نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۷، بهمن - اسفند ۱۴۰۲، ص. ۱۲۴۴-۱۲۳۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 17, Feb.-Mar. 2024, p. 1231-1244

مقاله علمی-پژوهشی

تعیین حقابه زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود با استفاده از روش کیفیت آب و مدل تصمیم-گیری درختی و مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی

فاطمه میرزامحمدلو[۱]، قربان مهتابی[۲]*، مجید محمدی ایالویی[۳]، زهرا عبداللهی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷

چکیده

در این تحقیق حقابه زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود (ایستگاه هیدرومتری ینگی‌کند) استان زنجان با استفاده از دو روش کیفیت آب (موسوم به رابطه Q) و روش تصمیم‌گیری درختی (مدل M5) محاسبه و با چهار روش هیدرولوژیکی (اسماختن، مدل ذخیره رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان (FDC shifting) و شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی ($7Q_{10}$ و $7Q_2$) مقایسه گردید. ارزیابی روش‌های هیدرولوژیکی نشان داد که روش FDC shifting نسبت به سایر روش‌ها از دقت مناسب‌تری در تعیین دبی زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود برخوردار است. براساس روش مذکور، دبی زیست‌محیطی با کلاس C در ایستگاه مورد مطالعه برابر ۰/۹۹ مترمکعب بر ثانیه معادل با ۲۹/۴٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) است. بیش‌ترین مقدار متوسط دبی زیست‌محیطی با روش کیفیت آب حاصل شد (۱/۴۸ m^3/s، معادل با ۴۳/۹٪ متوسط جریان سالیانه) و کم‌ترین دبی زیست‌محیطی برآورد شده مربوط به روش شاخص‌های منفرد جریان‌های کم آبی است (۰/۲۶ m^3/s، معادل با ۷/۷٪ متوسط جریان سالیانه)، در حالی‌که دبی زیست-محیطی براساس روش تصمیم‌گیری درختی برابر ۱/۱۰ مترمکعب بر ثانیه معادل با ۳۲/۸٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) برآورد گردید. مطابق نتایج، مدل درختی M5 با ارائه روابط منحنی تداوم جریان علاوه بر ارائه مقادیر مناسب دبی زیست‌محیطی، قادر به تخمین مقادیر دبی‌های مشخصهٔ رودخانه است.

واژه‌های کلیدی: حقابه زیست‌محیطی، کیفیت آب، تصمیم‌گیری درختی، FDC shifting ، سجاس‌رود

مقدمه

رودخانه‌ها از جمله سیستم های اکولوژیکی دینامیکی می‌باشند که نسبت به هرگونه اختلالی در حوضه آبریز واکنش نشان می‌دهند. اجزا اکوسیستم رودخانه که شامل مؤلفه‌های زنده و غیرزنده می‌باشند به یکدیگر مرتبط می‌باشند. همواره تغییر در جریان رودخانه باعث تغییر ناخواسته در اکوسیستم رودخانه می‌شود. هر رودخانه‌ای رژیم جریان خاص خود را دارد که شامل ویژگی‌های مخصوص هیدرولوژیکی از جمله مقدار جریان، تغییرات فصلی جریان، بازه‌های زمانی، تناوب و احتمال وقوع است. این ویژگی‌ها تاثیر خاصی روی اکوسیستم رودخانه و سیلاب‌دشت دارد و به‌طور مستقیم روی عوامل بقای اکوسیستم شامل غذا، موجودیت زیستگاه، دما، کیفیت آب، رژیم جریان و فعل و انفعالات موجودات زنده تاثیر می‌گذارد (Jowett, 1997). اکوسیستم رودخانه محدوده وسیعی از خدمات و سرویس‌ها را برای بشر فراهم می‌کند. خدماتی که توسط جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه فراهم می‌شوند، ممکن است مستقیما به‌وسیله جریان (به‌طور مثال شست‌وشوی رسوبات، نمک زدایی) یا غیر مستقیم از طریق عملکردهای اکوسیستم فراهم شوند (Constanza et al., 1997). بنابراین تنظیم جریان‌های رودخانه برای نیازهای انسانی باید با حفظ جریان‌های ضروری وابسته به خدمات زیستی متوازن گردد (Orth & Maughan, 1981). جریان آب زیست‌محیطی عبارت است از رژیم آب فراهم شده برای یک رودخانه، تالاب یا ناحیه ساحلی به‌منظور حفاظت از اکوسیستم‌ها و منافع آن‌ها، در مواقعی که مصارف رقابت-

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- دانشیار سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ghmahtabi@znu.ac.ir)

کننده وجود دارند و جریان‌ها تنظیم شده‌اند (Dyson et al., 2003).

اولین مطالعات در زمینه بررسی نیاز آب زیست‌محیطی توسط سرویس حیات وحش آمریکا[1] از سال ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ در این کشور به‌کار رفت و متعاقب آن قانون رسمی جریان زیست‌محیطی در سال ۱۹۷۰ به‌عنوان نتیجه دستورالعمل سیاست‌گذاری ملی زیست‌محیطی (۱۹۶۹) و سند برنامه‌ریزی منابع آب (۱۹۵۶) به ثبت رسید (Spiegel, 1988). روش‌های متعددی برای تعیین جریان‌های زیست‌محیطی وجود دارد. این روش‌ها به‌طور معنی‌داری از نظر اهداف، اطلاعات ورودی مورد نیاز و دقت نتایج خروجی با یکدیگر متفاوتند. در تعیین جریان‌های زیست‌محیطی بایستی اهداف مختلفی شامل برنامه‌ریزی جامع منابع آب تا زمان بندی تفصیلی مدیریت رهاسازی از سدها مورد نظر قرار گیرند (Smakhtin & Anputhas, 2006). حدود ۲۰۷ روش در ۴۴ کشور جهان برای تعیین نیاز زیست‌محیطی ثبت گردیده است. مؤسسه بین‌المللی منابع آب (IWMI[2]) این روش‌ها را در قالب چهار روش متمایز شامل: روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های هیدرولیکی، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه و روش‌های جامع طبقه-بندی کرده است (Tharme, 2003). در خصوص ارزیابی روش‌های مختلف برآورد دبی زیست‌محیطی، مطالعات متعددی در سطح ایران و دنیا انجام گرفته است که در ادامه نتایج آن‌ها به اختصار ارائه می‌شود.

کاشایلی و همکاران با مطالعه حوضه آبریز رودخانه روآها در تانزانیا از مدل ذخیره رومیزی (DRM[3]) برای ارزیابی جریان زیست-محیطی این حوضه استفاده کردند. آن‌ها براساس نتایج حاصل از مدل، ۲۲ درصد حجم میانگین آورد سالیانه (MAR[4]) را به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی پیشنهاد دادند (Kashaigili et al., 2007). در تحقیقی با ارزیابی جریان زیست‌محیطی در رودخانه بلو نیل با کمک مدل DRM، نیاز زیست‌محیطی در حداقل وضعیت قابل قبول ۳۰ درصد MAR پیشنهاد شد (Shiferaw, 2007). شاعری کریمی و همکاران از روش انتقال منحنی تداوم جریان (FDC shifting) برای برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه شهرچای استفاده کردند و نتایج حاصل از آن را با نتایج حاصل از روش‌های مدل ذخیره‌ی رومیزی (DRM)، تنانت، شاخص جریان کم و تحلیل منحنی تداوم جریان (FDCA[5]) مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد، روش‌های DRM و FDC shifting قابلیت بالاتری دارند و یک نرخ جریان حداقل ۱/۲ مترمکعب بر ثانیه به منظور جریان زیست‌محیطی مورد نیاز است (Shaeri Karimi et al., 2012). در مطالعه‌ای برروی رودخانه سانه در نزدیکی فلات آمارکانتاک با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان، در کلاس زیست‌محیطی نسبتا تغییریافته، مقدار ۱۹/۸ درصد میانگین آورد سالانه برای جریان زیست‌محیطی آن رودخانه برآورد گردید (Jushi et al., 2014). در تحقیقی برای محاسبه جریان محیط‌زیستی در رودخانه ویسلوکا لهستان از روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های هیدرولیکی در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی مقادیر پایین جریان زیست‌محیطی براورد می‌کنند (Książek et al., 2019). نی و همکاران با ترکیب روش تنانت و منحنی تداوم جریان (FDC[6])، یک روش کاربردی (T-FDC) برای تعیین دبی زیست‌محیطی رودخانه Wujiang چین پیشنهاد دادند. براساس نتایج روش پیشنهادی، دبی زیست‌محیطی این رودخانه به پنج سطح (با اختلاف سطح به سطح) تقسیم می‌شود و همه سطوح تغییرات زمانی و مکانی جریان رودخانه را به خوبی نشان می‌دهند، به طوری‌که مقادیر دبی زیست‌محیطی ماهانه همبستگی معقولی با فصول مرطوب و خشک حوضه رودخانه Wujiang نشان می‌دهد. جریان زیست‌محیطی پایه بین حداقل تاریخی و دومین حداقل جریان متوسط ماهانه متغیر است (Ni et al., 2022).

