جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

صص ۲۲۴- ۲۰۷

DOI: https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i2.85447

مقاله پژوهشی

ارزیابی نیاز جریانی زیست‌محیطی بستر رودخانه مرزی هریرود بعد از احداث و آبگیری سد سلما افغانستان (با روش‌های هیدرولوژیکی)

حجت شاکری زارع[1] - دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولوژی - دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران

امیر کرم - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران

امیر صفاری - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران

سارا کیانی - استادیارژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۲۳

چکیده

در عصر حاضر با توجه به افزایش جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده ساکنین کره زمین به آب، فشار بر منابع آبی تبدیل به یک چالش زیست‌محیطی تبدیل‌شده است به‌طوری‌که این مسئله به شکل جدی‌تری در کشورهای خشک و نیمه خشکی مانند ایران قابل رؤیت می‌باشد؛ به همین دلیل است که مدیریت منابع آبی به‌ویژه آب‌های سطحی تحت عنوان رژیم طبیعی جریانی به‌عنوان یک الگو به جهت نگهداری و حفاظت رودخانه‌ها به‌ویژه جریانات فصلی موردتوجه قرارگرفته است. در همین راستا مسئله تغییرپذیری رژیم جریانی به‌عنوان نیروی محرکه اصلی در پایداری اکوسیستم رودخانه دارای اهمیت می‌باشد چراکه با دست‌کاری فضای طبیعی بستر رودخانه‌ای توسط انسان‌ها مانند احداث سدها اثرات منفی زیست‌محیطی و همچنین مخاطرات زمین محیطی به‌ویژه برای حوضه پایین‌دست خود بجا خواهد گذاشت، بنابراین در پژوهش حاضر متناسب با احداث سد سلما افغانستان بر سر راه رودخانه هریرود ایران سعی گردیده تا نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست رودخانه یعنی جایی که مرز طبیعی ایران-افغانستان و ایران-ترکمنستان محسوب می‌شود با بهره‌گیری از روش‌های مختلف اکو هیدرولوژی با چهار روش Tessman،Tennant، مدل ذخیره رومیزی (DRM) و انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting) برآوردهای لازم صورت پذیرد، به‌طوری‌که بر اساس نتایج حاصله، نیاز زیست‌محیطی رودخانه هریرود ایران در طبقه مدیریت زیستی C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) به‌طور متوسط ۳۰ درصد دبی متوسط سالانه برآورد شده است. به‌گونه‌ای که مردادماه تا مهرماه دوره بحرانی رودخانه مرزی هریرود ایران تعیین‌شده است و این دوره باکم

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۳۳۰۴۸۴ Email: shakeri.zare@gmial.com

آب شـدن رودخانه مذکور بعد از احداث و آبگیری سـد سلما در افغانستان (سال ۱۳۹۲ شمسی) در حال افزایش می‌باشـد که قطعاً اثرات سوء طبیعی و زیست‌محیطی برای منطقه هریرود و همچنین چالش‌های بر زندگی مرزنشینان ایجاد خواهد نمود.

کلیدواژه‌ها: نیاز زیست‌محیطی، DRM، FDC Shifting ،Tennant، رودخانه هریرود

۱- مقدمه

در طبیعت رودخانه‌ها به‌عنوان یک سیستم باز در برخی موارد به دلیل دست‌کاری‌های انسانی، رژیم هیدرولوژیکی آن بر هم می‌خورد، یکی از این عوامل انسانی اثرگذار احداث بند یا همان سد بر سر راه جریان رودخانه‌ای می‌باشد در کنار افزایش بهره‌برداری منابع آب سـطحی رودخانه‌ها توسط انسان، کاهش بارندگی و همچنین تغییرات اقلیمی کاهش جریان را در پی خواهد داشـت که به لحاظ ارزیابی سلامت رودخانه در مناطق مختلف کشور حائز اهمیت است (خروشی، ۱۳۹٦).

همواره هدف از ساخت سد برای بشر مدیریت منابع آب بوده است، ازآنجایی‌که تأثیر سد بر مورفولوژی رود در مناطق نیمه‌خشـک به‌مراتب شدیدتر از سایر مناطق است (پتس[1] و همکاران ۲۰۰۵) قطعاً با ساخت سد تغییراتی حتی در مدت‌زمان کم در پایین‌دسـت رودخانه‌ها ایجاد می‌شـود که یکی از این واکنش‌ها به هم خوردن نیاز آبی رودخانه‌ها به‌ویژه در قسـمت پایین‌دست سدها و به‌تبع برای محیط‌زیست و سازه‌های انسانی محیط پیرامونی خود معضـلاتی را در پی خواهد داشـت؛ بنابراین یکی از چالش‌های کاهش جریان زیسـت‌محیطی رودخانه‌ها درنتیجه سدسازی بحث بیابان‌زایی و تشدید فرسایش بادی و تغییر در اشکال ژئومورفولوژیکی بستر رودخانه، تغییرات کیفی آب‌وخاک می‌باشـد (کریم کشته، ۱۳۸۰) که در این موضوع و مسئله سدهای زیادی در داخل ایران و سایر کشورها می‌تواند مثال زد که نمونه بارز داخلی سدهای کوچک و بزرگی است که در مسیرهای آبی منتهی به دریاچه ارومیه احداث گردیده که امروزه اثرات منفی طبیعی و محیط‌زیسـتی آن را شـاهد هسـتیم (مکنونی، ۱۳٦۷)؛ بنابراین آنچه مدنظر ماست اثرات سوء سد سلمای افغانستان بر روی نیاز آبی رودخانه هریرود ایران می‌باشد جایی‌که مرز طبیعی بین ایران–افغانستان و ایران–ترکمنستان می‌باشد، سدی که در ۱٦۰ کیلومتری غرب هرات یعنی در نزدیکی مرز (٦۰ کیلومتری مرز ایران – افغانسـتان) احداث‌شـده و مردادماه سـال ۱۳۹٤ آبگیری آن صورت پذیرفته است، با بررسی تصویر ماهواره‌ای مشخص می‌گردد که حوضه آبخیز اصلی رودخانه هریرود در خاک افغانستان بوده به‌گونه‌ای که ۷۰ درصد آب این رودخانه طویل را تأمین می‌کند. سد سلما مسائلی را در حوضه پایین‌دست خود (هریرود ایران) ایجاد کرده مانند الف –گسـترش بیابان و تشـدید فرسایش بادی در منطقه مرزی هریرود. ب– افت منابع آب زیرزمینی و به‌تبع کاهش رطوبت خاک و درنهایت تشـدید شـوری خاک (کاهش کیفیت آب سطحی و زیرسطحی) ج –مترک

