

## برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی

سامان کریمی<sup>۱</sup>، میثم سالاری جزی<sup>۲\*</sup>، خلیل قربانی<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، مؤسسه غیرانتفاعی لامعی گرگانی

۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۲۷؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۳۰)

### چکیده

رویکردهای متفاوتی برای برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه معرفی شده است که به رویکرد هیدرولوژیکی به دلیل نیاز دسترسی به داده‌های محدود و زمان نسبتاً سریع ارزیابی توجه زیادی شده است. این رویکرد شامل روش‌های متنوعی است، بنابراین مقایسه بین نتایج روش‌های مختلف این رویکرد، ضروری است. هدف از تحقیق حاضر بررسی و مقایسه نتایج روش‌های تنانت، انتقال منحنی‌های تداوم جریان، روش مدل ذخیره رومیزی و تسمن در برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه زهره در جنوب غربی ایران (ایستگاه آب‌سنجی دهملا) است. براساس بررسی داده‌های بلندمدت جریان متوسط سالانه برابر ۸۰/۱۸ مترمکعب بر ثانیه و دوره زمانی مرداد-مهر و بهمن-فروردین با جریان متوسط ۲۲/۵ و ۱۵۶/۶ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب دوره‌های کم‌آب و پرآب سال هستند. بررسی نتایج روش‌های مختلف نشان می‌دهد روش انتقال منحنی تداوم جریان به دلایل ارائه مقادیر منطقی جریان زیست‌محیطی در ماه‌های مختلف در مقایسه با دبی جریان متوسط ماهانه و سالانه، تطابق مناسب الگوهای تغییرات درون‌سالی جریان متوسط زیست‌محیطی ماهانه و جریان متوسط ماهانه رودخانه و تخصیص نیافتن همه جریان متوسط ماهانه به جریان مورد نیاز زیست‌محیطی در طول سال قابل پذیرش‌ترین روش برآورد جریان زیست‌محیطی در این مطالعه است. با در نظر گرفتن نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان مقدار جریان زیست‌محیطی ماهانه بین ۶/۸-۵۳/۲ با متوسط ۲۷/۷۹ مترمکعب بر ثانیه در سال برآورد می‌شود. همچنین مقدار جریان متوسط زیست‌محیطی متوسط در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی به ترتیب ۷/۷ و ۴۹/۳ مترمکعب بر ثانیه است.

**کلیدواژگان:** انتقال منحنی‌های تداوم جریان، تسمن، تنانت، جریان زیست‌محیطی، روش مدل ذخیره رومیزی.

## مقدمه

ارزیابی جریان زیست‌محیطی از یک‌سو ابزاری کاربردی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و از سوی دیگر چالشی برای محققان و برنامه‌ریزان حوضه است [۱ و ۲]. یکی از مسائل اساسی در زمینه تعریف جریان‌های زیست‌محیطی این است که رژیم جریان طبیعی چگونه به پایین دست و سیلاب دشت‌ها ادامه داشته باشد تا ویژگی‌های اکوسیستم حفظ شود [۳ و ۴]. در بسیاری از مناطق جهان احداث سدها همواره به‌عنوان یکی از گزینه‌های مطمئن استحصال آب مد نظر بوده است. برداشت آب برای مقاصد مختلف، از مصارف کشاورزی گرفته تا صنعت و تأمین آب شرب جریان رودخانه را کاهش و زیستگاه درون رودخانه را تغییر می‌دهد [۵-۷]. برگکمپ و همکارانش (۲۰۰۰) با مطالعه ۲۲۵ حوضه در سراسر جهان به این نتیجه رسیدند که ۸۳ مورد (۳۷ درصد) از رودخانه‌ها به شدت و ۵۴ مورد (۲۴ درصد) دیگر به‌طور متوسط آسیب دیده‌اند [۸]. در دهه اخیر مفهوم رژیم طبیعی جریان به‌عنوان الگو برای حفاظت و نگهداری رودخانه‌ها پدید آمده است. تغییرپذیری رژیم جریان نیروی محرکه اصلی در پایداری اکوسیستم رودخانه است [۹]. جریان آب زیست‌محیطی عبارت است از رژیم آب فراهم‌شده برای یک رودخانه، تالاب یا ناحیه ساحلی به‌منظور حفاظت از اکوسیستم‌ها و منافع آنها، در مواقعی که مصارف رقابت‌کننده وجود دارند و جریان‌ها تنظیم شده‌اند [۱۰]. در حال حاضر در سطح جهانی و برای ۴۴ کشور، ۲۰۷ روش برای تعیین جریان زیست‌محیطی ثبت شده است [۱۱]. روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی را در قالب پنج رویکرد متمایز شامل روش‌های هیدرولوژیکی، درجه‌بندی هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه‌ها، روش‌های جامع و ترکیبی طبقه‌بندی کرد [۱۱]. هدف همه روش‌های هیدرولوژیکی تعیین کمترین جریان زیست‌محیطی برای ادامه حیات اکولوژیکی رودخانه است [۱۲ و ۱۳]. تعیین جریان حداقل زیست‌محیطی برای ادامه حیات اکولوژیکی رودخانه است. این روش‌ها از نظر ارتباط مستقیم و توجه به موجودات درون رودخانه ضعف‌های بنیادی دارند و بیشتر برای مراحل اولیه اختصاص آب به محیط زیست در رودخانه‌های کنترل‌نشده به‌کار می‌روند [۱۴]. روش‌های هیدرولوژیکی معمولاً به‌عنوان روش جدول‌های در دسترس مشهورند و بیشتر بر آمارهای تاریخی جریان رودخانه تکیه دارند. در این روش جریان زیست‌محیطی به‌صورت درصدی از

