Archive of SID

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره۷۳، شماره۲، تابستان ۱۳۹۹
صفحات ۲۹۹ تا ۳۱۲

برآورد جریان محیط زیستی رودخانه بالیخلوچای و بررسی تأثیر بهره برداری از سد یامچی بر رژیم جریان هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی رودخانه

مجید رئوف[1]* و سیمین علی اوغلی [2]

۱-دانشیار، گروه مهندسی آب و پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی

۲-فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت۹۸/۱۰/۱۷-تاریخ پذیرش۹۸/۱۲/۰۳)

چکیده:

تأمین و تخصیص حقابه‌های محیط‌زیستی رودخانه‌ها، جهت حفاظت از اکوسیستم منابع آب و اکوسیستم‌های وابسته به این منابع، نظیر تالاب‌ها و دریاچه‌ها، باید به عنوان یک ضرورت در مدیریت پایدار منابع آب کشور در نظر گرفته شود. در این تحقیق، در یک دوره ۴۴ ساله (از ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳)، جریان محیط‌زیستی رودخانه بالیخلوچای، با استفاده از سه روش تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار IHA به بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی ناشی از احداث و بهره‌برداری از سد یامچی پرداخته شد. نتایج نشان داد که با استفاده از روش تنانت و برای حفاظت از رژیم جریان رودخانه در محدوده بهینه، برای تمام ماه‌های سال نیاز به جریانی در محدوده‌ی ۱/۹۶ تا ۳/۲۷ مترمکعب بر ثانیه است این درحالی است که روش تسمن برای حفاظت از اکوسیستم‌های رودخانه‌ای جریانی معادل ۱/۳۱ مترمکعب بر ثانیه را تخمین زده است. نتایج روش منحنی تداوم جریان، حاکی از تأمین دبی ۲/۹۵و ۲/۴۶ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب برای حفاظت از رودخانه در شرایط مناسب و نسبتاً مناسب است. بهره‌برداری از سد بر پارامترهای هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی پایین‌دست تأثیرگذار بوده است به‌نحوی‌که میزان این تأثیرات بر پارامترهای هیدرولوژیکی مانند مقادیر جریان‌های ماهانه، زمان وقوع مقادیر حدی در سال، مقدار و تداوم جریان‌های حدی در سال و تناوب تغییر وضعیت جریان به میزان ۶۱/۳۸ درصد با درجه تغییرات متوسط است. همچنین با وجود سد به میزان ۵۱/۶ درصد پارامترهای محیط‌زیستی مانند جریان‌های کم آبی ماهانه، جریان‌های کم آبی شدید، سیلاب‌های کوچک و سیلاب‌های بزرگ تغییر یافته است.

کلید واژگان: حقابه محیط زیستی، هیدرولوژیکی، منحنی تداوم جریان، نرم‌افزار IHA

*تلفن نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۹۱۲۷۶۹۷ ایمیل: majidraoof2000@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

در طی دهه‌های اخیر، روش‌ها، رویکردها و چارچوب‌های مختلفی جهت ارزیابی و تنظیم جریان آب جهت حفاظت از محیط‌زیست گسترش‌یافته است ولیکن در بسیاری از کشورها رویکرد جامعی برای چنین ارزیابی‌هایی وجود ندارد (Islam, 2010). درمجموع ۲۰۷ روش برای تعیین جریان محیط‌زیستی رودخانه‌ها در ۴۴ کشور از سراسر جهان شناسایی‌شده است که می‌توان در قالب ۴ روش کلی شامل: روش هیدرولوژیکی، روش هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه و روش جامع طبقه‌بندی کرد (King *et al.*, 2000). این روش‌ها به‌طور معنی‌دار از نظر اهداف، اطلاعات ورودی موردنیاز و دقت نتایج خروجی با یکدیگر متفاوت هستند (Smakhtin., 2006). انتخاب بهترین روش برای تخصیص جریان محیط‌زیستی رودخانه‌ها به عواملی ازجمله سطح حفاظت از رودخانه، اهمیت تقلید از رژیم طبیعی رودخانه، دسترسی به داده‌ها، زمان محاسبه و در نهایت سهولت کاربرد بستگی دارد (Zarakani *et al.*, 2017). در میان روش‌های استفاده‌شده در رویکرد هیدرولوژیکی جهت برآورد جریان محیط‌زیستی رودخانه از روش‌هایی مانند تنانت، تسمن، اسماختین، منحنی تداوم جریان ارائه شده توسط اسماختین ، روش ذخیره رومیزی (DRM) و نرم‌افزار IHA[1] استفاده می‌شود. Walega و همکاران (۲۰۱۵) ، به مقایسه روش تنانت و تسمن بر اساس کاربرد داده‌های سه رودخانه در لهستان پرداختند و با بررسی نتایج حاصله دریافتند که روش تسمن نتایج قابل‌قبول‌تری را برای رودخانه‌های یاد شده دارد.

جهت محاسبه جریان محیط‌زیستی و پرداختن به موضوعاتی از قبیل سدسازی‌ها یا تغییر اقلیم بر تغییر جریان‌های هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی رودخانه از نرم‌افزار IHA استفاده می‌شود. در خصوص کاربرد این نرم‌افزار می‌توان به تحقیق Gain و Giupponi (۲۰۱۴)، در بررسی اثرات سد فاراکا بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه پایین‌دست رودخانه گنگ با روش محدوده تغییرپذیری جریان «RVA[2]» اشاره کرد. لذا جهت بررسی و ارزیابی اثرات محیط‌زیستی این سد از روش مذکور استفاده گردید و ۲۲ پارامتر هیدرولوژیکی آن، طی دوره‌های قبل و بعد از ساخت و بهره‌برداری از سد با همدیگر مقایسه شد. نتایج حاکی از این بود که احداث سد مقادیر جریانات ۳۰،۷،۳،۱ و ۹۰ روزه را کاهش داده و تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر رژیم هیدرولوژیکی پایین‌دست گذاشته است.

Zuo و Liang (۲۰۱۵)، نیز اثرات احداث سد بر جریانات محیط‌زیستی رودخانه شایینگ[3] را که یکی از سرشاخه‌های رودخانه چین است، مورد ارزیابی قراردادند. نتایج این تحقیق نشان داد که احداث سد مقادیر حداکثر و حداقل جریان‌های ۳۰،۷،۳،۱ و ۹۰ روزه را کاهش داده و همچنین موجب افزایش تعداد روزهای دارای جریانات صفر شده است. این امر موجب مرگ‌ومیر قابل‌توجهی از موجودات آبزی و تهدیدی جدی در تغییر کیفیت اکولوژیکی منطقه شده است.

