

تعیین نیاز آبی محیط‌زیستی زیر حوزه‌های رودخانه کرج با استفاده از رویکرد منحنی تداوم و شاخص‌های تغییرپذیری جریان

- ❖ صاحب‌ه کرمی؛ دکترای محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ شراره پورابراهیم*؛ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ علی سلاجقه؛ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ آرش ملکیان؛ دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ میشل استروچ؛ گروه اکولوژی سیمای سرزمین، موسسه تحقیقاتی UFZ، آلمان
- ❖ مارتین فولک؛ گروه اکولوژی سیمای سرزمین، موسسه تحقیقاتی UFZ، آلمان
- ❖ فلیکس ویتینگ؛ گروه اکولوژی سیمای سرزمین، موسسه تحقیقاتی UFZ، آلمان

چکیده

حقاب‌ه محیط‌زیستی ترکیبی از کمیت، کیفیت و زمان‌بندی آب موردنیاز برای پایداری اکوسیستم آبی است. برای تعیین این مقدار، روش‌های مختلفی عرضه شده است که هر یک معایب و مزایای خود را دارند. رودخانه کرج یکی از پنج رودخانه حفاظت‌شده کشور است که منبع مهم تأمین‌کننده آب آشامیدنی تهران و کرج، آب کشاورزی و منبع تأمین برق کشور است. این رودخانه درگذشته نیازهای محیط‌زیستی پایین‌دست را تأمین می‌کرده ولی در سال‌های اخیر و به دلیل رشد مصرف آب کلان‌شهر تهران و کرج بخش عمده آب این رودخانه برای مصرف شرب تخصیص می‌یابد و این مسئله حیات زیست‌مندان وابسته به آن را درخطر قرار داده است. مقاله حاضر باهدف تعیین دامنه قابل قبول حقاب‌ه محیط‌زیستی رودخانه کرج و مقایسه آن با مقدار برآورد شده توسط وزارت نیرو صورت گرفته است. بدین منظور، ابتدا با استفاده از روش‌های منحنی تداوم جریان (Q90 و Q95) و شاخص‌های تغییرپذیری جریان، حقاب‌ه زیست محیطی رودخانه در سطح زیرحوزه و در مقیاس زمانی ماهانه محاسبه گردید که به‌این ترتیب سهم زیرحوزه‌های مختلف در تأمین حقاب‌ه مشخص شده و می‌تواند جهت مدیریت حوزه‌های آبخیز مدنظر قرار گیرد. نتایج نشان داد که روش منحنی تداوم جریان Q95 بالاترین و تنانت اصلاح‌شده وزارت نیرو کمترین مقادیر را برآورد می‌کنند، برای مثال در آخرین ایستگاه (سیرا-کرج) مقدار Q95 میانگین ماهانه $5/75 \text{ m}^3/\text{s}$ است درحالی که مقدار میانگین برآورد شده از تنانت $2/35 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. نتایج، مقادیر به‌دست‌آمده به‌وسیله روش منحنی تداوم جریان به‌عنوان حد بالا و شاخص تغییرپذیری جریان به‌عنوان حد پایین حقاب‌ه رودخانه کرج به‌صورت ماهانه را پیشنهاد می‌کند.

واژگان کلیدی: آستانه حقاب‌ه محیط‌زیستی، روش‌های هیدرولوژیکی، FDC، IHA، حداقل جریان یک‌روزه.

۱. مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت و تراکم کاربری اراضی، تقاضا برای آب و رقابت در میان استفاده‌کنندگان از سرزمین از قبیل صنعت، کشاورزی و اکوسیستم‌ها در حال افزایش است [۱] و از سویی به دلیل تغییر اقلیم این تعارضات در آینده دستخوش تغییرات معناداری خواهد شد. لذا ضروری است تا نیاز آبی اکوسیستم‌های طبیعی خصوصاً آب شیرین جهت حفظ پایداری و عملکرد، خدمات و کالاهایی که ارائه می‌دهند، به‌دقت بررسی شود [۲،۳]. با توجه به اینکه یکپارچگی رودخانه‌ها تا حد زیادی تحت تأثیر هیدرولوژی آن‌ها است، اطلاع از میزان جریان پایه در دسترس، به‌عنوان عامل مهم و کلیدی در توسعه استراتژی‌های مدیریت کیفی و کمی منابع آب موردنیاز است تا به‌وسیله تنظیم جریان آن‌ها، بهبود ساختار، عملکرد و خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم‌های رودخانه‌ای فراهم آید [۴،۵،۶]. جریان، حبابه و یا دبی محیط‌زیستی عبارت است از کمیت، زمان‌بندی و کیفیت آب موردنیاز برای پایداری اکوسیستم‌های آبی، زندگی و رفاه انسانی که به این اکوسیستم‌ها وابسته هستند [۷،۸]. روش‌های مختلف ارزیابی جریان محیط‌زیستی^۱ در بیش از ۵۰ کشور جهان مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. انتخاب روش خاص هر منطقه به مکان، گستردگی منطقه مطالعاتی، دسترسی به داده‌ها، محدودیت‌های زمانی و مالی و همچنین سطح دقت خروجی موردنیاز بستگی دارد [۱۰،۱۱] و در نتیجه هیچ روشی صحیح یا غلط نبوده بلکه مزایا و معایب خود را دارد [۱۲]. از سویی سیاست‌های روشن و مشخصی در زمینه تعیین حداقل دبی موردنیاز محیط‌زیستی در ایران وجود ندارد [۱۳] و در دستورالعمل تهیه‌شده توسط وزارت نیرو روش تنانت (مونتانا) مورد استفاده قرار می‌گیرد که این روش بر اساس مطالعات انجام شده در ۱۱ رودخانه در مونتانا آمریکا ایجاد شده است. در این روش وضعیت اکوسیستم و جریان رودخانه در هشت طبقه از جریان‌های سیلابی تا وضعیت اکوسیستم

ضعیف و تخریب^۲ یافته تقسیم‌بندی و سال آبی به دو قسمت شش‌ماهه تفکیک شده است. لذا جهت تعمیم این روش به مناطق دیگر در سطح دنیا به‌دقت و توجه بیشتری نیاز است، برای مثال توجه به عدم تعمیم حدود آستانه‌ای جریان در طبقات مختلف تنانت که بر اساس منطقه مونتانا آمریکا بوده و نیز در نظر گرفتن ملاحظات منطقه‌ای از قبیل تفاوت ماه‌های تر و خشک و جنبه‌های اکولوژیک می‌تواند از موارد حائز اهمیت باشند.