آورد سالانه رودخانه یا به‌صورت جریان با احتمال تجاوز مشخص از روی منحنی تداوم جریان در مقیاس زمانی سالانه، فصلی یا ماهانه تعیین می‌شود [۱۲]. در ادامه توسعه روش‌ها در رویکرد هیدرولوژیکی هیوز و هنارت (۲۰۰۳) برای ارزیابی‌های اولیه نیازهای جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها در آفریقای جنوبی یک روش به نام مدل ذخیره رومیزی (DRM) را توسعه دادند [۱۵]. این روش کلاس‌های مختلف مدیریت زیست‌محیطی را در نظر می‌گیرد و تلاش می‌کند تا رژیم جریان را نسبتاً حفظ کند [۱۶]. روش انتقال منحنی تداوم جریان توسط اسماختین و آنیوتاس (۲۰۰۶) برای برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها توسعه داده شده و در این روش طی محاسبات گام‌به‌گام یک رژیم هیدرولوژیکی مناسب برای حفظ شرایط اکولوژیکی رودخانه ارائه می‌شود [۱۷-۲۰]. روش‌های توسعه داده‌شده برای برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه در مناطق مختلف ارزیابی شده است. واتس (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای روی رودخانه‌ها در آنتاریو کانادا به این نتیجه رسید که دو روش تنانت و تسمن با وضعیت رودخانه‌های آنتاریو سازگار نیستند و کاربرد این روش‌ها را در صورت استفاده از مطالعات بیشتر و اصلاح آنها برای رودخانه‌های آنتاریو مناسب دانست [۲۱]. در میان روش‌های استفاده‌شده در رویکرد هیدرولوژیکی برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه روش تنانت (۱۹۷۶) شناخته‌شده‌ترین روش است که در مطالعات فراوانی استفاده شده است [۲۲-۲۵]. با هدف توسعه روش هیدرولوژیکی تنانت برای برآورد جریان زیست‌محیطی در الگوهای متنوع‌تری از جریان روش تسمن (۱۹۸۰) معرفی شد که در واقع یک روش تنانت بهبودیافته یا اصلاح‌شده است و به‌علت انعطاف بیشتر در مقایسه با روش تنانت مورد توجه محققان قرار گرفته است [۲۶-۲۹]. هیوز و هنارت (۲۰۰۳) برای ارزیابی‌های اولیه نیازهای جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها در آفریقای جنوبی یک روش رومیزی به‌نام «مدل ذخیره رومیزی» (DRM) را توسعه دادند. کاربر یک شاخص هیدرولوژیکی را (ضریب تغییرپذیری جریان‌ها تقسیم بر نسبت جریان کل که جریان پایه است (CV/BF)) با استفاده از داده‌های جریان رودخانه در محل محاسبه می‌کند. سپس، منحنی‌هایی برای تعریف درصدی از حجم میانگین آورد سالانه (MAR) که برای مؤلفه‌های مختلف (کم‌آبی و سیلاب‌ها) رژیم جریان زیست‌محیطی مورد نیاز است، به‌کار

سیراب می‌کند و به‌طرف غرب جریان می‌یابد. مساحت این حوضه تا ایستگاه دهملا که آخرین ایستگاه آب‌سنجی در خروجی این حوضه است، ۱۳۰۷۳ کیلومتر مربع است. با در نظر گرفتن سری داده‌های ثبت‌شده مشخص شد که جریان متوسط سالانه برابر ۸۰/۱۸ مترمکعب بر ثانیه است و دوره زمانی مرداد-مهر با جریان متوسط ماهانه در بازه ۲۱ تا ۲۴/۱ کم‌آب‌ترین دوره سال و دوره بهمن-فروردین با جریان متوسط ماهانه در بازه ۱۴۰/۲ تا ۱۶۷/۵ مترمکعب بر ثانیه پرآب‌ترین دوره سال است.

#### روش Tennant

تنانت (۱۹۷۶) با بررسی اطلاعات و داده‌های ۵۸ مقطع عرضی از ۱۱ رودخانه در مونتانا<sup>۱</sup>، نبراسکا<sup>۲</sup> و وایومینگ<sup>۳</sup> نتیجه گرفت که ۱۰ درصد متوسط جریان سالیانه<sup>۴</sup> (MAF)، کمترین جریان برای بقای کوتاه‌مدت ماهی‌هاست. ۳۰ درصد متوسط جریان سالیانه در نظر گرفته‌شده قادر به حفظ وضعیت‌های بقای نسبتاً خوب بوده و ۶۰ درصد متوسط جریان سالیانه برای زیستگاه مطلوب مناسب است [۳۱]. بنابراین، تنانت از میان روش‌های نسبتاً پیچیده، روشی ساده، کاربردی و استاندارد که می‌تواند با داده‌های بسیار کم استفاده شود، ارائه داد. این تکنیک فقط متوسط جریان سالیانه را برای رودخانه به کار می‌برد؛ جدول ۱ به متخصصان اجازه می‌دهد که جریان مورد نیاز زیست‌محیطی را با استفاده از درصد متوسط جریان سالیانه بدون جمع‌آوری داده‌های بیشتر در محل تنظیم کنند.

#### روش Tessman

تسمن (۱۹۸۰) با اقتباس از پیشنهاد‌های فصلی روش تنانت از ترکیبی از متوسط جریان ماهیانه<sup>۵</sup> (MMF) و متوسط جریان سالیانه<sup>۶</sup> (MAF) برای تعیین کمترین جریان ماهیانه مورد نیاز استفاده کرد [۲۷].

اگر  $MMF > 40$  درصد MAF باشد، MMF به‌عنوان کمترین جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

اگر  $MMF < 40$  درصد MAF باشد، ۴۰ درصد MAF به‌عنوان کمترین جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

می‌روند [۳۰]. جاشی و همکارانش (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای روی رودخانه سانه در نزدیکی فلات آمارکانتاک با استفاده از روش تغییر منحنی تداوم جریان، در کلاس زیست‌محیطی نسبتاً تغییر یافته مقدار ۱۹/۸ درصد میانگین آورد سالیانه را برای جریان زیست‌محیطی آن رودخانه برآورد کرده‌اند [۱۹]. در مطالعه دیگر نتایج کاربرد دو روش تنانت و تسمن براساس کاربرد داده‌های سه رودخانه در لهستان نشان داده است که روش تسمن نتایج قابل قبول تری برای رودخانه‌های یادشده داشته است [۲۹]. همان طور که اشاره شد تا کنون روش‌های متنوعی برای برآورد جریان زیست‌محیطی با رویکرد هیدرولوژیکی ارائه شده است که هر یک به برآوردهای متفاوتی منجر می‌شود. بنابراین، لزوم مقایسه بین نتایج این روش‌ها ضروری است. هدف این مطالعه مقایسه روش‌های تنانت، تسمن، مدل ذخیره رومیزی و انتقال منحنی تداوم جریان در برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه زهره (ایستگاه هیدرومتری دهملا) در جنوب غربی ایران، براساس کاربرد کمترین داده‌های در دسترس یعنی فقط داده‌های دبی رودخانه و بحث و تحلیل درباره تفاوت‌های برآوردهای صورت گرفته توسط روش‌های اشاره شده است.