1 Petts

شـدن اراضـی کشـاورزی و در برخی موارد خالی از سـکنه شدن روستاها د- کاهش یافتن شدید آب دریاچه سد دوستی درنتیجه کاهش منابع آب سطحی است، همه این موارد درنتیجه کاهش توان زیست‌محیطی مطابق با جریان زیست‌محیطی جریانی رخ‌داده است و نکته حائز اهمیت در این میان تنوع زیستی در رودخانه‌ها است که بیشتر تحت تأثیر دو عامل طبیعی و انسانی قرار دارد (امینی،۱۳۸۷) دراین‌بین نکته جالب و حائز اهمیت بالا آمدن بستر رودخانه هریرود ایران در برخی از نقاط بستر است، به این صورت که آن دسته از جریانات فرعی منتهی به رودخانه هریرود که نشأت‌گرفته از حوضه‌های آبریز داخلی است با خود رسوباتی را حمل می‌کند و این رسوبات وقتی به بستر پایه خود یعنی کف رودخانه اصـلی یعنی هریرود می‌رسـند ته‌نشـین و رسوب‌گذاری می‌شود و دیگر جریانات گردابی شـدید گذشـته هریرود در کار نیسـت که بتواند آن‌ها را حمل و جابجا کند آن‌هم در بسـتر رودخانه‌ای که از نظر ژئوپلیتیکی حائز اهمیت بوده و از نظر رژیم حقوقی و معاهده‌های گذشته میان کشورها وسط آب مرز تعیین‌شده که از این نظر نیز چالش‌های ژئوپلیتیکی را در پی داشته است. اهمیت مسئله موردپژوهش ما آنجا نمود پیدا می‌کند که باکم آب شدن هریرود به‌وسیله سد سلما، اماکن روستایی و شهری مرزی شرق ایران حدفاصل تایباد تا تربت‌جام و بعد سرخس به‌شدت تحت تأثیر قرارگرفته و با ادامه همین روند که خشک‌سالی‌ها سال‌های اخیر نیز به‌عنوان عاملی ثانوی است شاهد نابودی و تبدیل‌شدن به یک ناحیه بیابانی خواهیم بود و از همه مهم‌تر خشک شدن کامل دریاچه سـد دوسـتی، پروژه‌ای که باهدف و سـیاسـت تأمین آب شرب کلان‌شهر مشهد احداث‌شده است؛ بنابراین در این پژوهش سعی شده است با بهره گیر از مدل‌های اکوهیدرولوژی نیاز جریانی و اثرات کم آب شدن رودخانه هریرود ایران موردسـنجش و ارزیابی قرار گیرد، در این رابطه کارهای علمی متعددی صورت گرفته من‌جمله کاوندیش[1] و دانکن[2] (۱۹۸٦) با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی جریان زیست‌محیطی را در منطقه میسوری به دست آورده و به این نتیجه رسـیدند که اغلب اوقات با مدت افت جریان متناسـب می‌باشـند (لطفی، ۱۳۸۰). آن‌ها با اسـتفاده از اطلاعات هیدرولوژیکی نحوه تعیین ویژگی‌های جریان زیست‌محیطی را توصیه کردند؛ همچنین، یکی از اهداف مهم جریان زیسـت‌محیطی را در حفظ آبزیان آب شـیرین دانسـتند Hu و همکاران، ۲۰۰۸ در بررسـی تأثیر سـدها بر وضعیت‌های اکولوژیکی در حوزه آبخیز رودخانه هان[3] در چین از روش RVA[4] استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که سـدها اثرات منفی شـدیدی بر وضعیت اکولوژیکی حوزه آبخیز هان مخصوصاً در فصول خشک دارند. آن‌ها با اسـتفاده از ضوابط روش Tennant و با توجه به بار آلودگی زیاد از فصول خشک از ۲۰ درصد متوسط چندساله جریان به‌عنوان نیاز زیسـت‌محیطی و اکولوژیکی اسـتفاده کردند که این جریان ۲۰ درصـدی پیشنهادی در محدوده

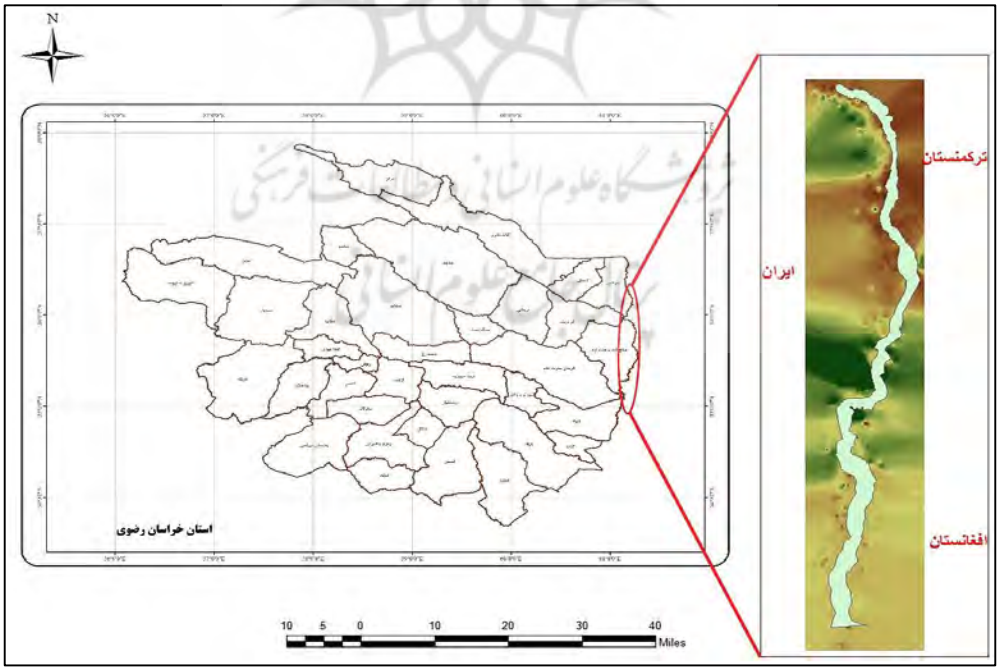
1 Cavendish
2 Duncan
3 H uaih
4 Range of Variation Approach

RVA متوسط جریان‌های ماهیانه در ماه‌های خشک قرار داشت (پوف[1] و همکاران ۲۰۱۰) و متناسب با آن روشی جدید و جامع برای ارزیابی نیازهای جریان زیست‌محیطی مطابق با استانداردهای جریان زیست‌محیطی تعریف کردند. این روش که محدودیت‌های اکولوژیکی ناشی از تغییرات هیدرولوژیکی (ELOHA[2]) نام دارد، بر اساس فن‌های هیدرولوژیکی موجود پایه‌ریزی شده است. این روش قابل‌انعطاف برای مناطق مختلف بوده و برای مدیران آبی این امکان را فراهم می‌کند که بر پایه اهداف اجتماعی و اطلاعات اکولوژیکی و استانداردهای موجود، مدیریت صحیحی از جریان زیست‌محیطی داشته باشند. در رابطه با واکنش خشکسالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت تأثیر احداث سد در استان اردبیل امینی، اسمعیلی عوری و مصطفی‌زاده با بهره‌گیری از حد آستانه فصلی مشخصات خشکسالی ایستگاه‌های بالادست و پایین دست هر یک از سدها مورد ارزیابی قرار داده‌اند که درنهایت شدت‌های خشکسالی در تداوم‌های مختلف در نرم‌افزار Esay Fit با دوره‌های بازگشت متفاوت محاسبه شده است بطوریکه در نتایج مشخص گردید احداث سد یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین دست و به‌تبع افزایش وقوع رخدادهای خشکسالی هیدرولوژیک را سبب شده است. درحالی‌که سد سبلان باعث تعدیل و تنظیم در پایین دست شده و از شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیکی کاسته است. در رابطه با تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای کار پژوهشی خیاوی، مصطفی‌زاده و اسمعیلی عوری در رابطه با احداث سد یامچی بر سر راه رودخانه بالخلوچای با استفاده از رویکرد (RVA) تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی با بهره‌گیری از نرم‌افزار IHA Software مورد بررسی و ارزیابی قرار داده‌اند که مشخص گردیده مقدار متوسط دبی جریان رودخانه در دوره بعد از احداث سد نسبت به گذشته ۵۲ درصد کاهش داشته است و درنهایت تغییر در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان عمدتاً تحت تأثیر احداث سد بوده است؛ بنابراین متناسب با آنچه ذکر شد باید اذعان داشت با توجه به بررسی‌های کتابخانه‌ای صورت گرفته در پژوهش حاضر برای نخستین بار تلاش شده است تا با بهره‌گیری از مدل‌های اکوهیدرولوژی نیاز جریانی رودخانه هریرود موردبررسی و ارزیابی قرار گیرد تا اثرات کم آب شدن رودخانه توسط سد سلما افغانستان به عنوان یکی از دخالت‌های انسانی مشخص گردد چراکه با تأیید کاهش نیاز جریانی اثرات سوء زیست محیط ناشی از کم آب شدن رودخانه در ابعاد مختلف مشخص و به جهت مدیریت منابع آبی در میان مدت و بلندمدت، مطالعات مرتبط در این حوزه برای کارشناسان سازمان‌های ذیربط مانند شرکت آب منطقه‌ای مفید واقع گردد.