به این منظور وات (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای که بر روی رودخانه انتاریو کانادا انجام داد روش تنانت را برای این رودخانه مناسب ندانست [۱۴]. مسیح و همکاران (۲۰۰۹) روش منحنی تداوم جریان (FDC^۳) را برای رودخانه کرخه بکار بردند و نتیجه گرفتند که این روش برای برآورد جریان برای رودخانه‌های دارای ایستگاه هیدرولیکی و بدون ایستگاه هیدرولیکی به‌خوبی قابل استفاده است [۱۵]. پومو و همکاران (۲۰۱۳) برای رودخانه‌ای در جنوب ایتالیا به مقایسه روش FDC با روشی اکوهیدرولیکی پرداخته و نتایج FDC را قابل‌اتکا دانسته و این روش را پیشنهاد دادند [۱۶]. فولادی پناه و جوراب لو (۲۰۱۵) برای رودخانه قره‌سو اردبیل از شاخص‌های Q90 و Q95 منحنی تداوم جریان و بزرگی جریان به‌صورت حداقل جریان‌های یک‌روزه، سه‌روزه، پنج‌روزه و ۳۰ روزه استفاده نمودند و نتایج را در سطح قابل قبولی دانستند [۱۷]. اول دون و پوف (۲۰۰۳)، با در نظر گرفتن ۶۶ سنج هیدرولوژیکی از جریان رودخانه‌ای، شاخص‌های تغییرپذیری جریان (IHA^۴) را بیان نمودند که به‌خوبی نشان‌دهنده مؤلفه‌های رژیم جریان رودخانه‌ای است که یک اکوسیستم رودخانه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۸]. ترابی حقیقی و همکاران در سال ۲۰۱۴ در رودخانه‌های نیل مصر، کر ایران و دریاچه بختگان از شاخص‌های تغییرپذیری جریان برای ارزیابی

^۱ Environmental Flow Assessment^۲ Sever degradation^۳ Flow Duration Curve^۴ Indicators of Hydrologic Alteration

رودخانه کرج به استان تهران منتقل می‌شود بسیاری از کارکردهای رودخانه اعم از تغذیه سفره آب زیرزمینی و تأمین نیاز آبی دریاچه نمک مختل شده است و منجر به تخریب اراضی زیادی در بخش‌های پایین‌دست شده است، همچنین با توجه به پروژه تونل انتقال آب از سد امیرکبیر رعایت حقابه محیط‌زیستی این رودخانه کاملاً ضروری است. همچنین با توجه به اینکه رژیم بارش - رواناب در رودخانه کرج حاکم است و با توجه به کاهش برف در سال‌های اخیر میزان آورد رودخانه کرج کمتر از سال‌های پیش خواهد بود [۲۱]. لذا لازم است تا میزان حقابه لازم برای حفظ حیات رودخانه با روش‌های مختلف محاسبه و حدود آن تعیین شود.

در مقاله حاضر دو روش FDC^3 و IHA^4 در مقیاس مکانی زیرحوزه‌ای و زمانی ماهانه در بالادست سد امیرکبیر رودخانه کرج اجرا شد. سپس نتایج با مقادیر به‌دست‌آمده از تنانت اصلاح‌شده وزارت نیرو مقایسه گردید تا امکان برنامه‌ریزی در سطح حوزه و زیرحوزه جهت برنامه‌ریزی‌های آبی فراهم شود. از یک‌سو به کار بردن دو روش مذکور که تاکنون برای رودخانه کرج به کار برده نشده‌اند و از سویی برآورد شاخص‌های تغییرپذیری جریان که امکان مقایسه نیاز آبی زیست‌مندان رودخانه با جریان محیط‌زیستی رودخانه را فراهم می‌کند از نوآوری‌های پژوهش حاضر است.

۲. روش‌شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

ارتفاع متوسط حوزه رودخانه کرج تا محل سد امیرکبیر ۲۹۰۰ متر می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس اقلیم نمای دومارتن نیمه‌خشک سرد طبقه‌بندی می‌شود. میانگین بارندگی سالانه بین ۲۲۷/۵ میلی‌متر در قسمت‌های دشتی

ساختارهای هیدرولیکی از قبیل سدها استفاده نمود و شاخص‌های زمان، بزرگی و تغییرپذیری را برای برآورد جریان محیط‌زیستی مناسب دانسته است [۱۹]. لین و همکاران در سال ۲۰۱۷ سه روش IHA ، RVA و HMA را برای بررسی تغییرات جریان به کار بردند و ضمن تعیین حقابه محیط‌زیستی که سبب حفظ شرایط اکولوژیکی و یکپارچگی محیط‌های رودخانه می‌باشد، اثر تغییر اقلیم بر توزیع ماهانه دبی، تأثیر تغییر دبی بر تغییرات هندسه کانال رودخانه را نیز بررسی نمودند [۲۰]. درنهایت مرور منابع بیانگر کارایی روش‌های مختلف در تعیین نیاز آبی رودخانه‌هاست که می‌تواند جهت مقایسه و بازبینی دستورالعمل‌های ملی موجود بر اساس روش تنانت مورد استفاده قرار گیرد.

رودخانه کرج یکی از منابع اصلی آب شرب برای ساکنان استان‌های البرز و تهران می‌باشد و زیستگاه مهمی برای گونه بومی^۱ و سردابی ماهی قزل‌آلای خال قرمز^۲ به‌عنوان یک گونه درخطر انقراض در ایران است و علاوه بر کارکردهای اکوسیستمی متعدد، از کارکرد تفرجی و نیز اشتغال‌زایی هم برخوردار است. این رودخانه از سوی سازمان حفاظت محیط‌زیست (مصوبه شماره ۱ مورخ ۱۳۴۶/۶/۷ شورای عالی شکاربانی و نظارت بر صید) در لیست رودخانه‌های حفاظت‌شده ایران قرار گرفته است. اگرچه این رودخانه یکی از پنج رودخانه حفاظت‌شده در کشور می‌باشد، در معرض بسیاری از منابع آلاینده قرار دارد. وجود مراکز تفریحی و اقامتی در حاشیه رودخانه کرج عاملی در جهت توسعه و رشد آلاینده‌ها در حاشیه و بستر رودخانه کرج می‌باشد. در این مسیر منابع آلاینده متعددی به رودخانه وارد می‌شوند که طبعاً بر روی اکسیژن محلول آن اثر خواهند گذاشت که شرایط را برای زیست‌مندان دشوارتر خواهد کرد با کاهش دبی به‌طورقطع سطح مقطع آب در رودخانه، عمق رودخانه و حتی سرعت جریان متفاوت خواهد شد و به دنبال آن کارکرد اکوسیستم نیز تغییر خواهد یافت.