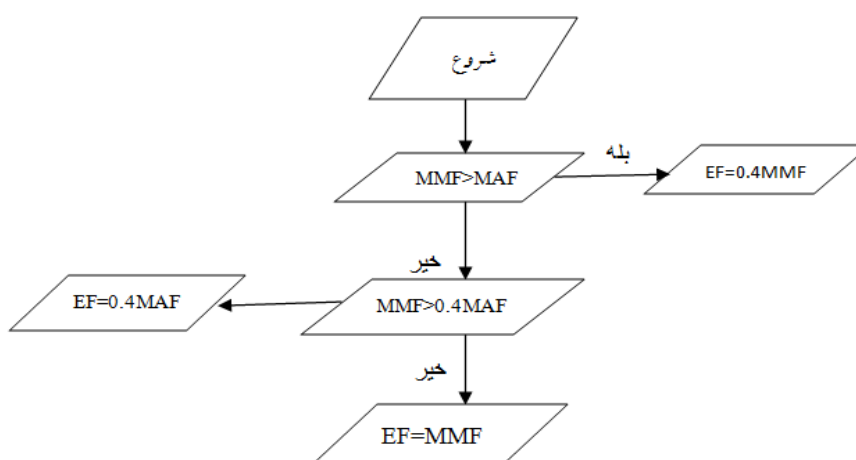
#### مواد و روش‌ها

حوضه آبریز رودخانه زهره در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های زاگرس و در محدوده جغرافیایی ۴۹° و ۳۰' تا ۵۲° و ۱۶' طول شرقی و ۲۹° و ۵۰' تا ۳۰° درجه و ۵۷' عرض شمالی قرار دارد. رودخانه یادشده که به‌نام هنديجان نیز معروف است، از دو شاخه اصلی به‌نام‌های فهلیان و آب شیرین تشکیل شده است. حوضه آبریز این رودخانه در سرآب به حوضه رودخانه‌های قره‌آعاج و شاهپور نزدیک و در جنوب غربی حوضه رودخانه خرسان واقع است. این حوضه در چین‌خوردگی‌های جنوبی زاگرس میانی قرار دارد. بخش بیشتر آن را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد. در بخش شمالی حوضه کوه سفید با ارتفاع ۳۶۱۵ متر حوضه آبریز رودخانه زهره را از حوضه‌های کارون و مارون جدا می‌کند. شهرهای اردکان (سپیدان)، نورآباد ممسنی، دوگنبدان، هنديجان و دهدشت از کانون‌های مهم شهری این حوضه به‌شمار می‌آیند. شاخه اولیه این رودخانه به‌نام اردکان نامیده می‌شود و سپس به فهلیان تغییر نام می‌دهد. این شاخه از ارتفاعات اطراف اردکان سرچشمه می‌گیرد، منطقه اردکان را

1. Montana  
2. Nebraska  
3. Wyoming  
4. Mean Average Flow  
5. Mean Monthly Flow  
6. Mean Average Flow

جدول ۱. جریان زیست‌محیطی برای ماهیان، حیات وحش و مقاصد تفریحی در روش تنانت

رژیم‌های پیشنهادی جریان پایه (درصدی از متوسط جریان سالانه)		توصیف جریان‌ها
اکتبر - مارس	آوریل - سپتامبر	
۲۰۰	۲۰۰	شست‌وشوی 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 ۱. فلوچارت تعیین جریان زیست‌محیطی به روش تسمن [۲۷]

رودخانه‌های تغییر یافته ولی تا حد زیادی طبیعی، کلاس C رودخانه‌های نسبتاً تغییر یافته و کلاس D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییر یافته با خسارت‌های 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 زیست‌محیطی ممکن استفاده می‌شوند، که این سیستم طبقه‌بندی در مدل ذخیره رومیزی به کار می‌رود و نیازهای جریان براساس آن محاسبه می‌شود. به کلاس بالاتر آب بیشتری برای حفظ اکوسیستم تخصیص داده می‌شود و تغییرپذیری جریان بیشتر حفظ می‌شود.

#### روش انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting)

اسماختین و آنپوتاس (۲۰۰۶) به منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در سامانه رودخانه از این روش استفاده کردند. این روش یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت

اگر  $MAF < MMF$  باشد، ۴۰ درصد  $MMF$  به عنوان کمترین جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود. این مراحل به صورت فلوچارتی در شکل ۱ ارائه شده است.

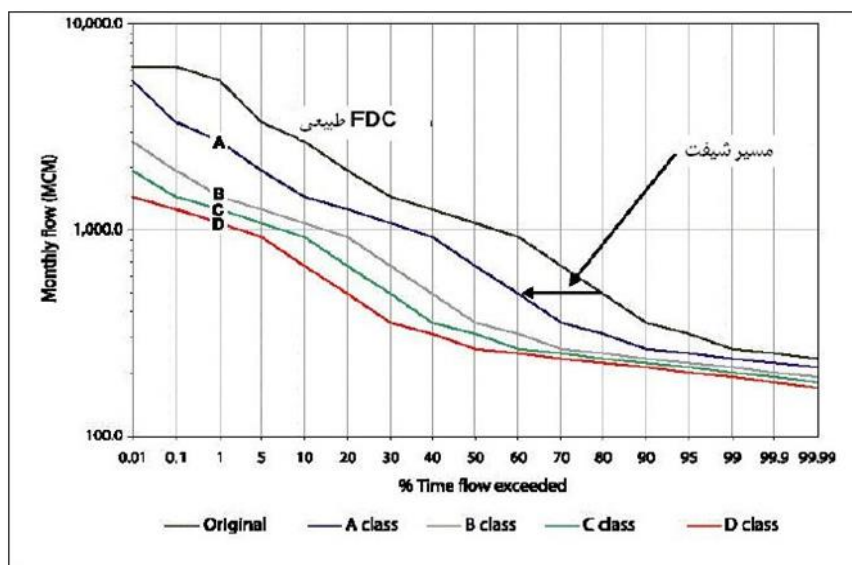
#### روش مدل ذخیره رومیزی (DRM)

این روش توسط هیوز و مانستر (۲۰۰۰) و هیوز و هنارت (۲۰۰۳) برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های آفریقای جنوبی توسعه یافت [۳۰]. مدل ذخیره رومیزی یکی از این روش‌ها است که می‌تواند نیاز جریان اکولوژیکی را در شرایطی برآورد کند که داده‌های موجود محدود هستند و ارزیابی سریع مورد نیاز است. توسعه اجتماعی-اقتصادی همه رودخانه‌ها نمی‌توانند در وضعیت‌های نزدیک به شرایط طبیعی باقی بمانند. در این روش چهار «کلاس مدیریت زیست‌محیطی» ممکن (A-D) تعریف می‌شود. کلاس A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییر نیافته می‌شود، کلاس B

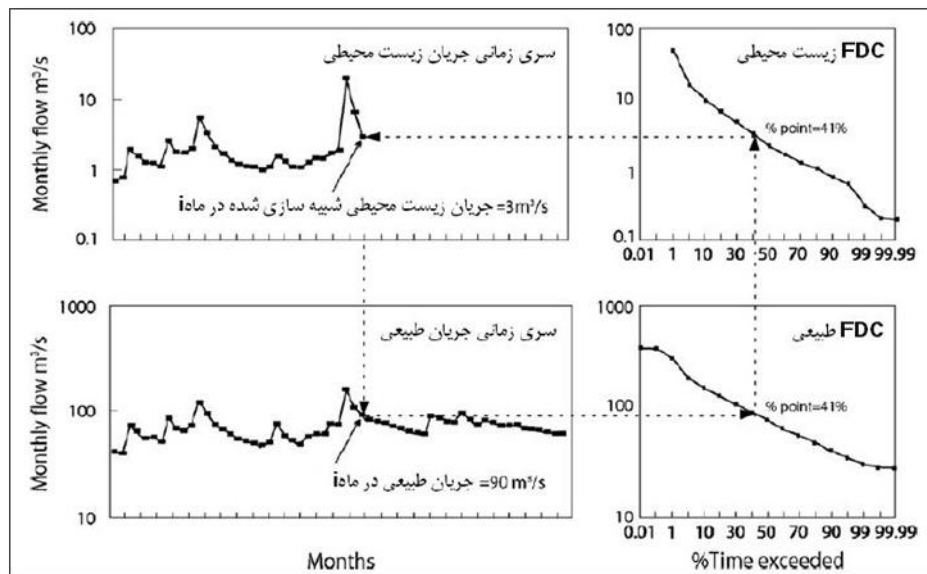


جدول ۲. کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی در روش FDC Shifting [۲۰]

