



مقاله علمی - پژوهشی:

ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه با روش های هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک به منظور حفاظت از اکوسیستم آبی و آبریان

عارفه قاسمی^{۱*}، تورج ولی نسب^۲، مریم محمدپور^۳

*arefeh.ghasmi@modares.ac.ir

۱- گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- پژوهشکده شرکت سهامی آب منطقه ای، آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۱

چکیده

بقاء و ادامه حیات آبریان و زیستگاه های طبیعی نیازمند حفظ رودخانه ها به عنوان مهم ترین اکوسیستم های آبی می باشند. در سال های اخیر، تغییرات آب و هوایی، سدسازی، صید بی رویه و آلودگی آب، جریان رودخانه ها، اکوسیستم های آبی و ماهیان را که شاخص های زیستی محسوب می شوند، در معرض خطر نابودی قرار داده است. در سراسر دنیا از روش های هیدرولوژیک متنوعی در راستای بهبود محیط اکولوژیک، حفظ رژیم طبیعی جریان و محافظت از تنوع بیولوژیک اکوسیستم ها استفاده می شود. در این مطالعه از روش های هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک (FDC Shifting و Tessman, Arkansas, Tennant, ABF) در برآورد جریان زیست محیطی رودخانه دره رود استان اردبیل در ایستگاه هیدرومتری شیران براساس دوره آماری ۳۰ ساله، استفاده شد. میانگین جریان زیست محیطی در روش جریان پایه آبریان و روش تنانت به ترتیب برابر با ۱/۵۱ و ۱/۶۳ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد که به دلیل عدم در نظر گرفتن تغییرات فصلی و تغییرات شدید جریان ماهانه بدون اصلاح، رویکردهای مناسبی نمی باشند. روش انتقال منحنی تداوم جریان با میانگین جریان زیست محیطی ۳/۶۷ مترمکعب بر ثانیه به علت در نظر گرفتن کلاس مدیریت زیستی مطابق با شرایط منطقه نسبت به سایر روش ها ارجحیت نشان داد. همچنین نتایج نشان داد، در شرایط کمبود اطلاعات اکولوژیک کامل، شاخص های هیدرولوژیک و کلاس های زیست محیطی در روش انتقال منحنی تداوم جریان، می توانند برای برآورد حقابه زیست محیطی مورد استفاده قرار بگیرند.

لغات کلیدی: اکوسیستم آبی، روش اکوهیدرولوژیک، روش هیدرولوژیک، جریان زیست محیطی، رودخانه دره رود

*نویسنده مسئول

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشند که دارای کارکردهای متعدد اکولوژیک و زیست‌محیطی هستند. برای پیشگیری از اثرات منفی درآمدت ساخت سدها و سایر طرح‌های توسعه‌ای بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، لازم است نیازهای هیدرولوژیک و اکولوژیک رودخانه در قالب یک نیاز زیست‌محیطی معین مدنظر قرار بگیرد. این اثرات منفی عمدتاً مربوط به ماهی‌ها و توقف تردد آنها در طول رودخانه است که ممکن است منجر به تغییر گونه‌ها یا از بین رفتن آنها شود. از سوی دیگر، کمبود آب در طول سال می‌تواند بر حیات وحش و اکولوژی یک رودخانه اثر بگذارد (Baghel et al., 2019). با این حال، تغییرات آب و هوایی، سدسازی، صید بی‌رویه، آلودگی آب و ورود گونه‌های ناشناخته به این اکوسیستم‌ها حدود ۶۵ درصد از جریان رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های آبی را تهدید می‌کند (Achieng et al., 2020). برقراری دائمی جریان زیست‌محیطی^۱ رودخانه شرط پایداری اکوسیستم آبی آن و ادامه حیات اکولوژیک رودخانه است (Kuriqi et al., 2019). امروزه محققان معتقدند که جریان‌های زیست‌محیطی، با توجه به بزرگی جریان و نوع خاص زیستگاه، می‌تواند تأثیر مطلوب و معنی‌داری بر ترکیب جوامع ماهیان داشته باشد (نادری و همکاران، ۱۳۹۹ Kim and Choi, 2010; Achieng et al., 2020). تغییرات رژیم جریان در رودخانه در اثر ساخت سدها در مراحل مختلف حیات و بقاء اکوسیستم آن تأثیرگذار است. پژوهشگران متعددی به ارزیابی برآورد جریان زیست‌محیطی برای حفظ اکوسیستم محیط‌زیست پرداختند. در مطالعه‌ای جریان زیست‌محیطی رودخانه Selangor (مالزی) براساس شاخص‌های هیدرولوژیک با روش محاسبه‌گر جریان محیطی طی یک دوره ۶۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۶۰) مورد ارزیابی قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل منحنی مدت جریان و کلاس مدیریت محیطی از جریان رودخانه نشان داده است که رودخانه Selangor (مالزی) باید تحت شرایط زیستی C مدیریت شود تا آب کافی برای استفاده

انسانی و محافظت از اکوسیستم فراهم شود (Hairan et al., 2021). پژوهشی با هدف بررسی جریان زیست‌محیطی رودخانه Haldizen (ترکیه) در پایین‌دست نیروگاه برقابی واقع بر آن، با روش‌های مختلف هیدرولوژیک انجام شده است. نتایج نشان داد که جریان زیست‌محیطی پیشنهادی با روش Tessman و روش Tennant در سطح خوب می‌تواند شرایط مناسبی را برای حفظ زیستگاه آبزیان فراهم کند (Karakoyun et al., 2016). در تحقیقی دیگر، ارزیابی جریان زیست‌محیطی با روش‌های هیدرولیک و اکوهیدرولوژیک در رودخانه مرزی زاب (غرب ایران) صورت گرفت. ارزیابی نتایج نشان داد که روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس زیستی B برای بازه بالادست مناسب است. در این گزینه زرده ماهی (*Euthynnus affinis*) به عنوان گونه شاخص زیستی انتخاب شده و در دو بازه میانی و پایین‌دست روش اکوهیدرولیک مناسب تشخیص داده شد (عبدی و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی دیگر، ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه غازمحله شهرستان کردکوی (استان گلستان) با روش‌های مختلف هیدرولوژیک به منظور محافظت از اکوسیستم رودخانه انجام شد. نتایج نشان داد، برای محافظت و بهبود وضعیت رودخانه در حداقل شرایط زیستی قابل‌قبول، روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس زیستی B نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد (نادری و همکاران، ۱۳۹۸). پژوهشگرانی در حوضه دره‌رود به اثر احداث سد یامچی و سد سبلان (استان اردبیل) بر تغییرات رژیم جریان و خشکسالی رودخانه‌های پایین‌دست آنها پرداختند. نتایج نشان داد که احداث سد یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین‌دست و افزایش وقوع رخداد‌های خشکسالی هیدرولوژیک شده است درحالی‌که سد سبلان باعث تعدیل و تنظیم رژیم جریان در پایین‌دست شده و از شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک کاسته و نقش بیشتری در تنظیم جریان داشته است (امینی و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهشی دیگر که با هدف برآورد دبی محیطی رودخانه دلفارد (جیرفت، کرمان) با استفاده از روش‌های Tennant، Tessman، میانگین جریان پایه و منحنی مدت تداوم جریان و مقایسه آن‌ها با یکدیگر انجام شد، نتایج نشان داد که روش تغییر منحنی تداوم جریان به دلیل در