رضایی و یاسی (۱۳۹۴) در مطالعه رودخانه سیمینه رود برای محاسبه مقدار جریان زیست محیطی از روش‌های مختلفی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش انتقال منحنی تداوم جریان با توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان زیست محیطی نسبت به سایر روش ها برتری دارد. مهتابی و بیات (۱۳۹۶) به بررسی کارایی مدل درختی M5 در استخراج منحنی تداوم جریان ایستگاه خزانگاه رودخانه ارس پرداختند. مطابق نتایج، مدل درختی توانایی بالایی در تهیه منحنی تداوم و دبی‌های مشخصه دارد و دبی۵۰ مترمکعب بر ثانیه که در طول ۱۱ ماه از سال (۳۳۹ روز) تداوم دارد (شاخص Q_{95})، به عنوان دبی زیست‌محیطی رودخانه برآورد گردید. نادری و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل جنبه های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در طراحی رژیم جریان زیست‌محیطی به منظور حفاظت از اکوسیستم رودخانه قره سو پرداختند. آن‌ها از روش-های هیدرولوژیکی اسماختن، FDC shifting، تحلیل منحنی تداوم جریان، کیفیت آب و روش هیدرولیکی محیط‌خیس شده در برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قره سو استفاده نمودند و جریان زیست‌محیطی به ترتیب برابر ۰/۴۹، ۰/۹۶، ۰/۹۲، ۴/۰۸ و ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه بدست آمد. آن‌ها در نهایت روش FDC shifting را به عنوان روش پیشنهادی منتخب جهت برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قره سو معرفی کردند. رزاقی رضاییه و همکاران (۱۳۹۷) جریان زیست‌محیطی رودخانه مهابادچای را با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج نیاز زیست

1- US Fish and Wildlife Service
2- International Water Management Institute
3- Desktop Reserve Model
4- Mean Annual Runoff
5- Flow Duration Curve Analysis
6- Flow Duration Curve

محیطی رودخانه مهابادچای در ایستگاه بیطاس ۰/۳۵ مترمکعب بر ثانیه و در ایستگاه کوتر ۱/۱۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردید.

پیروزیان و همکاران (۱۳۹۹) از هفت روش هیدرو-اکولوژیکی جهت برآورد جریان زیست محیطی رودخانه الندچای استفاده نمودند و روش FDC shifting با کلاس زیست محیطی C را به عنوان کلاس مدیریت زیستی برای رودخانه الندچای گزارش نمودند. در مطالعه‌ای برای تعیین نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه دائمی گدارچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از روش‌های مختلف اکوهیدرولوژیکی استفاده گردید. نتایج نشان داد که برای حفظ رودخانه گدارچای در کمینه وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست‌محیطی C)، شدت جریان متوسط سالیانه در دوایستگاه هیدرومتری پل نقده و پل بهراملو به‌ترتیب معادل ۳/۲۸ و ۳/۲۵ مترمکعب بر ثانیه باید برقرار باشد (حبیبی آلاگوز و یاسی، ۱۳۹۸). همتی و همکاران (۱۳۹۹) جریان زیست‌محیطی رودخانه آجی چای در ایستگاه هیدرومتری آخولا را با استفاده از روش‌های اکو-هیدرولوژیکی بررسی کردند. آنان در این پژوهش با روش‌های تنانت، تسمن، اسماختن، تحلیل منحنی تداوم جریان، FDC shifting، شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی، کیفیت آب، DRM و روش RVA[1] مقادیر جریان زیست‌محیطی رودخانه آجی چای را به صورت ماهانه برآورد نمودند. مطابق نتایج آن‌ها برآورد جریان زیست‌محیطی از روش FDC shifting تطابق بهتری با پتانسیل جریان آجی چای و روش مدیریت زیست‌محیطی آن دارد. جریان زیست‌محیطی پیشنهادی برای حفظ رودخانه آجی چای در کلاس مدیریتی C در حدود ۲۲ درصد متوسط بده سالیانه (برابر با ۱/۵۲ مترمکعب بر ثانیه) بدست آمد. قاسمی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی (Aquatic Base Flow ، Tennant، Arkansas، Tessman و FDC Shifting) جریان زیست‌محیطی رودخانه دره‌رود استان اردبیل در ایستگاه هیدرومتری مشیران را برآورد نمودند. مطابق نتایج این تحقیق، روش انتقال منحنی تداوم جریان به علت در نظر گرفتن کلاس مدیریت زیستی مطابق با شرایط منطقه نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت نشان داد. همچنین در شرایط کمبود اطلاعات اکولوژیک کامل، شاخص‌های هیدرولوژیک و کلاس‌های زیست‌محیطی در روش انتقال منحنی تداوم جریان، می‌توانند برای برآورد حقابه زیست‌محیطی مورد استفاده قرار بگیرند. شاه محمدنژاد و بایزیدی (۱۴۰۱) جریان اکولوژیکی رودخانه قزل اوزن در استان کردستان را با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، تحلیل منحنی تداوم جریان، انتقال منحنی تداوم جریان، اسماختن و مدل ذخیره رومیزی بررسی نمودند. ایشان ضمن تایید ارجهیت روش انتقال انتقال منحنی تداوم جریان نسبت به سایر روش‌ها، اظهار داشتند که مطابق دبی زیست‌محیطی این روش (کلاس مدیریتی C)، عملکرد اساسی اکوسیستم رودخانه دست‌نخورده بوده و اکثر گونه‌ها حفظ می‌شود.

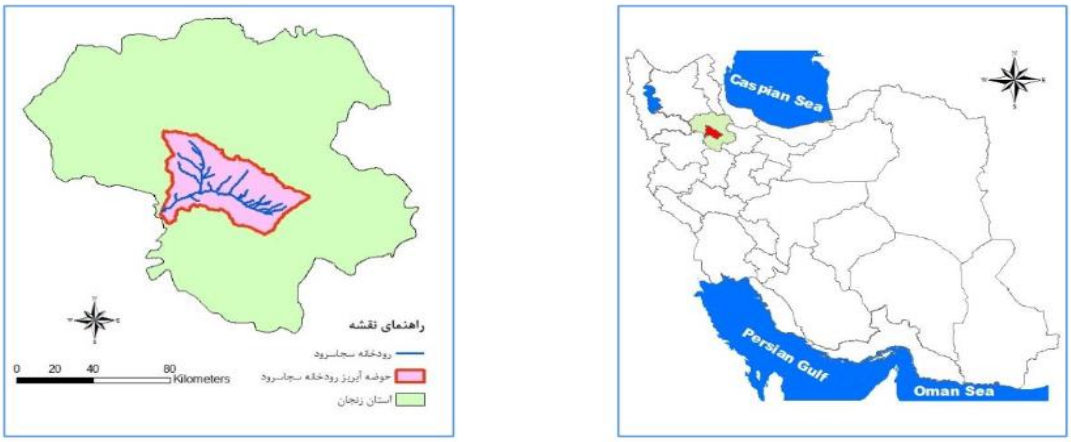
مطابق مطالعات پیشین، عمدتا روش FDC shifting به دلیل انعطاف‌پذیری آن نسبت به تغییرات جریان‌های ماهانه رودخانه و در نظر گرفتن سهم منطقی از پتانسیل جریان به‌عنوان جریان زیست-محیطی برای کلاس‌های مدیریتی مختلف اکولوژیکی نسبت به روش‌های دیگر، ترجیح داده شده است. همچنین بررسی منابع نشان می‌دهد که تعیین حقابه زیست‌محیطی با استفاده از روش کیفیت آب کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. در رودخانه سجاس‌رود استان زنجان، به دلایل مختلف مدیریتی و بهره‌برداری از سد گلابر، منابع آب این رودخانه دچار تغییرات شدیدی شده و تاکنون مقدار حقابه زیست‌محیطی آن برآورد و گزارش نشده است. از طرفی تاکنون مطالعه ای در خصوص استفاده از مدل تصمیم‌گیری درختی جهت تعیین حقابه زیست‌محیطی گزارش نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه تعیین حقابه زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی اسماختن، مدل ذخیره رومیزی (DRM) ، انتقال منحنی تداوم جریان (FDC shifting) و شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی ($7Q_{10}$ و $7Q_2$)، روش کیفیت آب (موسوم به رابطه Q) و روش تصمیم‌گیری درختی (مدل M5) و در نهایت مقایسه و ارزیابی روش‌های مورد مطالعه و انتخاب روش منتخب است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

رودخانه سجاس‌رود (شکل ۱)، از زیر شاخه‌های رودخانه قزل-اوزن، یک رودخانه دائمی به طول ۶۰ کیلومتر است که در جنوب شرقی شهر زنجان واقع شده است. این رودخانه با ارتفاع سرچشمه ۱۹۰۰ متر، بین طول جغرافیایی ′۵۷ °۴۷ تا ′۵۰ °۴۸ و عرض جغرافیایی ′۷۰ °۳۶ تا′۲۰ °۳۶ واقع شده است. سجاس‌رود در ابتدای سرچشمه خود مسیری به سمت جنوب غرب دارد و در طول مسیر خود با دریافت آب زیرشاخه‌های فرعی متعدد که مهم‌ترین آن بازه چاپوق-قمچقای است، پر آب می‌شود. در نهایت پس از عبور از روستای بلوبین، در یک کیلومتری شمال باختری این روستا در محل ایستگاه قره‌گونی به رودخانه قزل‌اوزن می‌پیوند (در ارتفاع ۱۵۰۰ متر). در این رودخانه با بررسی آمار دبی و پارامترهای کیفی ایستگاه‌های هیدرومتری موجود، ایستگاه ینگی‌کند با بیشترین طول دوره آماری (۳۰ ساله) جهت تعیین حقابه زیست‌محیطی انتخاب و داده های دبی و کیفیت این ایستگاه از سازمان آب‌منطقه‌ای زنجان دریافت شد. ایستگاه هیدرومتری ینگی‌کند در منتهی الیه رودخانه سجاس‌رود با مختصات جغرافیایی ″۵۸-°۴۷ طول شرقی و ′۱۴-°۳۶ عرض شمالی و ارتفاع ۱۴۲۰ متری از سطح دریا واقع شده است.