1- Indicators of Hydrologic Alteration
2- Range of variability approach
3- Shaying River

www.SID.ir

Archive of SID

لذا این تحقیق در تلاش است تا با استفاده از اطلاعات در دسترس رودخانه بالیخلوچای (ایستگاه پل الماس) از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ و به‌کارگیری برخی از رویکردهای هیدرولوژیکی به دلیل نیاز به دسترسی به داده‌های محدود و زمان نسبتا سریع ارزیابی مانند روش‌های تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان در ماه‌های مختلف سال، جریان محیط‌زیستی رودخانه را محاسبه و بهترین روش را انتخاب و معرفی کند. همچنین در ادامه به بررسی و تحلیل اثرات ساخت سد یامچی (قبل و بعد از احداث سد در سال ۲۰۰۴)، بر جریانات محیط‌زیستی و هیدرولوژیکی پایین‌دست رودخانه، با استفاده از نرم‌افزار IHA، پرداخته شد.

۲.مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز بالیخلوچای با مساحت تقریبی ۱۰۹۳ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی ′۴۶ °۴۷ و ′ ۶ °۴۸ شرقی و عرض‌های ′۵۲ °۳۷ تا ′۱۵ °۳۸ شمالی قرارگرفته است. رودخانه بالیخلوچای واقع در استان اردبیل و از شاخه‌های رودخانه قره‌سو می‌باشد. طول این رودخانه تا نقطه پایاب در شهر اردبیل ۶۵ کیلومتر است. رودخانه بالیخلوچای از گردنه بالیخلی در جنوب غربی شهرستان نیر، حدفاصل دو رشته‌کوه بزقوش و سبلان سرچشمه گرفته و درنهایت با الحاق به رودخانه قره‌سو در شمال اردبیل تخلیه می‌شود. سد یامچی در زیرحوضه ارس و بر روی رودخانه بالیخلوچای در شرق استان اردبیل ساخته‌شده است. مساحت حوضه آبریز سد ۷۳۰ کیلومترمربع بوده و ظرفیت ذخیره‌سازی ۸۰ میلیون مترمکعب آب را دارا می‌باشد. موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه هیدرومتری در جدول۱ و شکل۱ نشان داده‌شده است.

۲-۲ . روش‌شناسی

در راستای نیل به اهداف تحقیق حاضر از یکسری روش-های هیدرولوژیکی استفاده‌شده است که داده‌های ورودی به این روش‌ها و نرم‌افزار، داده‌های مربوط به رواناب روزانه ایستگاه پل الماس می‌باشد. بدین منظور مراحل تحقیق در دو مرحله اصلیِ محاسبه جریان محیط‌زیستی رودخانه از سال ۱۹۷۰ تا سال ۲۰۱۳ بدون در نظرگیری سد یامچی و با به‌کارگیری روش‌های تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان در ماه‌های مختلف سال است. سپس در ادامه به بررسی و تحلیل اثرات ساخت سد یامچی (قبل و بعد از احداث سد در سال ۲۰۰۴) بر جریانات محیط-زیستی و هیدرولوژیکی پایین‌دست رودخانه با استفاده از نرم‌افزار IHA پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱ .روش تنانت یا مونتانا[1]

به‌طورکلی در حال حاضر معمول‌ترین روش در تعیین جریان آب محیط‌زیستی در ایران روش تنانت یا مونتانا است که در گروه روش‌های هیدرولوژیکی برای ارزیابی جریان محیط‌زیستی قرار می‌گیرد. این روش جهت برآورد حداقل جریان محیط زیستی رودخانه‌ها بر پایه‌ی مطالعات صحرایی در ایالات مرکزی-غربی آمریکا توسعه داده‌شده است (Tennant, 1976).

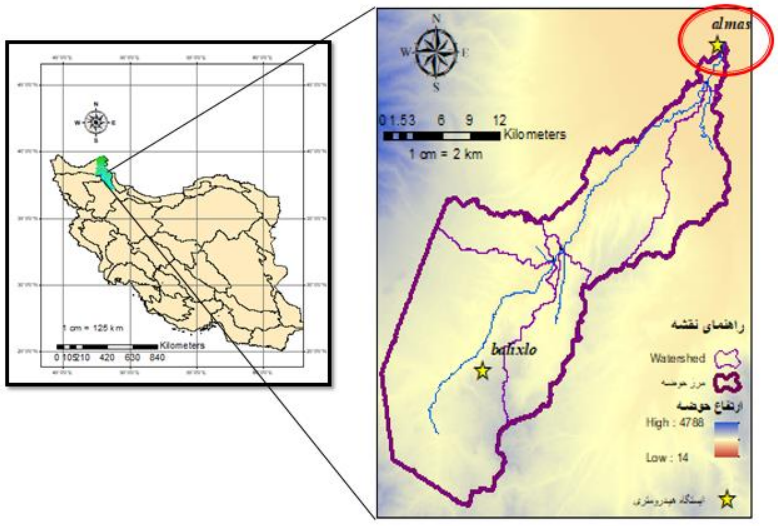
1 -Tennant

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ - موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه پل الماس

نام رودخانه	نام ایستگاه	کد ایستگاه	سال تأسیس	مختصات جغرافیایی		
				طول	عرض	ارتفاع از سطح دریا
بالیخلوچای	پل الماس	۱۹۰۵۳	۱۳۴۸	۴۸ °۱۱ ′	۳۸ °۰۹ ′	۱۴۳۵



شکل ۱ - موقعیت ایستگاه هیدرومتری پل الماس

هدف اصلی این روش حفظ شرایط زیستی ماهیان بوده است. بر طبق پیشنهاد تنانت مقادیر ۱۰، ۳۰ و ۶۰ درصد متوسط جریان‌های سالیانه، به ترتیب به‌عنوان حداقل جریان، برای بقای کوتاه‌مدت ماهی‌ها، حفظ وضعیت بقای نسبتاً خوب و حفظ زیستگاه مناسب تخصیص می‌یابد (Guideline for Finding Aquatic Ecosystems Environmental Water Requirement, 2012). در این روش برای مدیریت جریان رودخانه یک سال به دو دوره‌ی اکتبر تا مارس و آوریل تا سپتامبر دسته‌بندی شده و بر اساس درصدهای درنظر گرفته شده برای حفاظت از رودخانه به منظور اهداف مختلف اعمال می‌گردد.