¹ Environmental Flow Requirement

۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط ارتفاع آن معادل ۱۵۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد (مهاب قدس، ۱۳۹۰). شرایط کیفی آب رودخانه دره‌رود از منظر حفاظت آبزیان و اکوسیستم آبی آن، در دوره‌های پرآبی و کم‌آبی به‌ترتیب در کلاس‌های متوسط یا مرزی و متوسط قرار دارد (عشاپری و همکاران، ۱۳۹۳). محدوده مورد مطالعه از ایستگاه هیدرومتری مشیران تا سد عمارت را شامل می‌شود (شکل ۱). بیشترین طول دوره آماری مربوط به ایستگاه مشیران بر رودخانه دره‌رود (۹۹-۱۳۲۸) بوده است که قدیمی‌ترین ایستگاه در این حوضه آبریز است. نام و موقعیت ایستگاه هیدرومتری مشیران در رودخانه دره‌رود در جدول ۱ ارائه شده است.

روش تحقیق

در این مطالعه ابتدا آمار و اطلاعات ماهانه ایستگاه هیدرومتری مشیران از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل اخذ و پس از بررسی‌های اولیه صحت‌سنجی و همگن‌سازی اطلاعات صورت گرفت. سپس از روش‌های هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک شامل: روش جریان پایه آبزیان، روش Arkansas، روش Tennant، روش Tessman و روش انتقال منحنی تداوم جریان برای برآورد جریان زیست‌محیطی براساس سال‌های آبی ۹۹-۱۳۷۰ استفاده شد. اطلاعات ورودی این روش‌ها، آمار و اطلاعات مربوط به ایستگاه هیدرومتری مشیران واقع در رودخانه دره‌رود و در بالادست سد عمارت می‌باشد.

روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی

۱- جریان پایه آبزیان (ABF)^۱

روش جریان پایه آبزیان (ABF) یک روش از گروه روش‌های هیدرولوژیک است که به‌وسیله سرویس USFWS^۲ برای حوضه‌های آبریز کوچک اندازه‌گیری نشده توسعه داده شده است (Caissie and El-Jabi, 1995).

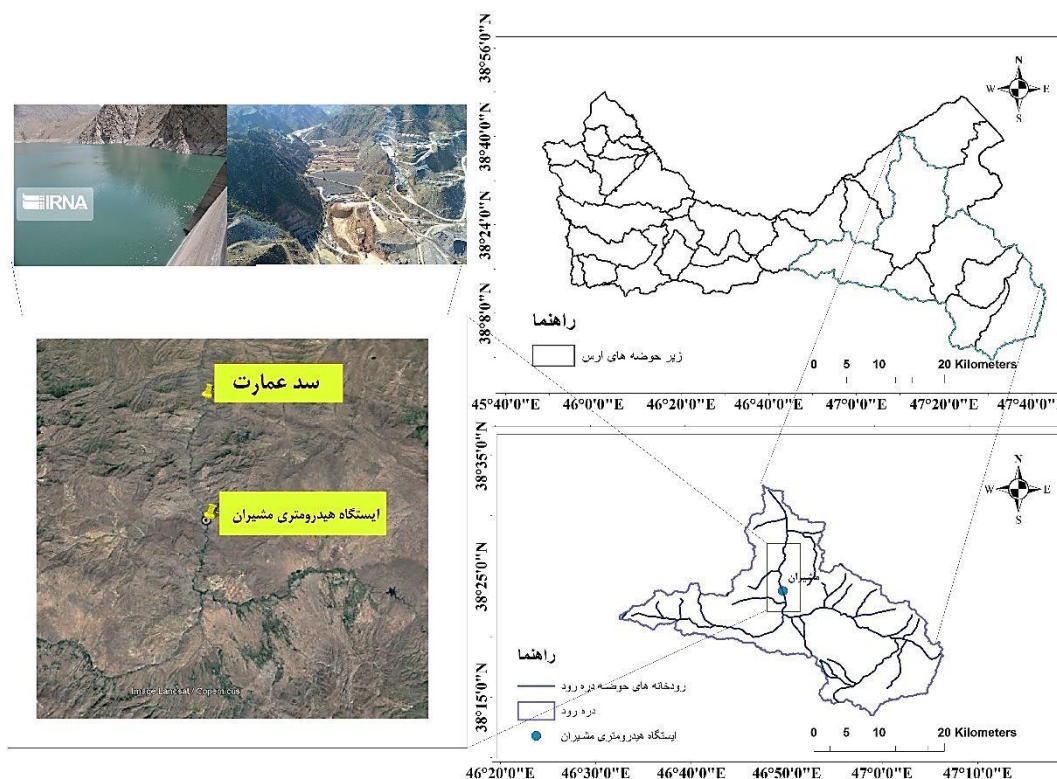
نظر گرفتن شرایط اکولوژی مناسب‌تر است (Ahmadpari *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای در راستای ارزیابی جریان موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها در ایران در برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قطورچای با استفاده از روش‌های هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک، روش انتقال منحنی تداوم جریان کلاس C به‌علت در نظر گرفتن شرایط اکولوژیک و انعطاف‌پذیری آن در ماه‌های پرآبی و کم‌آبی در کمترین وضعیت اکولوژیک قابل‌قبول، با شدت جریان معادل ۴۸ درصد جریان طبیعی رودخانه به منظور حفاظت از محیط اکولوژیک پیشنهاد داده شد (حبیبی آلاگوز و ستاری، ۱۳۹۷). در سال‌های اخیر، عدم تأمین آب موردنیاز بخش زیست‌محیطی با توجه به تغییرات اقلیمی و برداشت منابع احداث سد‌ها منجر به خشکی و آسیب فراوان به ارزش‌های زیستگاهی و اکولوژیک حوضه‌های آبریز شده است. هدف اصلی مطالعه حاضر، ارزیابی جریان زیست‌محیطی قسمتی از رودخانه دره‌رود در ایستگاه مشیران بر اساس رویکردهای ارزیابی جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک است. این مطالعه سعی دارد در غیاب داده‌های اکولوژیک و با اتکا به داده‌های هیدرولوژیک و شرایط زیستی منطقه که تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر تداوم حیات موجودات درون رودخانه و تأمین زیستگاه مناسب آبزیان دارد، تنظیم مناسب جریان زیست‌محیطی قسمتی از رودخانه دره‌رود را با استفاده از روش‌های مختلف هیدرولوژیک و اکوهیدرولوژیک به منظور محافظت از اکوسیستم رودخانه بررسی و ارزیابی کند.