1- Range of Variability Approach



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه سجاس‌رود در استان زنجان و ایران

معرفی روش‌های مورد استفاده

روش اسماختن[1]

این روش توسط اسماختن و همکاران با بررسی بر روی ۱۲۸ حوضه آبریز در نقاط مختلف جهان به‌منظور ارزیابی وضعیت بهره‌برداری از رودخانه‌های جهان با لحاظ نمودن نیاز آب زیست‌محیطی ارائه شد (Smakhtin et al., 2004). در این روش نیاز آب زیست‌محیطی[2](EWR) به‌صورت ترکیبی از نیاز حداقل جریان زیست‌محیطی[3](LFR) و نیاز حداکثر جریان زیست‌محیطی[4](HFR) در نظر گرفته شده است. در این روش برای آنکه شرایط رودخانه به‌صورت «نسبتاً خوب» باشد، باید LFR در آن رودخانه مساوی Q_{90} در نظر گرفته شود. Q_{90} جریانی است که نود درصد مواقع سال، دبی رودخانه از آن مقدار بیشتر است. مقدار HFR نیز به اهداف مدیریت زیست‌محیطی و رژیم جریان رودخانه بستگی دارد.

اسماختن و همکاران حوضه‌های آبریز را در ۴ کلاس طبقه‌بندی کرده و بر این اساس مقدار HFR را به‌صورت درصدی از میانگین‌آورد سالانه (MAR) ارائه نمودند. مقدار EWR کل سالانه نیز از جمع دو جزء LFR و HFR به‌دست می‌آید (Smakhtin et al., 2004). در این تحقیق، با استفاده از آمار دبی روزانه ایستگاه‌های مطالعاتی دبی‌های ماهانه به‌دست آمد و سپس میانگین آورد سالانه (MAR) برای هر ایستگاه حاصل شد. در هر ایستگاه Q_{90} از روی منحنی تداوم استخراج شد و درصدهای مختلف متوسط سالانه جریان جهت محاسبه حداکثر جریان زیست‌محیطی (HFR) به‌دست آمد. در جدول ۱ روش محاسبه HFR قابل مشاهده است.

روش ذخیره رومیزی (DRM)

مدل ذخیره رومیزی (DRM) نیاز جریان اکولوژیکی را در شرایطی که یک ارزیابی سریع مورد نیاز است و داده‌های موجود محدود می‌باشند، محاسبه می‌کند. این مدل برای شرایط محیطی آفریقای جنوبی توسعه یافته است. در آفریقای جنوبی رودخانه‌ها نسبت به وضعیت اکولوژیکی مطلوب، تقسیم‌بندی می‌شوند و متعاقباً نیازهای جریان نیز طبقه‌بندی می‌گردند که براساس شرایط محلی چهار "کلاس مدیریت زیست‌محیطی" ممکن (A-D) تعریف می‌شود. کلاس A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییرنیافته می‌شود. کلاس B رودخانه‌های تغییریافته ولی تا حد زیادی طبیعی، کلاس C رودخانه‌های نسبتاً تغییریافته و کلاس D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییریافته با خسارات زیاد به زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم می‌باشد (Anonymous, 1997). در این دسته‌بندی، طبقه‌بندی‌های انتقالی (مثلاً A/B و B/C) نیز برای افزایش محدوده جریان‌های زیست‌محیطی ممکن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سیستم طبقه‌بندی مدل DRM، به کلاس بالاتر آب بیشتری برای حفظ اکوسیستم تخصیص می‌یابد و تغییرپذیری جریان بیشتر حفظ می‌شود. برای محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی در روش DRM از نرم‌افزار Desktop Reserve Model استفاده می‌شود. داده‌های مورد نیاز ورودی به این نرم‌افزار داده‌های دبی جریان ماهانه است. ابتدا داده‌های ورودی (سری زمانی جریان ماهانه) به‌صورت فایل متنی (text) به مدل وارد شده و مدل، شاخص‌های مورد نظر را محاسبه می‌کند. با انتخاب کلاس مدیریتی مورد نظر، سری زمانی جریان زیست‌محیطی محاسبه می‌شود. خروجی‌ها به‌صورت نمودار و جدول برای ماه‌های مختلف است.

1- Smakhtin
2- Environmental Water Requirement
3- Low-flow requirement
4- High-flow requirement

جدول ۱- تخمین نیاز جریان حداکثر زیست‌محیطی در روش اسماختن (Smakhtin and Anputhas, 2006)

نیاز جریان حداقل (Q_{90})	نیاز جریان حداکثر (HFR)	توضیحات
Q_{90}<10%MAR	HFR=%20MAR	در حوضه با رژیم متغیر که جریان عمدتا بر اثر سیلاب در فصل تر به‌وجود می‌آید.
10%MAR<Q_{90}<20%MAR	HFR=%15MAR	
20%MAR<Q_{90}<30%MAR	HFR=%7MAR	
Q_{90}>30%MAR	HFR=0	در حوضه با رژیم ثابت – جایی که جریان در طول سال ثابت است و نیاز جریان حداقل به‌عنوان جزء اصلی در نظر گرفته می‌شود.

روش انتقال منحنی تداوم جریان (FDC shifting)

این روش توسط اسماختن و آنپوتاس به‌منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در سامانه رودخانه معرفی شده است . شامل چهار مرحله اصلی می‌باشد: ۱) شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود. ۲) تعریف کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی. ۳) تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی. ۴) تولید سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه. اولین مرحله، تهیه منحنی تداوم جریان طبیعی (FDC) در بازه رودخانه‌ای مورد نظر با استفاده از داده‌های ماهیانه جریان می‌باشد (Smakhtin and Anputhas, 2006). در این روش، محور احتمالات منحنی تداوم جریان با نمایش ۱۷ درصد احتمال وقوع (۰/۰۱، ۰/۱، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۹۵، ۹۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹۹) تهیه می‌گردد. در این روش شش کلاس مدیریت زیست‌محیطی A تا F مورد استفاده قرار می‌گیرد که A : طبیعی، B : اندک تغییر یافته، C : نسبتا تغییر یافته، D : تا حد زیادی تغییر یافته، E : به‌شدت تغییریافته و F : به‌طرز بحرانی تغییریافته، می‌باشند. پس از ترسیم منحنی تداوم جریان طبیعی، در مرحله بعد با استفاده از تغییرات (شیفت) عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مدیریتی محاسبه می‌شود. 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 و جریانی که ۹۹/۹ درصد مواقع رخ می‌داد، اکنون ۹۹ درصد مواقع رخ می‌دهد. برای رودخانه‌های کلاس A از یک شیفت عرضی برای استخراج منحنی تداوم جریان زیست محیطی استفاده می‌شود، برای رودخانه‌های کلاس B از دو شیفت عرضی به چپ و به‌همین ترتیب برای رودخانه‌های کلاس C و D به‌ترتیب از سه و چهار شیفت عرضی استفاده می‌شود. از طریق یک میان‌یابی فضایی می‌توان منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی را به سری-های زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه تبدیل کرد. برای این منظور از روشی که هوگز و اسماختن ارائه دادند، استفاده می‌شود (Hughes and Smakhtin, 1996). در این روش برای هر ماه یک درصد بر روی منحنی تداوم جربان طبیعی تشخیص داده می‌شود؛ سپس در همان درصد، مقدار جریان ماهیانه از روی منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی قرائت می‌شود. با استفاده از سری‌های زمانی جریان ماهیانه طبیعی رودخانه، متوسط جریان سالیانه (MAR) محاسبه می شود. متوسط جریان زیست‌محیطی سالیانه (MAER[1]) نیز با استفاده از سری‌های زمانی جریان ماهیانه زیست‌محیطی تولید شده، محاسبه می‌شود. سپس با تقسیم متوسط جریان زیست‌محیطی سالیانه بر متوسط جریان سالیانه می‌توان درصدی از MAR را که باید برای هر کلاس مدیریتی به‌عنوان جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته شود، محاسبه کرد. برای محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی در روش انتقال منحنی تداوم جریان از نرم افزار GEFC استفاده می‌شود.