1 Poff
2 Ecological limits of hydrologic alteration

۲ـ مواد و روش‌ها

رودخانه هریرود در نوار شـرقی ایران به‌عنوان مرز طبیعی بین ایران – افغانستان و ایران – ترکمنستان تعیین‌شده اسـت. آن قسمت از هریرود که از محلی به نام پیش رباط واقع در شرق شهرستان تایباد وارد ایران شده و از شرق شـهرستان تربت‌جام می‌گذرد تا محل دریاچه سد دوستی واقع در جنوب شرق شهرستان سرخس می‌باشد به‌عنوان محدوده موردمطالعه ما در نظر گرفته‌شده است. طول کلی حوضه مدنظر ما تقریباً ۱۹۰ کیلومتر و عرض ۵ کیلومتری را برای آن در نظر گرفتیم. محدوده مطالعاتی بین ٦١ درجه ٠٢ و دقیقه تا ٦١ درجه و ١٥ دقیقه طول شـــرقی و ٣٤ درجه و ٥٥ دقیقه تا ٣٥ درجه و ٤٥ دقیقه عرض شـمالی قرارگرفته است (شکل شماره ۱) در پژوهش حاضر برای بررسـی هیدرولوژیکی منطقه از آمارهای ایسـتگاه هیدرومتری هریرود –پل خاتون (تأسـیس سـال ١٣٤٦) داده‌های سـال‌های ١٣٥٦ تا ١٣٩٥ استفاده‌شده است. به‌طوری‌که جریان متوسط رودخانه هریرود ایران تا قبل از احداث سد سـلما افغانسـتان به‌طور تقریبی ۵۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و همچنین بارش متوسـط سـالانه حوزه شـرق ایران محدوده رودخانه هریرود ۱۸۸/۷ میلی‌متر می‌باشد (https://www.irimo.ir) برابر تحقیقات کتابخانه‌ای احداث سـد سـدلما در مدت زمان ۱۵ سال به عنوان بزرگ‌ترین پروژه عمرانی تاریخ افغانستان به طول انجامیده و درنهایت در مردادماه ۱۳۹۲ شمسی آبگیری دریاچه سد توسط دولت افغانستان صورت پذیرفته که همین امر موجب مسدود و کم آب شدن بستر رودخانه هریرود گردیده است (شهبازبکیان، ۱۳۹۵).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی رودخانه مرزی هریرود در شرق ایران

برای مطالعه موردی رودخانه هریرود به طول تقریبی ۱۹۰ کیلومتر تا محل تایباد به دریاچه سد دوستی انتخاب شد، با توجه به نبود سوابق مطالعاتی قابل‌اتکا و خلأ مطالعاتی در این زمینه، این پژوهش به دنبال آن است که مقادیر موردنظر به‌عنوان دبی زیست‌محیطی را برای منطقه موردمطالعه ارائه نماید. در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی سیستم رودخانه هریرود جهت برآورد نیاز زیست‌محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار است؛ چراکه اکثر روش‌های ارائه‌شده عمدتاً بدون در نظر گرفتن شرایط زیست‌محیطی ایران به‌کاربرده می‌شوند که این امر دقت نتایج حاصله را کاهش داده و گاه حتی نتایج معکوسی را حاصل می‌کند. در نظر گرفتن دبی زیست‌محیطی رودخانه هریرود به خاطر شرایط اکوسیستم بحرانی رودخانه مخصوصاً در محدوده شهر سرخس اهمیت این رودخانه برای تأمین حق آبه قابل‌توجه دریاچه سد دوستی و رودخانه هریرود که اکنون از مرز هشدار گذشته است، اهمیت بسیار زیادی دارد. به همین منظور از روش‌های اکوهیدرولوژی شامل: تنانت[1]، تسمن[2]، ذخیره رومیزی (DRM) انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting) بهره برده‌ایم که هر یک را به‌اختصار در ادامه به آن می‌پردازیم.

۲-۱-روش هیدرولوژیکی Tennant

این روش درصدی متوسط جریان سالیانه را برای تعیین کیفیت زیستگاه ماهیان به کار می‌برد. برای اولین بار از این روش برای ۵۸ مقطع عرضی ۱۱ رودخانه در مونتانا، نبراسکا بکار برده شده است که وایومینگ نتیجه گرفت که ۱۰ درصد متوسط جریان سالیانه (AAF[3]) حداقل جریان برای بقای کوتاه‌مدت ماهی‌ها می‌باشد. ۳۰ درصد AAF در نظر گرفته‌شده قادر به حفظ وضعیت‌های بقای نسبتاً خوب بوده و ٦۰ درصد AAF برای زیستگاه مطلوب مناسب می‌باشد؛ که شرایط توصیف جریان‌ها در این روش به‌صورت جز به‌جز در جدول ۲ ارائه‌شده است تنانت ۱۹۷٦) سطح قابل‌قبول از این روش با توجه به دستورالعمل ابلاغ‌شده وزارت نیرو معادل ۳۰ درصد دبی متوسط سالانه برای فروردین تا شهریور (به‌عنوان دوره پرآبی) و ۱۰ درصد دبی متوسط سالانه برای مهر تا اسفند به‌عنوان دوره کم‌آبی می‌باشد (VPSPS[4]، ۲۰۱۱)

جدول ۱- نام و موقعیت ایستگاه هیدرومتری پل خاتون در بازه منتخب رودخانه هریرود

رودخانه	ایستگاه هیدرومتری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری	متوسط آورد سالانه (میلیون مترمکعب)	جریان متوسط (مترمکعب بر ثانیه)
هریرود	پل خاتون	۶۱-۰۸	۳۵-۵۸	۳۷۰	۹۰-۱۳۴۶	۰/۱۵۳۳	۸/۴۹

مأخذ: مطالعات کاربردی رودخانه‌ها، آب منطقه‌ای خراسان رضوی

1 Tennant
2 tessman
3 Average Annually Flow
4 VPSPS

جدول ۲- جریان زیست‌محیطی برای حیات ماهیان و مقاصد تفریحی در روش Tennant

پارامترهای وزنی / زمان	شست و شوی سریع یا حداکثر	محدوده بهینه	بسیار عالی	خوب	قابل قبول	ضعیف	بسیار ضعیف
مهر- اسفند	۲۰۰	۱۰۰-۶۰	۴۰	۲۰	۱۰	۱۰	« ۱۰
فروردین- شهریور	۲۰۰	۱۰۰-۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۱۰	« ۱۰