مواد و روش کار

رودخانه دره‌رود در شمال‌غربی ایران و در منطقه مغان در استان اردبیل واقع شده است و از به‌هم پیوستن دو شاخه اهرچای و قره‌سو تشکیل شده و در نهایت به رود ارس منتهی می‌شود. حوضه آبریز این رودخانه با مساحت حدود ۱۴۵۷۷۰۰ هکتار، در دامنه بین عرض جغرافیایی ۴۵° و ۳۸° تا ۳۰° و ۳۹° شمالی و طول جغرافیایی ۱۰° و ۴۷° تا ۵۰° شرقی قرار گرفته است. متوسط بارندگی سالانه آن معادل ۳۰۲/۹ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه معادل

¹ Aquatic Base Flow

² The U.S Fish and Wildlife Service



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز دره‌رود، ایستگاه هیدرومتری و منطقه مورد مطالعه و نمایی از سیمای رودخانه دره‌رود
Figure 1: The location of Darreh-Rood watershed, hydrometric station and the selected section of the Darreh-Rood River

جدول ۱: نام و موقعیت ایستگاه هیدرومتری مشیران در بازه منتخب رودخانه دره‌رود

Table 1: The name and location of the Moshiran hydrometric station in the selected section of the Darreh-Rood River

نام رودخانه	نام ایستگاه	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
دره‌رود	مشیران	۱۳۲۸	۴۷/۵۳ شرقی	۳۸/۶۹ شمالی	۷۰۵

۳- Tennant

از سریع‌ترین روش‌های هیدرولوژیک برآورد حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها محسوب می‌شود که درصدی از میانگین جریان سالانه را به عنوان جریان زیست‌محیطی برای حفظ شرایط هیدرولوژیک رودخانه و شرایط زیست‌محیطی ماهیان در نظر می‌گیرد (Tennant, 1976). سطح قابل قبول این روش باتوجه به دستورالعمل ابلاغ شده وزارت نیرو معادل ۳۰ درصد دبی متوسط سالانه برای فروردین (به عنوان دوره پرآبی) و ۱۰ درصد دبی متوسط سالانه برای مهر تا اسفند (به عنوان دوره کم‌آبی) است.

فرض موجود در این روش بر اساس تعیین دبی پایه و میانگین جریان در خشک‌ترین ماه سال است تا برای ماهی‌ها و شرایط تخم‌ریزی و تولید مثل آنها کافی باشد.

۲- Arkansas

این روش بر این فرض استوار است که میانگین جریان یک رودخانه، ترکیبی از اندازه حوزه زهکشی، ژئومورفولوژی کانال رودخانه، آب و هوا، نوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی می‌باشد (Filipek et al., 1987). در این روش سال آبی بر اساس شرایط بیولوژیک و نرمال به سه دسته تقسیم می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲: تعیین جریان زیست محیطی به روش (Davis, 2005) Arkansas

Table 2: Determining environmental flow by Arkansas method (Davis, 2005)

دوره	آبان - اسفند	فروردین - تیر	مرداد - مهر
جریان زیست محیطی پیشنهادی	۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه	۷۰ درصد میانگین جریان ماهانه	۵۰ درصد میانگین جریان ماهانه
فرایندهای فیزیکی و بیولوژیک	تغذیه آب زیرزمینی و پاک سازی کانال رودخانه	تولیدمثل و تخم ریزی	پرورش ماهیان
شرایط نرمال	میانگین جریان ماهانه بالا دمای آب کم DO مقدار بالا	میانگین جریان ماهانه بالا دمای آب در حال افزایش DO به خصوص داخل سنگریزه ها، مقدار بالا	میانگین جریان ماهانه پایین دمای زیاد آب DO مقدار کم

۴- Tessman

روش Tessman (۱۹۸۰) بر اساس پیشنهادهای فصلی روش Tennant، ترکیبی از متوسط جریان سالانه MAF و جریان ماهانه MMF است که برای تعیین حداقل جریان ماهانه مورد نیاز استفاده می شود. قانون Tessman در ایالت Manitoba (کانادا) برای استفاده در جریان های چند ساله اعمال شده است. این روش «شرایطی خوب» از روش Tennant را ارائه می دهد. برای بررسی وضعیت هیدرولوژیک یک رودخانه، ارزیابی ماهانه نیاز زیست محیطی به روش Tessman در نظر گرفته شده است، اما استفاده از آن در مناطق خشک و نیمه خشک مناسب نیست. زیرا باعث ایجاد جریان های بسیار کم یا زیاد می شود که ممکن است در تخریب رودخانه ها تأثیر بگذارد (شهریاری نیا و همکاران، ۱۳۹۳).

۵- انتقال منحنی تداوم جریان (FDC shifting)^۱

روش حاضر یک رژیم هیدرولیک را برای محافظت از رودخانه در وضعیت اکولوژی مطلوب ارائه می دهد در اصطلاح «روش انتقال منحنی تداوم جریان» نامیده می شود که برخی از پژوهشگران به منظور ارزیابی جریان زیست محیطی در سامانه رودخانه ها از آن استفاده کرده اند (Smakhtin and Anputhas, 2006). این روش شامل چهار مرحله اصلی است: ۱- شبیه سازی وضعیت

هیدرولوژیک موجود، ۲- تعریف کلاس های مدیریت محیط زیستی (جدول ۳)، ۳- تولید منحنی های تداوم جریان محیط زیستی و ۴- تولید سری زمانی جریان محیط زیستی. برای محاسبه جریان زیست محیطی از نرم افزار GEFC استفاده می شود. موسسه بین المللی مدیریت آب (سريلانکا)، این نرم افزار را در سال ۲۰۰۷ برای ارزیابی اولیه و سریع نیاز زیست محیطی در رودخانه ها با همکاری گروه تحلیل سیستم های آبی آمریکا توسعه داده است. اطلاعات مورد نیاز این نرم افزار، آمار و اطلاعات بلندمدت (حداقل ۲۰ ساله) جریان ماهانه است (Archfield et al., 2013).