روش شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی (7Q10 و 7Q2)

شاخص‌های منفرد حداقل جریان کم‌آبی ۷ روزه با دوره بازگشت ۲ و ۱۰ سال ($7Q_{10}$ و $7Q_2$) به‌عنوان پرکاربردترین شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی معرفی شده است (Pyrce, 2004). جریان حداقل ۷ روزه (با تداوم ۷ روزه) در یک سال، کمترین مقدار میانگین متحرک ۷ روزه جریان‌های روزانه در آن سال است. سری زمانی جریان‌های روزانه در هر سال انتخاب شده و میانگین جریان ۷ روز اول (روز اول تا هفتم) محاسبه می‌شود. سپس میانگین جریان ۷ روز دوم (روز دوم تا هشتم) محاسبه می‌شود و به همین ترتیب تا انتهای سال و در آخر حداقل جریان متوسط ۷ روزه در آن سال انتخاب می‌شود. برای تمام سال‌های دوره آماری این کار انجام می‌شود. در انتها یک سری زمانی جریان حداقل ۷ روزه به‌دست می‌آید. سپس با استفاده از روش‌های تحلیل فراوانی، جریان حداقل ۷ روزه با دوره بازگشت ۱۰ و یا ۲ سال محاسبه می‌شود. در این مطالعه برای انتخاب بهترین روش تحلیل فراوانی از نرم‌افزار SMADA استفاده شد.

روش کیفیت آب (رابطه Q)

در محاسبه جریان زیست‌محیطی، به منظور اعمال اثر کیفیت آب، می توان از رابطه ۱ استفاده نمود. در این تحقیق کارایی این رابطه در برآورد جریان زیست‌محیطی بررسی گردید (Barker and

1- Mean Annual Environmental Runoff

(Kirmond, 1998).

$$(Q_1+Q_C)\times C_0=(Q_2\times C_2)+(Q_1\times C_1) \qquad (۱)$$

که در این رابطه، Q_1=دبی اولیه (m^3/s)، Q_2=دبی ثانویه (m^3/s)، Q_c=دبی لازم که باید اضافه شود تا به غلظت مطلوب رسید (m^3/s)، C_1=غلظت اولیه (mg/L)، C_2=غلظت ثانویه (mg/L) و C_0=غلظت مطلوب (mg/L) است. در رابطه Q، دبی روزانه متناظر با بحرانی‌ترین مقدار آلودگی در روز پایش شده (Q_1) و غلظت مربوط (C_1) است. درصورتی‌که در محل پایش‌شده جریان دیگری وارد رودخانه گردد از پارامتر دبی ثانویه (Q_2) و غلظت مربوط(C_2) استفاده می‌شود که اگر جریان ثانویه‌ای نباشد این پارامترها صفر درنظر گرفته می‌شود. غلظت مطلوب پارامتر موردنظر (C_0) از روی استاندارد EPA[1] آمریکا استفاده می‌شود. در این تحقیق، با توجه به مقایسه پارامترهای کیفی از نظر میزان آلودگی از روی جدول استاندارد آمریکا، مقدار TDS به‌دلیل بحرانی‌تر بودن مقدار آن نسبت به سایر آلودگی‌ها (اختلاف زیاد غلظت اندازه گیری شده نسبت به حد مطلوب توصیه شده EPA) انتخاب شد.

روش تصمیم‌گیری درختی M5

مدل M5 یک مدل درختی برای پیش‌بینی صفات عددی پیوسته است که در آن توابع رگرسیونی خطی ساده و قابل فهم در برگ‌های این درخت ظاهر می‌شوند. این مدل در سال‌های اخیر تحول قابل توجهی در مسائل طبقه‌بندی و پیش‌بینی ایجاد کرده است (Pal and Deswal, 2009). یک درخت تصمیم معمولا از چهار بخش ریشه، شاخه، گره‌ها و برگ‌ها تشکیل شده است. این درخت به‌منظور سادگی در رسم معمولا از چپ به راست و یا از بالابه پایین کشیده می‌شود؛ به‌طوری‌که ریشه (گره اول) در بالا قرار می‌گیرد. انتهای یک زنجیره را برگ می‌نامند و هر گره مربوط به یک خصوصیت معین است و شاخه‌ها به‌عنوان بازه‌ای از مقادیر هستند. عمل انشعاب توسط یکی از متغیرهای پیش بینی کننده انجام می‌پذیرد و بازه های انشعاب طوری انتخاب می‌شوند که مجموع مجذور انحراف از میانگین داده های هر گره را حداقل کنند. فرایند انشعاب در هر گره بارها تکرار می‌شود تا به گره پایانی (برگ) برسد که در برگ، مجموع مجذور انحراف از میانگین داده‌ها حدودا به صفر می‌رسد. با این کار درخت بزرگی توسعه پیدا خواهد کرد و برای رسیدن به یک درخت بهینه و کارآمد، شاخه های اضافی درخت هرس می‌شود. پس از هرس کردن، پروسهٔ صاف کردن برای جبران گسیختگی‌های تند اجتناب ناپذیر بین مدل‌های خطی همجوار در برگ‌های درخت هرس شده انجام می‌شود (Bhattacharya & Solomatine, 2005). در ابتدا داده‌های متوسط دبی ماهانه و تداوم آنها (روز) به‌صورت نزولی مرتب شد و در قالب فایل متنی (text) وارد نرم‌افزار گردید. سپس با ترسیم منحنی تداوم جریان رودخانه و استخراج روابط، مطابق شاخص Q_{95}، دبی که در طول ۱۱ ماه از سال (۳۳۹ روز) تداوم دارد، به عنوان دبی زیست-محیطی رودخانه برآورد می‌شود (کاظمی و قرمزچشمه، ۱۳۹۵; Sattari et al., 2013).

نتایج و بحث

روش اسماختن

در ابتدا با استفاده از آمار دبی روزانه، دبی ماهانه به‌دست آمد و نهایتا میانگین آورد سالانه (MAR) حاصل شد. در مرحله بعد از روی منحنی تداوم، مقدار Q_{90} برای ایستگاه مورد نظر استخراج شد و درصدهای مختلف متوسط سالانه جریان جهت محاسبه حداکثر جریان زیست‌محیطی (HFR) محاسبه شد که در جدول ۲ ارائه شده است. دبی زیست‌محیطی برابر ۱/۰۹ مترمکعب بر ثانیه (حجم جریان سالیانه ۳۴/۴ میلیون متر مکعب) معادل با ۳۲/۳٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) برآورد شد (جدول ۳).

روش ذخیره رومیزی (DRM)

برای محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی با استفاده از روش DRM از نرم افزار Desktop Reserve Model (ver.2) استفاده شد. داده‌های مورد نیاز ورودی به این نرم‌افزار، داده‌های جریان ماهانه است که این روش برای کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، جریان‌های مختلفی را ارائه می‌کند. نتایج حاصل از این روش برای هفت کلاس اکولوژیکی A تا D در ایستگاه ینگی‌کند رودخانه سجاس‌رود در جدول ۴ آورده شده است. در این تحقیق، کلاس مورد قبول انتخابی به‌عنوان وضعیت اکولوژیکی مطلوب برای رودخانه سجاس‌رود، کلاس C انتخاب شد برای مقایسه بهتر نتایج به‌دست آمده از این روش با جریان متوسط ماهانه ایستگاه‌ها، توزیع ماهانه زیست‌محیطی ایستگاه-های مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. براساس نتایج این روش، دبی زیست‌محیطی برابر ۰/۵۴۶ مترمکعب بر ثانیه (حجم جریان سالیانه ۱۷/۲۲ میلیون متر مکعب) معادل با ۱۶/۲٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) بدست آمد. همان‌طور که قبلا اشاره شد این روش مطابق شرایط آب و هوای آفریقای جنوبی است و با مقایسه نتایج این روش با نتایج اسماختن به وضوح مشاهده می‌شود که روش DRM دبی زیست‌محیطی را بسیار پایین برآورد می‌کند. باتوجه به-اینکه پارامترهای DRM برای آفریقای جنوبی تعیین شده‌اند و درحال حاظر هیچ زمینه علمی جهت اصلاح این پارامترها مطابق با شرایط ایران ندارد، انتظار می‌رود نتایج به‌دست آمده از این روش از درجه اطمینان پایینی برخوردار باشند (همتی و همکاران، ۱۳۹۹).

1- Environmental Protection Agency

جدول ۲- درصدهای متوسط آورد سالیانه (m^3/s) جهت محاسبه نیاز حداکثر جریان زیست‌محیطی در روش اسماختن

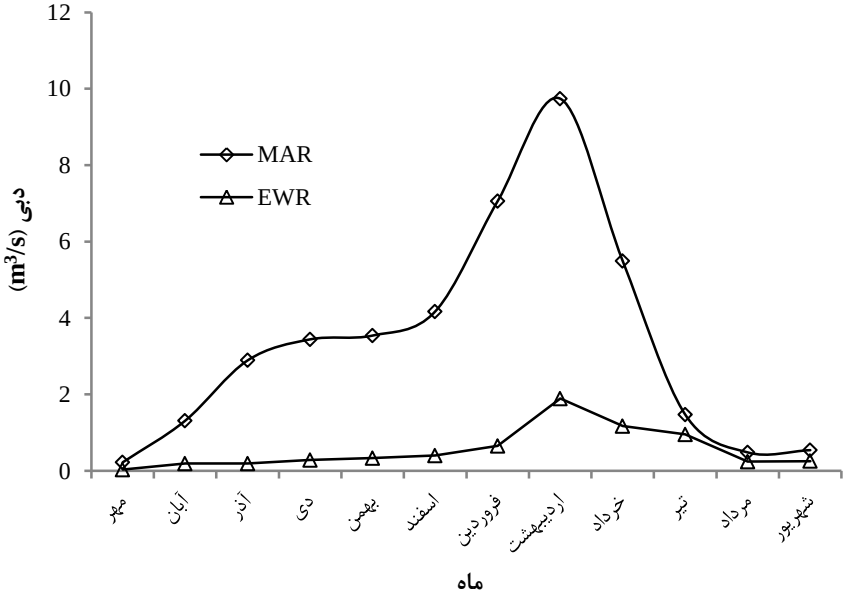
ایستگاه	Q_{90}	MAR	10%MAR	20%MAR	30%MAR
ینگی‌کند	۰/۵۹	۳/۳۷	۰/۳۴	۰/۶۷	۱/۰۱