۲-۲-روش هیدرولوژیکی Tessman

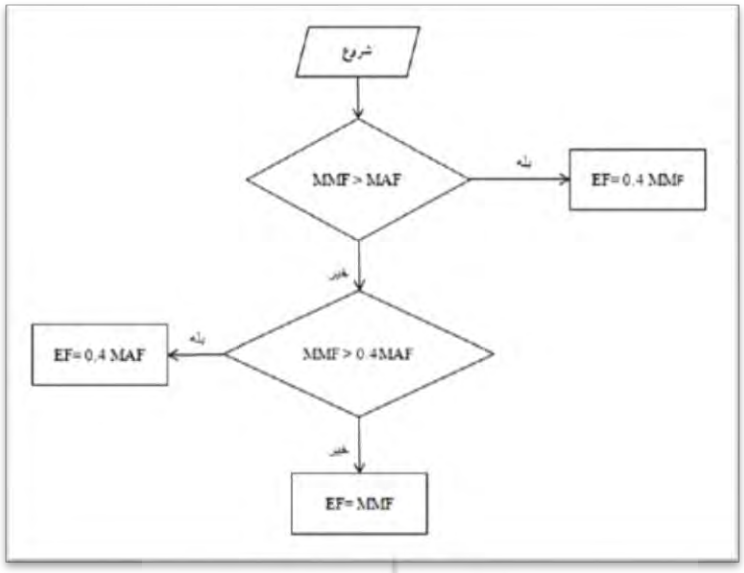
در سال ۱۹۸۰ Tessman با اقتباس از پیشنهادهای فصلی روش Tennant ترکیبی از متوسط جریان ماهیانه [1] MMF و متوسط جریان سالیانه MAF [2] برای تعیین حداقل جریان ماهیانه موردنیاز استفاده کرد (شکل ۳)

۲-۳-روش اکو-هیدرولوژیکی مدل ذخیره رومیزی(DRM) [3]

این مدل یکی از روش‌هایی است که قادر است نیاز جریانی اکولوژیکی را در شرایطی که یک ارزیابی سریع موردنیاز بوده و داده‌های موجود محدود است، محاسبه نماید. این مدل برای وضعیت‌های مشاهده‌شده در آفریقای جنوبی توسعه‌یافته است (دوآف[4]، ۱۹۹۷) این سیستم طبقه‌بندی نشان می‌دهد که برخی رودخانه‌ها از نظر زیست‌محیطی پراهمیت هستند، اما به دلیل نیازهای توسعه اجتماعی-اقتصادی همه رودخانه‌ها نمی‌توانند در وضعیت‌های نزدیک به شرایط طبیعی باقی بمانند؛ بنابراین چهار طبقه مدیریت زیست‌محیطی ممکن A تا D تعریف می‌شود.

طبقه A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییرنیافته می‌شود، طبقه B رودخانه‌های تغییریافته ولی تا حد زیادی طبیعی، طبقه C رودخانه‌های نسبتاً تغییریافته و طبقه D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییریافته با خسارات زیاد به زیستگاه طبیعی بیوتا[5] و عملکرد اساسی اکوسیستم می‌باشد. در این دسته‌بندی‌ها، طبقه‌بندی‌های انتقالی (مثلاً B/A و C/B) نیز برای افزایش محدوده جریان‌های زیست‌محیطی ممکن است مورداستفاده قرار گیرند.

1 Mean Monthly Flow
2 Mean Annually Flow
3 Desktop Reserve Model
4 Dwaf
5 Biota .



شکل ۲- فلوچارت تعیین جریان زیست‌محیطی به روش Tessman

۲-٤-روش اکو-هیدرولوژیکی انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting)

این روش توسط اسمختین[1] و آنپوتاس[2] (۲۰۰٦) به‌منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در سامانه رودخانه‌ای معرفی‌شده است. این روش که اصطلاحاً «انتقال منحنی تداوم جریان» نامیده می‌شود، به‌عنوان یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژیکی مطلوب ارائه‌شده است و شامل چهار مرحله اصلی ۱) شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود، ۲) تعریف طبقه‌های مدیریت زیست‌محیطی، ۳) تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی ٤) تولید سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهانه که توضیحات هر مرحله به شرح زیر می‌باشد:

الف) شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود

اولین مرحله، تهیه منحنی تداوم جریان طبیعی (FDC)[3] در بازه رودخانه‌ای موردنظر با استفاده از داده‌های ماهیانه جریان می‌باشد. در این روش محور احتمالات منحنی تداوم جریان با نمایش ۱۷ درصد احتمال وقوع (۰/۰۱، ۰/۱، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤۰، ۵۰، ٦۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۹۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹۹) تهیه می‌شود. این نقاط تضمین می‌کنند که تمام محدوده جریان‌ها به‌قدر کافی پوشش داده‌شده و همین‌طور ادامه کار را در مراحل بعدی آسان می‌سازند (آنپوتاس[4] و همکاران،۲۰۰٦) بطوریکه در گروه تداوم جریان مقادیر Q۱۰ بر اساس FDC بایستی بر اساس مترمکعب بر ثانیه در

1 Smakhtin
2 Anputas
3 flow duration curve
4 Anputas

دوره‌های قبل و بعد از احداث سد مورد بررسی قرار گیرد و سایر مقادیر بالاتر نیز در رابطه با جریان در دوره‌های بعد از احداث سد مورد توجه می‌باشد (اسفندیاری، ۱۳۹۸).

ب) تعریف طبقه‌های مدیریت زیست‌محیطی

در ارزیابی جریان زیست‌محیطی از روش انتقال منحنی تداوم جریان، از داده‌های ماهیانه رودخانه استفاده‌شده و بر مبنای منحنی تداوم جریان طبیعی و موجود رودخانه، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر طبقه موردنظر از مدیریت زیست‌محیطی تعیین می‌شود. هدف تأمین جریان‌های زیست‌محیطی، حفظ اکوسیستم در (ارتقا آن) به وضعیت‌های موردنظر می‌باشد که به‌عنوان حالت آینده مطلوب[1]، طبقه مدیریت زیست‌محیطی[2]، رده مدیریت اکولوژیکی[3] و یا سطح حفاظت زیست‌محیطی[4] شناخته می‌شود. طبقه بالاتر مدیریت زیست‌محیطی به آب بیشتری جهت حفظ و نگهداری اکوسیستم نیاز خواهد داشت. در این روش شش طبقه مدیریت زیست‌محیطی مورداستفاده قرار گرفت که به‌تفصیل در جدول شماره ۳ توضیح داده‌شده است (آنپوتاس و همکاران،۲۰۰۶).