جدول ۳: کلاس های مدیریت محیط زیستی در روش انتقال

منحنی تداوم جریان (Ahn et al., 2018)

Table 3: Environmental management classes in the FDC shifting method (Ahn et al., 2018)

کلاس های مدیریت محیط زیستی (EMC)	شرایط اکولوژیک
A	طبیعی
B	تا حد زیادی طبیعی و با تغییرات کم
C	نسبتاً تغییر یافته
D	تا حد زیادی تغییر یافته
E	آسیب دیدگی زیاد زیستگاه طبیعی
F	تغییرات در سطح بحرانی

¹ Flow Duration Curve Shifting

نتایج

روش جریان پایه آبیان

جریان زیست محیطی به دست آمده از روش جریان پایه متوسط در این پژوهش نشان داد که میانگین جریان

زیست محیطی رودخانه دره رود در ایستگاه هیدرومتری مشیران، مقدار ۱/۵۱ مترمکعب بر ثانیه می باشد که در برخی ماهها از جریان حداقل نیز کمتر می باشد (جدول ۴).

محیطی رودخانه دره رود- ایستگاه مشیران به روش پایه آبیان (مترمکعب بر ثانیه) جدول ۴: جریان زیست

Table 4: Environmental flow of Darreh-Rood River - Moshiran station by aquatic base method (cubic meter per second)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
آبدهی متوسط	۴/۲۱	۶/۹۷	۸/۸۸	۹/۴۴	۹/۶۸	۱۲/۷۴	۲۱/۰۱	۱۵/۲۰	۶/۲۴	۲/۲۹	۱/۵۱	۱/۶۵
آبدهی حداقل	۰/۳۵	۱/۵۵	۱/۷۳	۱/۶	۲/۱۷	۲/۷۶	۱/۰۲	۰/۶۱	۰/۲۲	۰	۰	۰
جریان زیست محیطی	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۵۱

روش Arkansas

بررسی جریان زیست محیطی در این روش نشان داد، مقدار برآورد شده متوسط جریان زیست محیطی در ماههای مرداد و اردیبهشت به ترتیب در محدوده ۱۴/۷۱-۰/۷۶ مترمکعب

بر ثانیه قرار دارند که برابر ۵۰ و ۷۰ درصد متوسط جریان ماهانه می باشد (جدول ۵).

جدول ۵: جریان زیست محیطی رودخانه دره رود- ایستگاه مشیران به روش Arkansas (مترمکعب بر ثانیه)

Table 5: Environmental flow of the Darreh-Rood River - Moshiran station by Arkansas method (cubic meter per second)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
جریان	۲/۱۰	۴/۱۸	۵/۳۳	۵/۶۶	۵/۸۱	۷/۶۴	۱۴/۷۱	۱۰/۶۴	۴/۳۷	۱/۶۰	۰/۷۶	۰/۸۳
زیست محیطی												

روش Tennant

در جدول ۶ جریان زیست محیطی به دست آمده از روش Tennant برای سطوح مختلف مدیریتی رودخانه دره رود در ایستگاه هیدرومتری مشیران ارائه شده است. برای به حداقل رساندن مشکلات روش Tennant در برآورد جریان زیست محیطی محدوده مورد مطالعه و اجتناب از برآورد جریان زیست محیطی تابستان، بیش از میانگین ماهانه رودخانه، جریان زیست محیطی به صورت درصدی از آبدهی ماهانه، با توجه به ضرایب پیشنهادی رده قابل قبول محاسبه شده است. با توجه به جدول ۶ میانگین جریان محیط زیستی به روش Tennant در محدوده ۶/۳۰-۰/۴۲

مترمکعب بر ثانیه (برای ماههای مهر و فروردین) می باشد. با توجه به اینکه روش Tennant در رودخانه های بزرگ و دائمی ایالات مرکزی - غربی آمریکا مورد مطالعه قرار گرفته است، کاربرد آن برای رودخانه های فصلی و نیز برای رودخانه هایی که دارای نوسانات شدید جریان ماهانه هستند، با مسائل و مشکلاتی روبروست. در کشورهای در حال توسعه که آمار و اطلاعات کافی در آنها کم است، مناسب بودن روش باید مشخص شود.

جدول ۶: جریان زیست محیطی محاسبه شده رودخانه دره رود - مشیران به روش Tennant (مترمکعب بر ثانیه)

Table 6: Environmental flow of the Darreh-Rood River - Moshiran station by Tennant method (cubic meter per second)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
آبدهی متوسط	۴/۲۱	۶/۹۷	۸/۸۸	۹/۴۴	۹/۶۸	۱۲/۷۴	۲۱/۰۱	۱۵/۲۰	۶/۲۴	۲/۲۹	۱/۵۱	۱/۶۵
آبدهی حداکثر	۱۱/۹۲	۲۰/۱۹	۳۴/۵۱	۴۵/۵۸	۳۱/۵۱	۴۴/۷۱	۹۱/۸۵	۶۴/۰۹	۲۶/۲۷	۶/۷۸	۶/۵۳	۷/۶۰
آبدهی حداقل	۰/۳۵	۱/۵۵	۱/۷۳	۱/۶۰	۲/۱۷	۲/۷۶	۱/۰۲	۱/۶۱	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
جریان زیست محیطی	۰/۴۲	۰/۷۰	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۷	۱/۲۷	۶/۳۰	۴/۵۶	۱/۸۷	۰/۶۹	۰/۴۵	۰/۵۰

روش Tessman

بر اساس روش Tessman و با مقایسه دبی ماهانه موجود با دبی متوسط سالانه، حداقل نیاز زیست محیطی ضروری برای اکوسیستم رودخانه برای ماه های مختلف توصیه می شود. در جدول ۷ مقادیر جریان زیست محیطی محاسبه شده با روش Tessman ارائه شده است. همچنین روش Tessman مقدار ۳/۷۸ مترمکعب بر ثانیه (میانگین دبی) را برای رودخانه دره رود در ایستگاه مشیران به

جدول ۷: جریان زیست محیطی محاسبه شده رودخانه دره رود - مشیران به روش Tessman (مترمکعب بر ثانیه)

Table 7: Environmental flow of the Darreh-Rood River - Moshiran station by Tessman method (cubic meter per second)