۲-۲-۲. روش تسمن[1]

Tessmann در سال 1980، از ترکیبی از متوسط جریان ماهیانه (MMF[2]) و متوسط جریان سالیانه (MAF[3]) برای تعیین حداقل جریان ماهیانه استفاده کرد. در این روش اگر ۴۰درصد متوسط جریان سالیانه از متوسط جریان ماهیانه بزرگ‌تر باشد در آن صورت متوسط جریان ماهیانه به‌عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود در غیراینصورت (کوچکتر بودن ۴۰درصد جریان سالیانه از متوسط جریان ماهانه)، ۴۰درصد متوسط جریان سالیانه به‌عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود. همچنین اگر متوسط جریان سالیانه از متوسط جریان ماهیانه کوچک‌تر باشد، ۴۰درصد متوسط

1- Tessman
2- Mean monthly flow
3- Mean annual flow

www.SID.ir

Archive of SID

جریان ماهیانه به‌عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته خواهد شد.

۲-۲-۳ .روش منحنی تداوم جریان[1]

Smakhtin در سال ۲۰۰۶، جهت ارزیابی جریان محیط-زیستی رودخانه‌ها از روش منحنی تداوم جریان رودخانه استفاده کردند. منحنی تداوم جریان رودخانه، با ارائه‌ی رابطه بین مقدار و فراوانی جریان رودخانه، محدوده کاملی از دبی‌های رودخانه، از رخدادهای کم‌آبی تا سیلابی را نشان می‌دهد. منحنی تداوم جریان رودخانه اطلاعاتی را در مورد برنامه‌ریزی آب رودخانه، جهت استفاده‌های شرب یا احداث بندهای انحرافی را در بر می‌گیرد. در این روش ابتدا داده‌های متوسط روزانه به ترتیب نزولی مرتب می‌شود. احتمال تجاوز از این مقدار جریان از رابطه‌ی ۱ قابل‌محاسبه است. در این رابطه n کل روزهای مشاهداتی در طول یک سال و i جریان در ترتیب نزولی مرتب‌شده است(Guideline for Finding Aquatic Ecosystems Environmental Water Requirement, 2012).

$$p(i) = \frac{i}{n+1} \qquad (۱)$$

۲-۲-۴ .بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و محیط زیستی

نرم‌افزار IHA استفاده از برخی اطلاعات هیدرولوژیکی در مقیاس روزانه تحلیل و محاسبات مربوط به تغییرات هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی را انجام می‌دهد. همچنین توانایی ارزیابی پارامترهای متغیر در زمان را دارا است. از قابلیت‌های دیگر مدل، مقایسه تغییرات جریان‌های طبیعی با شرایط شبیه‌سازی‌شده جریان جهت مدیریت بهتر منابع آب است. این نرم‌افزار با شناسایی مؤلفه‌های رژیم طبیعی جریان نظیر مقادیر جریان‌های کم و پرآبی، زمان وقوع، فراوانی، تداوم (متوسط میانگین متحرک حداقل و حداکثر) و نرخ تغییرات در آن‌ها، تحلیل مربوط را انجام می‌دهد. سال آبی پیش‌فرض در مدل از یک اکتبر تا سی سپتامبر است اما این پیش‌فرض در مدل قابل‌تغییر است (The Nature Conservancy, 2009). این مدل با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی روزانه، به محاسبه ۶۷ پارامتر در دو گروه ۳۳ پارامتری IHA و ۳۴ پارامتر جریان زیست‌محیطی (EFC) می‌پردازد (Richter *et al.*, 1996). نرم‌افزار قابلیت توصیف تغییرات جریان ناشی از فعالیت‌های انسانی (احداث و بهره‌برداری از سد یا کانال انحرافی) را دارد. برای تشخیص محدوده این تغییرات از روش RVA استفاده می‌شود.

۲-۲-۴-۱.روش محدوده تغییرات (RVA)

روش محدوده تغییرات به‌عنوان روشی کارآمد جهت مدیریت رودخانه‌ها پذیرفته‌شده است. این روش با فراهم آوردن ابزاری ساده می‌تواند در جایی که داده‌های در دسترس تنها محدود به داده‌های هیدرولوژیکی هستند رژیم اکولوژیکی رودخانه را حفظ کند (Shokoohi & Hong, 2011). روش محدوده تغییرات از آمار پارامتری و نا پارامتری برای تحلیل رژیم جریان استفاده می‌کند(The Nature Conservancy, 2009) نحوه محاسبه درجه تغییرات درروش RVA به شرح زیر است:

۱) ۳۳فاکتور IHA در دوره قبل از تغییرات (رژیم جریان طبیعی) با روش محدوده تغییرپذیری محاسبه می‌شود.

۲) برای هر پارامتر هیدرولوژیکی و مطابق با نتایج گام اول، محدوده هدف RVA مشخص می‌شود.

1 -Flow duration curves

www.SID.ir

Archive of SID

۳) ۳۳ فاکتور IHA در دوره بعد از تغییرات (رژیم تغییریافته جریان) محاسبه می‌شود.

۴) با استفاده از درجه رژیم متغیر هیدرولوژیکی، اثرات توسعه فعالیت‌های انسانی روی اکوسیستم رودخانه را تحلیل می‌شود. Richter (۱۹۹۶)، برای تعیین درجه تغییر هیدرولوژیکی از رابطه ۲ استفاده کرد.

$$D_i = \left|\frac{N_O - N_e}{N_e}\right| \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن D_i، درجه تغییر هیدرولوژیکی پارامتر iام و N_O، تعداد سال‌هایی که مقدار مشاهده‌شده پارامتر در محدوده RVA و N_e، تعداد سال‌هایی است که انتظار می‌رود مقدار پارامتر هیدرولوژیکی درون محدوده RVA قرار گیرد (Richter *et al.*, 1997). در این تحقیق مقادیر ۲۵ و ۷۵ درصد به‌عنوان محدوده RVA برای دو دوره رژیم جریان طبیعی و رژیم جریان تغییریافته، اعمال شد. همچنین درجه کلی تغییر هیدرولوژیکی (D_O)، برای تحلیل رودخانه مطابق رابطه ۳ قابل حصول می‌باشد.

$$D_O = \sqrt{\frac{1}{33}\sum_{i=1}^{33} D_i^2} \qquad (۳)$$

در تحلیل RVA درصدهای ۳۳ و ۶۷ برای مشخص کردن نوع RVA به کار می‌رود. اگر درجه تغییر هیدرولوژیکی بین صفرتا ۳۳ درصد باشد، تغییر هیدرولوژیکی اثرات کم‌تری داشته است، اگر درجه تغییر بین ۳۳ تا ۶۷ درصد باشد میزان تغییر متوسط و اگر بزرگ‌تر از ۶۷ درصد باشد تغییرات زیاد است (Richter *et al.*, 1996).

