نیاز برای تعیین جریان‌های اکولوژیکی در ایران هنوز موجود نمی‌باشد، استفاده از دو مدل ذخیره رومیزی و GEFC نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند. روش مدل ذخیره رومیزی برای رودخانه‌های دائمی (با جریان پایه زیاد) مناسب‌تر می‌باشد. روش انتقال منحنی تداوم جریان، علاوه بر شرایط هیدرولوژیکی، شرایط اکولوژیکی را هم در نظر می‌گیرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده جریان پیشنهادی روش انتقال منحنی تداوم جریان، در کلاس C به‌عنوان حداقل جریان اکولوژیکی برای رودخانه قزل‌اوزن، توصیه می‌شود. زیرا این روش به داده‌های کمتری نیاز داشته؛ ارزیابی اولیه و سریع بر روی داده‌ها انجام می‌دهد؛ وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود را با در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی مطلوب شبیه‌سازی می‌کند. کلاس مدیریتی C (نسبتاً تغییرناپذیر) حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد دبی متوسط جریان را به‌عنوان جریان اکولوژیکی در نظر می‌گیرد. که در این حالت عملکرد اساسی اکوسیستم رودخانه هنوز دست‌نخورده بوده و اکثر گونه‌ها حفظ می‌شود. همچنین کلاس مدیریتی C با پتانسیل جریان در ماه‌های مختلف مطابقت خوبی داشته و از لحاظ مدیریتی، مصارف کشاورزی و شرب و... در منطقه مورد قبول می‌باشد. جایگیری یک رودخانه در یک کلاس مدیریت اکولوژیکی اغلب به صورت قضاوت کارشناسانه صورت می‌گیرد. با توجه به موقعیت منطقه و وابستگی مردم به کشاورزی و لزوم مصرف آب در این حوزه نمی‌توان کلاس مدیریتی بالایی را انتخاب نمود، ولیکن این کلاس مدیریتی نباید به‌گونه‌ای انتخاب شود که حیات گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری اکوسیستم رودخانه در خطر باشد. به همین دلیل در این تحقیق برای رودخانه قزل‌اوزن روش برتر منتخب، روش انتقال منحنی تداوم جریان می‌باشد. دلایل انتخاب این روش عبارت‌اند از:

- evaluation of the Tennant method for higher gradient streams in the national forest system lands in the western US. Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- Orth, D.J. 1981. Evaluation of the "Montana method" for recommending instream flows in Oklahoma streams. In Proceedings of the Oklahoma Academy of Science. 61: 62-66.
- Shiferaw, A. 2007. Environmental flow assessment at the source of the Blue Nile river, Ethiopia (Doctoral dissertation, Addis Ababa University).
- Smakhtin, V.U. and Anputhas, M. 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. IWMI Research Report 107. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 36p.
- Smakhtin, V.U., Revenga, C. and Dooll, P. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water International*. 29: 307-317.
- Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*. 1(4): 6-10.
- Tessman, S. 1980. Environmental assessment, technical appendix E in environmental use sector reconnaissance elements of the Western Dakotas region of South Dakota study. Water Resources Research Institute, South Dakota State University, Brookings, SD.
- Volchek, A., Kirvel, I. and Sheshko, N. 2019. Environmental flow assessment for the Yaselda River in its Selets reservoir section. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 19(1): 18-109.
- Watt, S.P. 2007. A methodology for environmental protection of Ontario watercourses with respect to the permit to take water program, Master Thesis, Queen's University, Canada.
- Yan, Y., Yang, Z., Liu, Q. and Sun, T. 2010. Assessing effects of dam operation on flow regimes in the lower Yellow River. *Procedia Environmental Sciences*. 2: 16-507.
- عبدی، ر. و یاسی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های هیدرولوژی محور در برآورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه هراز). پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه شهید بهشتی. تهران. ایران.
- کریمی، س.، سیدی، ح. و یاسی، م. ۱۳۸۹. معرفی روش ذخیره رومیزی برای محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.
- مصطفوی، س. ۱۳۹۲. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه به روش اکو هیدرولوژیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی. دانشگاه ارومیه. ارومیه.
- مهدی‌آبادی، م. و روستایی، ن. ۱۳۸۷. تعیین حقابه تالاب گاوخونی، پیش‌بینی آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها در شرایط تغییر اقلیم. دومین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست. دانشگاه تهران.
- Hu, W.W., Wang, G.X., Deng, W. and Li, S.N. 2008. The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huai River basin, China. *Ecological engineering*. 33(3-4): 233-241.
- Hughes, D.A. and 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(3-4):81-167.
- IWMI. Environmental flows. 2004. Environmental Perspectives on River Basin Management in Asia. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 1(1).
- Kashaigili, J.J., Kadigi, R.M., Lankford, B.A., Mahoo, H.F. and Mashauri, D.A. 2005. Environmental flows allocation in river basins: Exploring allocation challenges and options in the Great Ruaha River catchment in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 30(11-16): 97-689.
- Mahmood, R., Shaofeng, J.I., Lv, A. and Zhu, W. 2020. A preliminary assessment of environmental flow in the three rivers' source region, Qinghai Tibetan Plateau, China and suggestions. *Ecological Engineering*. 144:105709.
- Mann, J.L. 2006. Instream flow methodologies: An

Estimation of Ecological Flow of Ghezel Ozan River in Kurdistan Province Using Hydrological Methods

R. Shahmohammadnejad¹, M. Byzedi^{2*}

Received: Apr. 25, 2021

Accepted: Jun. 07, 2021

Abstract

In order to prevent the long-term negative impacts of resource development projects on the riverine ecosystems, it is necessary to define hydrological and ecological needs of river in the form an ecological water-need and consider them in water allocation interactions. The main objective of the present study is to evaluate and estimate the monthly distribution of ecological flow of Ghezel Ozan river by means of hydrological methods, such as Tessman, Tennant, flow-duration curve analysis (FDC), flow-duration curve shifting (FDC-Shifting), Smakhtin and Desktop Reserve Model (DRM), and with reference to the given 25-year statistical period. The results drawn from the present study illustrated that the FDC-Shifting method is superior to other methods due to considering diverse ecological classes, focusing on natural variability of flow, and attempting to maintain this variability in its proposed ecological flows, and in order to maintain the general pattern of flow variability, it employs natural flow-duration curve shift. The abovementioned method is better adapted to the flow potential of Ghezel Ozan river as well as its ecological management method. To preserve Ghezel Ozan river in the minimum acceptable ecological status (ecological management class C), the mean annual flow intensity equivalent to 3.11 (%23 MAR), 1.91 (%22 MAR), 1.43 (%25 MAR), 0.84 (%30 MAR) and 0.28 (%32 MAR) cubic meter per second must be determined respectively within the range of five hydrometric stations including Bianlu, Nesare Olia, Salamat Abad, Hasan Khan, and Shadi Abad.

Keywords: DRM, Ecological flow, FDC-Shifting, Ghezel Ozan river, Hydrological methods

1- Master Student of Water Resources Engineering, Department of Water Science and Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: M.byzedi@gmail.com)