جدول ۳- نیاز آب زیست‌محیطی (m^3/s) رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه با استفاده از روش اسماختن

ایستگاه	متوسط آورد سالیانه (MAR)	نیاز جریان حداقل ($LFR = Q_{90}$)	نیاز جریان حداکثر (HFR)	جریان زیست‌محیطی (m^3/s)
ینگی‌کند	۳/۳۷	۰/۵۹	۰/۵۰	۱/۰۹

جدول ٤- نیاز آب زیست‌محیطی ایستگاه ینگی‌کند برحسب درصدی از MAR برای کلاس‌های اکولوژیکی A تا D

نام ایستگاه	متوسط آورد سالیانه (m^3/s)	نیاز آب زیست‌محیطی بلند مدت (EWR) (درصدی از MAR)					
		A	A/B	B	B/C	C	C/D	D
ینگی‌کند	۳/۳۷	۲۹/۷۶	۲۵/۷۵	۲۱/۵۷	۱۸/۸۶	۱۶/۲۳	۱۴/۷	۱۲/۸۲



شکل ۲- توزیع ماهیانه جریان زیست محیطی بدست آمده از روش DRM (m^3/s)

روش انتقال منحنی تداوم جریان (FDC shifting)

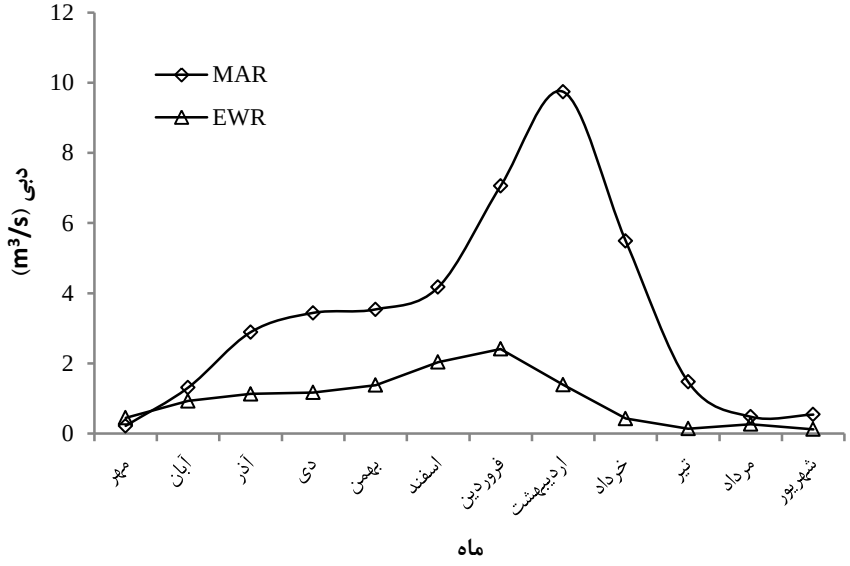
برای محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی با روش FDC shifting از نرم‌افزار GEFC استفاده می‌شود. داده‌های بلندمدت جریان ماهانه به فرمت Text تبدیل و وارد نرم‌افزار گردید. این روش برای کلاس‌های مختلف مدیریتی جریان‌های مختلفی را ارائه می‌کند. مهم‌ترین مسأله در این روش، استفاده مناسب از شیفت‌های عرضی در هر کلاس مدیریت زیست‌محیطی است. تعیین تعداد شیفت‌های عرضی منحنی تداوم جریان در هر کلاس، بدون آگاهی از ارتباط بین مشخصات اکولوژیکی و تغییرات جریان در رودخانه‌ها با رژیم‌های هیدرولوژیکی مختلف، مشکل است. باتوجه به فقدان اطلاعات در این تحقیق، از حداقل شیفت عرضی ممکن در هر کلاس (یک شیفت عرضی) استفاده شد.

در جدول ۵ نیاز زیست‌محیطی ایستگاه ینگی‌کند برحسب درصدی ازMAR برای کلاس‌های زیست‌محیطی A تا F ارائه شده است. مطابق نتایج، در این ایستگاه برای حفظ جریان زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود، در کلاس A (طبیعی)، ۷۳ درصد MAR، در کلاس B (اندک تغییریافته)، ۴۸ درصد MAR، در کلاس C (نسبتا تغییریافته)، ۳۲ درصد MAR و در کلاس D (تا حد زیادی تغییریافته)، که حداقل کلاس قابل قبول است، ۲۲ درصد MAR مورد نیاز است. در این روش از بین شش کلاس مدیریتی در ایستگاه ینگی‌کند، با توجه به‌اینکه کلاس‌های A و B درصدهای بالایی را برای جریان زیست‌محیطی هر ماه در نظر می‌گیرند، کلاس مدیریتی

C انتخاب گردید. در شکل ۳، نتایج توزیع ماهانه جریان زیست-محیطی برای ایستگاه ینگی‌کند رودخانه سجاس‌رود در کلاس انتخابی ارائه شده است. براساس نتایج، دبی زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه ینگی‌کند برابر ۰/۹۹ مترمکعب بر ثانیه (حجم جریان سالیانه ۳۱/۲ میلیون متر مکعب) معادل با ۲۹/۴٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) است. در دو روش DRM و FDC shifting اساس طبقه‌بندی مشابه هم است و هر دو برای وضعیت‌های اکولوژیکی مختلف، جریان‌های زیست‌محیطی مختلفی را پیشنهاد می‌کنند. با مقایسه نتایج این دو روش مشاهده می‌شود که مقادیر جریان زیست‌محیطی پیشنهادی FDC shifting ایستگاه ینگی‌کند رودخانه سجاس‌رود تقریبا دو برابر روش DRM است. از طرفی مقایسه نتایج روش اسماختن و FDC shifting نشان می‌دهد که مقادیر دبی زیست‌محیطی این دو روش تقریبا برابر یکدیگر است.

جدول ۵- نیاز آب زیست‌محیطی ایستگاه ینگی‌کند برحسب درصدی از MAR برای کلاس‌های زیست‌محیطی A تا F

نام ایستگاه	متوسط آورد سالیانه (MAR) (m^3/s)	نیاز آب زیست‌محیطی بلندمدت (EWR) به‌صورت درصدی از MAR					
		کلاس A	کلاس B	کلاس C	کلاس D	کلاس E	کلاس F
ینگی‌کند	۳/۳۷	۷۳	۴۸	۳۲	۲۲	۱۴	۹



شکل ۳- توزیع ماهیانه جریان زیست محیطی با استفاده از روش FDC shifting در کلاس C برای ایستگاه ینگی‌کند (m^3/s)

روش شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی (7Q10 و 7Q2)

در این روش ابتدا سری زمانی جریان‌های حداقل ۷ روزه در رودخانه سجاس‌رود در سال‌های آماری موجود محاسبه شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Smada، آمار جریان‌های حداقل ۷ روزه در ایستگاه مطالعاتی با انواع تابع توزیع احتمال مورد تحلیل فراوانی قرار گرفت. برای انتخاب بهترین تابع توزیع احتمال برای رودخانه سجاس‌رود از آزمون خطای استاندارد استفاده شد. نتایج محاسبات آزمون خطای استاندارد برای ایستگاه ینگی‌کند نشان داد که داده‌ها به توزیع گامبل گرایش خوبی داشته و در این توزیع نسبت به توزیع‌های دیگر خطای کمتری دارد. نتایج نهایی حاصل از مقادیر شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی برای رودخانه سجاس‌رود در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که دبی جریان زیست‌محیطی در ایستگاه ینگی‌کند برابر با ۷/۷ درصد متوسط جریان سالانه را شامل می‌شود و مقدار دبی زیست‌محیطی معادل آن برابر ۰/۲۶ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد مقایسه نتایج این روش با سه روش قبلی مورد مطالعه نشان می‌دهد که دبی زیست‌محیطی روش شاخص‌های منفرد جریان کم آبی در حدود یک چهارم مقدار محاسبه شده روش اسماختن و FDC shifting و نصف روش DRM است. روش شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی بر پایه حداقل متوسط‌های هفت روزه در سال می‌باشد و در سال‌های اخیر ایستگاه ینگی‌کند دارای آبدهی کمی می‌باشد و تعداد جریان‌های صفر در آن بیشتر اتفاق افتاده است و در نتیجه دبی زیست‌محیطی این روش کمتر برآورد شده است (آژ، ۱۳۹۴).