۳.نتایج

۳-۱ .دبی حداقل نیاز محیط‌زیستی

تمام روش‌های مورد استفاده در این تحقیق بر مبنای روش‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. بدین منظور نیاز اطلاعاتی هر روش با توجه به اطلاعات موجود، از آمار داده‌های روزانه و ماهیانه رودخانه، برای دوره‌های بلندمدت مورداستفاده قرار گرفت در جدول۲ نتیجه محاسبات آماری دبی‌های روزانه ایستگاه هیدرومتری پل الماس رودخانه بالیخلوچای، در طول سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ نشان داده‌شده است. همان‌طور که در جدول۲ مشاهده می‌شود، حداکثر دبی جریان ماهانه رودخانه بالیخلوچای در ایستگاه پل الماس در ماه آوریل و برابر ۴۵ مترمکعب بر ثانیه و حداقل میانگین دبی جریان ماهانه در ماه می و فوریه برابر صفر و میانگین دبی سالانه ۳/۲۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

۳-۲ .روش تنانت

در این روش جریان محیط‌زیستی برحسب درصدی از میانگین جریان سالانه تعیین می‌گردد بنابراین در ماه‌های کم‌آبی بدون توجه به کاهش شدید آبدهی رودخانه، جریان محیط‌زیستی به‌صورت درصدی از میانگین درازمدت سالانه در نظر گرفته می‌شود. محاسبات مربوط به جریان محیط‌زیستی در این روش در جدول ۳ نشان داده‌شده است. محاسبات نشان داد که با کاربرد روش تنانت و برای حفاظت از رودخانه در محدوده بهینه نیاز به جریانی در محدوده ۱/۹۶ تا ۳/۲۷ مترمکعب بر ثانیه در تمام ماه‌های سال می‌باشد. همچنین شرایط قابل‌قبول محیط‌زیستی برای ماه‌های اکتبر تا مارس برابر ۰/۳۳ مترمکعب بر ثانیه و معادل ۰/۹۸ مترمکعب بر ثانیه برای ماه‌های آوریل تا سپتامبر برآورد شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ -دبی روزانه ایستگاه پل الماس در پایین دست سد یامچی (مترمکعب بر ثانیه)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Average	۳/۷۹	۳/۹۲	۵/۳۶	۷/۴۶	۳/۵۷	۱/۷۲	۰/۹۶	۰/۸۸	۱/۴۷	۲/۵۰	۳/۷۷	۳/۸۳
Min	۰/۰۱۲	۰	۰/۰۵۳	۰/۰۲۶	۰	۰/۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۵۵	۰/۰۳۵	۰/۰۰۲
Max	۱۰/۳	۸/۵۹	۳۹/۱	۴۵	۳۴/۵	۱۵/۷	۷/۱۶	۶/۱۱	۱۱/۲	۱۷/۲	۱۶/۰۲	۹/۴

جدول ۳ -رژیم پیشنهادی جریان پایه بر اساس روش تنانت

		توصیف جریان ها	شست و شوی سریع یا حداکثر	محدوده بهینه	بسیار عالی	عالی	خوب	قابل قبول	ضعیف	بسیار ضعیف
رژیم‌های پیشنهادی جریان پایه (درصدی از متوسط جریان سالیانه)		اکتبر - مارس	۰/۶۵	۱/۹۶-۳/۲۷	۱/۳۱	۰/۹۸	۰/۶۵	۰/۳۳	۰/۳۳	<۰/۳۳
		آوریل - سپتامبر	۰/۶۵	۱/۹۶-۳/۲۷	۱/۹۶	۱/۶۴	۱/۳۱	۰/۹۸	۰/۳۳	<۰/۳۳

۳-۳. روش تسمن

نتایج محاسبه جریان محیط‌زیستی روش تسمن برای رودخانه بالیخلوچای در جدول۴ ارائه شده است که در محاسبات مربوطه برحسب متوسط جریان ماهیانه و متوسط جریان سالانه است. در این روش متوسط جریان محیط‌زیستی معادل ۱/۳۱ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۴ -رژیم پیشنهادی جریان بر اساس روش تسمن (m^3/s)

ماه	Jun	Feb	Mar	Apr	May	June	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
جریان محیط زیستی	۱/۵۲	۱/۵۷	۲/۱۵	۲/۹۹	۱/۴۳	۱/۳۰	۰/۹۷	۰/۸۸	۱/۳۰	۱/۳۰	۱/۵۱	۱/۵۳

۳-۴. روش منحنی تداوم جریان

روش منحنی تداوم جریان به‌عنوان روشی معتبر و کم‌هزینه جهت محاسبه جریان محیط‌زیستی رودخانه است. با استفاده از روش منحنی تداوم جریان می‌توان درصد اوقاتی که باید دبی مشخصی در رودخانه جریان داشته باشد را تخمین زد. در این راستا استفاده از صدک-های ۷۵ و ۹۰ جریان به ترتیب متعلق به جریان‌های حاکم در شرایط مناسب و نسبتاً مناسب جریان است. طبق تعریف دبی متوسط دبی است که در نیمی از روزهای سال جریان‌های عبوری مساوی یا بیشتر از جریان، دبی

www.SID.ir

Archive of SID

۷۵ و ۹۰درصد به ترتیب مربوط به جریان‌هایی است که دبی در ۷۵ و ۹۰ درصد بیشتر از این میزان باشد. این صدک‌ها برای کلیه منحنی‌های تداوم جریان و محاسبه میانگین جریانات محاسبه‌شده در سال‌های آماری موجود برای رودخانه بالیخلوچای در ایستگاه پل الماس برآورد شد. روش منحنی تداوم جریان توانایی شبیه‌سازی رژیم تاریخی جریان، جهت حفظ شرایط محیط‌زیستی خوب یا متوسط و ارائه الگوی مدیریتی برای حفاظت از رودخانه بالیخلوچای و همچنین برنامه‌ریزی‌های اولیه می‌تواند مفید باشد. بدین منظور میزان جریان محیط‌زیستی موردنیاز برای هریک از ماه‌ها در رودخانه محاسبه گردید که در جدول ۵ ارائه شده است. جدول ۵ میزان دبی موردنیاز برای حفظ شرایط بهینه در ایستگاه پل الماس را نشان می‌دهد. برای حفظ حداقل جریان محیط‌زیستی در شرایط مناسب، باید دبی ۲/۴۶ مترمکعب بر ثانیه در ایستگاه پل الماس برقرار باشد و برای حفظ شرایط نسبتاً مناسب نیاز به دبی ۲/۹۴ مترمکعب بر ثانیه است.