از دیدگاه مدیریتی	تعریف اکولوژیکی	کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی (EMC)
رودخانه‌ها و حوضه‌های حفاظت‌شده. مناطق حفاظت‌شده و پارک‌های ملی. اجازه هیچ پروژه جدید آبی (سدها، انحراف آب و...) داده نمی‌شود.	وضعیت دست‌نخورده یا حداقل تغییرات زیستگاه ساحلی و رودخانه‌ای	A: طبیعی
طرح‌های تأمین آب یا توسعه آبیاری موجود و یا مجاز	تنوع زیستی و زیستگاه‌های دست‌نخورده بیشتر با وجود توسعه منابع آبی و یا تغییرات حوضه‌ای	B: اندک تغییر یافته
موانع و مشکلات زیاد در زمینه نیاز برای توسعه اقتصادی-اجتماعی از قبیل سدها، پروژه‌های انحراف آب، تغییرات زیستگاه و کیفیت کاهش یافته آب	زیستگاه‌ها و دینامیک بیوتا مختل شده‌اند، ولی عملکردهای اساسی اکوسیستم هنوز دست‌نخورده‌اند. برخی گونه‌های حساس از بین رفته‌اند و یا تا حدی کاهش یافته‌اند. گونه‌های ناشناخته موجودند.	C: نسبتاً تغییر یافته
موانع کاملاً مشهود و مهم در زمینه توسعه منابع آبی و حوضه‌ای شامل سدها، انحراف آب، انتقالات، تغییرات زیستگاه‌ها و کاهش کیفیت آب	تغییرات وسیعی در زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم رخ داده است. فراوانی گونه‌ها به وضوح کمتر از حد انتظار است. کاهش چشمگیر گونه‌های غیرمقاوم (حساس)، افزایش و شیوع گونه‌های ناشناخته	D: تا حد زیادی تغییر یافته
تراکم جمعیت انسانی زیاد و بهره‌برداری زیاد از منابع آبی	تعداد و تنوع زیستگاه‌ها کاهش یافته است. فراوانی گونه‌ها به طرز شگفت‌آوری کمتر از حد انتظار است. فقط گونه‌های مقاوم باقی می‌مانند. گونه‌های بومی، دیگر نمی‌توانند تولید شوند. گونه‌های ناشناخته به اکوسیستم تهاجم کرده‌اند.	E: به شدت تغییر یافته
این حالت از نظر مدیریتی قابل قبول نیست. دخالت‌های مدیریتی برای بازگرداندن الگوهای جریان، زیستگاه‌های رودخانه‌ای و... (اگر هنوز ممکن و شدنی باشد) برای جابه‌جا کردن یک رودخانه به کلاس مدیریتی بالاتر ضروری است.	تغییرات به یک سطح بحرانی رسیده‌اند و اکوسیستم کاملاً دچار تغییرات شده و تقریباً می‌توان گفت که زیستگاه‌های طبیعی و بیوتا دچار تخریب کامل شده‌اند. در بدترین حالت عملکردهای اساسی اکوسیستم از بین رفته‌اند و تغییرات جبران‌ناپذیر هستند.	F: به طرز بحرانی تغییر یافته



شکل ۲. بر آورد منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی از طریق انتقال عرضی [۲۰]



شکل ۳. روند تولید یک سری زمانی کامل جریان زیست‌محیطی از منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی تولیدشده [۲۲]

### نتایج و بحث

ابتدا داده‌های اولیه بررسی و سری‌های مورد نیاز برای برآورد جریان زیست‌محیطی استخراج شد. در ادامه، جریان زیست‌محیطی رودخانه زهره از روش‌های هیدرولوژیکی مدل ذخیره‌رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان، روش تنانت و روش تسمن در ماه‌های مختلف برآورد شد. در روش تنانت درصد‌های مختلفی از متوسط جریان سالانه به‌عنوان جریان زیست‌محیطی پیشنهاد می‌شود. این درصدها در حالت قابل قبول ۱۰ درصد متوسط آورد سالانه (متوسط آورد سالانه) برای شش ماه اول سال و ۳۰ درصد متوسط آورد سالانه برای شش ماه دوم سال آبی در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن آنکه مقدار متوسط جریان سالانه به‌میزان  $80/18$  مترمکعب بر ثانیه است مقدار جریان زیست‌محیطی در بازه زمانی مهر-اسفند برابر  $8/02$  مترمکعب بر ثانیه و در بازه زمانی فروردین-شهریور برابر  $24/06$  مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. با در نظر گرفتن نسبت جریان زیست‌محیطی برآوردشده با روش تنانت به مقدار متوسط جریان ماهانه مشخص می‌شود که این نسبت در بازه ۵ تا ۱۰۰ درصد با میانگین  $36/75$  قرار دارد. بر این اساس، ماه‌های فصل زمستان دارای کمترین نسبت تخصیص (در بازه ۵ تا ۷ درصد) و ماه‌های فصل تابستان دارای بیشترین نسبت تخصیص (در بازه ۷۷ تا ۱۰۰ درصد) است. با توجه به پراکنش این نسبت در ماه‌های مختلف سال روش تنانت به

تخصیص ۱۰۰ درصد جریان رودخانه به جریان زیست‌محیطی در ماه‌های مرداد و شهریور منجر می‌شود که این تخصیص در عمل مشکلات متعددی را برای دیگر بخش‌های منتفع از جریان رودخانه فراهم می‌کند. روش تسمن برگرفته از روش تنانت است و با مقایسه جریان ماهیانه موجود با متوسط جریان سالانه، کمترین نیاز آبی زیست‌محیطی مورد نیاز را در ماه‌های مختلف پیشنهاد می‌کند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد روش تسمن مقدار جریان زیست‌محیطی در دامنه ۲۱ تا ۶۷ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های مختلف قرار دارد. مقدار متوسط جریان زیست‌محیطی برآوردشده با استفاده از روش تسمن برابر  $39/01$  مترمکعب بر ثانیه است. مقایسه نتایج جریان برآوردشده زیست‌محیطی از روش تسمن با نتایج روش تنانت به‌روشنی نشان می‌دهد روش تسمن در همه ماه‌های سال به‌استثنای ماه شهریور مقدار جریان زیست‌محیطی را بیشتر از روش تنانت برآورد کرده است و نیز دامنه و بزرگی مقادیر برآوردشده جریان زیست‌محیطی در این روش به‌مراتب بزرگ‌تر از روش تنانت است. همچنین براساس نتایج روش تسمن دوره سه‌ماهه بهمن-فروردین دارای بیشترین و دوره سه‌ماهه مرداد-مهر دارای کمترین مقادیر برآوردشده جریان زیست‌محیطی است. بررسی نسبت جریان زیست‌محیطی برآوردشده با روش تسمن به‌مقدار متوسط جریان ماهانه نشان می‌دهد این نسبت در دامنه ۳۹ تا ۱۰۰ درصد با میانگین