جدول ٦- جریان‌های حداقل ۷ روزه با دوره بازگشت ۲ و ۱۰ سال برای رودخانه سجاس‌رود

ایستگاه	7Q10		7Q2	
	(m^3/s)	% MAR	(m^3/s)	% MAR
ینگی‌کند	۰/۲۶	۷/۷	۰/۰۱۴	۰/۴

روش کیفیت آب (رابطه Q)

در این تحقیق آمار کیفیت شیمیایی آب رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه مطالعاتی ینگی‌کند (تهیه شده از سازمان آب منطقه‌ای زنجان) مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه پارامترهای آماری مربوط به کیفیت شیمیایی آب رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه مطالعاتی ینگی‌کند در جدول ۷ ارائه شده است. برای استفاده از رابطه Q جهت محاسبه دبی زیست‌محیطی، در بین پارامترها، مقدار TDS به‌دلیل بحرانی بودن مقدار آن انتخاب شد و با توجه به آن، دبی مورد نیاز محاسبه گردید و هم‌چنین باتوجه به‌اینکه در محل‌های پایش شده جریان دیگری به رودخانه وارد نمی‌شود، لذا مقادیر Q و C با اندیس ۲ برابر صفر درنظر گرفته شد. براساس استاندارد EPA ایالات متحده، غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان مقدار TDS مطلوب در نظر گرفته می‌شود (Anonymous, 2006)، بنابراین در این تحقیق در ایستگاه مطالعاتی به تفکیک فصول با توجه به بحرانی‌ترین مقدار آلودگی و دبی مربوط، دبی زیست‌محیطی (Qc) برای رودخانه سجاس‌رود ارزیابی شد که نتایج حاصل در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود که در این ایستگاه دبی زیست-محیطی برابر ۱/۴۸ مترمکعب بر ثانیه (حجم جریان سالیانه ۴۶/۶ میلیون متر مکعب) معادل با ۴۳/۹٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) برآورد شده است.

جدول ۷- خلاصه پارامترهای کیفیت شیمیایی آب رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه ینگی‌کند

پارامتر	TDS (mg/L)	PH	EC	آنیون‌ها (میلی اکی والانت بر لیتر)			کاتیون‌ها (میلی اکی والانت بر لیتر)				SAR	کلاس آب
			(mmohs/cm)	HCO3	SO4	CL	Ca	Mg	Na	K		
حداقل	۲۶۴	۶/۹۰	۰/۴۱	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۹۰	۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۰۲	۱/۰۹	c2-s1
حداکثر	۲۲۴۷۸	۸/۶۵	۳۵/۶۸	۷/۱	۵۲/۰	۳۰۵/۵	۱۰/۰	۳۵/۰	۳۶۸/۴	۱/۴۰	۷۷/۶۷	c3-s1
متوسط	۱۱۲۶/۹	۷/۷۴	۱/۸	۴/۶۹	۳/۵۸	۹/۴۴	۳/۳۳	۶/۶۸	۱۰/۷۶	۰/۱۴	۵/۷۵	c4-s2

جدول ۸- محاسبه دبی زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود با استفاده از روش کیفیت آب (رابطه Q)

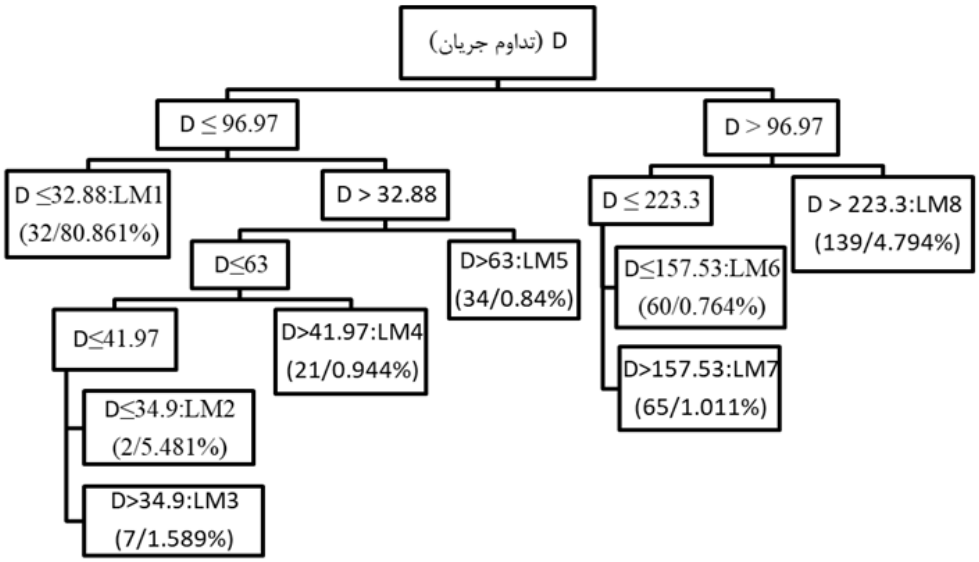
نام ایستگاه	فصل	تاریخ نمونه برداری	پارامترهای رابطه Q (دبی برحسب m^3/s و C برحسب mg/L)						Qc سالانه (m^3/s)
			Q_1	C_1	Q_2	C_2	C_0	Q_c	
ینگی‌کند	بهار	۱۳۸۸/۰۳/۳۰	۰/۷۴۴	۲۶۹۰	۰	۰	۵۰۰	۳/۲۵۹	۱/۴۸
	تابستان	۱۳۸۳/۰۴/۱۲	۰/۰۴۶	۱۷۸۳	۰	۰	۵۰۰	۰/۱۱۸	
	پاییز	۱۳۹۰/۰۹/۰۳	۰/۳۲۰	۲۶۰۰	۰	۰	۵۰۰	۱/۳۴۴	
	زمستان	۱۳۹۵/۱۱/۰۶	۰/۴۹۷	۱۷۰۰	۰	۰	۵۰۰	۱/۱۹۳	

روش تصمیم‌گیری درختی (M5)

برای محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود با استفاده از روش تصمیم درختی از نرم‌افزار Weka استفاده شد. داده-های مورد نیاز نرم‌افزار، داده‌های متوسط آورد ماهانه و تداوم (روز) است که داده‌ها به‌صورت نزولی مرتب شد و وارد نرم‌افزار گردید. با ترسیم منحنی تداوم جریان رودخانه، مطابق شاخص Q_{95}، دبی که در طول ۱۱ ماه از سال (۳۳۹ روز) تداوم دارد، به عنوان دبی زیست-محیطی رودخانه برآورد می‌شود (کاظمی و قرمزچشمه، ۱۳۹۵ ;Sattari et al., 2013). در شکل ۴ ساختار بهترین مدل درختی M5 برای تعیین دبی رودخانه به ازای تداوم جریان مورد نظر و در جدول ۹ روابط خطی بهترین مدل درختی M5 برای محاسبه دبی، ارائه شده است (Q دبی جریان برحسب m^3/s و D تداوم جریان برحسب روز است). در شکل ۴، اعداد داخل پارانتز به ترتیب بیانگر تعداد نمونه‌های هر رابطه و درصد خطای آن می‌باشد. مشاهده می‌شود که به غیر از رابطه اول (برای D≤ ۳۲/۸۸)، همه روابط ارائه شده توسط مدل درختی دارای خطای کمتر از ۶ درصد می‌باشند. براساس نتایج مدل درختی (شکل ۴)، رودخانهٔ سجاس‌رود دارای ۸ رژیم تداوم جریان یا تغییرات دبی رودخانه‌ای است. مطابق شکل ۴، تداوم ۹۷ روز به عنوان ریشهٔ توسعهٔ مدل درختی قرار دارد. عدد ۹۷ بدین معنی است که در ۹۷ روز از سال معادل ۳/۲ ماه از سال، دبی‌های ۱۰/۲۳ m^3/s و بیشتر از آن تداوم داشته است. این مقدار دبی (Q_{27}) تقریبا برابر با دبی نرمال در حالت پرآبی رودخانه (Q_{25}) است که اصطلاحا دبی شرایط

ترسالی جریان رودخانه را نشان می‌دهد (اسلامی و شکوهی، ۱۳۹۲). در زیرشاخهٔ سمت راست مدل درختی، تداوم ۲۲۳/۳ روز بیانگر شاخص Q_{64} یا دبی ۵/۷۳ m^3/s است که این مقدار تقریبا شرایط آستانه ورود به دورهٔ خشکسالی (Q_{70}) این رودخانه را نشان‌می‌دهد. در زیرشاخهٔ سمت چپ مدل درختی نیز، تداوم ۳۲/۸۸ و ۶۳ روز به ترتیب نشان دهندهٔ تقریبی شاخص Q_{10} و Q_{20} می‌باشند (اسلامی و شکوهی، ۱۳۹۲). در مدل درختیM5 با ارائهٔ رابطه برای بازه‌های مختلف فراوانی، می‌توان دیگر مقادیر دبی‌های مشخصهٔ رودخانه را محاسبه کرد. به عنوان مثال دبی نرمال در حالت کم آبی (مقداری که در ۲۷۴ روز از سال دبی رودخانه مساوی یا بالاتر از آن باشد)، با استفاده از مدل شمارهٔ ۸ (جدول ۹) برابر ۱/۱۱ m^3/s به دست می‌آید. همچنین دبی مشخصهٔ ماکزیمم (مقدار دبی که ۱۱ روز در سال دبی مساوی یا بیشتر از آن باشد) ۲۳/۸۳ m^3/s بدست می‌آید که این مقدار به عنوان دبی طغیان معمولی سالانهٔ رودخانه استفاده می‌شود (مهدوی، ۱۳۹۵). با کمک روابط منحنی تداوم جریان و استخراج حدود آستانهٔ Q_{70} تا Q_{95} ، خشکسالی هیدرولوژیکی حوزهٔ رودخانه تحلیل می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴ ;Bayazidi et al., 2010). همچنین روابط مدل M5 در منطقه‌ای کردن منحنی تداوم جریان حوزه‌های بدون آمار (زارع چاکوکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ شهنواز و همکاران، ۱۳۹۴)، صحت سنجی مدل هیدرولوژیکی بارش- رواناب (یوسفی مبرهن و همکاران، ۱۳۹۴) و تعیین متوسط رسوب معلق رودخانه با کمک منحنی سنجه رسوب قابل استفاده است (سپهوند و همکاران، ۱۳۹۱). بنابر نتایج حاصل می‌توان گفت، مدل درختی M5 ضمن توانایی قابل قبول در تخمین دبی‌های منحنی تداوم جریان، دارای مزیت سادگی محاسبه‌ها و معادله‌های ارائه شده است (Sattari et al., 2013) و با استخراج Q_{90} الی Q_{95} از منحنی تداوم جریان (به ترتیب دبی‌ای که بزرگتر یا برابر ۳۲۹ یا ۳۴۷ روز از سال باشد)، می‌توان حقآبهٔ زیست‌محیطی (Alcazar and Palau, 2010; Shaeri Karimi et al, 2012) یا جریان پایهٔ رودخانه (کاظمی و قرمزچشمه، ۱۳۹۵) را تخمین زد. بر این اساس مقدار دبی زیست‌محیطی براساس روش تصمیم‌گیری درختی برابر ۱/۱۰ مترمکعب بر ثانیه (حجم جریان سالیانه ۳۴/۹۱ میلیون متر مکعب) معادل با ۳۲/۸٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) برآورد گردید.