جدول ۵ -رژیم پیشنهادی جریان بر اساس روش منحنی تداوم جریان (متر مکعب بر ثانیه)

Month	Jun	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	year
$Q_{average}$	۳/۷۹	۳/۹۲	۵/۳۶	۷/۴۶	۳/۵۸	۱/۷۲	۰/۹۶	۰/۸۸	۱/۴۸	۲/۵۱	۳/۷۷	۳/۸۳	۳/۲۷
Q_{75}	۲/۸۴	۲/۹۴	۴/۰۲۲	۵/۵۹	۲/۶۸	۱/۲۹	۰/۷۲	۰/۶۶	۱/۱۰	۱/۸۸	۲/۸۳	۲/۸۸	۲/۴۶
Q_{90}	۳/۴۲	۳/۵۳	۴/۸۳	۶/۷۲	۳/۲۲	۱/۵۵	۰/۸۷	۰/۷۹	۱/۳۳	۲/۵۵	۳/۳۹	۳/۴۵	۲/۹۴

۳-۵ .مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی

خلاصه نتایج برآورد حداقل جریان محیط‌زیستی رودخانه بالیخلوچای با سه روش تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان در جداول۳، ۴ و ۵ نمایش داده‌شده است. روش تسمن با مقایسه متوسط جریان ماهیانه و متوسط جریان سالیانه، کمترین جریان محیط‌زیستی موردنیاز را در ماه‌های مختلف سال پیشنهاد می‌دهد. ضرایب پیشنهادی برای روش‌های تنانت و تسمن برای رودخانه‌های خارج از کشور کالیبره شده است. به هرحال از این ضرایب برای تخمین جریان محیط‌زیستی رودخانه‌های ایران استفاده می‌شود. با مقایسه جداول ۳ تا ۵ مشخص گردید که در تمام ماه‌های سال، روش منحنی تداوم جریان مقادیر جریان محیط زیستی را بیشتر از سایر روش‌ها تخمین زده است. همچنین روش تنانت مقادیر جریان محیط زیستی را کمتر از دو روش دیگر تخمین زده است. در تمام ماه‌های سال، روش تنانت مقدار جریان محیط زیستی را کمتر از Q75 تخمین زده است. در برخی از ماه‌ها روش تسمن مقدار جریان را کمتر از Q75 و در برخی از ماه‌ها بیشتر از Q75 برآورد نموده است. نتایج در جدول۵ نشان داده شده است.

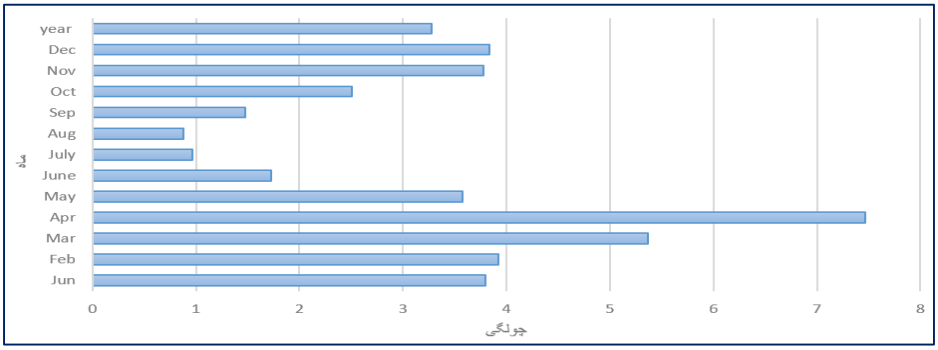
۳-۶ .تغییرات هیدرولوژیکی و محیط زیستی ناشی از احداث سد یامچی

به‌منظور بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و محیط زیستی ناشی از احداث سد یامچی از نرم‌افزار IHA(V.7) استفاده شد. همان‌طور که در شکل۲ ملاحظه می‌شود در تابع توزیع احتمال دبی‌های ماهانه رودخانه یک چولگی وجود دارد. لذا بر اساس این مشاهدات از آمار نا

www.SID.ir

Archive of SID

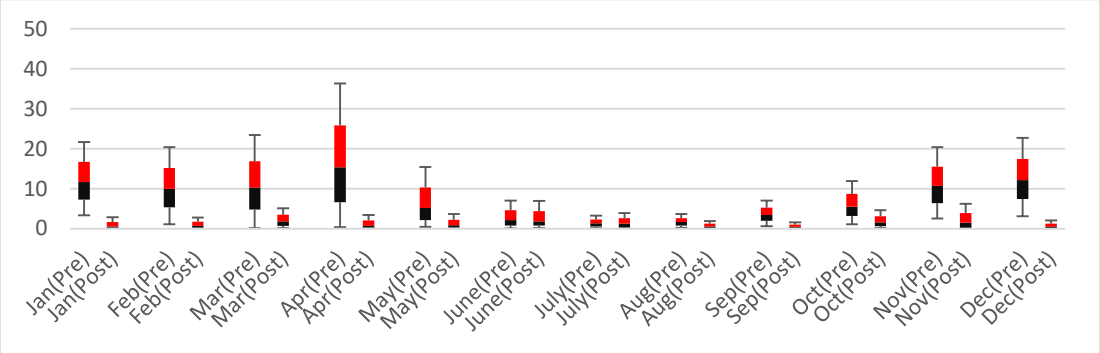
پارامتریک جهت محاسبه تغییرات هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی استفاده شد. نتایج تغییرات پارامترهای گروه اول هیدرولوژیکی رودخانه بالیخلوچای در ایستگاه پل الماس در شکل ۳ قابل‌مشاهده است. با اجرای روش RVA برای رودخانه بالیخلوچای، میانگین و میانه دبی-های ماهانه در هر دو محدوده کم و زیاد که شامل مقادیر دبی‌های لازم جهت حفظ زیستگاه رودخانه در محدوده طبیعی آن هستند به دست آمد. همان‌طور که از شکل۳ مشاهده می‌شود متوسط جریان ماهیانه در ماه‌های مختلف سال نسبت به دوره‌ی قبل از احداث سد تغییرات محسوسی یافته است. افزایش یا کاهش هرکدام از این پارامترها بر روی برخی از کارکردهای اکوسیستم تاثیرخواهد گذاشت ازجمله‌ی این تأثیرات می‌توان به دسترسی زیستگاه برای ارگانیزم‌های آبزی، فراهم کردن رطوبت خاک برای گیاهان، ذخایر آب قابل‌اطمینان برای جانوران خاک‌زی و همچنین تأثیر بر دمای آب، مقدار اکسیژن و فتوسنتز در آب اشاره کرد. گروه دوم شاخص-های هیدرولوژیکی بیانگر مقدار و تداوم جریان حدی در سال است. تأثیراتی که تغییرات این پارامترها بر عملکرد اکوسیستم دارا می‌باشند شامل تأثیر بر ساختار اکوسیستم‌های آبزی توسط مؤلفه‌های زنده و غیرزنده، تأثیر بر ساختار مورفولوژی رودخانه و شرایط فیزیکی زیستگاه، استرس رطوبتی خاک در گیاهان، استرس فعالیت‌های بدون اکسیژن در گیاهان، توزیع اجتماعات گیاهی در دریاچه‌ها، تالاب‌ها و دشت‌های سیلابی است. در حالت کلی تغییر در پارامترهای این گروه بر شرایط فوق‌العاده آبی ازجمله سیل و خشکسالی تأثیرگذارند. شکل۴ تغییرات هیدرولوژیکی مقادیر حدی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود مقادیر حدی شاخص‌های هیدرولوژیکی قبل و بعد از ساخت سد یامچی تغییرات محسوسی پیدا کرده است و تنها جریان حداقل ۹۰ روزه (با درجه تغییرات ۴۶ درصد) به‌طور شهودی در مقایسه با تغییرات بقیه شاخص‌ها در حد متوسط بوده است. تعداد روزهای جریان صفر و شاخص جریان پایه دو پارامتر دیگر این گروه هستند که شاخص جریان پایه از نظر میزان تغییر هیدرولوژیکی ثابت است. این در حالی است که تعداد روزهای دارای جریان صفر در دوره بعد از احداث سد تغییراتی داشته است. در گروه سوم پارامترهای هیدرولوژیکی، تاریخ وقوع حداقل جریان ۱ روزه در دوره پس از احداث سد دیرتر از دوره قبل از احداث بوده است.