از آنجایی که مطابق مصوبه هیئت‌وزیران مورخ ۱۳۸۶/۱۱/۹ سالانه ۳۲۰ میلیون مترمکعب آب از

^۱ Endemic

^۲ *Salmo trutta fario*

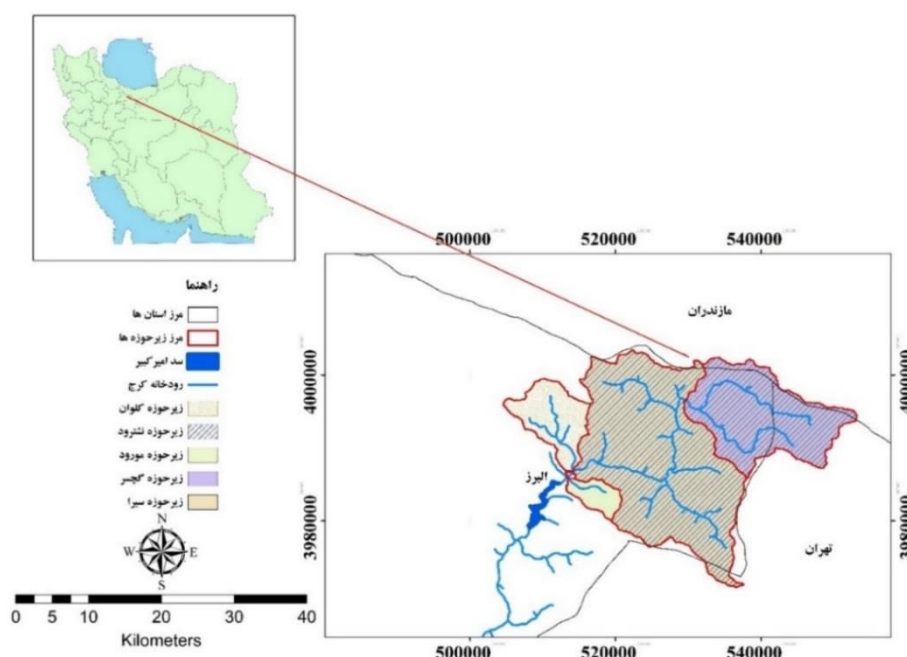
^۳ منحنی تداوم جریان

^۴ شاخص‌های تغییرپذیری جریان

تا ۴۳۲/۵ میلی‌متر در قسمت‌های کوهستانی است. میانگین سالانه دما در قسمت‌های کوهستانی و دشت‌ها به ترتیب، $11/0^{\circ}\text{C}$ و $16/2^{\circ}\text{C}$ است [۲۲].

برای تعیین حبابه محیط‌ریستی رودخانه کرج ابتدا لازم است زیر حوزه‌های موجود شناسایی شوند. برای این منظور در ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری و در نظر گرفتن ایستگاه‌های هیدرومتری مستقر بر بیکره

اصلی رودخانه به عنوان خروجی زیرحوزه، ۵ زیرحوزه در بسته الحاقی^۱ ArcSWAT تعیین گردیدند (شکل ۱). بررسی شکل حوزه آبخیز رودخانه کرج نشان داده است که این از نوع حوزه‌های کشیده بوده و در نتیجه زمان تمرکز بالا، دارد [۲۱].



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

۲.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

۱.۲.۲. تحلیل روند ایستگاه‌های هیدرومتری

در هر زیرحوزه منتهی به ایستگاه‌های هیدرومتری مربوط به وزارت نیرو، داده‌های دبی (m^3/s) روزانه به مدت ۲۴ سال در مقیاس زمانی ماهانه مورد تحلیل قرار گرفت. برای این منظور داده‌ها در یک دوره ایستامورد تأیید وزارت نیرو بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰ در نظر رفته شد [۲۳].

برای کلیه دبی‌های میانگین ایستگاه‌های مورد مطالعه، در ابتدا آماره آزمون ناپارامتریک (من-کندال) استفاده شد. سپس معنی‌داری در سطوح اطمینان ۹۵ درصد مورد

آزمون قرار گرفت [۲۴ و ۲۵]. فرض صفر در این آزمون این است که داده‌ها از سری مستقل و دارای توزیع یکسان بوده و روندی در داده‌های مشاهداتی وجود ندارد [۲۶]. در این مطالعه برای بررسی بزرگی و معنی‌داری آماری روند تغییرات در داده‌های سری زمانی هیدرولوژیک از نرم‌افزار R [۲۷] و با استفاده از بسته ZYP [۲۸] استفاده گردید. این رهیافت در ابتدا بزرگی (شیب) روند احتمالی در داده‌ها را با استفاده از یک تخمین زننده غیرپارامتریک به نام تیل-سن^۲ تعیین می‌کند. حدود اطمینان در این

¹ Extension

2 Thiel-Sen

درصد زمانی وقوع دبی‌های مختلف در یک دوره زمانی مشخص است. با استفاده از این روش تغییرپذیری جریان در درصدهای مختلف (Q50-Q95) قابل بررسی است، که نشان دهنده آستانه‌ای برای میزان جریان محیط‌زیستی خواهد بود. مطالعات پیشین نشان داده است که پرکاربردترین مقادیر منحنی تداوم جریان که بیشترین قرابت را با برآوردهای اکولوژیکی تعیین حقابه و ویژگی‌های اکوسیستمی دارند Q95 و Q90 می‌باشند [۲۹، ۱۷، ۱۶].

شاخص‌های تغییرپذیری جریان: شاخص‌های تغییرپذیری جریان شامل ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی که نشان‌دهنده بزرگی، فراوانی، دوره، زمان‌بندی و نرخ تغییر جریان آب بوده و همچنین ۳۴ پارامتر هیدرولوژیکی دیگری که به مؤلفه‌های اکولوژیکی جریان معروف هستند، تغییرپذیری جریان در طول هرسال و در میان سال‌های مختلف را قابل بررسی می‌کنند. مؤلفه‌های اکولوژیکی جریان شاخص‌هایی از تغییرات هیدرولوژیکی هستند که بیشترین همبستگی و ارتباط را با عملکردهای اکولوژیکی دارند [۳۰، ۱۸] و به طرز معنی‌داری بر زندگی زیست‌مندان آبی تأثیرگذار هستند [۳۱]. IHA تحلیل مناسبی برای مطالعه در مقیاس حوزه‌ای ارائه می‌دهد که می‌توان از طریق DSS^۱ با نام IHA7.1 اجرا نمود [۳۲]. تفاوت روش‌های مختلف در تعریف آستانه‌های حداقل و حداکثر در تعیین دبی محیط‌زیستی در جدول ۱ آورده شده است.

آزمون ۹۵٪ است. سپس در صورتیکه روندی در داده‌ها وجود داشته باشد، آزمون من-کندال برای ارزیابی معنی داری آماری شیب‌های غیر صفر انجام می‌گیرد. آزمون من-کندال به صورت معادله‌های زیر است:

$$S = \sum_{i < j}^n a_{ij}$$

به نحوی که:

$$a_{ij} = \text{sign}(x_j - x_i) = \text{sign}(R_j - R_i) = \begin{cases} 1, & x_i < x_j \\ 0, & x_i = x_j \\ -1, & x_i > x_j \end{cases}$$

که در صورتی که داده‌ها مستقل و توزیع نرمال داشته باشند واریانس آنها از معادله زیر محاسبه می‌شود

$$E(s) = 0$$

$$V(s) = n(n-1)(2n+5)/18$$

ولی اگر مشاهدات یکسان وجود داشته باشد، واریانس کاهش می‌یابد و از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$V(s) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)]$$

۲.۲.۲. رهیافت‌های تعیین آستانه‌های حقابه

محیط‌زیستی

منحنی تداوم جریان: این منحنی نشان‌دهنده

جدول ۱. تفاوت آستانه‌ها در روش‌های مختلف [۲۹، ۳۳ و ۳۴]

مقدار حداکثر جریان	مقدار حداقل جریان	تعیین حداقل جریان	روش
Q50	Q90-Q95	ماهانه - سالانه	منحنی تداوم جریان
میانگین ۷۵٪ جریان‌های روزانه	میانگین ۱۰٪ جریان‌های روزانه	ماهانه - سالانه	شاخص‌های تغییرپذیری جریان
۳۰٪ میانگین جریان سالانه	۱۰٪ میانگین جریان سالانه	فصلی	تنانت - مورد استفاده وزارت نیرو

^۱ Decision Support System

۳. نتایج

نتایج آزمون ناپارامتری من-کندال نشان می‌دهد که در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها تغییرات در سطح ۹۵٪ به لحاظ

آماري معنی‌دار نبود. در ایستگاه‌های کلوان، نشترود و مورود روند کاهشی بوده و در ایستگاه گچ سر و سیرا-کرج روند مثبت یا افزایشی بود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج همبستگی آزمون من-کندال در R برای تحلیل روند

Sig	tau	trendp	trend	Stations
۰/۱۸	۰/۲۲	۱/۴۶	۰/۰۷	گچسر
۰/۰۶	-۰/۳۵	-۰/۱۴	-۰/۰۰۷	مورود
۰/۰۹	-۰/۲۷	-۰/۲۲	-۰/۰۲	نشترود
۱	۰/۰۰	-۰/۱۲	-۰/۰۱	سیرا-کلوان
۰/۶۷	۰/۰۷	۰/۶۴	۰/۰۳	سیرا-کرج

بر اساس جدول ۲، trend شیب آزمون تیل-سن است که بزرگی روند داده‌ها را در هر واحد زمان نشان می‌دهد. Trendp بزرگی روند داده‌ها در طول دوره مطالعاتی و tau آماره محاسباتی تاو در آزمون کندال است که بر اساس سری زمانی حذف گرایش شده^۱ بدست می‌آید و در نهایت P-value در آزمون من-کندال (Sig) که نشان‌دهنده معنی‌داری آزمون برای داده‌های سری زمانی است.

۱.۳. برآورد حقایق آبخیزداری در زیرحوزه‌ها

برای این منظور از آمار دبی ۲۴ سال منتهی به سال ۱۳۹۰ شرکت مدیریت منابع آب ایران و آب منطقه‌ای استان البرز، استفاده گردید و محاسبات موردنیاز برای تعیین نیاز آبی رودخانه به شرح زیر صورت پذیرفته است. بر اساس این داده‌ها، باوجود تفاوت در ماه‌های تر و خشک هر زیرحوزه، درمجموع رژیم ۴ ماه‌تر و ۸ ماه خشک در کلیه ایستگاه‌ها برقرار می‌باشد.

زیرحوزه گچ سر

همان‌طور که در نمودار ۱-الف قابل مشاهده است دبی در ایستگاه گچ سر از بیش از ۱۰ مترمکعب در ثانیه تا کمتر از ۱ مترمکعب در ثانیه متغیر بوده است. توزیع

ماهانه احتمال وقوع مقادیر مختلف دبی نشان می‌دهد که در ماه‌های مختلف‌تر و خشک و در ۹۰ درصد مواقع این ماه‌ها، دبی در دامنه بین ۰/۸۷ در ماه بهمن تا ۴/۱۵ مترمکعب بر ثانیه در ماه اردیبهشت متغیر بوده است. بر اساس روش IHA می‌توان به تحلیل جریان‌های حداقل مفرط، حداقل، پالس‌های جریان زیاد، سیلاب‌های کوچک و بزرگ پرداخت، همان‌طور که در نمودار ۱-ب قابل ملاحظه است در ایستگاه گچ سر بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ حداقل جریان مقداری در حدود میانگین ۲/۵ متر بر ثانیه داشته است. از سویی حداقل جریان ۱ روزه درازمدت در ایستگاه گچ سر در سال‌های مختلف به‌دست آمده است. نمودار ۱-ج نشان می‌دهد که با تحلیل روزهای مینیمم جریان در ایستگاه در سال‌های مختلف در ۹۰ درصد مواقع حداقل جریان یک‌روزه در رودخانه ۱/۳۶ مترمکعب بر ثانیه بوده است و نشان‌دهنده لزوم رعایت پیوسته جریان در ماه‌های مختلف است.

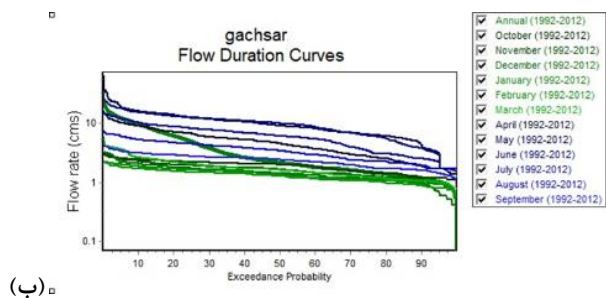
زیرحوزه مورود

همان‌طور که در نمودار ۲-الف قابل مشاهده است دبی در ایستگاه مورود از بیش از ۱ مترمکعب در ثانیه تا کمتر از ۰/۰۱ مترمکعب در ثانیه متغیر بوده است. توزیع ماهانه احتمال وقوع مقادیر مختلف دبی نشان می‌دهد که در ماه‌های مختلف‌تر و خشک و در ۹۰ درصد

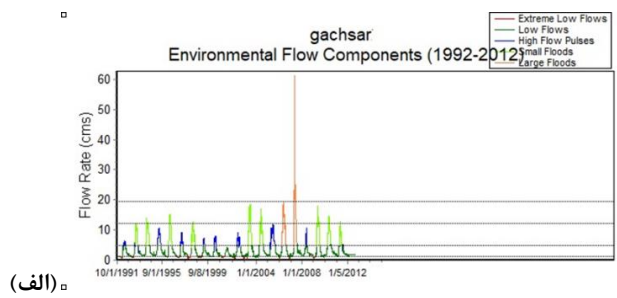
^۱ Detrend

روزه درازمدت در ایستگاه مورود ۲-ج در سال‌های مختلف به‌دست آمده است. نمودار نشان می‌دهد که با تحلیل روزهای مینیمم جریان در ایستگاه در سال‌های مختلف در ۹۰ درصد مواقع حداقل جریان یک‌روزه در این بخش ۰/۰۱ مترمکعب بر ثانیه بوده است.

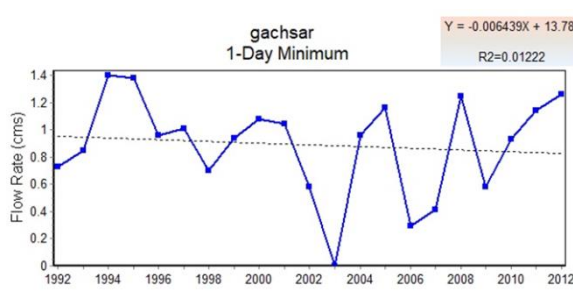
مواقع این ماه‌ها، دبی در دامنه بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۲۵ مترمکعب بر ثانیه در ماه فروردین متغیر بوده است. در ایستگاه مورود بر اساس نمودار ۲-ب بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ حداقل جریان مقداری در حدود میانگین ۰/۰۹ متر بر ثانیه داشته است. همچنین حداقل جریان ۱



(ب)

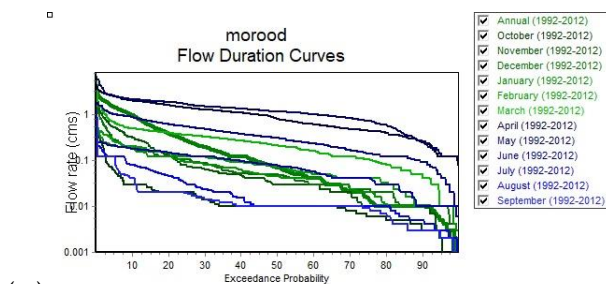


(الف)

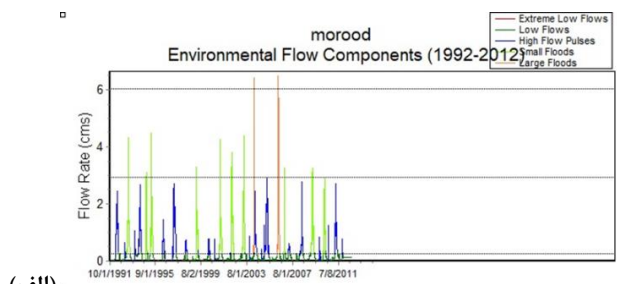


(ج)

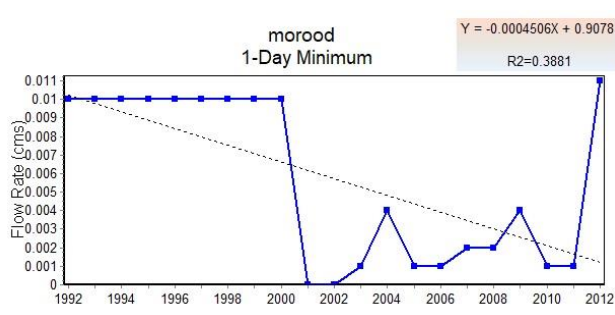
نمودار ۱. نتایج به روش FDC در ماه‌های مختلف، IHA و حداقل یک‌روزه در زیرحوزه گچ سر



(ب)



(الف)

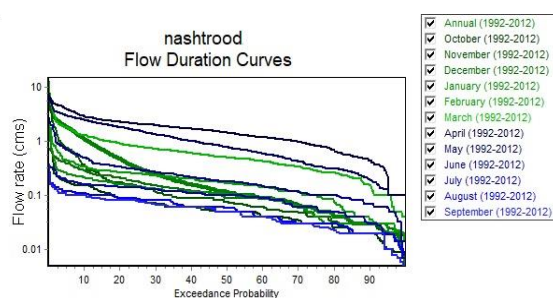


(ج)

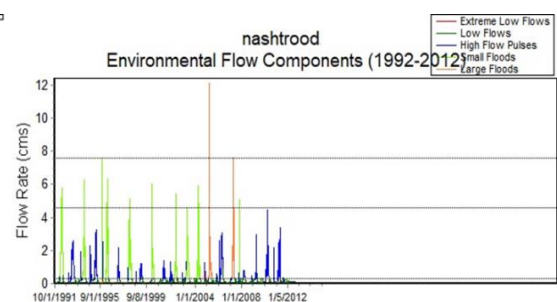
نمودار ۲. نتایج به روش FDC در ماه‌های مختلف، IHA و حداقل یک‌روزه در زیرحوزه مورود

زیرحوزه نشتارود

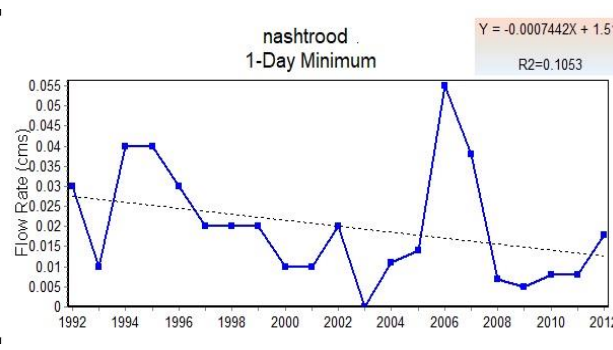
همان‌طور که در نمودار ۳- الف قابل مشاهده است، دبی در ایستگاه نشتارود از حدود ۱۰ مترمکعب در ثانیه تا کمتر از ۰/۰۱ مترمکعب در ثانیه متغیر بوده است. توزیع ماهانه احتمال وقوع مقادیر مختلف دبی ۱۱ نشان می‌دهد که در ماه‌های مختلف تر و خشک و در ۹۰ درصد مواقع این ماه‌ها، دبی در دامنه بین ۰/۰۲ تا ۰/۴۳۳ مترمکعب بر ثانیه در ماه فروردین متغیر بوده است. در ایستگاه نشتارود



(ب)



(الف)



(ج)

نمودار ۳: نتایج به روش FDC در ماه‌های مختلف، IHA و حداقل یک‌روزه در زیرحوزه نشتارود

حداقل جریان ۱ روزه درازمدت در ایستگاه سیرا کلوان در سال‌های مختلف نیز به‌دست آمده است. نمودار ۴-ج نشان می‌دهد که با تحلیل روزهای مینیمم جریان در ایستگاه در سال‌های مختلف در ۹۰ درصد مواقع حداقل جریان یک‌روزه در این بخش ۰/۵ مترمکعب بر ثانیه بوده است.

زیرحوزه سیرا

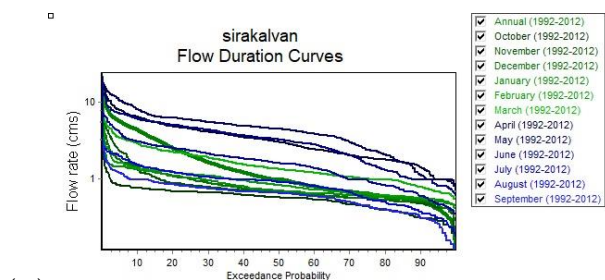
بر اساس نمودار ۵-الف دبی در ایستگاه سیرا کرج از ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه تا کمتر از ۱۰ مترمکعب در ثانیه متغیر بوده است. توزیع ماهانه احتمال وقوع مقادیر مختلف دبی نشان می‌دهد که در ماه‌های مختلف تر و خشک و

زیرحوزه کلوان

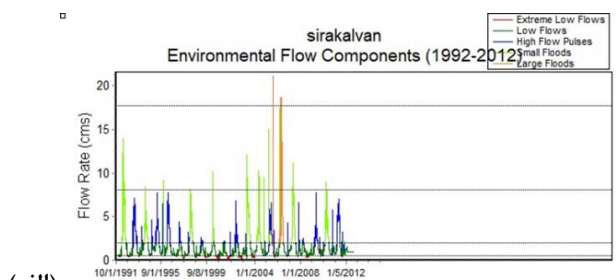
همان‌طور که در نمودار ۴- الف قابل مشاهده است دبی در ایستگاه سیرا کلوان از بیش از ۱۰ مترمکعب در ثانیه تا کمتر از ۰/۰۱ مترمکعب در ثانیه متغیر بوده است. توزیع ماهانه احتمال وقوع مقادیر مختلف دبی نشان می‌دهد که در ماه‌های مختلف تر و خشک و در ۹۰ درصد مواقع این ماه‌ها، دبی در دامنه بین ۰/۳۱ تا ۱/۴ مترمکعب بر ثانیه در ماه فروردین متغیر بوده است. با توجه به نمودار ۴-ب در ایستگاه کلوان بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ حداقل جریان مقداری در حدود میانگین ۱ متر بر ثانیه داشته است.

روزهای مینیمم جریان در ایستگاه در سال‌های مختلف در ۹۰ درصد مواقع حداقل جریان یک‌روزه در این بخش ۴/۲ مترمکعب بر ثانیه بوده است. نتایج حاصل از روش‌های مختلف به‌صورت ماهانه و در زیرحوزه‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است.

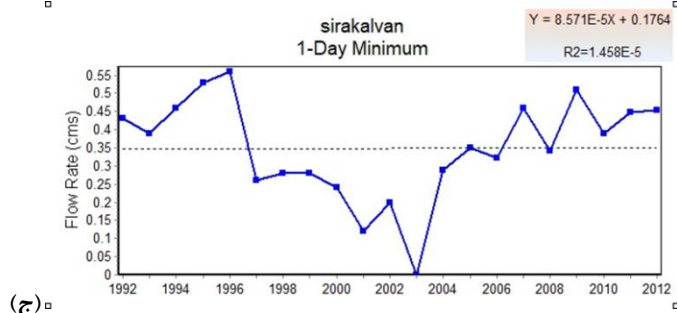
۹۰ درصد مواقع این ماه‌ها، دبی در دامنه بین ۳/۱۸ تا ۱۷/۵ مترمکعب بر ثانیه در ماه اردیبهشت متغیر بوده است. در ایستگاه سیرا کرج ۵-ب بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ حداقل جریان مقداری در حدود میانگین ۸/۳۴ متر بر ثانیه داشته است. نمودار ۵-ج نشان می‌دهد که با تحلیل



(ب)

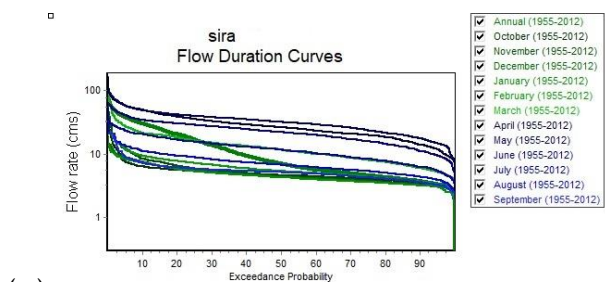


(الف)

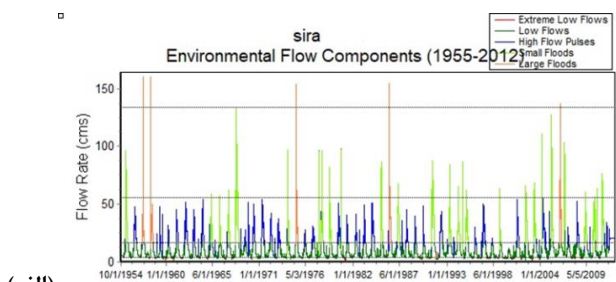


(ج)

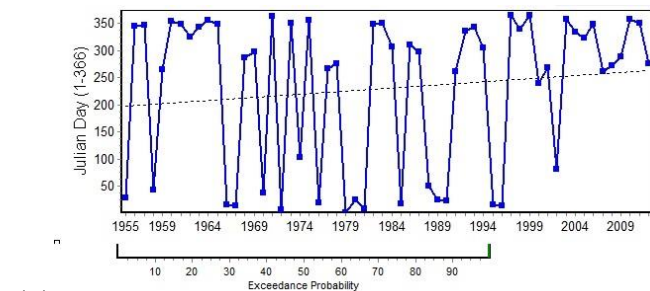
نمودار ۴. نتایج به روش FDC در ماه‌های مختلف، IHA و حداقل یک‌روزه در زیرحوزه کلوان



(ب)



(الف)



(ج)

نمودار ۵: نتایج به روش FDC در ماه‌های مختلف، IHA و حداقل یک‌روزه در زیرحوزه سیرا-کرج

جدول ۳. نتایج تعیین آستانه حقابه محیط‌زیستی در زیرحوزه‌ها و به روش‌های مختلف

زیرحوزه	روش m3/s	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
گچ سر	FDC	۱/۱۹	۱/۰۱	۰/۷۰	۰/۹۲	۰/۸۰	۱/۰۰	۱/۷۰	۲/۸۸	۳/۱۰	۲/۱۷	۱/۷۰	۱/۴۱
	IHA	۱/۲۱	۱/۱۱	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۸۷	۱/۰۶	۱/۸۶	۴/۱۵	۳/۸۰	۲/۴۹	۱/۹۱	۱/۵۷
	FDC	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
مورود	IHA	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۳
	FDC	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱
	IHA	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۴۳	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲
نشترود	IHA	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۶
	FDC	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۸۱	۰/۴۷	۰/۳۱	۰/۲۶
	IHA	۰/۳۱	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۷۹	۱/۴۰	۱/۱۳	۰/۹۸	۰/۵۹	۰/۳۷	۰/۳۲
کلوان	IHA	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۸۰	۱/۲۴	۱/۶۹	۱/۳۶	۱/۰۸	۱/۵۱	۰/۹۸	۰/۶۵
	FDC	۳/۲۸	۳/۱۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۳۳	۵/۱۸	۱۱/۶۹	۱۴/۶۰	۹/۳۵	۵/۳۹	۳/۹۰	۳/۲۷
	IHA	۳/۲۹	۳/۳۰	۳/۱۸	۳/۱۰	۳/۶۴	۵/۹۰	۱۴/۰۰	۱۷/۵۰	۱۱/۰۰	۶/۲۰	۴/۳۰	۳/۶۰
سیرا	IHA	۴/۷۱	۴/۶۲	۴/۷۵	۴/۳۹	۵/۳۳	۹/۵۴	۱۳/۸۹	۱۴/۸۷	۱۴/۴۰	۱۱/۸۳	۶/۵۵	۵/۲۰

۴. بحث و نتیجه‌گیری

برآورد حقابه محیط‌زیستی با روش‌های هیدرولوژیکی به دلیل نیاز حداقلی آن‌ها به داده‌ها، ارزیابی نسبتاً سریع‌تر و با هزینه به نسبت کمتری را فراهم می‌آورند و لذا در ایجاد ارزیابی‌های اولیه در برنامه‌های مدیریت منابع آب و محیط‌زیست مورد توجه قرار دارند. از طرفی برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب در سطح زیرحوزه‌های آبخیز این امکان را برای مدیران فراهم می‌آورد تا با شناخت وضع موجود و تاریخی هر زیرحوزه اقدام به اعمال برنامه‌های حفاظت و بهبود زیرحوزه‌های آبخیز نمایند. بر همین اساس در این مطالعه روش‌های منحنی تداوم جریان و شاخص‌های تغییرپذیری جریان در

زیرحوزه‌های مختلف رودخانه کرج مورد بررسی قرار گرفت و از این طریق امکان برآورد آن‌ها به صورت ماهانه نیز فراهم گردید.

آنچه به عنوان عدد حقابه زیست‌محیطی تابه‌حال در رهاسازی‌های انجام شده توسط وزارت نیرو مورد استفاده قرار می‌گرفته است، نتایج به‌دست‌آمده از روش تنانت است که با در نظر گرفتن درصدی از جریانات سطحی میزان نیاز آبی محیط‌زیستی رودخانه کرج را تعیین نموده است. به این ترتیب در فصل بهار ۲/۳ در تابستان ۳/۱ در پاییز ۱/۸ و در زمستان ۰/۹ مترمکعب در ثانیه به عنوان حقابه محیط‌زیستی این رودخانه محاسبه شده است. در نتیجه مطابق این محاسبات سالانه ۶۴/۵ میلیون مترمکعب آب می‌بایستی جهت حفظ کیفیت و شرایط

مقایسه و [۳۴] که روش IHA را پیشنهاد داده است، همخوانی دارد.

از آنجایی که در این تحقیق انتخاب روش‌های تعیین حقابه محیط‌زیستی بر اساس بیشترین تشابه با الگوی تغییرات طبیعی جریان متوسط ماهانه بوده است، در نتیجه این مقاله در نظر گرفتن حدی از تلفیق دو روش منحنی تداوم جریان و شاخص تغییرپذیری جریان را به عنوان حد بالا و پایین حقابه محیط‌زیستی برای همراه پیشنهاد می‌کند. همچنین، از آنجایی که نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج حاصل از تنانت (مونتانا) تفاوت چشم‌گیری دارد، نیاز بکارگیری و بررسی روش‌های مختلف تعیین حقابه محیط‌زیستی در هر رودخانه به طور جداگانه و بر اساس شرایط و ویژگی‌های طبیعی هر رودخانه و در نهایت تعیین روش بهینه پیشنهاد می‌شود.

سپاس‌گزاری

به این وسیله از اداره کل محیط‌زیست استان البرز به دلیل حمایت مالی طی قرارداد شماره ۵۷۰/۵/۹۵۲، همچنین دانشگاه تهران، شرکت آب منطقه‌ای البرز و شرکت مدیریت منابع آب ایران به سبب در اختیار قرار دادن امکانات، داده‌ها و اطلاعات لازم برای انجام تحقیق حاضر تشکر و قدردانی می‌شود.

زیست‌محیطی رودخانه کرج در پایین دست سد، رهاسازی شود.