خلاصه نتایج برآورد مقادیر متوسط دبی زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه مطالعاتی ینگی‌کند با استفاده از شش روش در جدول ۱۰ ارائه شده است. مطابق نتایج تحقیق حاضر، متوسط دبی زیست‌محیطی سه روش اسماختن، FDC shifting و مدل درختی M5 تقریبا برابر هم است (به ترتیب با مقادیر ۱/۰۹، ۰/۹۹، ۱/۱۰ m^3/s). با توجه به اینکه در انتخاب مناسب‌ترین روش محاسبه جریان زیست‌محیطی، روش یا روش‌هایی مدنظر است که درصدهای قابل قبولی از MAR (۳۰-۲۰ درصد) را ارائه دهند (شاه محمدنژاد و بایزیدی، ۱۴۰۱)، بنابراین می‌توان در رودخانهٔ سجاس‌رود جریان زیست‌محیطی برای ایستگاه ینگی‌کند را برابر ۱/۱۰ مترمکعب بر ثانیه (حجم جریان سالیانه ۳۴/۹۱ میلیون متر مکعب) معادل با ۳۲/۸٪ متوسط جریان سالیانه (MAR) توصیه نمود.



شکل ٤- ساختار بهترین مدل درختی M5 برای تعیین دبی به ازای تداوم مورد نظر برای ایستگاه ینگی‌کند

جدول ۹- روابط خطی بهترین مدل درختی M5 برای محاسبه دبی برای ایستگاه ینگی‌کند

شماره مدل خطی	رابطه ارائه شده
LM num:1	Q = (-0.0166×D) + 24.019
LM num:2	Q = (-0.003×D) + 11.5946
LM num:3	Q = (-0.0029×D) + 11.4082
LM num:4	Q = (-0.0026×D) + 10.9849
LM num:5	Q = (-0.0024×D) + 10.4618
LM num:6	Q = (-0.0009×D) + 6.4754
LM num:7	Q = (-0.0007×D) + 5.57
LM num:8	Q = (-0.0001×D) + 1.1396

جدول ۱۰- متوسط دبی زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه ینگی‌کند با استفاده از روش‌های مختلف

نام روش	اسماختن	DRM	FDC shifting	$7Q_{10}$	کیفیت آب	مدل درختی M5	دبی زیست‌محیطی پیشنهادی
EWR (m^3/s)	۱/۰۹	۰/۵۵	۰/۹۹	۰/۲۶	۱/۴۸	۱/۱۰	۱/۱۰
MAR (%)	۳۲/۳	۱۶/۲۳	۲۹/۴	۷/۷	۴۳/۹	۳۲/۸	۳۲/۸

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانه سجاس‌رود در ایستگاه مطالعاتی ینگی‌کند، از شش روش اسماختن، مدل ذخیره رومیزی (DRM)، انتقال منحنی تداوم جریان زیست-محیطی (FDC shifting)، شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی ($7Q_{10}$ و $7Q_2$)، کیفیت آب و تصمیم‌گیری درختی (M5) استفاده شد. با توجه به نتایج مشاهده شد که کم‌ترین میزان دبی زیست‌محیطی برآورد شده مربوط به روش شاخص‌های منفرد جریان‌های کم‌آبی $7Q_{10}$ و $7Q_2$ است که با نتایج برخی تحقیقات هم‌خوانی دارد (آژ، ۱۳۹۴؛ مصطفوی و یاسی، ۱۳۹۴؛ همتی و همکاران، ۱۳۹۹). روش شاخص‌های منفرد جریان کم‌آبی بر پایه حداقل متوسط‌های هفت روزه در سال می‌باشد و در سال‌های اخیر ایستگاه ینگی‌کند دارای آبدهی کمی می‌باشد و تعداد جریان‌های صفر در آن بیشتر اتفاق افتاده است و در نتیجه دبی زیست‌محیطی این روش کمتر برآورد شده است. از طرفی بیش‌ترین مقدار متوسط دبی زیست‌محیطی با روش کیفیت آب حاصل شدکه با نتایج مطالعات مصطفوی و یاسی (۱۳۹۴) هم‌خوانی خوبی دارد. مطابق نتایج تحقیق حاضر، سه روش اسماختن، FDC shifting و مدل درختی M5 با مقادیر دبی زیست‌محیطی تقریبا برابر هم، درصدهای قابل قبولی در حدود ۳۰ درصد MAR را ارائه داده اند، در حالی‌که سه روش دیگر درصدهای خیلی زیاد یا خیلی کم ارائه داده‌اند (آژ، ۱۳۹۴). روش اسماختن برای تمام ماه‌های سال مقدار ثابتی را به عنوان جریان زیست‌محیطی ارائه می‌دهد و این مقدار ممکن است در برخی ماه‌ها از جریان طبیعی رودخانه بیشتر باشد که معنی‌دار نیست. به عبارت دیگر چون این روش از داده‌های جریان ماهانه تاثیر نمی‌پذیرد نمی‌تواند به تنهایی روش مناسبی برای تعیین دبی زیست‌محیطی باشد. در روش انتقال منحنی تداوم جریان به منظور حفظ الگوی کلی تغییر پذیری جریان از شیفت منحنی تداوم طبیعی استفاده می‌شود و بر این اساس کلاس مدیریتی C به عنوان کلاس مورد نظر انتخاب شد. در این کلاس عملکرد اساسی اکوسیستم دست نخورده باقی می‌ماند و اکثر گونه‌ها حفظ می‌شوند. مدل درختی نیز M5 با ارائه روابط منحنی تداوم جریان علاوه بر ارائه مقادیر مناسب دبی زیست‌محیطی (به ازای معیار Q_{90}-Q_{95})، قادر به ارائه مقادیر دبی‌های مشخصهٔ رودخانه است.

منابع

آژ، س. ۱۳۹۴. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه زولاچای با روش‌های اکوهیدرولوژیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه. ارومیه.

اسلامی، ع. ر. و شکوهی، ع. ر. ۱۳۹۲. تحلیل وضعیت جریان رودخانه با استفاده از شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی زیست‌محیطی. نشریهٔ مهندسی و مدیریت آبخیز. ۵(۲): ۱۳۳-۱۲۵.

پیروزیان، الف.، سرائی تبریزی، م. و صدقی، ح. ۱۳۹۹. بررسی روش-های مختلف تخمین نیازآب زیست‌محیطی(مطالعه موردی: رودخانه الندچای). نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۲(۷): ۴۱-۲۵.

حبیبی آلاگوز، س. و یاسی، م. ۱۳۹۸. تعیین سهم جریان زیست-محیطی دریاچه ارومیه از رودخانه گدارچای با استفاده از روش-های هیدرولوژیکی. نشریه دانش آب و خاک. ۲۹(۲): ۸۴-۷۳.

زارع چاکوکی، ا.، سلاجقه، ع.، مهدوی، م.، خایقی، ش. و اسدی، س. ۱۳۹۲. مدل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان حوزه‌های آبخیز بدون آمار مناطق خشک (مطالعه موردی: ایران مرکزی). نشریه مرتع و آبخیزداری. ۶۶(۲): ۲۶۵-۲۵۱.

رزاقی رضائیه، آ.، احمدی، ح.، حق دوست، ن. و حصاری، ب. ۱۳۹۷.

ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه با روش‌های اکوهیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه مهابادچای). پژوهش-های حفاظت آب و خاک. ۲۵(۶): ۶۵-۴۷.

رضایی، ن. و یاسی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه سیمینه رود با روش‌های هیدرولوژیکی. اولین همایش ملی علوم زمین و توسعه شهری. دانشگاه تبریز. تبریز. ایران.

سپهوند، ع. ر.، عزارخوانی، ن.، طائی سمیرمی، م. و عسگری، ش. ۱۳۹۱. مقایسه روابط تجربی رواناب-رسوب حاصل از منحنی‌های سنجهٔ رسوب و شبکهٔ عصبی مصنوعی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز گدارخوش، استان ایلام). فصلنامه پژوهشهای فرسایش طبیعی. ۷: ۴۳-۲۹.

شاه محمدنژاد، ر. و بایزیدی، م. ۱۴۰۱. برآورد جریان اکولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن در استان کردستان با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی. ۱۵ مجله آبیاری و زهکشی ایران. (۵): ۱۰۶۶-۱۰۵۲.

شهنواز، ی.، موسوی، س. ف.، ملکیان، آ.، دستورانی، ج. و سمیعی، م. ۱۳۹۴. تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان برای زیرحوضه‌های فاقد آمار (مطالعه موردی: حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ نمک). مجله پژوهش آب ایران. ۹(۳): ۳۵-۲۷.

قاسمی، ع.، ولی نسب، ت. و محمدپور، م. ۱۴۰۱. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه با روش‌های هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک به‌منظور حفاظت از اکوسیستم آبی و آبزیان. مجله علمی شیلات ایران. ۳۱(۴) :۱۰۷-۱۱۹

کاظمی، ر. و قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۵. بررسی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان (مطالعه موردی: ناحیه خزری). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۳(۲): ۱۴۵-۱۳۱.

کریمی، م.، شاهدی، ک. و بایزیدی، م. ۱۳۹۴. تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی با روش حد آستانه ثابت (مطالعه موردی: حوزهٔ آبخیز کرخه). پژوهشنامه مدیریت حوزهٔ آبخیز. ۱۱: ۷۲-۵۹.

مهتابی، ق. و بیات، ف. ۱۳۹۶. مقایسه عملکرد مدل درختی M5 با مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان در استخراج منحنی تداوم جریان (مطالعه موردی: ایستگاه خزانگاه رودخانه ارس). مجله جغرافیا و توسعه. ۴۹: ۱۴۲-۱۲۹.

مصطفوی، س. و یاسی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی حداقل جریان زیست-محیطی رودخانه‌ها با روش‌های اکو-هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه باراندوزچای-حوضه دریاچه ارومیه). نشریه آب و خاک (علوم صنایع کشاورزی). ۲۹(۵): ۱۲۳۱-۱۲۱۹.

مهدوی، م. ۱۳۹۵. هیدرولوژی کاربردی (جلد ۲). چاپ یازدهم. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۴۲ صفحه.

نادری، م. ح.، ذاکری نیا، م. و سالاری جزی، م. ۱۳۹۶. محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه قره سو در مصب ورودی به خلیج گرگان. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت. دانشگاه تهران. ایران.

همتی، م.، علیزاده، س.، یاسی، م. و ایلخانی‌پور، ر. ۱۳۹۹. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه آجی‌چای با روش‌های اکو-هیدرولوژیکی. مجله آبیاری و آب ایران. ۱۰(۴): ۴۵-۳۳.

یوسفی مبرهن، ا.، کامبخش، ف.، فهیم، ن. و فهیم، ع. ۱۳۹۴. کارایی روش منحنی تداوم جریان در صحت‌سنجی مدل هیدورلوژیکی (مطاله موردی: حوزهٔ آبخیز زولاچای). نشریه دانش آب و خاک. ۲۶(۲-۱): ۱۱۳-۱۰۱.

Alcazar, J. and Palau, A. 2010. Mediterranean watershed based on a regional classification. Journal of Hydrology. 388: 41-51.

Anonymous, 1997. White paper on a National Water Policy for South Africa. Pretoria, South Africa: Department of Water Affairs and Forestry.

Anonymous, 2006. 2006 Edition of the drinking water standards and health advisories. Office of Water United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA.

Barker, I. and Kirmond, A. 1998. Managing surface water abstraction. In: Hydrology in achanging environment. 1, Wheater, H. and Kirby, C. (Eds.), British Hydrological Society, London, UK, 249–258.

Bayazidi, M., Saghafian, B., Sedghi, H. and Kaveh, F. 2010. Analysis of hydrological drought in Karoon river basin by daily discharge data. Watershed Management Researches Journal. 86: 52-63.

Bhattacharya, B. and Solomatine, D. P. 2005. Neural networks and M5 model trees in modeling water. level-discharge relationship Neurocomputing. European Symposium on Artificial Neural Networks. 63: 381-396.

Constanza, R., d' Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O´Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystems services and natural capital. Nature. 387: 253-260

Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J. 2003. Flow: essentials of environmental flows. London: Gland.

Hughes, D. A. and Smakhtin, V. U. 1996. Daily flow time series patching or extension: a spatial

Pyrce, R. 2004. Hydrological low flow indices and their uses. Watershed Science Centre. WSC Report No. 04, Trent University, Peterborough, Ontario.

Sattari, M. T., Pal, M. Apaydin, H. and Ozturk, F. 2013. M5 Model Tree Application in Daily River Flow Forecasting in Sohu Stream, Turkey.Water Resources. 40(3): 233-242.

Shiferaw, A. 2007. Environmental flow assessment at the source of the Blue Nile River, Ethiopia. Master Thesis, Addis Ababa University.

Shaeri Karimi, S., Yasi, M. and Eslamian, S. 2012. Uses of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. International Journal of Environmental Science and Technology. 9: 549-558.

Smakhtin, V. U., Revenga, C. and Doll, P. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. Water International. 29: 307-31.

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.

Spiegel, M. R. 1988. Theory and Problems of Statistics, Second Edition. Schaum's Outline Series in Mathematics. New York: McGraw-Hill.

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.

interpolation approach based on flow duration curves. Journal of Hydrological Sciences. 41(6): 851–871

Jowett, I.G. 1997. Instream flow methods: a comparison of approaches. Regulated Rivers Research & Management. 13: 115-127.

Jushi, K. D., Jha, D. N., Alam, A, Srivastava, S. K., Kumar, V. and Sharma, A. P. 2014. Environmental Flow requirements of river sone: impact of low discharge on fisheries. Current Science. 107(3): 478-488.

Kashaigili, J. J., Mccartney, M. and Mahoo, H. F. 2007. Estimation of environmental flows in the Great Ruaha River Catchment, Tanzania. Journal of Physics and Chemistry of the Earth. 32: 1007–1014.

Książek, L., Woś, A., Florek, J., Wyrębek, M., Młyński, D. and Wałęga, A. 2019. Combined use of the hydraulic and hydrological methods to calculate the environmental flow: Wisloka River, Poland: case study. Environmental Monitoring and Assessment. 191(254): 1-17.

Ni, X., Dong, Z.; Xie, W., Wu, S., Chen, M., Yao, H. and Jia, W. A. 2022. Practical Approach for Environmental Flow Calculation to Support Ecosystem Management in Wujiang River, China. International Journal of Environmental Research and Public Health. 19: 11615

Orth, D. J. and Maughan, O. E. 1981. Evaluation of the Montana Method for Recommending Instream Flows in Oklahoma Streams. Proceedings of the Oklahoma Academy of Science. 61: 62-66.

Pal, M. and Deswal, S. 2009. M5 model tree based modeling of reference evapotranspiration. Hydrological Process. 23(10): 1437-1443.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 17, Feb.-Mar. 2024, p. 1231-1244

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۷، بهمن - اسفند ۱۴۰۲، ص. ۱۲۴۴-۱۲۳۱

Determination Of Environmental Flow Requirement Of Sojasrood River Using Water Quality And Decision Tree Methods And Comparison With Hydrological Methods

F. Mirzamohammadloo[1], **G. Mahtabi**[2]*, **M. Mohammadi Ayalooi**[3], **Z. Abdollahi**[4]
Recived: Oct.11, 2023 Accepted: Nov.18, 2023

Abstract

In this study, the environmental flow of the Sojasrood River (Yengikand station) at Zanjan province was calculated using the water quality (the so-called Q relationship) and M5 tree decision methods and then the results were compared with the four hydrological methods (Smakhtin, desktop reserve model, FDC shifting and single low flow indices ($7Q_{10}$ and $7Q_2$). Evaluation of the hydrological methods showed that the FDC shifting method has the proper accuracy than other methods in determining the environmental flow of the Sojasrood River. Based on the FDC shifting method, the environmental flow (Environmental Management Class C) at Yengikand station was equal to 0.99 (m^3/s), respectively, which is equal to 29/4% of MAR. The maximum value of environmental flow was obtained by the water quality method (1.48 m^3/s, equal to 43.9% of MAR) and the minimum value of environmental flow was obtained by $7Q_{10}$ and $7Q_2$ method (0.26 m^3/s, equal to 7.7% of MAR) while, the environmental flow was determined 1.11 m^3/s (equal to 32.8% of MAR) based on the tree decision method. In sum, the tree decision method (M5) extracted the equations of flow duration curve and could properly determine the environmental flow and is able to provide the values of characteristic discharges of a river.

Keywords: Environmental flow, Decision tree, FDC shifting, Sojasrood,Water quality

1- M.Sc. graduated of hydraulic structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2- Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3- M.Sc. graduated of water resources, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4- Assistant Professor, Zanjan Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran
(*-Corresponding Author Email: ghmahatabi@znu.ac.ir)