ج) تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی

پس از ترسیم منحنی تداوم جریان طبیعی، در مرحله بعد با استفاده از تغییرات (شیفت) عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر طبقه مدیریتی محاسبه می‌شود. ۱۷ درصد احتمالاتی اشاره‌شده به‌عنوان گام‌های مختلف این شیفت استفاده می‌شوند. یک شیفت در منحنی تداوم جریان طبیعی به این معنی است که جریانی که ۹۹/۹۹ درصد مواقع رخ می‌داد، اکنون در ۹۹/۹ درصد مواقع رخ می‌دهد و جریانی که در ۹۹/۹ مواقع رخ می‌داد، اکنون در ۹۹ درصد مواقع رخ می‌دهد و به همین ترتیب تا ۰/۰۱ درصد. یک برون‌یابی خطی برای تعریف جریان‌های کم‌آبی جدید در پایین‌ترین دنباله از یک منحنی تغییریافته مورداستفاده قرار می‌گیرد. (آنپوتاس و همکاران، ۲۰۰۶)

د) تولید سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه

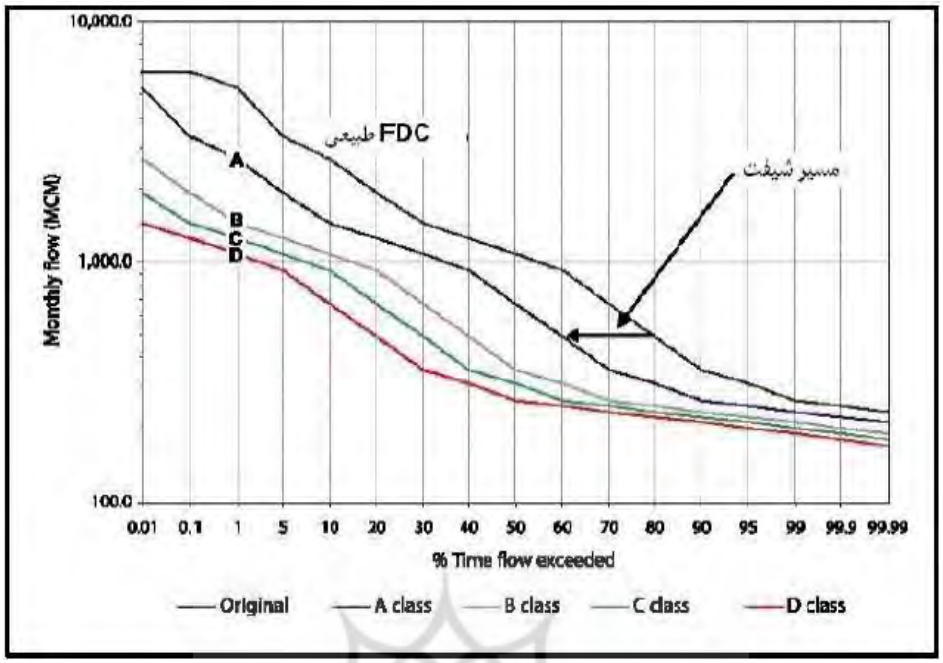
با استفاده از سری‌های زمانی جریان ماهیانه طبیعی رودخانه، متوسط جریان سالیانه (MAR) محاسبه می‌شود، متوسط جریان زیست‌محیطی سالیانه(MAER) [5] نیز با استفاده از سری‌های زمانی جریان ماهیانه زیست‌محیطی تولیدشده، محاسبه می‌شود. سپس با تقسیم متوسط جریان زیست‌محیطی سالیانه بر متوسط جریان سالیانه (MAER/MAR) می‌توان درصدی از MAR را که باید برای هر طبقه مدیریتی به‌عنوان جریان زیست‌محیطی در نظر

1 Desired future state
2 Environmental Management class
3 Ecological Management category
4 Level of Environmental protection
5 Mean Annual Environmental Runoff

گرفته‌شـده را محاسـبه کرد (اسـمختین و همکاران،۱۹۹٦). در روش انتقال منحنی تداوم جریان از نرم‌افزار GEFC اسـتفاده می‌شـود. داده‌های ورودی موردنیاز نرم‌افزار، داده‌های بلندمدت (حداقل ۲۰ سـال) جریان ماهیانه می‌باشد (آنپوتاس و همکاران، ۲۰۰٦) روند کار در شکل شماره ۳ نشان داده است.

جدول ۳- طبقه‌های مدیریت زیست‌محیطی در روش انتقال منحنی تداوم جریان

طبقه‌های مدیریت زیست‌محیطی (EMC)	تعریف اکولوژیکی	دیدگاه مدیریتی
A: طبیعی	وضعیت دست‌نخورده یا حداقل تغییرات زیستگاه ساحلی و رودخانه‌ای	رودخانه‌ها و حوضه‌های حفاظت‌شده مناطق حفاظت‌شده و پارک‌های ملی اجازه هیچ پروژه آبی (سدها، انحراف آب و ...) داده نمی‌شود.
B: اندک تغییریافته	تنوع زیستی و زیستگاه‌های دست‌نخورده بیشتر باوجود توسعه منابع آبی و / یا تغییرات حوضه‌ای	طرح‌های تأمین آب یا توسعه آبیاری موجود و یا مجاز
C: نسبتاً تغییریافته	زیستگاه‌ها و دینامیک بیوتا مختل شده ولی عملکردهای اساسی اکوسیستم هنوز دست‌نخورده‌اند. برخی گونه‌های حساس از بین رفته و یا تا حدی کاهش‌یافته‌اند. گونه‌های ناشناخته موجود می‌باشند.	موانع و مشکلات زیاد در ارتباط با نیاز برای توسعه اقتصادی- اجتماعی از قبیل سدها، پروژه-های انحراف آب، تغییرات زیستگاه و کیفیت کاهش‌یافته آب.
D: تا حد زیادی تغییریافته	تغییرات وسیعی در زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم رخ‌داده است. فراوانی گونه‌ها به طرز قابل وضوحی کمتر از حد انتظار است. کاهش چشمگیر گونه‌های غیر مقاوم (حساس) افزایش و شیوع گونه‌های ناشناخته	موانع کاملاً مشهود و مهم در ارتباط با توسعه منابع آبی و حوضه‌های شامل سدها، انحراف آب، انتقالات، تغییرات زیستگاه‌ها و کاهش کیفیت آب
E به‌شدت تغییریافته	تعداد و تنوع زیستگاه‌ها کاهش‌یافته است. فراوانی گونه‌ها به طرز شگفت‌آوری کمتر از حد انتظار است. فقط گونه‌های مقاوم باقی می‌مانند. گونه‌های بومی، نمی‌توانند تولید شوند. گونه‌های ناشناخته اکوسیستم را موردتهاجم قرار داده‌اند.	تراکم جمعیت انسانی بالا و بهره‌برداری زیاد از منابع آبی. عموماً این حالت نباید به‌عنوان یک هدف مدیریتی پذیرفته شود. مداخلات مدیریتی جهت بازیابی الگوی جریان و انتقال رودخانه به یک طبقه مدیریت بالا لازم است.
F. به طرز بحرانی تغییریافته	تغییرات به یک سطح بحرانی رسیده‌اند و اکوسیستم کاملاً دچار تغییرات شده و می‌توان گفت زیستگاه‌های طبیعی و بیوتا دچار تخریب کامل شده‌اند. در بدترین حالت عملکردهای اساسی اکوسیستم از بین رفته‌اند و تغییرات جبران‌ناپذیری هستند.	این حالت از دیدگاه مدیریت قابل‌قبول نیست. دخالت‌های مدیریتی برای بازگرداندن الگوهای جریان، زیستگاه‌های رودخانه‌ای و ... (اگر هنوز ممکن و شدنی باشد) برای جابجا کردن یک رودخانه به طبقه مدیریت بالاتر ضروری می‌باشد



شکل ۳- برآورد منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی با شیفت عرضی (Anputas et al.۲۰۰٦)

۳ـ نتایج و بحث

حفظ اکوسیستم سامانه رودخانه هریرود به‌عنوان مهم‌ترین تأمین‌کننده حق آبه دریاچه سد دوستی و هریرود ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چراکه بر اساس بازدیدهای میدانی حداقل ۸۰ کیلومتر از مسیر رودخانه هریرود از مقاطع مختلف پایین‌دست سد سلما یعنی هریرود ایران نشان‌دهنده این است که رودخانه مذکور شرایط مورفولوژیکی خود را ازدست‌داده است و رودخانه عملاً قادر به تأمین حق آبه دریاچه سد دوستی و شرایط زیستی گذشته پیرامون بستر را ندارد. در این مطالعه نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه هریرود از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی محاسبه شد. در ادامه مقادیر به‌دست‌آمده دبی زیست‌محیطی حاصل از روش انتقال منحنی تداوم جریان با سه روش Tennant،DRM و Tessman مقایسه شده است.