ماه	EF	MMF	MMF۰/۴	MAF	MAF۰/۴
مهر	۳/۳۳	۴/۲۱	۱/۶۸	۸/۳۲	۳/۳۳
آبان	۳/۳۳	۶/۹۷	۲/۷۹	۸/۳۲	۳/۳۳
آذر	۳/۵۵	۸/۸۸	۳/۵۵	۸/۳۲	۳/۳۳
دی	۳/۷۸	۹/۴۴	۳/۷۸	۸/۳۲	۳/۳۳
بهمن	۳/۸۷	۹/۶۸	۳/۸۷	۸/۳۲	۳/۳۳
اسفند	۵/۱۰	۱۲/۷۴	۵/۱۰	۸/۳۲	۳/۳۳
فروردین	۸/۴۱	۲۱/۰۱	۸/۴۱	۸/۳۲	۳/۳۳
اردیبهشت	۶/۰۸	۱۵/۲۰	۶/۰۸	۸/۳۲	۳/۳۳
خرداد	۲/۵۰	۶/۲۴	۲/۵۰	۸/۳۲	۳/۳۳
تیر	۲/۲۹	۲/۲۹	۰/۹۲	۸/۳۲	۳/۳۳
مرداد	۱/۵۱	۱/۵۱	۰/۶۱	۸/۳۲	۳/۳۳
شهریور	۱/۶۵	۱/۶۵	۰/۶۶	۸/۳۲	۳/۳۳

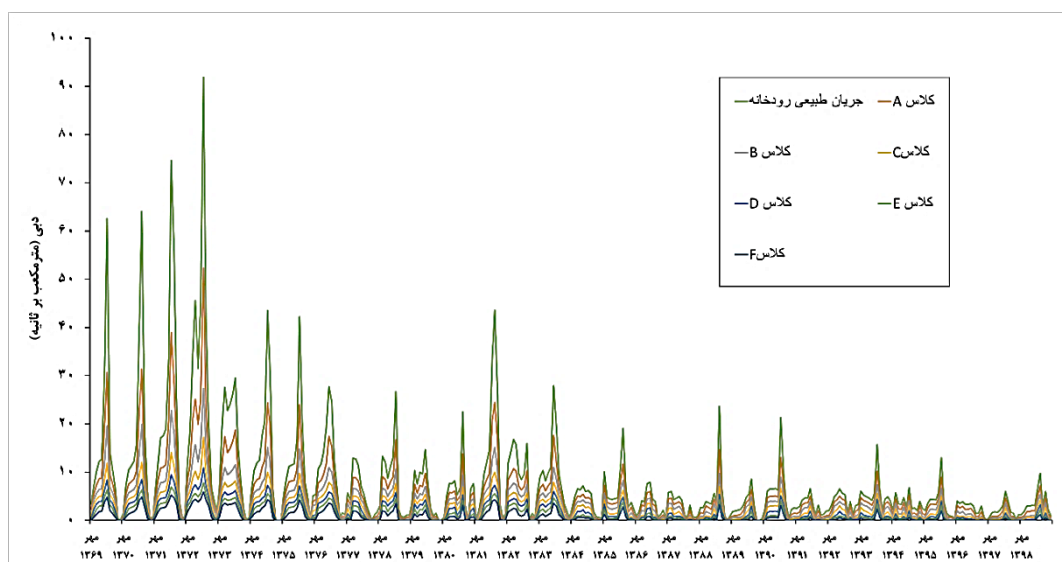
روش انتقال منحنی تداوم جریان

برای محاسبه جریان زیست محیطی از نرم افزار GEFC برای انتقال منحنی تداوم جریان استفاده شد. این روش

جریان های گوناگونی را برای کلاس های مدیریتی مختلف فراهم می کند. تعیین تعداد شیفت های عرضی منحنی تداوم جریان در هر کلاس، بدون آگاهی از ارتباط بین

عرضی) استفاده شد. نمودار توزیع ماهانه جریان در ایستگاه هیدرومتری مشیران واقع در رودخانه دره رود و مقادیر تخمینی این روش به عنوان جریان زیست محیطی در تمام کلاس ها ارائه شده است (شکل ۲).

مشخصات اکولوژیک و تغییرات جریان در رودخانه ها با رژیم های هیدرولوژیک مختلف، بسیار دشوار است. بنابراین، با توجه به فقدان این اطلاعات، در این تحقیق از حداقل شیفیت عرضی ممکن در هر کلاس (یک شیفیت

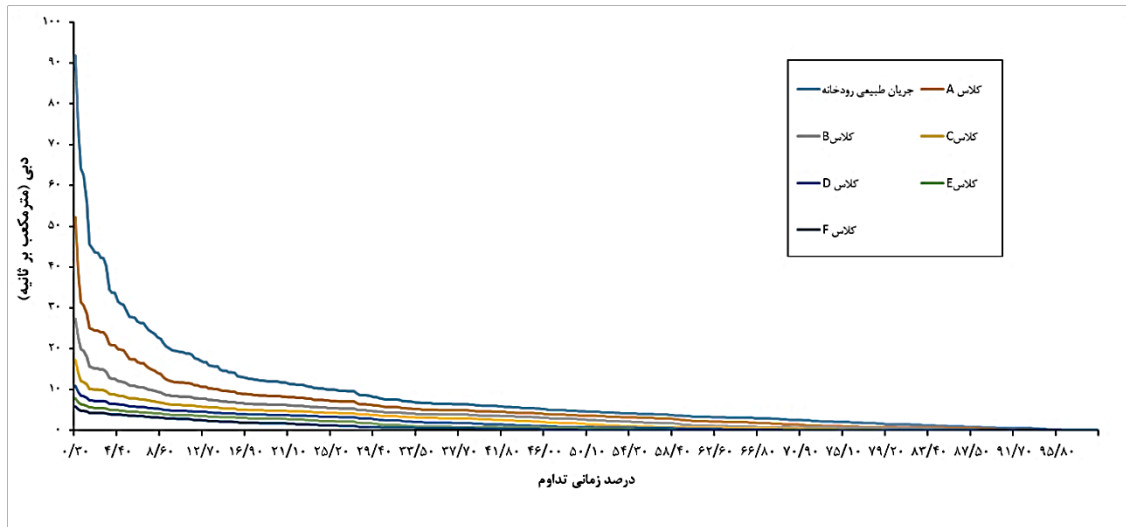


شکل ۲: توزیع ماهانه جریان زیست محیطی با کلاس های مدیریت زیست محیطی مختلف در روش انتقال منحنی تداوم جریان در رودخانه دره رود-مشیران (مترمکعب بر ثانیه)

Figure 2: Monthly distribution of environmental flow with different environmental management classes in the FDC shifting method in the Darreh-Rood River - Moshiran station (cubic meter per second)

برآورد شده ۰/۵۹-۸/۰۴ مترمکعب بر ثانیه (به ترتیب برای ماه های مرداد و فروردین) با میانگین جریان زیست محیطی سالانه ۳/۶۷ مترمکعب بر ثانیه است. منحنی تداوم جریان محیطی برای شش کلاس مدیریت محیطی A الی F که از مدل به دست آمده، در شکل ۳ نشان داده شده است؛ بنابراین، میانگین سالانه جریان زیست محیطی ۳/۶۷ مترمکعب بر ثانیه (۴۴ درصد میانگین جریان سالانه)، است. در روش جریان پایه آبزیان باید توجه کرد که رودخانه های زیادی در ایران فصلی هستند و در ماه های خشک جریان آنها به صفر می رسد. بنابراین، این روش برای مناطق نیمه خشک کارایی مناسبی ندارد و جریان را برای رودخانه دره رود-مشیران در همه ماه ها برابر با ۱/۵۱ مترمکعب بر ثانیه در نظر می گیرد.