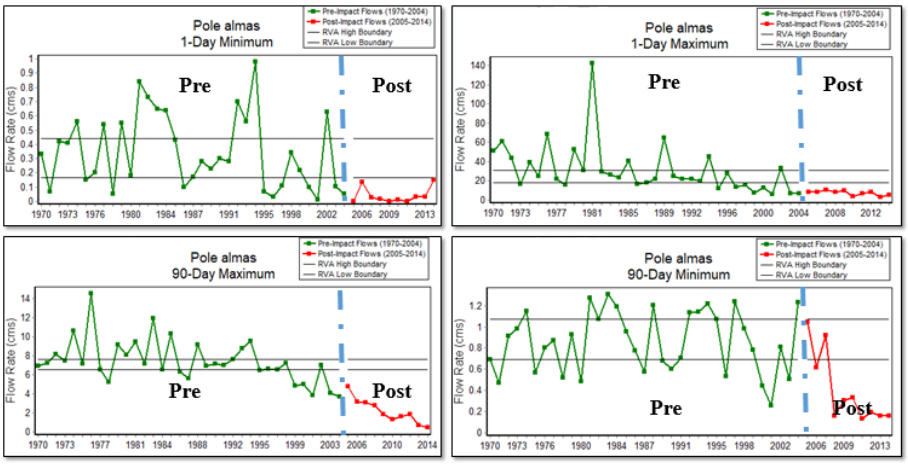
شکل ۲ - تابع توزیع احتمال دبی‌های ماهانه رودخانه بالیخلوچای

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ -نمودار جعبه‌ای تغییر پارامترهای گروه اول قبل و بعد از احداث سد یامچی



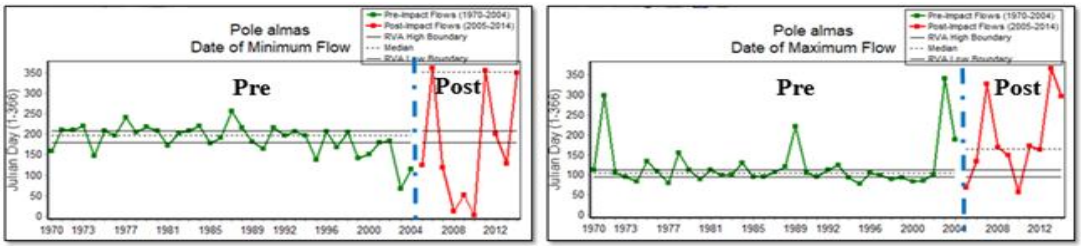
شکل ۴ -تغییرات هیدرولوژیکی مقادیر حدی

همچنین تاریخ وقوع حداکثر جریان۱ روزه در دوره پس از احداث سد زودتر از دوره قبل از احداث سد می‌باشد (شکل۵). این پارامترها با تولد و مرگ گونه‌ها، سازگاری با چرخه زندگی ارگانیزم‌ها، پیش‌بینی و کاهش استرس برای ارگانیزم‌ها و دسترسی به زیستگاه‌های خاص در مدت تولیدمثل یا برای دوری از شکار در ارتباط است. درنتیجه می‌توان گفت این شاخص‌ها بر پویایی جمعیت اثرگذارند. در بررسی تناوب و تداوم رفتار ضربانی رودخانه‌ی بالیخلوچای در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، قبل و بعد از احداث سد یامچی مشخص گردید که مدت زمان پالس جریانات کم دارای تغییر هیدرولوژیکی کمی است. این در حالی است که درجه تغییر هیدرولوژیکی پالس دوره پرآبی ازنظر تناوب متوسط و از نظر تداوم در دسته-ی تغییرات زیاد قرارگرفته است. ازجمله تأثیراتی که تغییر در این پارامترها می‌تواند در اکوسیستم داشته باشد می‌توان به جابه‌جایی مواد ارگانیک و غذایی بین رودخانه و دشت سیلابی، فراوانی و شدت استرس رطوبتی خاک برای گیاهان، فراوانی و مدت استرس فعالیت‌های بدون اکسیژن گیاه و تأثیر بر حمل مواد بستر، بافت رسوب کانال و مدت اختلال در بستر اشاره کرد. شدت کاهش و افزایش جریان در دوره بعد از احداث سد تغییرات متوسطی داشته است. این موضوع بر به دام افتادن ارگانیزم‌ها در دشت‌های سیلابی، تأثیرات شرایط خشک بر گیاهان و همچنین استرس خشکی برای گونه‌های