اما باید توجه داشت که برخلاف روش تنانت دامنه مقادیر این نسبت بسیار گسترده نیست و در هیچ یک از ماه‌های سال به تخصیص کامل جریان رودخانه به جریان زیست‌محیطی منجر نشده است. بررسی نسبت بیان شده نشان می‌دهد طی بازه زمانی شهریور- فروردین این نسبت در محدوده ۲۹ تا ۳۲ درصد است، اما در بازه اردیبهشت- تیر این نسبت به محدوده ۴۴ تا ۵۷ درصد می‌رسد. اساس 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 می‌شوند و یک رژیم جریان قابل قبول از نظر اکولوژیکی را ایجاد می‌کنند. در این روش نیز نیاز آبی زیست‌محیطی به صورت ترکیبی از نیاز کم‌آبی و پرآبی ارائه می‌شود. در مدل ذخیره رومیزی از طبقه‌بندی‌های اکولوژیکی استفاده می‌شود با این تفاوت که دو کلاس E و F در روش انتقال منحنی تداوم جریان در مدل ذخیره رومیزی وجود ندارد. در این مطالعه کلاس B/C در مدل ذخیره رومیزی مورد توجه قرار گرفته است. بررسی مقدار جریان زیست‌محیطی در روش مدل ذخیره رومیزی نشان می‌دهد مقدار برآورد شده در ماه‌های مختلف در مترمکعب بر ثانیه با متوسط ۲۴/۶۴ تا ۵۵/۷ مترمکعب بر ثانیه در روش تنانت مقادیر دامنه و متوسط جریان زیست‌محیطی برآورد شده بیشتری را ارائه می‌کند. نیز مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده با کاربرد مدل ذخیره رومیزی در ماه‌های خرداد و شهریور از مقادیر برآورد شده با کاربرد روش تنانت کمتر است، اما در سایر ماه‌های سال مدل ذخیره رومیزی به برآورد بیشتری برای جریان زیست‌محیطی نسبت به روش تنانت منجر شده است. در دوره سه‌ماهه مهر- آذر مقدار جریان زیست‌محیطی در بازه ۱۰/۹- ۱۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده که کمترین مقادیر تخمین زده شده جریان زیست‌محیطی است در حالی که در ماه مرداد برآورد جریان زیست‌محیطی برابر ۵۵/۷ مترمکعب بر ثانیه است که بیشترین مقدار در طول سال است. بررسی نسبت جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش مدل ذخیره رومیزی به مقدار متوسط جریان ماهانه نشان می‌دهد این نسبت در بازه ۱۵- ۱۰۰ درصد با میانگین ۴۳/۸۸ است. همچنین نتایج نشان می‌دهد نسبت بیان شده

۶۴/۲۹ قرار دارد. در بازه زمانی آذر- اردیبهشت نسبت جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش تسمن به جریان متوسط ماهانه در بازه ۳۹ تا ۴۰ درصد قرار دارد که دارای کمترین مقدار در طول سال است در حالی که در بازه تیر- مهر نسبت بیان شده برابر ۱۰۰ درصد است. بدیهی است تخصیص ۱۰۰ درصد جریان رودخانه به جریان زیست‌محیطی در یک بازه زمانی چهارماهه به شکل پیوسته نمی‌تواند عملی باشد. روش انتقال منحنی تداوم جریان به منظور حفظ الگوی کلی تغییرپذیری جریان از انتقال منحنی تداوم جریان طبیعی استفاده کرده و بر این اساس نیاز آبی زیست‌محیطی را برای کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی A تا F پیشنهاد می‌کند. در این تحقیق کلاس مدیریتی C به عنوان کلاس مد نظر انتخاب شد. در این کلاس، زیستگاه‌ها و دینامیک بیوتا نسبتاً تغییر یافته است. بررسی نتایج روش انتقال منحنی تداوم نتایج مشخص می‌سازد که مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده برای ماه‌های مختلف سال در دامنه ۶/۸ تا ۵۳/۲ مترمکعب بر ثانیه با میانگین ۲۷/۷۹ مترمکعب بر ثانیه است. دامنه تغییرات جریان زیست‌محیطی برآورد شده از روش انتقال منحنی تداوم جریان نسبتاً شبیه به نتایج روش تنانت است، اما میانگین نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان به مقدار کاملاً محسوس از میانگین نتایج روش تنانت بیشتر است. همچنین مقادیر جریان زیست‌محیطی برآورد شده از روش انتقال منحنی تداوم جریان در بازه مرداد- مهر از مقادیر متناظر روش تنانت کمتر است، اما در سایر ماه‌های سال روش انتقال منحنی تداوم جریان به برآورد بیشتر جریان زیست‌محیطی نسبت به روش تنانت منجر شده است. در دوره زمانی سه‌ماهه اسفند- اردیبهشت مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش انتقال منحنی تداوم جریان در بازه ۴۲/۵ تا ۵۳/۲ مترمکعب بر ثانیه قرار دارد که بیشترین مقادیر جریان زیست‌محیطی در سال است در حالی که در بازه زمانی مرداد- مهر مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده در بازه ۶/۸ تا ۹/۲ مترمکعب بر ثانیه است که کمترین مقادیر جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش انتقال منحنی تداوم جریان طی سال است. بررسی نسبت جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش انتقال منحنی تداوم جریان به مقدار متوسط جریان ماهانه نشان می‌دهد این نسبت در بازه ۲۹ تا ۵۷ درصد با میانگین ۳۶/۶۸ درصد قرار دارد. مقدار میانگین این نسبت مشابه نتایج روش تنانت است،



رومیزی برای دو ماه متوالی مرداد و شهریور ۱۰۰ درصد جریان رودخانه را به جریان زیست‌محیطی تخصیص می‌دهد و نیز ۸۴ درصد جریان رودخانه را در ماه تیر مختص جریان زیست‌محیطی در نظر می‌گیرد که این نتایج کاربرد روش یادشده را در عمل محدود می‌سازد.