در روش Tennant با توجه به دستورالعمل ابلاغ‌شده وزارت نیرو سطح موردنظر قابل‌قبول از این روش معادل MAR درصد ۳۰ برای فروردین تا شهریور و MAR درصد ۱۰ برای مهر تا اسفند می‌باشد. منطق به‌کاررفته در انتخاب بازه زمانی شش ماه، دو دوره کم‌آبی و پرآبی می‌باشد. ولی با در نظر گرفتن حد متوسط، دوره کم‌آبی (فروردین تا شهریور) و دوره پرآبی (مهرماه تا فروردین) با وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه موردمطالعه مطابقت ندارد و شرایط آن متفاوت است؛ بنابراین بر اساس داده‌های آب‌سنجی منطقه موردمطالعه، ماه‌های بهمن تا اردیبهشت‌ماه را به‌عنوان ماه‌های پرآبی و ماه‌های مرداد تا دی به‌عنوان ماه‌های کم‌آبی در نظر گرفته شد. بر این اساس

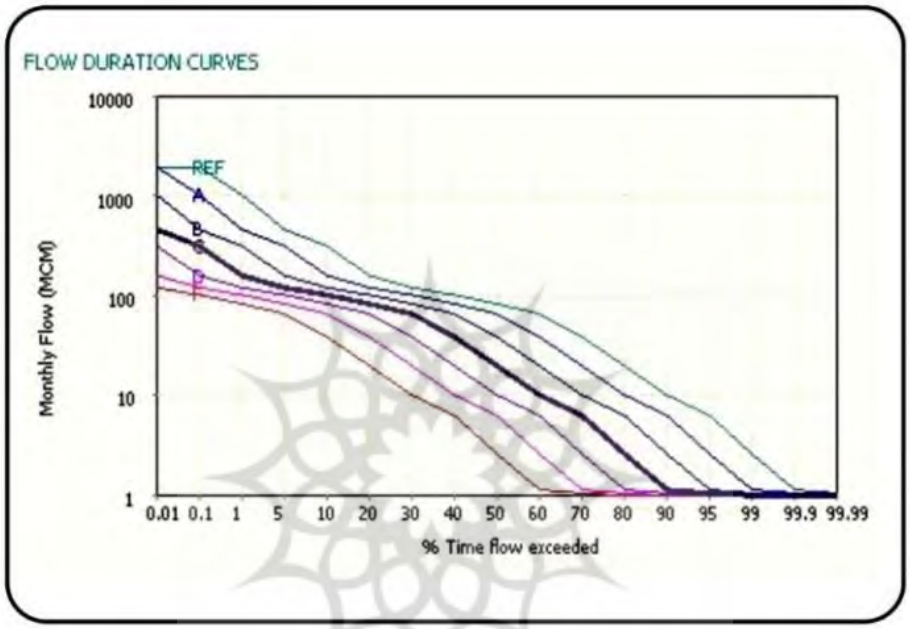
نیاز آب زیست‌محیطی از روش Tennant به‌عنوان Tennant اصلاح‌شده، برای ماه‌های بهمن تا تیر ۱٤/۹ مترمکعب بر ثانیه و برای ماه‌های مرداد تا دی پنج‌متر مکعب بر ثانیه محاسبه شد. نیاز زیست‌محیطی با روش تسمن در محدوده موردمطالعه برآورد شـد. با توجه به موارد مطرح‌شـده در روش Tessman برای رودخانه هریرود به‌طور متوسـط جریان ۲٦/۵ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۵۳ درصـد دبی متوسـط سـالانه) به‌عنوان دبی زیست‌محیطی موردنیاز است. توزیع ماهانه نیاز زیسـت‌محیطی از این روش در ادامه ارائه‌شـده است. ازآنجایی‌که دبی زیست‌محیطی برآوردی در برخی ماه‌ها (به‌عنوان‌مثال ماه‌های شهریور تا بهمن) تمام یا بخش عمده‌ای از جریان رودخانه را شامل می‌شود، این نتایج از نظر مدیریتی در ایران غیرقابل‌قبول است. با توجه به پیمایش‌های صورت گرفته رودخانه هریرود در محدوده موردمطالعه در پایین‌دسـت سـد سـلما (هریرود ایران) و ارزیابی اکولوژیکی رودخانه بر اساس تعاریف موجود در روش DRM، طبقه C (حالت تغییریافته رودخانه) به‌عنوان وضعیت اکولوژیکی موردنظر برای رودخانه موردمطالعه انتخاب شد. یکی از محدودیت‌های مدل DRM این است که این مدل در محاسبه شاخص ضریب تغییرات، ماه‌های دی تا اسفند را به‌عنوان ماه‌های پرآبی و ماه‌های خرداد تا مرداد را به‌عنوان ماه‌های کم‌آبی در نظر می‌گیرد (با توجه به شـرایط آفریقای جنوبی) که این گزینه در مدل قابل‌تغییر نیسـت. این در حالی اسـت که برای رودخانه موردمطالعه ماه‌های اسـفند تا اردیبهشـت‌ماه‌های پر آب و ماه‌های مرداد تا مهرماه‌های کم آب می‌باشـد. برای برطرف کردن این مشکل و اطمینان از این‌که مدل شاخص تغییرپذیری جریان را بسیار نزدیک به واقعیت محاسبه می‌کند و ازآنجایی‌که ماه‌های پر آب بر ماه‌های کم آب غلبه دارند، سری زمانی داده‌های جریان ماهیانه ورودی به مدل، دو ماه شیفت داده شدند (اسفند به دی تبدیل شد و به همین ترتیب تا انتها). نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که به‌طور متوسط برای حفظ حیات رودخانه در طبقه مدیریتی C، جریان ۱۰/٦ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۱ درصـد متوسـط دبی سـالانه) موردنیاز می‌باشد. نتایج حاصل از برآورد دبی زیست‌محیطی از روش DRM به‌صورت درصدی از متوسط جریان سـالانه (MAR) برای طبقه‌های زیستی A تا D در (جدول ٤) آمده است. توزیع ماهانه مقادیر به‌دست‌آمده از این روش نیز در ادامه آمده است.