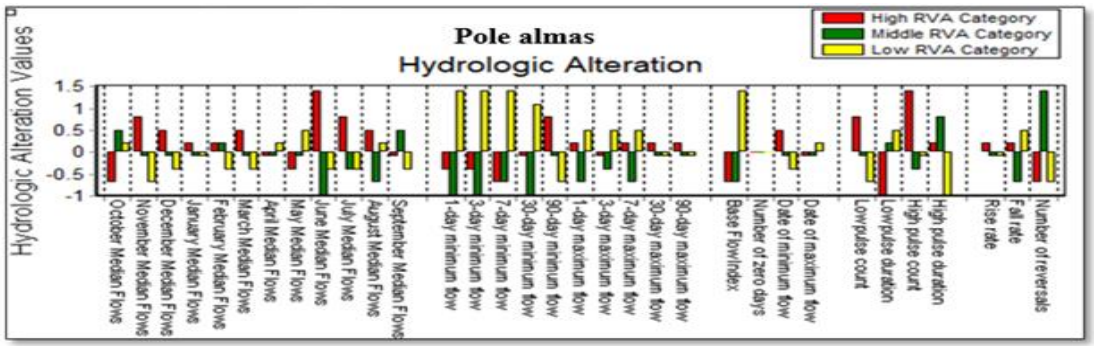
www.SID.ir

Archive of SID

کم‌تحرک تأثیرگذار است. در حالت کلی و با توجه به شکل ۶، ۲۳ شاخص از ۳۳ شاخص IHA در گروه با درجه تغییر زیاد و متوسط دسته‌بندی می‌شوند. این بدین خاطر است که درجه تغییرات هیدرولوژیکی آن‌ها بزرگ‌تر از ۳۳ درصد است. بااین‌حال تغییرات ۱۰ شاخص با مقادیر کمتر از ۳۳ درصد نشان‌دهنده تأثیر کم سد یامچی بر این شاخص‌ها است. درجه‌ی کلی تغییر هیدرولوژیکی ناشی از سد یامچی، مطابق با رابطه ۳، برابر ۶۱/۳۸ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی این است که سد یامچی به‌طورکلی شاخص‌های هیدرولوژیکی را به‌طور متوسط نسبت به جریان عادی رودخانه (قبل از احداث سد) تغییر داده است. برای بررسی تغییرات جریان‌های محیط‌زیستی، نرم‌افزار این تغییرات را در ۵ گروه عمده شامل جریان‌های کم‌آبی شدید، جریان‌های کم‌آبی، پالس جریان‌های پرآبی، سیلاب‌های کوچک و سیلاب‌های بزرگ دسته‌بندی کرده است.



شکل ۵ -زمان رخداد مقادیر حدی سالانه



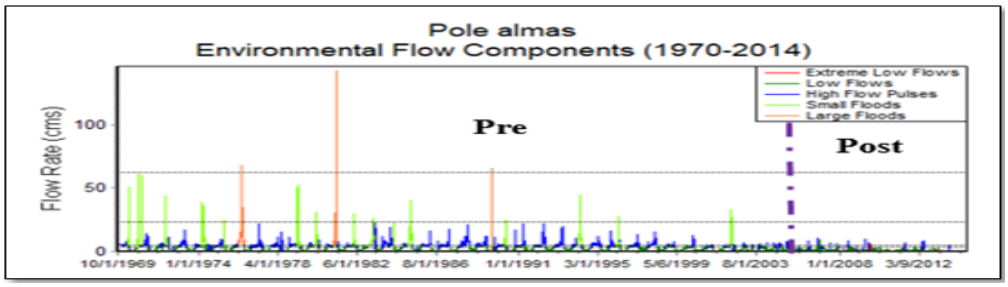
شکل ۶ -تغییر کلی پارامترهای هیدرولوژیکی

تأثیراتی که تغییر در هرکدام از پارامترها بر اکوسیستم خواهد داشت می‌توان به تأثیر بر زیستگاه مناسب برای ارگانیزم‌های آبزی، نگه‌داشتن دمای مناسب آب، اکسیژن محلول و مواد شیمیایی آب، پایش گونه‌های مهاجم و گونه‌های آبزی، ورود گونه‌های گیاهی خاص دشت سیلابی، تغییرات در شکل فیزیکی کانال رودخانه، برگرداندن شرایط کیفی نرمال آب بعد از یک دوره کم‌آبی ته‌نشینی مواد در دشت سیلابی، شکل فیزیکی زیستگاه-های دشت سیلابی اشاره کرد. تأثیراتی که سد یامچی بر جریان محیط‌زیستی پایین‌دست گذاشته است در شکل۷ قابل‌مشاهده می‌باشد. همان‌طور که از شکل ۷ پیداست سد یامچی باعث حذف سیلاب‌های بزرگ و همچنین منجر به کاهش سیلاب‌های کوچک می‌شود. تأثیراتی که تغییر در هرکدام از این پارامترها بر اکوسیستم خواهد گذاشت شامل تغییراتی در شرایط مهاجرت و تخم‌ریزی ماهی‌ها، ته‌نشینی مواد در دشت‌های سیلابی، کنترل توزیع و فراوانی گیاهان در دشت سیلابی، برهم خوردن حفظ تعادل گونه‌ها در محیط‌های آبزی و اجتماعات

www.SID.ir

Archive of SID

ساحلی، ته‌نشینی سنگ‌ریزه و قطعات سنگ در مناطق تخم‌ریزی و تغییر در شکل فیزیکی زیستگاه‌های دشت سیلابی می‌شود. همچنین این سد باعث تغییر ۵۱/۶ درصدی بر طبق رابطه ۳ در پارامترهای محیط‌زیستی می‌شود.