در دوره سه‌ماهه تیر- شهریور در بازه ۸۴- ۱۰۰ درصد است که بیشترین مقادیر این نسبت در طول سال است، اما این نسبت در دوره سه‌ماهه دی- اسفند در بازه ۱۵- ۱۶ درصد است که کمترین مقادیر این نسبت طی ماه‌های مختلف سال است. نیز باید این نکته مد نظر قرار گیرد که مدل ذخیره

جدول ۳. نیاز آب زیست‌محیطی مقطع مطالعه شده برحسب درصدی از MAR از روش DRM

نیاز آب زیست‌محیطی (EWR)							متوسط آورد سالیانه	نام مقطع
D	C/D	C	B/C	B	A/B	A		
۱۵/۴	۱۹/۶	۲۴	۳۰/۸	۳۷/۳	۴۶/۹	۵۷/۳	۸۰/۰	دهملا

جدول ۴. نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه زهره برحسب درصدی از MAR

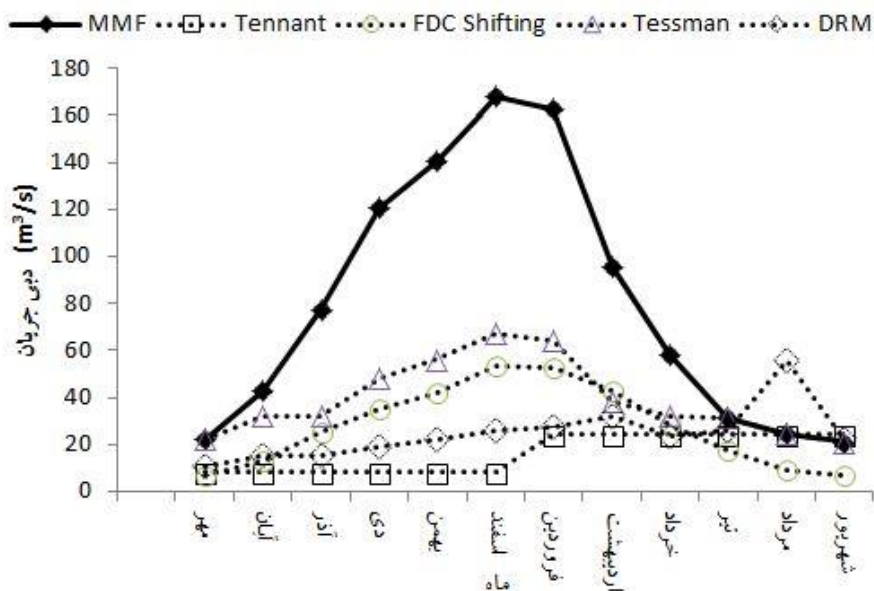
نیاز آب زیست‌محیطی بلندمدت (EWR) درصدی از MAR							متوسط آورد سالیانه	نام رودخانه
کلاس F	کلاس E	کلاس D	کلاس C	کلاس B	کلاس A			
۱۳/۴	۱۸/۶	۲۵/۴	۳۴/۸	۴۸/۶	۶۹/۱	۸۰/۰	زهره	

جدول ۵. توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی با روش‌های مختلف

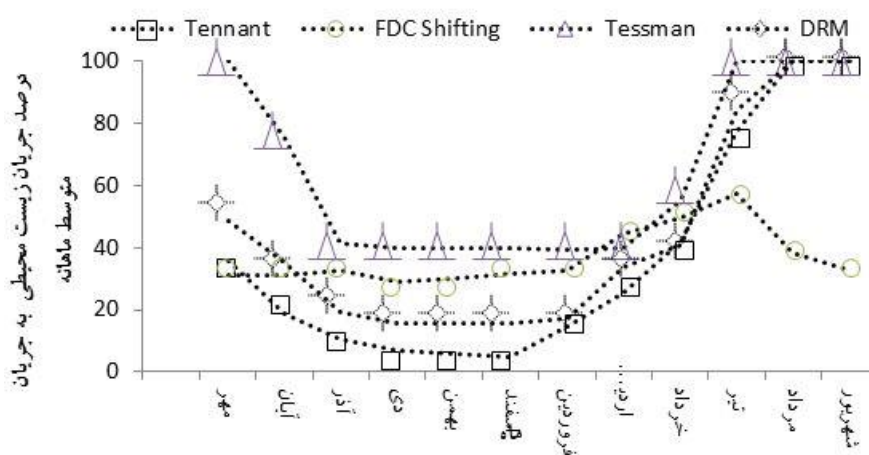
ماه	دبی متوسط جریان ماهیانه	تنانت	تسمن	مدل ذخیره رومیزی	انتقال منحنی تداوم جریان
	Q	Q	Q	Q	Q
مهر	۲۲/۴	۸/۰۲	۳۶	۲۲/۴	۱۰۰
آبان	۴۲/۵	۸/۰۲	۱۹	۳۲/۰	۷۵
آذر	۷۷/۲	۸/۰۲	۱۰	۳۲/۰	۴۱
دی	۱۲۰/۶	۸/۰۲	۷	۴۸/۲	۴۰
بهمن	۱۴۰/۲	۸/۰۲	۶	۵۶/۱	۴۰
اسفند	۱۶۷/۵	۸/۰۲	۵	۶۷	۴۰
فروردین	۱۶۲/۲	۲۴/۰۶	۱۵	۶۴	۴۰
اردیبهشت	۹۵/۶	۲۴/۰۶	۲۵	۳۸/۲	۴۰
خرداد	۵۷/۸	۲۴/۰۶	۴۲	۳۲/۰	۴۲
تیر	۳۱/۱	۲۴/۰۶	۷۷	۳۱/۱	۱۰۰
مرداد	۲۴/۱	۲۴/۰۶	۱۰۰	۲۴/۱	۱۰۰
شهریور	۲۱/۰	۲۴/۰۶	۱۰۰	۲۱/۰	۱۰۰
میانگین داده‌ها	۸۰/۱۸	۱۶/۰۴	۳۶/۷۵	۳۹/۰۱	۳۶/۷۵

شکل ۵ ارائه شده است. بررسی این نمودار نشان می‌دهد الگوی کلی در نتایج روش‌های تنانت، تسمن و مدل ذخیره رومیزی دیده می‌شود که این الگو در نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان مشاهده نمی‌شود. طبق این الگو نسبت بیان شده دارای تغییرات به صورت نزولی - نسبتاً ثابت - صعودی است به گونه‌ای که این نسبت طی بازه زمانی مهر - آذر کاهش می‌یابد، در بازه زمانی دی - اسفند نسبتاً ثابت است و در بازه فروردین - شهریور روند افزایشی دارد. الگوی تغییرات نسبت جریان زیست‌محیطی به جریان متوسط ماهانه (بر حسب درصد) برای روش انتقال منحنی تداوم جریان رفتاری متفاوت دارد به گونه‌ای که در بازه زمانی مهر - اسفند ثابت، فروردین - تیر افزایشی و مرداد - شهریور کاهش است نیز باید در نظر داشت. در مجموع، سه ماهه تابستان برای همه روش‌ها این نسبت به بیشترین مقادیر خود طی سال می‌رسد. همچنین بررسی تغییرات این نسبت در روش‌های مختلف در طول زمان بیانگر آن است که در بازه زمانی آذر - فروردین ترتیب بزرگی این نسبت در روش‌های مختلف به صورت تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی و تنانت است در حالی که برای سایر ماه‌های سال الگوی کاملاً متمایزی دیده نمی‌شود.