روش تغییر منحنی تداوم جریان به عنوان یک روش ترکیبی هیدرولوژیک-اکولوژیک، نیازهای زیست محیطی را بر اساس دیدگاه اکولوژیک در دسته های مدیریت زیست محیطی مختلف با توجه به شرایط محیطی رودخانه دره رود و با استفاده از آمار جریان ماهانه ایستگاه هیدرومتری مشیران بر رودخانه ارائه می کند. طبق نمودار، به هر میزان که رودخانه در شرایط زیست محیطی بهتری قرار داشته باشد، جریان زیست محیطی نیز بیشتر می شود. با توجه به این که کلاس محیطی B از نظر اکولوژیک دارای شرایط طبیعی و با اندکی تغییر است و در این کلاس دینامیک زیستگاه ها و اجزاء جوامع زنده آبی تغییر اندکی یافته، ولی عملکردهای اساسی اکوسیستم هنوز دست نخورده اند، در این تحقیق به عنوان کلاس مدیریت مطلوب انتخاب شده است. میانگین مقدار جریان زیست محیطی



شکل ۳: منحنی تداوم جریان محیط زیستی در رودخانه دره رود- مشیران تحت کلاس های مدیریت زیست محیطی

Figure 3: Environmental Flow Duration Curve in the Darreh-Rood River - Moshiran station under environmental management classes

متوسط جریان بیشتری را ارائه می دهد. روش های Tessman و انتقال منحنی تداوم جریان با استفاده درست از کلاس های مدیریتی می تواند روش های هیدرولوژیک مناسبی برای جریان زیست محیطی باشد. شایان ذکر است، استفاده از روش Tessman در مناطق خشک و نیمه خشک مناسب نیست. زیرا باعث ایجاد جریان های بسیار کم یا زیاد می شود که ممکن است در تخریب رودخانه ها تأثیر بگذارد (شهریاری نیا و همکاران، ۱۳۹۳). متوسط جریان زیست محیطی ماهانه برای حفاظت از رودخانه دره رود با استفاده از روش های مختلف در این پژوهش در جدول ۸ و شکل ۴ نشان داده شده است.

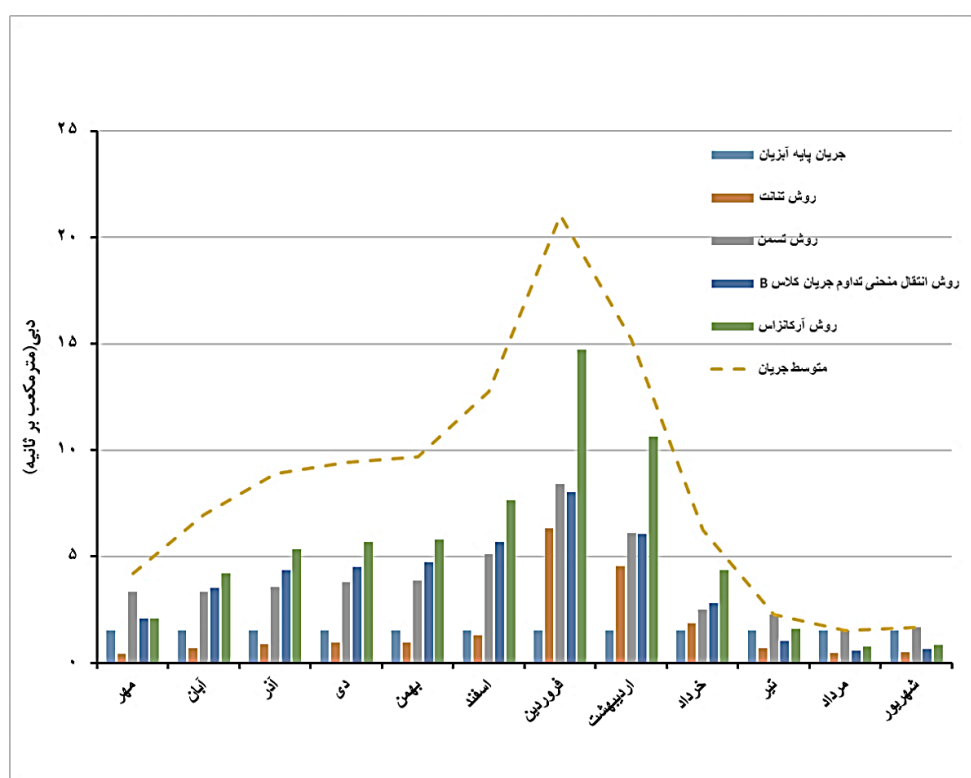
روش Tennant در رودخانه های بزرگ و دائمی ایالات مرکزی- غربی آمریکا مطالعه شده است. استفاده این روش برای رودخانه های فصلی و رودخانه هایی که دارای نوسانات شدید جریان های ماهانه هستند، مشکلاتی را در پی خواهد داشت و در صورت استفاده از این آمار و اطلاعات باید روش Tennant بررسی و اصلاح شود و ماه های پر آب و کم آب مطابق با منطقه مورد مطالعه انتخاب شود. روش Tennant با توجه به تخمین ۱۰ و ۳۰ درصدی شرایط قابل قبول، دبی محیط زیستی کمتری را در قیاس با روش انتقال منحنی تداوم جریان و تسمن ارائه می دهد. بررسی مقدار جریان زیست محیطی که مقادیر برآورد شده در ماه های مختلف در مقایسه با روش Tennant دامنه و

جدول ۸: مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان زیست محیطی رودخانه دره رود- مشیران از روش های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

Table 8: Comparison of the proposed environmental flow values of the Darreh-Rood River - Moshiran station from different methods (cubic meter per second)

ماه	میانگین	انتقال منحنی تداوم جریان	Tessman	Tennant	Arkansas	جریان پایه آبریزان
مهر	۴/۲۱	۲/۱۰	۳/۳۳	۰/۴۲	۲/۱۰	۱/۵۱
آبان	۶/۹۷	۳/۵۳	۳/۳۳	۰/۷۰	۴/۱۸	۱/۵۱
آذر	۸/۸۸	۴/۳۴	۳/۵۵	۰/۸۹	۵/۳۳	۱/۵۱
دی	۹/۴۴	۴/۵۲	۳/۷۸	۰/۹۴	۵/۶۶	۱/۵۱
بهمن	۹/۶۸	۴/۷۲	۳/۸۷	۰/۹۷	۵/۸۱	۱/۵۱
اسفند	۱۲/۷۴	۵/۶۸	۵/۱۰	۱/۲۷	۷/۶۴	۱/۵۱