شکل ۷ -تغییر پارامترهای محیط زیستی

۴.بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی برای برآورد حقابه‌های زیست‌محیطی رودخانه‌ها به دلایلی از جمله سهولت دستیابی به داده‌ها و سرعت پردازش سریع آن‌ها در محاسبه و تعیین جریان‌های محیط‌زیستی، مخصوصا برای تعیین حقابه‌های محیط‌زیستی سدهای ایران بیشتر مورد توجه بوده است. هدف همه روش‌های هیدرولوژیکی تعیین کمترین جریان محیط‌زیستی برای ادامه حیات اکولوژیکی رودخانه‌ها است. متناسب با اهداف این تحقیق در برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ی بالیخلوچای تحقیقات مشابهی نیز در این زمینه صورت گرفته است. روش کار در این تحقیق با تحقیقات Naderi و همکاران (۲۰۱۷) روی رودخانه قره سو و Habibi و Yasi (۲۰۱۵) روی رودخانه گدارچای ارومیه مطابقت دارد. در تحقیق فوق نیز به منظور مطالعه جریان محیط‌زیستی رودخانه‌ی بالیخلوچای در استان اردبیل، از سرشاخه‌های رودخانه قره‌سو، از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان استفاده گردید. در ادامه نیز تأثیر احداث و بهره‌برداری از سد یامچی از زیرحوضه‌های آبریز ارس با استفاده از روش محدوده تغییرپذیری جریان و تغییر شاخص‌های هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی بررسی گردید. نتایج تحقیق با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی برای برآورد حقابه‌ی محیط-زیستی رودخانه‌ی بالیخلوچای با استفاده از روش تنانت و برای حفاظت از رودخانه در محدوده بهینه برای تمام ماه‌های سال در محدوده‌ی ۱/۹۶ تا ۳/۲۷ مترمکعب در ثانیه به دست آمده است. همچنین برای نگهداری جریان رودخانه در شرایط قابل‌قبول محیط‌زیستی از ماه اکتبر تا مارس نیاز به جریانی برابر ۰/۳۳ مترمکعب بر ثانیه و از ماه آوریل تا سپتامبر برابر ۰/۹۸ مترمکعب بر ثانیه است. روش تسمن متوسط جریان محیط‌زیستی را ۱/۳۱ مترمکعب بر ثانیه تخمین زد. منحنی تداوم جریان برای حفاظت از رودخانه در شرایط مناسب از Q_{75} استفاده می‌کند که برای رودخانه‌ی بالیخلوچای و به جهت حفاظت از آن در شرایط مناسب نیاز به جریان ۲/۴۶ مترمکعب بر ثانیه است این در حالی است که برای حفاظت از جریان در شرایط نسبتاً مناسب از دبی Q_{90} استفاده می‌شود که برای رودخانه‌ی فوق معادل ۲/۹۴ مترمکعب بر ثانیه است. برای بررسی تغییرات

www.SID.ir

Archive of SID

هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی، ناشی از احداث و بهره-برداری از سد یامچی از نرم‌افزار IHA و محدوده تغییرپذیری جریان استفاده گردید.

نتایج اخذ شده در این قسمت با نتایج Gain و Giupponi (۲۰۱۴) بر سد فارکا روی رودخانه گنگ، Zuo و Liang (۲۰۱۵) بر سد احداث شده روی رودخانه شائینگ و Sojka و همکاران (۲۰۱۶) بر سد احداث شده روی رودخانه پووا مطابقت دارد. نتایج مشابهی نیز در بررسی تاثیرگذاری سد بر جریان‌های هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی جریان رودخانه‌ی بالیخلوچای به دست آمد. بطوریکه سد منجر به تغییر ۲۳ پارامتر هیدرولوژیکی در محدوده‌ی زیاد و متوسط با درجه‌ی تغییر هیدرولوژیکی ۶۱/۳۸ درصد شده است این بدین معناست که سد یامچی پارامترهای هیدرولوژیکی را به‌طور متوسط تغییر داده است. چون محدوده تغییرات در بین ۳۳تا ۶۶ درصد واقع شده است. از لحاظ تغییر پارامترهای محیط‌زیستی نیز سد یامچی این پارامترها را به میزان ۵۱/۶ درصد تغییر داده است. نتایج تحقیقات Gain و Giupponi (۲۰۱۴)، Zuo و Liang (۲۰۱۵) و Sojka و همکاران(۲۰۱۶) نیز حاکی از آن بود که احداث سد بر روی پارامترهای هیدرولوژیکی و محیط-زیستی تأثیرگذار بوده است.

References

Duan, W., Guo, S., Wang, J. and Liu, D., 2016. Impact of cascaded reservoirs group on flow regime in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Water, 8(6), p.218.

Gain, A. and Giupponi, C., 2014. Impact of the Farakka Dam on thresholds of the hydrologic flow regime in the Lower Ganges River Basin (Bangladesh). Water, 6(8), pp.2501-2518.

Guideline for Finding Aquatic Ecosystems Environmental Water Requirement, 2012. Vice President of Strategic Planning and Supervision . Report number: 1, 127 p.

Habibi, S., M. Yasi., 2015. Comparison of Two Ecohydrological Methods in Estimation of Environmental Rivers- Downstream study of the Sarogh River (in Persian).

Islam, M.S., 2010. Nature and limitations of environmental flow methodologies and its global trends. Journal of Civil Engineering (IEB), 38(2), pp.141-152.

King, J.M., Tharme, R.E. and De Villiers, M.S., 2000. Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology (p. 340). Pretoria: Water Research Commission.

Naderi,M.H., M. Zakerinia, M. Salarijazi., 2017. "Calculation Environmental Flow Gharasou River at the mouth of the inlet Gorgan Golf". The 4th Environmental planning&Management, 13 (in persian).

Richter, B. D., J. V. Baumgartner, J. Powell & D. P. Braun. 1996. "A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems". Conservation Biology, 10(4): 1163-1174.

Richter, B., Baumgartner, J., Wigington, R. and Braun, D., 1997. How much water does a river need? Freshwater biology, 37(1), pp.231-249.

Shokoohi, A. and Hong, Y., 2011. Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). Hydrological Processes, 25(22), pp.3490-3498.

www.SID.ir

Archive of SID

Smakhtin, V.Y., 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian River basins (Vol. 107). IWMI.

Sojka, M., Jaskuła, J., Wicher-Dysarz, J. and Dysarz, T., 2016. Assessment of dam construction impact on hydrological regime changes in Lowland River–A case of study: the Stare Miasto reservoir located on the Powa River. Journal of Water and Land Development, 30(1), pp.119-125.

Tennant, D.L., 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1(4), pp.6-10.

Tessmann, S., 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.

The Nature Conservancy, 2009. Indicators of Hydrologic Alteration Version7.1 User Manual.

Wałęga, A., Młyński, D., Kokoszka, R. and Miernik, W., 2015. Possibilities of applying hydrological methods for determining environmental flows in select catchments of the upper Dunajec Basin. Methodology (BBM), 29, p.32.

Zarakani, M., Shokoohi,A. and Singh,V., 2017. Introducing a Holistic Ecological Model under Data shortage for determining river ecological water requirements.

Zuo, Q.I.N.G.T.I.N.G. and Liang, S.H.I.K.U.I., 2015. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 368, pp.275-280.

www.SID.ir