مقادیر جریان زیست‌محیطی برآورد شده در ماه‌های مختلف سال در شکل ۴ ارائه شده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد در بازه زمانی آبان - خرداد مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده توسط همه روش‌ها کمتر از جریان متوسط ماهانه و در بازه مهر - تیر کوچک‌تر و مساوی جریان متوسط ماهانه بوده است، اما در ماه شهریور روش‌های مدل ذخیره رومیزی و تنانت و در ماه مرداد مدل ذخیره رومیزی مقدار جریان زیست‌محیطی را بیشتر از جریان متوسط ماهانه برآورد کرده است. همچنین با بررسی بصری این شکل مشخص است که در بازه زمانی آذر - خرداد تفاوت بین متوسط جریان ماهانه رودخانه و برآوردهای جریان زیست‌محیطی در بالاترین سطح است. اگر بازه زمانی آبان - فروردین در نظر گرفته شود، مشخص می‌شود در این بازه زمانی الگوی مشخصی بین نتایج برآوردهای جریان زیست‌محیطی در روش‌های مختلف برقرار است که طبق این الگو ترتیب بزرگی مقادیر برآورد شده دبی زیست‌محیطی به ترتیب تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی و تنانت است در حالی که از اردیبهشت تا مهر یک الگوی ثابت بین نتایج برآوردهای مختلف جریان زیست‌محیطی مشاهده نمی‌شود. توزیع ماهانه نسبت جریان زیست‌محیطی به جریان متوسط ماهانه بر حسب درصد در



شکل ۴. توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی با روش‌های بررسی شده



شکل ۵. توزیع ماهانه نسبت جریان زیست‌محیطی به جریان متوسط ماهانه (برحسب درصد)

### نتیجه‌گیری

برآورد مقدار جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی به دلیل نیاز به داده‌های محدود، ارزیابی نسبتاً سریع و هزینه نسبی کم به شکل گسترده‌ای در برآوردهای اولیه طرح‌های مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و محیط زیست مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مطالعه روش‌های تنانت، مدل ذخیره رومیزی، تسمن و انتقال منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های ایستگاه هیدرومتری دهملا (رودخانه زهره) بررسی و ارزیابی شده است. بررسی نتایج روش‌های مختلف به نتایج زیر منجر شده است:

- بررسی دامنه مقادیر برآوردشده برای جریان زیست‌محیطی نشان می‌دهد این دامنه برای روش تنانت (۲۴/۰۶ - ۸/۰۲) مترمکعب بر ثانیه، برای روش تسمن (۲۱ - ۶۷) مترمکعب بر ثانیه، برای روش مدل ذخیره رومیزی (۱۰/۹ - ۵۵/۷) مترمکعب بر ثانیه و برای روش انتقال منحنی تداوم جریان (۶/۸ - ۵۳/۲) مترمکعب بر ثانیه بوده است، بنابراین به ترتیب روش‌های انتقال منحنی تداوم جریان (۴۶/۴ مترمکعب بر ثانیه)، تسمن (۴۶ مترمکعب بر ثانیه)، مدل ذخیره رومیزی (۴۴/۸ مترمکعب بر ثانیه) و تنانت (۱۶/۰۴ مترمکعب بر ثانیه) بیشترین دامنه تغییرات جریان زیست‌محیطی ماهانه را دارند و البته به طور مشخص دامنه تغییرات روش تنانت به شکل کاملاً محسوسی کوچک‌تر از سه روش دیگر بررسی شده است.

- با در نظر گرفتن مقدار جریان متوسط زیست‌محیطی برآوردشده در ماه‌های مختلف سال مشخص می‌شود که براساس بزرگی مقدار ترتیب نتایج به صورت تسمن

(۳۹/۰۱ مترمکعب بر ثانیه)، انتقال منحنی تداوم جریان (۲۷/۷۹ مترمکعب بر ثانیه)، مدل ذخیره رومیزی (۲۴/۶۴ مترمکعب بر ثانیه) و روش تنانت (۱۶/۰۴ مترمکعب بر ثانیه) است. به بیان دیگر، روش‌های تسمن و تنانت با تفاوت محسوس نسبت به روش‌های مدل ذخیره رومیزی و انتقال منحنی تداوم جریان به ترتیب به برآوردهای بیشتر و کمتر منجر شده‌اند.

- نسبت جریان زیست‌محیطی به جریان متوسط ماهانه (برحسب درصد) برای روش‌های مختلف بررسی شد که براساس دامنه تغییرات این نسبت بیشترین مقادیر به ترتیب متعلق به روش‌های تنانت (۹۵)، مدل ذخیره رومیزی (۸۵)، تسمن (۶۱) و انتقال منحنی تداوم جریان (۲۸) بوده است. نیز ترتیب میانگین این نسبت بر اساس مقادیر بزرگ‌تر به صورت تسمن (۶۴/۲۹)، مدل ذخیره رومیزی (۴۳/۸۸)، تنانت (۳۶/۷۵) و انتقال منحنی تداوم جریان (۳۶/۶۸) بوده است.

- به طور معمول اگر روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی در بازه‌های زمانی از سال همه جریان رودخانه را برای جریان زیست‌محیطی تخصیص دهند، این تخصیص در عمل به علت نیاز سایر بخش‌ها به آب قابل تخصیص نخواهد بود. با در نظر گرفتن این معیار مشخص می‌شود که بیشترین تعداد ماه‌های سال با تخصیص جریان ۱۰۰ درصد به جریان زیست‌محیطی در روش‌های مختلف به ترتیب به صورت تسمن (۴ ماه)، مدل ذخیره رومیزی (۲ ماه)، تنانت (۲ ماه) و روش انتقال منحنی تداوم جریان (هیچ‌یک از ماه‌های سال) بوده است.

- [5]. Grantham TE, Viers JH, Moyle PB. Systematic screening of dams for environmental flow assessment and implementation. *BioScience*. 2014 Nov 1;64(11):1006-18.
- [6]. Lu XX, Li S, Kumm M, Padawangi R, Wang JJ. Observed changes in the water flow at Chiang Saen in the lower Mekong: Impacts of Chinese dams?. *Quaternary International*. 2014 Jun 26;336:145-57.
- [7]. Mackay SJ, Arthington AH, James CS. Classification and comparison of natural and altered flow regimes to support an Australian trial of the ecological limits of hydrologic alteration framework. *Ecohydrology*. 2014 Dec 1;7(6):1485-507.
- [8]. Bergkamp G, McCartney M, Dugan P, McNeely J, Acreman M. Dams, ecosystem functions and environmental restoration. *Thematic Review II*. 2000 Nov;1.
- [9]. Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD et al. The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*. 1997 Dec;47(11):769-784.
- [10]. Simonovic SP. World water dynamics: global modeling of water resources. *Journal of Environmental Management*. 2002 Nov 30;66(3):249-67.
- [11]. Tharme RE. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River research and applications*. 2003 Sep 1;19(5-6):397-441.
- [12]. Petts GE. Water allocation to protect river ecosystems. *Regulated rivers: research & management*. 1996 Jul 1;12(4-5):353-65.
- [13]. Zare Bidaki R, Mahdianfard M, Honarbakhs A, Zeinivand, H. Base Flow Estimation in Tیره Dorood River in order to Environmental Flow Assessment. *Ecohydrology*. 2015; 2(3): 275-287. [Persian]
- [14]. Shokouhi A, Hong Y. Determining the Minimum Ecological Water Requirements in Perennial Rives Using Morphological Parameters. *Journal of Environmental Studies*. 2011(58): 117-128 (Persian)
- [15]. Hughes DA, Smakhtin V. Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*. 1996 Dec 1;41(6):851-71.

- یکی از معیارهای دیگری که در تحلیل نتایج می‌توان در نظر داشت این است که نسبت جریان متوسط ماهانه زیست‌محیطی به جریان متوسط سالانه (برحسب درصد) برای روش‌های مختلف به چه صورت تغییر می‌یابد. بر این اساس، نتایج بیانگر این نکته است که در روش‌های مختلف این نسبت به ترتیب تسمن (۴۹)، انتقال منحنی تداوم جریان (۳۵)، مدل ذخیره رومیزی (۳۱) و تنانت (۲۰) است. بر این اساس، این نسبت برای روش‌های تسمن و تنانت دارای بیشترین و کمترین مقدار است و برای روش‌های انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی در میانه مقادیر قرار دارد.

- بررسی تغییرات زمانی جریان زیست‌محیطی برآورده شده با روش‌های مختلف و جریان متوسط ماهانه نشان می‌دهد الگوی جریان زیست‌محیطی ماهانه برآورده شده با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان بیشترین تشابه را با الگوی جریان متوسط ماهانه دارد. با در نظر گرفتن مجموع معیارهای بررسی شده می‌توان نتیجه گرفت که در بین روش‌های بررسی شده روش انتقال منحنی تداوم جریان می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین روش برآورد جریان زیست‌محیطی در این مطالعه انتخاب شود.

#### منابع

- [1]. Baumgartner LJ, Conallin J, Wooden I, Campbell B, Gee R, Robinson WA, Mallen-Cooper M. Using flow guilds of freshwater fish in an adaptive management framework to simplify environmental flow delivery for semi-arid riverine systems. *Fish and Fisheries*. 2014 Sep 1;15(3):410-27.
- [2]. MacDonald GK, D'Odorico P, Seekell DA. Pathways to sustainable intensification through crop water management. *Environmental Research Letters*. 2016 Aug 30;11(9):091001.
- [3]. Bond N, Costelloe J, King A, Warfe D, Reich P, Balcombe S. Ecological risks and opportunities from engineered artificial flooding as a means of achieving environmental flow objectives. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2014 Sep 1;12(7):386-94.
- [4]. Yang HC, Suen JP, Chou SK. Estimating the Ungauged Natural Flow Regimes for Environmental Flow Management. *Water Resources Management*. 2016 Oct 1;30(13):4571-84.

- [16]. Wolaver BD. Potential Economic Impacts of Instream Flows for Central Texas Freshwater Mussels. In 2013 NGWA Summit—The National and International Conference on Groundwater 2013 May 1. Ngwa.. 70pp.
- [17]. Ahn JM, Lee S, Kang T. Evaluation of dams and weirs operating for water resource management of the Geum River. *Science of the Total Environment*. 2014 Apr 15;478:103-15.
- [18]. Archfield SA, Steeves PA, Guthrie JD, Ries III KG. Towards a publicly available, map-based regional software tool to estimate unregulated daily streamflow at ungauged rivers. *Geoscientific Model Development*. 2013 Jan 28;6(1):101-15.
- [19]. Joshi KD, Jha DN, Alam A, Srivastava SK, Kumar V, Sharma AP. Environmental Flow requirements of River Sone: Impacts of low discharge on fisheries. *Current Science*. 2014 Aug 10;107(3):478.
- [20]. Smakhtin VY, Anpurhas M. An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. *IWMI Research Report 107*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2006, 36pp.
- [21]. Watt SP. A methodology for environmental protection of Ontario watercourses with respect to the permit to take water program. 2007.
- [22]. Mazvimavi D, Madamombe E, Makurira H. Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2007 Dec 31;32(15):995-1006.
- [23]. Olsen M, Troldborg L, Henriksen HJ, Conallin J, Refsgaard JC, Boegh E. Evaluation of a typical hydrological model in relation to environmental flows. *Journal of Hydrology*. 2013 Dec 12;507:52-62.
- [24]. Reiser DW, Wesche TA, Estes C. Status of instream flow legislation and practices in North America. *Fisheries*. 1989 Mar 1;14(2):22-9.
- [25]. Sedighkia M, Ayyoubzadeh SA, Hajiesmaeli M. Investigation on the necessities of Instream Flow Needs assessment in the rivers using hydro-ecological methods (Case study: Delichai river in Tehran, Iran). *Ecohydrology*. 2015; 2(3): 289-300. [Persian]
- [26]. Wilding TK, Poff NL. Flow-ecology relationships for the watershed flow evaluation tool. Colorado State University, Department of Biology, Fort Collins, CO. 2008. 50 pp.
- [27]. Tessmann S. 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. 1980.
- [28]. Linnansaari T, Monk WA, Baird DJ, Curry RA. Review of approaches and methods to assess environmental flows across Canada and internationally. DFO Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document. 2012;39. 83pp.
- [29]. Wałęga A, Młyński D, Kokoszka R, Miernik W. Possibilities of Applying Hydrological Methods for Determining Environmental Flows in Select Catchments of the Upper Dunajec Basin. *methodology (BBM)*. 2015 Nov 1;29:32.
- [30]. Hughes DA, Hannart P. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. *Journal of Hydrology*. 2003 Jan 31;270(3):167-81.
- [31]. Tennant DL. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*. 1976 Jul 1;1(4):6-10.
- [32]. Jayasiri MM, Dayawansa ND, Gunawardena ER. Comparison of methods to assess environmental flows: A Review. *International Research Symposium on Engineering Advancements*. SAITM, Malabe, Sri Lanka, 2015, 46-49.
- [33]. Smakhtin VU, Eriyagama N. Developing a software package for global desktop assessment of environmental flows. *Environmental Modelling & Software*. 2008 Dec 31;23(12):1396-406.