ماه	میانگین	انتقال منحنی تداوم جریان	Tessman	Tennant	Arkansas	جریان پایه آبریان
فروردین	۲۱/۰۱	۸/۰۴	۸/۴۱	۶/۳۰	۱۴/۷۱	۱/۵۱
اردیبهشت	۱۵/۲۰	۶/۰۷	۶/۰۸	۴/۵۶	۱۰/۶۴	۱/۵۱
خرداد	۶/۲۴	۲/۸۱	۲/۵۰	۱/۸۷	۴/۳۷	۱/۵۱
تیر	۲/۲۹	۱/۰۲	۲/۲۹	۰/۶۹	۱/۶۰	۱/۵۱
مرداد	۱/۵۱	۰/۵۹	۱/۵۱	۰/۴۵	۰/۷۶	۱/۵۱
شهریور	۱/۶۵	۰/۶۶	۱/۶۵	۰/۵۰	۰/۸۳	۱/۵



شکل ۴: توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی رودخانه دره‌رود - مشیران به روش‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

Figure 4: Environmental flow monthly distribution of the Darreh-Rood River - Moshiran station in different methods (cubic meter per second)

بحث

همکاران (۱۳۹۷) از چهار روش هیدرولوژیک و اکوهیدرولیک برای برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو استفاده کردند و مقادیر به‌دست‌آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه بسیار بیشتر از روش Tennant و Tessman است. در مطالعه نادری و همکاران (۱۳۹۸) برای برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه غاز محله استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان به علت سازگاری با شرایط اکولوژیک و هیدرولوژیک منطقه مورد مطالعه نسبت

امروزه افزایش آگاهی از اثرات برنامه‌های توسعه منابع آب بر رودخانه‌ها و اکوسیستم‌های وابسته به آنها منجر به برآورد نیاز زیست‌محیطی به عنوان یکی از بخش‌های ضروری مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب در سدها شده است. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) و Yi و همکاران (۲۰۱۷) و دریافتند برای برآورد جریان زیست‌محیطی باید به پارامترهای هیدرولوژیک و ویژگی زیست‌محیطی توجه شود. نادری و

منابع

- اسماعیلی، ک.، ز. صادقی، ع. کابلی. و شفائی، ح.، ۱۳۹۷. کاربرد روش های هیدرولوژیکی در برآورد حقایق محیط زیستی رودخانه (مطالعه موردی رودخانه گرگانرود). مجله محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۷۱(۴)، 437-451، DOI: org/10.22059/jne.2018.219125.1266
- امینی، ح.، اسمعیلی، ا.، مصطفی زاده، ر.، شرری، م. و ذبیحی، م.، ۱۳۹۸. واکنش خشکسالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت تاثیر احداث سد در استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا، ۴۴(۲)، ۴۷۳ - ۴۸۶، DOI: 10.22059/jesphys.2019.272671.1007078
- حبیبی آلاگوز، س. و ستاری، م.ت.، ۱۳۹۷. برآورد حق آبه زیست محیطی رودخانه قشورچای با استفاده از روش های هیدرولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی، نشریه اکوهیدرولوژی، ۵(۲)، ۵۱۱-۵۲۳.
- شهریاری نیا، ا.، حیدرزاده ن. و اسداله فردی، غ.، ۱۳۹۳. برآورد نیاز زیست محیطی رودخانه ها با رویکرد هیدرواکولوژیک، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه، دانشگاه ارومیه، https://civilica.com/doc/321592.
- عبدی، ر.، یاسی، م. و صدقی، ح.، ۱۳۹۳. ارزیابی روش های اکولوژیکی- هیدرولیکی- هیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه. فصلنامه علمی- پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۶(۲)، ۷۱-۸۱.
- عشایری، ع.، کرباسی، ع.ا. و باغوند، ا.، ۱۳۹۳. ارزیابی کیفیت آب رودخانه دره رود برای آبیاری با بهره گیری از رویکرد پایدار مدار حفاظتی و مدل CCME-WQI. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، ۳(۴)، ۵۱-۶۱، DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1393.3.4.4.6

به سایر روش ها ارجحیت داشت که این نتیجه را می توان به مطالعه حاضر تعمیم داد. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) جهت برآورد تخمین جریان زیست محیطی دریافتند، جریان پایه آبیان به دلیل عدم در نظر گرفتن تغییرات جریان ماهانه در مناطق نیمه خشک، رویکرد مناسبی نیست که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. از آنجایی که با بهره برداری سد عمارت (استان اردبیل)، جریان زیست محیطی دچار تغییر می شود و اثرات سد بر اکوسیستم عمدتاً مربوط به ماهی ها و توقف تردد آنها در طول رودخانه است، بدین منظور از ارزیابی جریان زیست محیطی برای محافظت آبیان و اکوسیستم آبی با بهره گیری از روش های هیدرولوژیک و روش اکوهیدرولوژیک استفاده شد. زیرا در غیاب اطلاعات اکولوژیک، شاخص های هیدرولوژیک می توانند برای جریان زیست محیطی استفاده شوند. بنابراین، در پژوهش حاضر از پنج روش جریان پایه آبیان (ABF)، Tessman, Tennant, Arkansas و انتقال منحنی تداوم جریان (FDC shifting) برای برآوردهای جریان زیست محیطی رودخانه دره رود استفاده شد و تلاش شد تا منطبق بر شرایط اقلیمی و زیستگاهی منطقه مورد مطالعه گردد. بدین صورت که در طبقه بندی صورت گرفته، رودخانه دره رود- مشیران عمدتاً در طبقه زیستی B (تا حد زیادی شرایط زیستی رودخانه طبیعی) قرار داشت. شایان ذکر است، مقادیر پیشنهادی برای جریان زیست محیطی رودخانه دره رود، راه حل نهایی نیست. زیرا فقدان اطلاعات جامع اکولوژیک در مطالعات اکوسیستم رودخانه، سبب تخمین جریان محیط زیستی با ضریب اطمینان کمتری می شود. بنابراین، استفاده از روش های جامع و در ضمن تجزیه و تحلیل رژیم جریان زیست محیطی رودخانه با استفاده از شاخص های زیستی برای محافظت از یکپارچگی و تنوع اکوسیستم های آبی، به عنوان مطالعات آینده پیشنهاد می شود و نتایج مطالعه حاضر برای سطوح مختلف مدیریتی و تصمیم گیری برای تخصیص منابع آب برای منطقه، مفید و مورد استفاده خواهد بود.

- weirs in the Geum River basin under climate change scenarios. *Science of the Total Environment*, 643, 912-925. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.225
- Archfield, S.A., Steeves, P.A., Guthrie, J.D. and Ries, K.G., 2013.** Towards a publicly available, map-based regional software tool to estimate unregulated daily streamflow at ungauged rivers. *Geoscientific Model Development*, 6(1), 101-115. Doi: 10.5194/gmd-6-101-2013
- Baghel, D.S., Gaur, A., Karthik, M. and Dohare, D., 2019.** Global trends in environmental flow assessment: an overview. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 100(1), 191-197. Doi: 10.1007/s40030-018-0332-5
- Caissie, D. and El-Jabi, N., 1995.** Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 22(2), 235-246. Doi: 10.1139/195-033
- Davis, M.M., 2005.** Instream flow guidelines and protection of Georgia's aquatic habitats. *Georgia Institute of Technology*, 2005. Doi: 10.22059/jne.2018.219125.1266
- Filipek, S.P., Keith, W.E. and Giese, J., 1987.** Status of the Instream Flow Issue in Arkansas. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 41(1), 43-48.
- Hairan, M.H., Jamil, N.R., Azmai, M.N.A., Looi, L.J. and Camara, M., 2021.** Environmental Flow Assessment of a Tropical River System Using Hydrological Index Methods. *Water*, 13(18), 2477. Doi: 10.3390/w13182477.
- مهندسين مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۰. رودخانه دره‌رود حوضه ارس، فصل هیدرولوژی. گزارش فنی.
- نادری، م.ح.، ذاکری نیا، م. و سالاری جزی، م.، ۱۳۹۷. بکارگیری مدل PHABSIM در تبیین رژیم اکولوژیکی رودخانه به منظور برآورد جریان زیست محیطی و مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو)، اکوهیدرولوژی، ۵(۳)، ۹۴۱-۹۵۵. DOI: 10.22059/ije.2018.253183.834.۹۵۵
- نادری، م.ح.، سعیدی، س.، و هرسینی ج.ا.، ۱۳۹۸. پیاده سازی رژیم جریان زیست محیطی در بهبود محیط زیست رودخانه. نشریه اکو بیولوژی تالاب، ۱۱(۴۲)، ۳۵-۵۲
- نادری، م.ح.، پورغالم آمیجی، م.، احمدآلی، خ.، امیری، ز.، قجقی، آ. و قربانی مینایی، ل.، ۱۳۹۹. تعیین و طراحی محدوده رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه زرین گل با بررسی مشخصه های هیدرومورفو-اکولوژیکی، رویکردهای مبتنی بر شاخص هیدرولوژیکی و مدل اکوهیدرولیکی شبیه سازی مطلوبیت زیستگاه. شیلات، ۷۳(۱)، ۱۷-۴۰. DOI: 10.22059/jfisheries.2020.293901.1127
- Achieng, A.O., Masese, F.O. and Kaunda-Arara, B., 2020.** Fish assemblages and size-spectra variation among rivers of Lake Victoria Basin, Kenya. *Ecological Indicators*, 118, 106745. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106745
- Ahmadpari, H., Ladez, B., Shokoohi, E. and Kheiry, M., 2019.** Evaluation of environmental flows in Dalfard River using hydrological methods. *International Journal of Engineering and Technology*, 11, 530-539. Doi: 10.21817/ijet/2019/v11i3/191103036
- Ahn, J.M., Kwon, H.G., Yang, D.S. and Kim, Y.S., 2018.** Assessing environmental flows of coordinated operation of dams and

- Karakoyun, Y., Yumurtaci, Z. and Dönmez, A.H., 2016.** Environmental flow assessment for energy generation sustainability employing different hydraulic evaluation methods: Çambaşı hydropower plant case study in Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(2), 583-591. Doi: 10.1007/s10098-015-1023-9
- Kim, S.K. and Choi, S.U., 2019.** Comparison of environmental flows from a habitat suitability perspective: A case study in the Naeseong-cheon Stream in Korea. *Ecohydrology*, 12(6), 2119. Doi: 10.1002/eco.2119
- Kuriqi, A., Pinheiro, A.N., Sordo-Ward, A. and Garrote, L., 2019.** Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. *Applied Energy*, 256, 113980. Doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113980
- 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, 36 P.
- Tennant, D.L., 1976.** Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4), 6-10. Doi:10.3910/2009.106
- Tessman, S., 1980.** Environmental assessment, technical appendix E. Environmental Use Sector Reconnaissance Elements of the Western Dakotas Region of South Dakota Study. Water Resources Research Institute, South Dakota State University, Brookings, SD.
- Yi, Y., Cheng, X., Yang, Z., Wieprecht, S., Zhang, S. and Wu, Y., 2017.** Evaluating the ecological influence of hydraulic projects: A review of aquatic habitat suitability models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 748-762. Doi: 10.1016/j.rser.2016.09.138
- Zhang, Q., Xiao, M., Liu, C.L. and Singh, V.P., 2014.** Reservoir-induced hydrological alterations and environmental flow variation in the East River, the Pearl River basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(8), 2119-2131. Doi: 10.1007/s00477-014-0893-4.

Use of hydrological and ecohydrological methods for the assessment of river environmental flow to protect aquatic animals and aquatic ecosystem

Ghasemi A.^{1*}; Valinassab T.²; Mohammadpour M.³

*arefeh.ghasmi@modares.ac.ir

1-Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2-Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

3-Ragional Water Company of East Azarbaijan, Iran.

Abstract

The survival of aquatic life and natural habitats requires the preservation of rivers as the most important aquatic ecosystems. Climate change, dams, overfishing, and water pollution have put rivers, aquatic ecosystems, and fish which are biological indicators at risk in recent years. all around the world, various hydrological methods are used to improve the ecological environment, maintain the natural flow regime, and protect the ecological diversity of the ecosystem. In this study, hydrological and eco-hydrological methods (FDC Shifting, Arkansas, Tessman, Tennant, and ABF) were used to estimate the environmental flow of the Darreh-Rood River at the Moshiran hydrometric station in Ardabil province, based on statistical period of 30 years. The average environmental water requirement in the aquatic base flow method and the Tennant method were 1.51 and 1.63 m³/s, respectively, which are not suitable approaches due to the excluding of seasonal changes and severe monthly flow changes without modifications. The flow duration curve shifting method with an average environmental flow requirement of 3.67 m³/s was better than other methods due to the bio-management class in accordance with the conditions of the region. Furthermore, this study discovered that in the lack of complete ecological data, hydrological indicators and environmental classes in flow duration curve shifting approach could be used to estimate environmental flow requirements.

Keywords: Aquatic ecosystem, Ecohydrological method, Hydrological method, Environmental flow, Darreh-Rood River

*Corresponding author