جدول ٤- نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه هریرود رود برحسب درصدی از MAR از روش DRM

متوسط آورد سالیانه (MAR) (m^3s^{-1})	نیاز آب زیست‌محیطی بلند مدت (EWR) (درصدی از MAR)						
	D	C.D	C	B.C	B	A.B	A
8/45	17	19	21	24	28	34	40

همان‌طور که اشـاره شـد برای استفاده از روش FDC Shifting از نرم‌افزار GEFC استفاده شد. منحنی‌های تداوم جریان و منحنی‌های موردنظر هرکدام از طبقه‌های زیسـت‌محیطی، در رودخانه موردمطالعه تعیین شـد که در

(شـکل ٤) آمده است. همچنین، نتایج مربوط به دبی‌های زیست‌محیطی حاصل از روش انتقال منحنی تداوم جریان به‌صورت درصدی از متوسط جریان سالانه (MAR) در (جدول ٥) ارائه‌شده است. در رودخانه هریرود با توجه به پیمایش‌ها و برداشـت‌های میدانی از منطقه همچنین شواهد اکولوژیکی محدود موردمطالعه و اهمیت زیست‌محیطی رودخانه، طبقه زیستی C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) به‌عنوان طبقه مدیریتی موردنظر انتخاب شد.



شکل ٤ – منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی در رودخانه هریرود

جدول ٥ –نیاز آب زیست‌محیطی بازه‌های موردمطالعه از روش انتقال منحنی تداوم جریان برحسب درصدی MAR

متوسط آورد سالیانه (MAR) (m^3s^{-1})	نیاز آب زیست‌محیطی بلند مدت (EWR) (درصدی از MAR)					
	F	E	D	C	B	A
8/45	10	15	23	33	46	68

در روش Tennant پیشـنهاد شده است که پایین‌ترین حد ممکن برای نیاز آب زیست‌محیطی مطابق با شرایط بسـیار ضعیف یک اکوسیستم رودخانه‌ای، ۱۰ درصد MAR در نظر گرفته شود. با توجه به جدول ٥، در رودخانه هریرود این مقدار (MAR درصد ۱۰) در شش شیفت عرضی و به‌عبارت‌دیگر در طبقه F به دست می‌آید؛ بنابراین می‌توان گفت که حداقل جریان معادل ۱۰ درصـد پیشـنهادی Tennant نمی‌تواند برای شرایط رودخانه هریرود با

توجه به طبقه مدیریتی زیستی انتخاب‌شده مناسب باشد. با توجه به طبقه زیستی C در روش انتقال منحنی تداوم جریان، دبی زیست‌محیطی به‌طور متوسط ۱۶/٤ مترمکعب بر ثانیه محاسبه‌شده است. در (جدول ٦) مقادیر متوسط سالانه شدت‌جریان زیست‌محیطی در رودخانه هریرود از روش‌های مختلف به کار رفته در این مطالعه ارائه‌شده است. همچنین در (جدول شماره ۷) توزیع ماهانه مقادیر به دست آمده برای روش‌های به کار رفته به نمایش گذاشته‌شده است.

روش انتقال منحنی تداوم جریان به‌عنوان یک روش ترکیبی هیدرولوژیکی – اکولوژیکی نیاز زیست‌محیطی را بر اساس دید اکولوژیکی در طبقه‌های مدیریت زیستی مختلف با توجه به شرایط زیستی رودخانه و با استفاده از آمار دبی‌های ماهیانه ایستگاه هیدرومتری موجود بر روی رودخانه ارائه می‌کند. توزیع ماهیانه شدت‌جریان زیست‌محیطی به‌دست‌آمده از روش منتخب FDC Shifting و دبی متوسط ماهانه در ایستگاه هیدرومتری پل خاتون (بر روی رودخانه هریرود) داده‌شده است (جدول شماره ۷).

مدل DRM تحت وضعیت‌های طبیعی قسمت‌های مختلف رژیم جریان و شرایط اکولوژیکی رودخانه موردمطالعه نیاز آب زیست‌محیطی را محاسبه می‌کند. این مسائل در روش اکو- هیدرولوژیکی DRM نقش مهمی در تعیین عملکرد زیست‌محیطی رودخانه بازی می‌کند. بااین‌حال، این مدل بر اساس شرایط اکولوژیکی کشور آفریقای جنوبی طراحی‌شده است؛ بنابراین، پارامترهای به‌کاررفته در آن با شرایط منطقه موردمطالعه متفاوت است و در صورت استفاده در سایر اکوسیستم‌ها باید با ضریب اطمینان کمتری در نظر گرفته شود. هرچند با انجام صحت‌سنجی می‌توان عملکرد این مدل را بهبود بخشید، محاسبات انجام‌شده برای برآورد نیاز زیست‌محیطی از روش‌های هیدرولوژیکی Tessman, Tennant بر پایه اطلاعات هیدرولوژیکی است و نتایج به‌دست‌آمده از این روش‌ها به‌صورت مستقیم به خصوصیات اکولوژیکی سیستم رودخانه‌ای مربوط نمی‌شود. Watt در سال ۲۰۰۷، شاعری در سال ۱۳۹۰ و احمدپور در سال ۱۳۹۱ نیز در کارهایشان نتیجه‌گیری کرده‌اند که در نظر گرفتن پارامترهای اکولوژیکی تأثیر به سزایی در برآورد صحیح و واقع‌بینانه نیاز زیست‌محیطی دارد.

جدول ٦- مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی رودخانه هریرود از روش‌های مختلف

روش		نیاز آب زیست‌محیطی (EWR)	
		میزان دبی (%MAR($m^3 s^{-1}$)	
FDC Shifting	طبقه A	9/33	68
	طبقه B	9/22	46

روش		نیاز آب زیست‌محیطی (EWR)	
		میزان دبی (MAR(%s^{-1} ^{3} m)	
	طبقه C	4/16	33
	طبقه D	4/11	23
	طبقهE	5/7	15
	طبقه F	0/5	10
	طبقه A	9/19	40
	طبقه A/B	9/16	34
	طبقه B	8/13	28
DRM	طبقه B/C	9/11	24
	طبقه C	4/10	21
	طبقه C/D	4/9	19
	طبقه D	5/8	17
Tennant اصلاح‌شده	بهمن – تیر	9/14	30
	مرداد – دی	0/5	10
Tessman		5/26	53

مأخذ: نتایج به دست آمده از مدل اصلاح‌شده Tessman،Tennant تسمن، DRM،FDC Shifting

جدول ۷- مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی رودخانه هریرود از روش‌های مختلف

ماه	دبی متوسط ماهانه (مترمکعب بر ثانیه)	نیاز زیست‌محیطی (CMS)			
		Tennant اصلاح‌شده	تسمن	DRM	FDC Shifting
مهر	0/18	0/5	0/18	1/10	3/6
آبان	6/20	0/5	9/19	0/20	0/6
آذر	2/21	0/5	9/19	9/6	5/7
دی	2/25	0/5	9/19	2/7	1/9
بهمن	3/28	0/15	9/19	4/5	9/10
اسفند	8/63	0/15	5/25	2/7	3/22
فروردین	9/134	0/15	0/54	8/10	1/36
اردیبهشت	6/152	0/15	1/61	3/14	3/40

جدول ۸- مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی رودخانه هریرود از روش‌های مختلف

ماه	دبی متوسط ماهانه (مترمکعب بر ثانیه)	نیاز زیست‌محیطی (CMS)			
		Tennant اصلاح‌شده	تسمن	DRM	FDC Shifting
خرداد	4/50	0/15	2/20	9/9	8/23
تیر	2/29	0/15	9/19	1/9	5/13
مرداد	9/27	0/5	9/19	1/9	6/12
شهریور	6/25	0/5	9/19	5/25	6/11
میانگین	6/49	0/10	5/26	6/10	4/16