از سویی نتایج حاصل از مقاله حاضر در بررسی حداقل جریان یک‌روزه میانگین در درازمدت نشان می‌دهد که حداقل جریان در رودخانه در آخرین ایستگاه، نباید کمتر از میزان $2/99 \text{ m}^3/\text{s}$ باشد. این میزان جریان یک‌روزه نشانگر حداقل جریان مداومی است که در همه فصول برای ادامه حیات زیست‌مندان وابسته به جریان رودخانه ضروری است. همچنین تحلیل نسبت جریان متوسط ماهانه محیط‌زیستی به نسبت سالانه (برحسب درصد) بیانگر این نکته است که این نسبت به طور میانگین برای همه زیر حوزه‌ها و در روش‌های مختلف از تنانت اصلاح شده به دست آمده توسط وزارت نیرو که ۱۵٪ است، بالاتر می‌باشد. لازم به ذکر است که این مقدار برای منحنی تداوم جریان Q_{95} (۳۵٪)، شاخص‌های تغییرپذیری جریان (۳۰٪) و سپس منحنی تداوم جریان Q_{90} (۲۵٪) است. مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده در کلیه زیرحوزه‌ها بر اساس بزرگی مقدار برآورد شده، به ترتیب شاخص‌های تغییرپذیری جریان، منحنی تداوم جریان و سپس میزان برآورد شده توسط تنانت وزارت نیرو می‌باشد. در رتبه‌بندی مقادیر برآورد شده توسط این روش‌ها، نتایج با مطالعه انجام شده توسط [۱۷] که در آن مقادیر منحنی تداوم جریان Q_{95} با Q_{90}

References

- [1] Arthington, AH., Bunn, SE., Poff, NL. and Naiman, RJ. (2006). THE CHALLENGE OF PROVIDING ENVIRONMENTAL FLOW RULES TO SUSTAIN RIVER ECOSYSTEMS. Ecological Applications, 16(4), 1311-1318.
- [2] Poff, NL., Richter, BD., Arthington, AH., Bunn, SE., Naiman, RJ. and Kendy, E. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. Freshwater Biology, 55(1), 147-170.
- [3] Finlayson, M., Cruz R., Davidson, N., Alder, J., Cork, S. and de Groot, R. (2005). Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. Island Press.

- [4] Stefanidis, K., Panagopoulos, Y., Psomas, A. and Mimikou, M. (2016). Assessment of the natural flow regime in a Mediterranean river impacted from irrigated agriculture. *Science of The Total Environment*, 573(Supplement C), 1492-1502.
- [5] Oertli, B., Biggs, J., Céréghino, R., Grillas, P., Joly, P. and Lachavanne, JB. (2005). Conservation and monitoring of pond biodiversity: introduction. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(6), 535-40.
- [6] Bonada, N. and Resh, VH. (2013). Mediterranean-climate streams and rivers: geographically separated but ecologically comparable freshwater systems. *Hydrobiologia*, 719(1), 1-29.
- [7] Sanderson, JS., Rowan, N., Wilding, T., Bledsoe, B. P., Miller, W. J. and Poff, N. L. (2012). Getting to scale with environmental flow assessment: the watershed flow evaluation tool. *River Research and Applications*, 28(9), 1369-1377.
- [8] Declaration, B. (2007). 10th international river Symposium and international environmental flows conference, held in Brisbane, Australia.
- [9] L Rossouw., MF, Avenant., MT, Seaman. and King, J. (2005). Environmental water requirements in non-perennial systems. *Water Research Commission*.
- [10] Meijer, KS., van der, Krogt WNM. and van, Beek E. (2012). A New Approach to Incorporating Environmental Flow Requirements in Water Allocation Modeling. *Water Resources Management*, 26(5), 1271-1286.
- [11] M A, J DM. (2004). Defining environmental flow requirement. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(5), 861-876.
- [12] Acreman, M. (2016). Environmental flows—basics for novices. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(5), 622-628.
- [13] Office of Standard and Technical Criteria. (1992). Planning and Budget Organization of Iran. Drinking Water Standards Tehran.
- [14] Watt, S. P., Watt, E. and Anderson, B. (2007). A methodology for environmental protection of Ontario watercourses with respect to the permit to take water program. M.Sc. thesis, Queen's University.
- [15] Masih, I., Ahmad, M-u-D., Uhlenbrook, S., Tural, H. and Karimi, P. (2009). Analysing streamflow variability and water allocation for sustainable management of water resources in the semi-arid Karkheh river basin, Iran. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(4), 329-340.
- [16] Pumo, D., Noto, LV. and Viola, Fn. (2013). Ecohydrological modelling of flow duration curve in Mediterranean river basins. *Advances in Water Resources*, 52(Supplement C), 314-327.
- [17] Fuladipanah, M. and Jorabloo, M. (2015). Hydrological Method to Evaluate Environmental Flow (Case Study: Gharasou River, Ardabil). *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 9(2), 62-5.
- [18] Olden, JD. and Poff, N. (2003). Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications*, 19(2), 101-21.
- [19] Torabi Haghighi, A. (2014). ANALYSIS OF LAKE AND RIVER FLOW REGIME ALTERATION TO ASSESS IMPACTS OF HYDRAULIC STRUCTURES. University of Ooulu Graduate School.
- [20] Lin, Kairong., Lin, Youqin., Xu, Yiming., Chen, Xiaohong., Chen, Lu. and P. Singh, Vijay. (2017). Inter- and intra- annual environmental flow alteration and its implication in the Pearl River Delta, South China. *Hydro-environment Research*, 15, 27-40.
- [21] Pourebrahim. A. Sh., Salajegheh, A., et al. (2018). Environmental flow requirements for Karaj River report. Department of Environment. 221p.
- [22] Regional water company of Tehran. (2012). Water resource balance update studies for Namak lake watershed.
- [23] Regional water company of Tehran. (2016). Iran Ministry of Energy.
- [24] Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. 13, 245-259.
- [25] Kendall, M. 1975. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.

- [26] Yue, S., P. Pilon, B. Phinney and G. Cavadias, 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16, 1807-1829.
- [27] R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL. <https://www.R-project.org/>.
- [28] David Bronaugh and Arelia Werner for the Pacific Climate Impacts Consortium (2019). zyp: Zhang + Yue-Pilon Trends Package. R package version 0.10-1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=zyp>
- [29] Sahoo, S., Khare D., Mishra, P.K., Behera, S. and Krishan, R. (2016). A comparative study on environmental flows assessment methods in lower reach of Mahanadi River. *Int J Eng Trends Technol*, 32(2), 82-90.
- [30] Linnansaari, T., Monk, W.A., Baird, D.J. and Curry, R.A. (2012). Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally.
- [31] Tavassoli, H. R., Tahershamsi, A., and Acreman, M. (2014). Classification of natural flow regimes in Iran to support environmental flow management. *Hydrological sciences journal*, 59(3-4), 517-529.
- [32] Conservancy TN. (2009). Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual.
- [33] Pastor, A. V., Ludwig, F., Biemans, H., Hoff, H., & Kabat, P. (2014). Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12), 5041-5059.
- [34] Lin, Kairong et al. 2017. "Inter- and Intra- Annual Environmental Flow Alteration and Its Implication in the Pearl River Delta, South China." *Journal of Hydro-Environment Research*.