مأخذ :نتایج به دست آمده از مدل اصلاح‌شده Tennant، تسمن، DRM،FDC Shifting

٤ـ نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌که منطقه هریرود ایران به‌عنوان مرز طبیعی با کشورهای شرقی ایران (افغانستان و ترکمنستان) محسوب می‌شود گاهی تهیه داده‌های آماری برای فعالیت‌های پژوهشی به دلیل مرزی بودن منطقه دشوار می‌باشد، لذا در پژوهش حاضر تلاش شد تا با اصلاح داده‌های شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به یک خروجی قابل‌قبول برسیم، بنابراین در پژوهش حاضر با روش‌های مختلف اکو هیدرولوژی با چهار روش Tessman،Tennant، مدل ذخیره رومیزی (DRM) و انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting) برآوردهای لازم صورت گرفت و تلاش شد تا درزمینه h به‌کارگیری روش‌های فوق اصلاحاتی انجام شود تا نزدیک به شرایط طبیعی منطقه موردمطالعه گردد بدین‌صورت که در طبقه‌بندی‌های صورت گرفته حاصل از محاسبات مشخص گردید که منطقه هریرود ایران عمدتاً در طبقه زیستی C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) قرار داشته و متناسب با وسعت بالای حوضه هریرود در خاک افغانستان و ایران مرز هشدار محسوب می‌شود که قطعاً مسدود شدن رودخانه هریرود بر اثر احداث و آبگیری سد سلما اثرگذار بوده و لازم است با مطالعات مختلف از سایر جوانب این مهم بررسی موردبررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است روش و مقادیر پیشنهادی در این پژوهش راه‌حل نهایی برای مشکلات زیست‌محیطی رودخانه هریرود نیست. چراکه نبود اطلاعات جامع اکولوژیکی موردنیاز در مطالعات اکوسیستم رودخانه، سبب برآورد اکو هیدرولوژیکی با ضریب اطمینان کمتری می‌شود.

درنهایت این نکته لازم است که مقادیر به‌دست‌آمده فقط نیاز زیست‌محیطی اراضی پایین‌دست سد سلما افغانستان یعنی محدوده رودخانه هریرود ایران را در نظر گرفته است و بقای دریاچه سد دوستی نیاز به بررسی جامع بیشتری را دارد؛ اما آنچه مشخص است با کاهش نیاز جریان زیست‌محیطی درنتیجه کم آب شدن رودخانه هریرود کیفیت آب

سطحی و زیرسطحی بیشتر تغییر خواهد یافت و آثار سوء بر محیط‌زیست منطقه هریرود و همچنین زندگی مرزنشینان شرقی ایران خواهد گذاشت.

کتابنامه

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ ۱۳۹۸. بررسی اثر احداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانه زرینه‌رود بر اساس منحنی تداوم جریان. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۹. شماره ٤. ص ۱۵۳.

امینی، حامد؛ اسمعیلی عوری، اباذر؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ ۱۳۹۸. واکنش خشکسالی هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت تأثیر احداث سد در استان اردبیل. فصلنامه فیزیک زمین و فضا. دوره ٤٥. شماره ۲. ص ٤٧٣.

امینی، سمیه؛ ۱۳۸۷. پهنه‌بندی سیل در رودخانه‌ها با استفاده از مدل‌های هیدرولیک و ArcGIS پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اهواز. ص ۲۱۹.

خروشی، سعید. مصطفی‌زاده؛ رئوف. اسمعیلی عوری، اباذر؛ ۱۳۹٦. ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل. فصلنامه اکوهیدرولوژی. دوره ٤. شماره ۲. ص ۳۹۱.

شائری کریمی، سعید؛ ۱۳۹۰. استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی برای ارزیابی جریان محیطی در یک رودخانه. مجله بین‌المللی علوم زیست‌محیطی و فناوری. صص ٥٤٩-٥٥٨.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان؛۱۳۸۸. مطالعات تلفیقی هیدروژئولوژی. تغذیه مصنوعی و آب زیرزمینی. مرحله اول. شماره گزارش ۳۰۵۸_ ٤۳۰۲۸۲. مشهد.

شهبازبکیان، محمدرضا؛ موسوی شفایی، مسعود؛ ۱۳۹۵. تحلیلی بر احداث سد سلما بر روی رودخانه فرامرزی هریرود در کشور افغانستان. مرکز تحقیقات استراتژیک. معاونت پژوهش‌های سیاست خارجی. شماره ۱۷۸.

کریم کشته، محمدحسین؛ کوپاهی، مجید؛ کیمیا، امیرجواد؛ ۱۳۸۰. استفاده بهینه از آب رودخانه سیستان. مطالعه موردی بخش شیب آب. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. شماره ۳۵. صص ۱۹۷-۲۲۱

مکنون، م؛ ۱۳٦۷. اثرات زیست‌محیطی سدها مطالعه نظرات و تغییرات آن‌ها. اولین همایش هیدرولوژی. دانشکده مهندسی. تهران. ص ۱۱۸.

نصیری خیاوی، علی؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعیلی عوری، اباذر؛ ۱۳۹۸. تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه بالخلوچای ناشی از تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی اردبیل با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری (RVA). نشریه علمی_پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز جلد ۱۱ شماره ٤. ص ۸۵۱

Cavendish, M.G. and M.I. Duncan., 1986. Use of the in stream flow incremental methodology: a tool for negotiation. Environmental Impact Assessment Review, 6: 347- 363.

DWAF. 1997. White paper on a national water policy for South Africa, Pretoria, South Africa.Department of Water Affairs and Forestry.

Dyson, M. G. Bergkamp and J. Scanlon., 2003. The essentials of environmental flows. IUCN, Gland,Switzerland and Cambridge, UK, Earth System Science, 861-876.

Hirji, R. and T. Panella., 2003. Evolving policy reforms and experiences for addressing downstream impacts in World Bank water resources projects. River Research and Applications, 19: 667-681.

Hu, W, G. Wang, W. Deng and Sh. Li., 2008. The influence of dams on eco hydrological conditions in the Huaihe River basin, China. Ecological Engineering, 33: 233-241.

Hughes, D.A. and P. Hannart., 2003. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological in stream flow requirements of rivers in South Africa. Journal of Hydrology, 270: 167-181.

Hughes, D.A. and V.U. Smakhtin., 1996. Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves. Journal of Hydrological Sciences, 41(6): 851–871.

Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Kar and K.L. Prestegaard., 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. Bio Science, 47: 769-784.

Smakhtin, V.U. and M. Anputhas., 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian River basins. IWMI Research Report 107. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 36 pages.

SNCE., 2012. Studies of resources and expenditures of Bukan dam and Zarrinehrood irrigation and drainage network. Sadrab Niroo Consulting Engineers, 140 pages (in Persian).

Tennant, D.L., 1976. In stream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1: 6–10.

Tessman, S.A., 1980. Environmental Assessment, Technical Appendix E, in Environmental Use Sector Reconnaissance Elements of the Western Dakotas Region of South Dakota Study. Water Resources Research Institute, South Dakota State University, Brookings, SD.

Watt, S.P., 2007. A methodology for environmental protection of Ontario watercourses with respect to the permit to take water program, MSc Thesis, Queen's University Kingston, Ontario, Canada . 126 pages.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی