ارزیابی روش‌های اکولوژیکی- هیدرولیکی- هیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه

رضا عبدی[1] مهدی یاسی[2] حسین صدقی[3]

(دریافت ۹۲/۸/۲۵ پذیرش ۹۳/۲/۲۷)

چکیده

برآورد نیاز جریان محیط زیستی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای در ایران کار جدیدی است. هدف اصلی در این پژوهش، ارزیابی جریان محیط زیستی به روش‌های مختلف در یک رودخانه شاخص، با جریان دائمی بود. در این بررسی، نیاز اکولوژیکی رودخانه مشترک مرزی زاب در شمال غرب ایران در سه بازه مختلف، در طول ۱۶۰ کیلومتر با روش هیدرولیکی محیط خیس شده با دو الگوریتم شیب منحنی و حداکثر انحنا، همچنین با روش ترکیبی شبیه‌ساز زیستگاه و نیز روش کنترل کیفیت آب، برآورد شد. نتایج برآورد به روش‌های اکو- هیدرولیکی با نتایج شبیه روش‌های اکو- هیدرولوژیکی مقایسه شد. نتایج ارزیابی نشان داد که روش اکو- هیدرولوژیکی شامل "انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس زیستی B (حفاظت پایدار تنوع زیستی با وجود طرح‌های توسعه منابع آب)، برای بازه بالادست (درابکای‌خانه)، گزینه مناسبی است. در این گزینه زرده ماهی به‌عنوان گونه شاخص زیستی انتخاب شد. درحالی‌که روش ترکیبی اکو- هیدرولیکی برای دو بازه میانی و پایین‌دست (گرژال و پل سردشت)، مناسب‌تر هستند. بر این اساس، دبی جریان متوسط محیط زیستی در سه بازه بالا به‌ترتیب ۲/۳، ۷/۶ و ۷/۹ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد. توزیع ماهانه جریان محیط زیستی در هر یک از سه بازه نیز تعیین و پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: جریان محیط زیستی، اکو- هیدرولیکی، اکو- هیدرولوژیکی، رودخانه زاب

Using Ecologic-Hydraulic-Hydrologic Methods for Evaluating Environmental Flows in Rivers

R. Abdi[1] *M. Yasi[2]* *H. Sedghi[3]*

(Received Nov. 16, 2013 Accepted May 17, 2014)

Abstract

The assessment of environmental flows in a river ecosystem is a new practice in Iran. The main aim of the present study was to use different Eco-hydraulic-hydrologic methods to determine the environmental flow requirements in a typical perennial river. The ecological needs of the transboundary Zab River (located in the northwest of Iran) were investigated in three different reaches along the 160 km length of the river course using the hydraulic-wetted perimeter method (and taking advantage of the two different algorithms of slope method and maximum curvature), the synthetic habitat simulation method, and the water quality control method. The results were compared with those obtained from different echo-hydrologic methods. It was found that the FDC Shifting method (considering Class B: ecologically important rivers despite water resources development) is well adapted to the conditions in the upper reaches of the river (Derabkay Khaneh). The synthetic Eco-hydraulic method is to be recommended for the middle and downstream reaches (Grezhal and Pol–Sardasht) providing the ecological requirements of the Barbus Capito fish (as the bio– indicator species) are met. The mean annual flows in the three river reaches are determined as 2.3, 7.6, and 7.9 m^3/s, respectively. The potential monthly flow rates are also proposed for preserving the riverine life.

Keywords: Environmental Flows, Eco-Hydraulic, Eco-Hydrologic, The Zab River.

1. MSc Student of Hydraulic Structure Engineering, Science and Research Branch, Azad Islamic University, Tehran
2. Assoc. Prof. of River Engineering, Dept. of Water Resources Engineering, Urumia University (Corresponding Author) (+98) 9143409653, m_yasi@yahoo.com
3. Prof. of Hydrology, Dept. of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Azad Islamic University, Tehran

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
۲- دانشیار مهندسی رودخانه، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه (نویسنده مسئول) m_yasi@yahoo.com،۰۹۱۴۳۴۰۹۶۵۳
۳- استاد مهندسی هیدرولوژی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

تاکنون بیش از نصف آب‌های سطحی قابل دسترس دنیا، به‌دست بشر برداشت شده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ این مقدار به بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد[۱]. قابلیت دسترسی آب، مصرف آب و تنش آبی در مقیاس جهانی، به‌طور گسترده‌ای در ۱۰ سال گذشته، بررسی شده است. با این وجود، صریحاً به نیاز اکوسیستم‌های آبی در این ارزیابی‌ها توجه نشده است. در مطالعات رودخانه‌ای، سهم معینی از آب باید برای حفاظت اکوسیستم‌های آب شیرین و خدمات تولیدی آنها تخصیص داده شود[۲]. در مدیریت رودخانه، نیازهای محیط زیستی، بیشتر به‌عنوان مجموعه‌ای از دبی جریان با مقدار، زمان وقوع، فراوانی و دوام جریان معین تعریف می‌شوند. این جریان‌ها که شرایط مستعد نگهداری مجموعه‌ای از زیستگاه‌های آبی و فرایندهای اکوسیستم را فراهم می‌کنند، جریان محیط زیستی[۱]، نیاز آب محیط زیستی[۲] و تقاضای جریان محیط زیستی[۳] و روند محاسبه این جریان‌ها، ارزیابی جریان محیط زیست[۴] نامیده می‌شود[۲، ۳ و ۴].

روش‌های تعیین حداقل جریان رودخانه‌ای برای تقویت گونه‌های شاخص ماهی، قبل از سال ۱۹۴۰ در آمریکا به‌وجود آمد. با افزایش نگرانی‌ها در مورد تأثیر سدها و طرح‌های توسعه آبی بر سامانه حیاتی رودخانه‌ها، علم محیط زیستی موفق به معرفی بیش از ۲۰۰ روش شد که در چهار گروه کلی روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌ساز زیستگاه و روش‌های جامع طبقه‌بندی می‌شوند[۱، ۳ و ۵].

گیپل و همکاران در سال ۱۹۹۸، از روش هیدرولیکی محیط خیس شده[۵] برای تعریف حداقل جریان در دو رودخانه از حوضه آبریز ملبورن استفاده کردند. روش محیط خیس شده بر اساس پارامترهای مورفولوژیکی و خصوصیات هندسه جریان بوده که توانایی حفظ زیستگاه فیزیکی را در یک محدوده قابل قبول از عمق، عرض، سرعت و تنش برشی بستر دارد. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات نقشه‌برداری رودخانه‌ها، رابطه بین دبی و محیط خیس شده بررسی شد. در هر دو رودخانه، بهترین برازش بین محیط خیس شده و دبی، رابطه لگاریتمی بود[۶]. یوف و همکاران در سال ۲۰۱۰، روشی جدید و جامع برای ارزیابی نیازهای جریان محیط زیستی، مطابق استانداردهای جریان محیط زیستی، تعریف کردند. این روش که محدودیت‌های اکولوژیکی ناشی از تغییرات هیدرولوژیکی[۶] نام دارد، بر اساس مبانی هیدرولوژیکی ایجاد شده است. این روش برای مناطق مختلف انعطاف‌پذیر بوده و با اهداف اجتماعی، اطلاعات اکولوژیکی و استانداردهای موجود، شرایط را برای مدیریت صحیحی از جریان محیط زیستی فراهم می‌کند[۷]. شکوهی و هانگ در سال ۲۰۱۱، دو روش هیدرولوژیکی تنانت[۷] و تکزاس[۸] و روش هیدرولیکی محیط خیس شده با دو الگوریتم شیب منحنی[۹] و حداکثر انحنا[۱۰] را در رودخانه صفارود در شمال بررسی و مقایسه کردند. آنها الگوریتم حداکثر انحنا را بر الگوریتم شیب منحنی ترجیح دادند و نتایج روش محیط خیس شده را پذیرفتنی‌تر از روش‌های هیدرولوژیکی دانستند[۸].

نظری دوست در سال ۱۳۸۵ برای تدوین روشی برای تعیین نیاز آب محیط زیستی تالاب‌ها، از رویکرد اکولوژیک و تلفیق آن با مدیریت اکوسیستم‌ها استفاده کرد و این روش را برای تالاب بین‌المللی دریاچه ارومیه آزمود. وی آرتمیای دریاچه ارومیه[۱۱] را به‌عنوان شاخص بیولوژیک، نمک را به‌عنوان شاخص کیفیت آب و تراز سطح آب دریاچه را به‌عنوان شاخص کمّیت آب انتخاب کرد. مجموعه این سه شاخص، اساس احیای اکولوژیکی دریاچه ارومیه را تشکیل می‌دهد. بر این اساس، با در نظر گرفتن آستانه تحمل شوری برابر ۲۴۰ گرم در لیتر به‌عنوان آستانه تحمل شاخص بیولوژیک و با استفاده از آمار بلند مدت جریان ورودی به دریاچه و روابط بین شاخص‌های کمّی و کیفی آب، تراز آبی ۱۲۷۴/۱ متر را به‌عنوان تراز اکولوژیک دریاچه ارومیه معرفی کرد. همچنین نیاز آب محیط زیستی دریاچه ارومیه، سالانه برابر ۳/۱ میلیارد مترمکعب محاسبه شد[۹]. شاعری کریمی و همکاران در سال ۱۳۹۱، با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی، نیاز محیط زیستی رودخانه شهر چای را از رودخانه‌های اصلی حوضه غربی دریاچه ارومیه، برآورد کردند. آنها با بررسی و مقایسه نتایج به‌دست آمده از روش‌های مختلف، مانند تنانت، انتقال منحنی تداوم جریان و غیره در رودخانه شهر چای، به این نتیجه رسیدند که مقادیر محاسباتی از روش انتقال منحنی تداوم جریان، به‌دلیل در نظر گرفتن خصوصیات اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه، نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد[۱۰].

هدف از این پژوهش مقایسه و تلفیق کاربرد روش هیدرولیکی محیط خیس شده، با دو الگوریتم شیب منحنی و حداکثر انحنا، روش ترکیبی شبیه‌ساز زیستگاه اکولوژیکی- هیدرولیکی، بر پایه نیازهای بیولوژیکی گونه شاخص زیستی رودخانه و روش کنترل

[1] Environmental Flows (EF)
[2] Environmental Water Requirements (EWR)
[3] Environmental Flow Requirements (EFR)
[4] Environmental Flow Assessment
[5] Wetted Perimeter Method

[6] Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA)
[7] Tennant
[8] Texas
[9] Slope Value
[10] Maximum Curvature
[11] Artemia Urmaina

Archive of SID
www.SID.ir

کیفی آب، برای حفظ اکوسیستم و تعیین حداقل جریان محیط زیستی در یک رودخانه شاخص با جریان دائمی بود. فرضیه اصلی این بود که با بهره‌برداری از سدها، کیفیت اکوسیستم رودخانه در حد قابل قبولی حفظ شود، همچنین مقادیر دبی جریان زیستی از روش‌های یاد شده با برآورد نظیر روش‌های هیدرولوژیکی در رودخانه مورد نظر مقایسه شد. در این مطالعه، رودخانه زاب در نظر گرفته شد که رودخانه مرزی مشترک ایران و عراق با جریان دائمی است. مطالعات جریان محیط زیستی این رودخانه، از نظر حفظ اکوسیستم رودخانه، برای انتقال آب آن به حوضه دریاچه ارومیه و توسعه پروتکل‌های مرزی، اهمیت ویژه‌ای دارد.

۲- مواد و روش‌ها

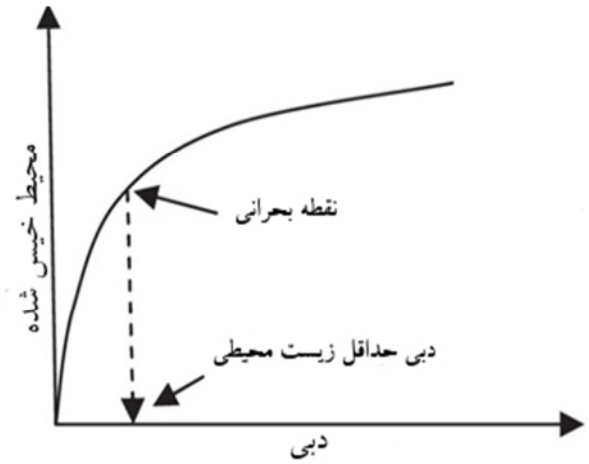
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاب در جنوب غربی استان آذربایجان غربی قرار گرفته و از نظر تقسیم‌بندی سیاسی در محدوده شهرستان‌های پیرانشهر و سردشت واقع شده است. از لحاظ جغرافیایی این حوضه در محدوده ´۵۱ °۴۴ تا ´۴۲ °۴۵ طول شرقی و ´۰۶ °۳۶ تا ´۵۵ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد. رودخانه زاب از رودخانه‌های مشترک مرزی ایران و عراق با جریان دائمی است و از سرشاخه‌های حوضه رودخانه دجله به‌شمار می‌رود. سه بازه در محدوده طولی ۱۶۰ کیلومتری رودخانه انتخاب شد. بازه اول در بالادست رودخانه و در محدوده ایستگاه هیدرومتری درابکای‌خانه، بازه دوم در میان‌دست رودخانه و در محدوده ایستگاه هیدرومتری گرژال و بازه سوم در پایین‌دست رودخانه و در محدوده ایستگاه هیدرومتری پل سردشت قرار دارد. شکل ۱ نمایی از سیمای کلی رودخانه زاب و جدول ۱ مشخصات عمومی سه بازه را نشان می‌دهد[۱۱].

۲-۲- روش هیدرولیکی

روش هیدرولیکی محیط خیس شده به‌علت تعریف روشن و صریح نقطه بحرانی در منحنی دبی- محیط خیس شده مقطع عرضی رودخانه از توانایی اعتماد بیشتری برخوردار است [۶، ۱۲ و ۱۳]. همان‌طوری که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، در پایین‌تر از نقطه بحرانی، شرایط به سرعت عوض می‌شود؛ زیرا با کوچک‌ترین تغییر در دبی، محیط خیس شده به‌سرعت کاهش می‌یابد و بعد از این نقطه، تغییرات زیاد دبی منجر به تغییراتی اندک در محیط خیس شده می‌شود[۶ و ۱۳]. بر این اساس محیط زنده به دبی‌های بالاتر از نقطه بحرانی حساس نبوده، ولی به‌همان نسبت به دبی‌های پایین‌تر از خود حساسیت نشان می‌دهد. بنابراین اگر دبی حد بحرانی در رودخانه‌ای تأمین شود، می‌توان ادامه حیات اکولوژیکی آن رودخانه را تضمین کرد[۱۳].

شکل ۱- نمایی از سیمای عمومی رودخانه زاب



شکل ۲- رابطه میان دبی و محیط خیس شده- نقطه بحرانی و دبی محیط زیستی[۸]

جدول ۱- نام و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در بازه‌های منتخب رودخانه زاب

بازه	فاصله از بالادست (کیلومتر)	طول بازه (متر)	ایستگاه هیدرومتری	ارتفاع (متر)	دوره آماری	متوسط آورد سالانه (MCM)	جریان متوسط (مترمکعب بر ثانیه)
درابکای‌خانه	۰	۲۵۰	درابکای‌خانه	۱۴۲۵	(۱۳۵۳ تا ۱۳۹۰)	۲۱۰/۲	۶/۶
گرژال	۷۵	۲۶۰	گرژال	۱۱۰۰	(۱۳۵۳ تا ۱۳۹۰)	۱۲۷۱/۹	۴۳/۷
پل سردشت	۱۱۰	۲۸۰	پل سردشت	۱۰۰۰	(۱۳۵۲ تا ۱۳۹۰)	۱۳۸۸/۵	۴۴/۴

www.SID.ir

در ابتدای توسعه روش هیدرولیکی، محیط خیس شده- نقطه بحرانی را که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، به‌کمک چشم روی منحنی مشخص می‌کردند[۱۴]. برای تعیین نقطه بحرانی، گیپل و استیواردسون در سال ۱۹۹۸ دو روش ریاضی را پیشنهاد کردند. در این راستا، دو الگوریتم به‌نام‌های شیب منحنی و حداکثر انحنا به‌کار گرفته شد. در الگوریتم شیب منحنی، با مشتق گرفتن از منحنی می‌توان رابطه‌ای را به‌دست آورد که به‌ازای هر نقطه تماس، شیب منحنی محیط خیس شده- دبی را در همان نقطه به‌دست آورد. بر اساس روش پیشنهادی، نقطه بحرانی نقطه‌ای است که به‌ازای آن شیب منحنی برابر یک شود. در روش حداکثر انحنا با توجه به تعریف بنیادی انحنا (نقطه‌ای بر روی منحنی که در آنجا روند تغییر شیب عوض می‌شود)، تابع انحنا در هر نقطه از منحنی، تابع زاویه خط مماس بر منحنی در آن نقطه با افق و تابع طول منحنی تا آن نقطه است. مقدار این تابع، مطابق رابطه ۱، به‌ازای یک نقطه در منحنی محیط خیس شده- دبی، بیشینه خواهد بود که نقطه بحرانی است[۶]

$$k = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1+(\frac{dy}{dx})^2\right]^{3/2}} \qquad (۱)$$

در محاسبات هیدرولیکی بازه‌های مورد نظر از مدل HEC-RAS استفاده شد. برای واسنجی مدل جریان، به محل‌های قرارگیری ایستگاه هیدرومتری توجه شد. سه مقطع عرضی که معرف مناطق بالادست، محل ایستگاه و پایین‌دست ایستگاه هستند برای هریک از سه بازه مطالعاتی در نظر گرفته شد. بر اساس نشریه ۳۰۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، حداکثر تفاوت در ترازهای آب کالیبره شده ۳۰ سانتی‌متر توصیه شده است[۱۵]. برای واسنجی ضریب مانینگ در مدل HEC-RAS و بررسی صحت‌سنجی آنها، عمق آب در محل اشل هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری بر اساس آمار دبی- اشل دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی با عمق آب محاسبه شده از مدل، در محل قرارگیری اشل برای هر دبی بررسی شد. از آنجا که نقشه‌های پلان و توپوگرافی رودخانه زاب توسط مشاور نقشه‌بردار، در سال ۱۳۸۹ تهیه شده است، به‌منظور کالیبراسیون مدل، از آمار دبی- اشل مربوط به سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ در ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شد. جدول ۲ عدد مانینگ برآورد شده برای بازه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با استفاده از مدل HEC-RAS، محیط خیس شده در مقطع عرضی منتخب سه بازه رودخانه زاب، برای دبی‌های مختلف محاسبه شد. بر اساس برازش بهترین رابطه، نقطه بحرانی یا همان جریان محیط زیستی به‌دست آمد.

۲-۳- روش ترکیبی شبیه‌ساز زیستگاه

ماهی‌ها شاخص خوبی برای اثرات بلندمدت (چندین ساله) و گسترده تغییرات محیطی به‌شمار می‌روند. این امر به‌دلیل طول عمر نسبتاً زیاد آنها است، زیرا دارای ظرفیت زیستی طولانی بین ۱۰ تا ۱۲ سال هستند. جمعیت ماهی‌های یک رودخانه معمولاً شامل گونه‌های مختلفی است که از سطوح تغذیه متفاوتی استفاده می‌نمایند. چگونگی ساختار ماهی‌ها در یک محیط نشانگر سلامت آن محیط است و می‌تواند دلیل انتخاب گونه‌های شاخص ماهی در ارزیابی جریان محیط زیستی رودخانه باشد[۱۶]. در گزارش مطالعات محیط زیستی رودخانه زاب و حوضه‌های مجاور، فون ماهیان رودخانه زاب به‌صورت جدول ۳ شناسایی شده است.

جدول ۲- عدد مانینگ برآورد شده برای بازه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	اطلاعات دبی- اشل		عمق متناظر در محل اشل (سانتی‌متر)	اختلاف ارتفاع (سانتی‌متر)	عدد مانینگ مورد نظر
	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	اشل (سانتی‌متر)			
درابکای‌خانه	۲۹/۲	۱۰۰	۱۱۳	۱۳	۰/۰۴۰
گرژال	۱۰۱/۰	۱۹۵	۱۶۹	۲۶	۰/۰۷۵
پل سردشت	۲۹۵/۰	۲۵۹	۲۳۸	۲۱	۰/۰۶۵

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۳- فون ماهیان رودخانه زاب[۱۷]

نام فارسی	نام علمی	خانواده
کپور معمولی	Cyprinus Carpio	Cyprinidae
ماهی سفید رودخانه‌ای	Leuciscus Cephalus	Cyprinidae
زرده ماهی	Barbus Capito	Cyprinidae
اسبله	Silurus Glanis	Siluridae

۲-۳-۱- انتخاب شاخص زیستی (گونه هدف)

همه گونه‌ها از نظر اهمیت یکسان نیستند. به‌دلیل کمبود اطلاعات اکولوژیکی گونه‌های مختلف به‌خصوص گونه‌های بومی، در سطح جهان عموماً از پارامترهای اکولوژیکی خانواده گونه شاخص استفاده می‌شود. لازم است گونه شاخص انتخاب شود که توانایی ارائه سیمای بهتر محیط زیستی از رودخانه را داشته باشد. برای تعیین گونه شاخص، از روش ارزش‌گذاری که برخی آن را روش add-hoc نیز نامیده می‌شود، استفاده شد. با توجه به منابع و تجربیات موجود، زرده ماهی[1] به‌عنوان گونه شاخص انتخاب شد[۱۱]. مشخصات اکولوژیکی گونه شاخص منتخب در جدول ۴ آمده است[۱۸].

برای برآورد جریان محیط زیستی در این روش از مدل هیدرولیکی HEC-RAS استفاده شد. پارامترهای اکو- هیدرولیکی گونه شاخص زیستی، یعنی سرعت و عمق، به‌عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته شدند. با واسنجی مدل در بازه‌های مطالعاتی و به‌کار بردن دبی‌های مختلف از یک مترمکعب بر ثانیه تا دبی برابر مقطع پر، حداقل جریانی که بتواند نیازهای اکولوژیکی گونه شاخص در ماه‌های بحرانی (زمان تخم‌ریزی) و غیر بحرانی را تأمین کند، به‌عنوان دبی محیط زیستی تعیین شد.

۲-۴- روش کنترل کیفیت آب

در فرایند تعیین نیاز محیط زیستی بر اساس کیفیت آب، ابتدا با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی اکوسیستم، نیاز آبی به‌لحاظ کمّی تعیین می‌شود. سپس در گام بعد، کنترل کیفیت آب انجام می‌شود. تا بررسی شود آیا با رژیم جریان پیشنهادی و کنترل سایر منابع آلاینده، منبع آب با مشکل مواجه می‌شود یا خیر. مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب، از نظر اثرات روی اکوسیستم‌های آبی عبارت‌اند از: دما، TDS، DO، BOD، مواد مغذی (N و P) و pH. با توجه به اینکه منبع آبی ممکن است در موارد مختلفی استفاده شود، پارامترهای پایش دیگری علاوه بر پارامترهای یاد شده بسته به نوع مصرف آب، مانند سدیم، COD، سختی و غیره مد نظر قرار می‌گیرند[۱۱]. برای بررسی اثر کیفیت آب در جریان محیط زیستی، از رابطه ۲ با عنوان معادله Q استفاده می‌شود[۱۹]

$$(Q_1+Q_c) \times C_0 = (Q_2 \times C_2) + (Q_1 \times C_1) \qquad (۲)$$

که در این رابطه

Q_1 دبی اولیه، Q_2 دبی ثانویه، Q_c دبی لازم که باید اضافه شود تا به غلظت مطلوب رسید، C_1 غلظت اولیه، C_2 غلظت ثانویه و C_0 غلظت مطلوب است.

۲-۵- روش‌های هیدرولوژیکی

در این پژوهش، نتایج حاصل از روش‌های اشاره شده با نتایج هشت روش پرکاربرد دنیا در گروه روش‌های هیدرولوژکی شامل تنانت، تسمن[2]، اسمختین[3]، شاخص‌های جریان کم‌آبی[4] حداقل هفت روزه با دوره بازگشت ۲ و ۱۰ سال (7Q2&10)، آنالیز منحنی تداوم جریان[5]، محدوده تغییرپذیری[6]، مدل ذخیره رومیزی[7] و انتقال منحنی تداوم جریان، مقایسه شد[۱۱]. برخی از این روش‌ها مانند تنانت، تسمن و اسمختین، مراحل تحلیل ساده‌تری داشته و برخی مانند روش محدوده تغییرپذیری و انتقال منحنی تداوم جریان، پیچیده‌تر هستند و نیاز به اطلاعات جامع‌تری دارند.

[1] Barbus Capito

[2] Tessman
[3] Smakhtin
[4] Low-Flow Index
[5] Flow Duration Curve Analysis (FDCA)
[6] Range of Variation Approach (RVA)
[7] Desktop Reserve Model (DRM)

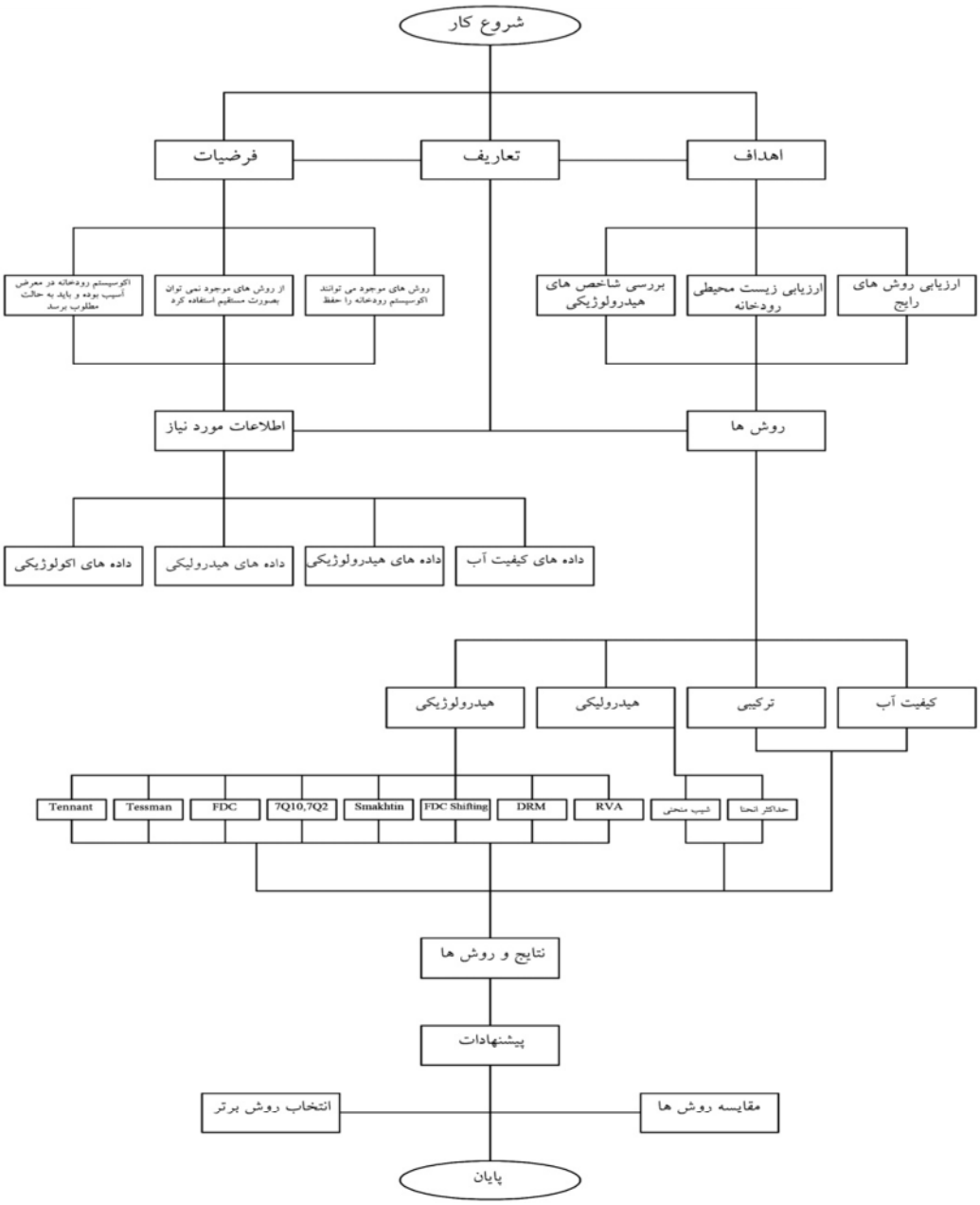
جدول۴- گونه شاخص ماهیان رودخانه زاب و اطلاعات هیدرولیکی- زیستی- حفاظتی

ردیف	گونه	نوع گونه	زمان تخم‌ریزی (ماه‌های بحرانی)	عمق در ماه‌های غیربحرانی (متر)	عمق در ماه‌های بحرانی (متر)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)
۱	زرده ماهی	بومی	نیمه فروردین تا اواخر خرداد	۰/۷	۱	۱/۲

Archive of SID
www.SID.ir

روش انتقال منحنی تداوم جریان، توسط اسمختین و همکاران در سال ۲۰۰۶، به‌منظور ارزیابی جریان محیط زیستی در سامانه رودخانه معرفی شده است. این روش یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژیکی مطلوب ارائه می‌دهد. در این روش از نرم‌افزار GEFC[1] استفاده شده است. این نرم‌افزار در سال ۲۰۰۷ توسط موسسه بین‌المللی مدیریت آب[2] در سریلانکا، برای ارزیابی اولیه و سریع نیاز محیط زیستی در حوضه رودخانه‌ها با همکاری گروه تحلیل سیستم‌های آبی دانشگاه نیوهمپ شیر[3] آمریکا توسعه یافته است. داده‌های مورد نیاز ورودی به این نرم‌افزار، داده‌های بلندمدت (حداقل ۲۰ سال) جریان ماهانه است. اساس روش انتقال منحنی تداوم جریان شامل چهار مرحله اصلی زیر است: ۱- شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود، ۲- تعریف کلاس‌های مدیریت محیط زیستی، ۳- تولید منحنی‌های تداوم جریان محیط زیستی و ۴- تولید سری زمانی جریان محیط زیستی ماهانه. روش‌ها و مراحل ارزیابی جریان محیط زیستی در فلوچارت شکل ۳ نمایش داده شده است[۱۱ و ۲۰].

[1] Global Environmental Flow Calculator
[2] International Water Management Institute (IWMI)
[3] New Hampshire University



شکل۳- فلوچارت ارزیابی جریان محیط زیستی در رودخانه زاب

www.SID.ir

۳- نتایج و بحث

برای کاربرد روش شبیه‌ساز زیستگاه، گونه زرده ماهی به‌عنوان گونه شاخص زیستی در رودخانه شناسایی شد. طبق جدول ۴، این گونه نیازمند شرایط هیدرولیکی (عمق و سرعت) خاصی برای انجام فرایندهای زیستی خود در رودخانه است. با مقایسه عمق و سرعت مورد نیاز برای گونه شاخص یعنی زرده ماهی، و عمق و سرعت محاسباتی در هر یک از سه بازه، حداقل جریان محیط زیستی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که دبی برابر جریان سالانه[1] در دو بازه میانی و پایین‌دست (گرژال و پل سردشت)، شرایط حداقلی را برای فعالیت حیاتی زرده ماهی فراهم می‌سازد. با استفاده از مدل HEC-RAS، برای دبی‌های یک مترمکعب بر ثانیه تا دبی برابر مقطع پر، محیط خیس شده (P) به‌صورت تابعی از دبی (Q) محاسبه شد. برازش توانی و لگاریتمی نمودارهای (P-Q)، ضریب همبستگی بالاتری دارند (جدول ۵). روابط حاصل از برازش توانی و لگاریتمی، برای دو الگوریتم شیب منحنی و محیط خیس شده حل شد که نتایج برآورد دبی محیط زیستی از این دو روش در جدول ۶ آمده است.

در برازش توانی، دبی‌های جریان محیط زیستی در هر دو روش شیب منحنی و حداکثر انحنا، در بازه‌های بالادست (درابکای‌خانه)، میان‌دست (گرژال) و پایین‌دست (پل سردشت)، روند مشخصی نداشت. به‌صورتی که از بازه درابکای‌خانه تا گرژال روند کاهشی داشت و از گرژال تا پل سردشت افزایشی بود. این روند با توجه به تحلیل‌های هیدرولوژیکی در بازه‌های مورد مطالعه (افزایش دبی متوسط سالانه در طول رودخانه) پذیرفتنی نیست؛ زیرا دبی محیط زیستی در هر بازه مستقیماً از شرایط هیدرولوژیکی و متوسط آورد سالانه در آن بازه متأثر است. ضرایب همبستگی در برازش توانی، اندکی بیش از ضرایب همبستگی برازش لگاریتمی است. با در نظر گرفتن رابطه بین دبی زیستی و متوسط آورد سالانه در بازه‌ها، انتظار می‌رود مقدار دبی محیط زیستی در بازه‌های مورد اشاره به‌سمت پایین‌دست، روند افزایشی داشته باشد. بنابراین نتایج برای هر دو روش شیب منحنی و حداکثر انحنا، با برازش لگاریتمی مورد قبول است. گیپل و استیواردسون در سال ۱۹۹۸ و شکوهی و هانگ نیز در سال ۲۰۱۱، در پژوهش‌های خود از برازش لگاریتمی برای محاسبه دبی محیط زیستی استفاده کردند.

از بین دو الگوریتم شیب منحنی و حداکثر انحنا، دبی‌های حاصل از روش حداکثر انحنا پذیرفتنی است؛ زیرا با بررسی متوسط آورد ماهانه در بازه‌ها با مقادیر محاسبه شده از روش شیب منحنی، مشخص شد در برخی ماه‌ها دبی محیط زیستی بیشتر از متوسط دبی ماهانه بوده است. البته نتایج به‌دست آمده از روش حداکثر انحنا در بازه درابکای‌خانه، از مقادیر دبی متوسط ماهانه در ماه‌های شهریور تا بهمن بیشتر است و این روش برای بازه درابکای‌خانه توصیه نمی‌شود. در دو بازه گرژال و پل سردشت نیز به‌دلیل اینکه مقادیر پیشنهادی برای تمام ماه‌ها (دوره‌های کم‌آبی و پرآبی) یکسان است، ضریب اطمینان کمتری دارد.

[1] Mean Annually Flow (MAF)

جدول۵- روابط حاصل از برازش منحنی محیط خیس شده- دبی جریان در سه بازه مورد مطالعه

نام بازه	برازش توانی		برازش لگاریتمی	
	رابطه برازش شده	ضریب تعیین (R^2 درصد)	رابطه برازش شده	ضریب تعیین (R^2 درصد)
درابکای‌خانه	$P=۸/۸۰Q^{۰/۲۹}$	۹۹	$P=۲/۹۵\ln(Q)+۹/۲$	۹۸
گرژال	$P=۱۲/۸۵Q^{۰/۲۲}$	۹۹	$P=۴/۵۲\ln(Q)+۱۱/۶$	۹۶
پل سردشت	$P=۱۲/۲۹Q^{۰/۳۷}$	۹۹	$P=۱۰/۴۴\ln(Q)+۷/۸$	۹۶

جدول۶- دبی جریان محیط زیستی برآورد شده از روش محیط خیس شده (مترمکعب بر ثانیه)

نام بازه	شیب منحنی		حداکثر انحنا	
	برازش توانی	برازش لگاریتمی	برازش توانی	برازش لگاریتمی
درابکای‌خانه	۳/۸	۲/۹	۱/۸	۲/۰
گرژال	۳/۷	۴/۵	۱/۳	۳/۲
پل سردشت	۱۱/۰	۱۰/۴	۵/۷	۷/۴

Archive of SID
www.SID.ir

گونه شاخص حیاتی رودخانه زاب با روش ارزش‌گذاری، زرده ماهی از رسته باربوس مشخص شد. ماه‌های حضور زرده ماهی در رودخانه زاب، برای تولید مثل طبیعی به‌عنوان ماه‌های بحرانی اهمیت زیادی دارد. این ماه‌ها شامل فروردین، اردیبهشت و خرداد است. عمق حداقل برای تولید مثل زرده ماهی مبنای محاسبه نیاز محیط زیستی در این ماه‌ها قرار گرفت. در سایر ماه‌های سال، عمق مورد نظر برای تعیین نیاز محیط زیستی طبق جدول ۴ لحاظ شد. با احتساب متوسط دبی ماهانه در هر بازه در مدل HEC-RAS و در نظر گرفتن حداقل عمق و حداکثر سرعت بهینه برای گونه شاخص، جریان محیط زیستی ماهانه بر اساس روش شبیه‌ساز زیستگاه هیدرولیکی- اکولوژیکی محاسبه شد. در مطالعات آرتینگتون و همکاران در سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ و پوف و همکاران در سال ۲۰۱۰ نیز به خصوصیات اکولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای توجه شده است[۵، ۱۵ و ۲۱].

بر این اساس نیاز محیط زیستی بازه‌های درابکای‌خانه، گرژال و پل سردشت در ماه‌های بحرانی یعنی فروردین، اردیبهشت و خرداد به‌ترتیب ۱۲، ۱۳/۹ و ۱۴/۲ مترمکعب بر ثانیه و در ماه‌های غیربحرانی، یعنی سایر ماه‌ها، به‌ترتیب ۳/۶، ۵/۵ و ۵/۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. با توجه به نتایج ارائه شده در بازه درابکای‌خانه، مقدار دبی محیط زیستی محاسبه شده در اکثر ماه‌ها از دبی متوسط ماهانه بیشتر بود. این مسئله به شرایط هیدرولوژیکی و محل قرارگیری بازه (بالادست رودخانه) مربوط بوده و به این مفهوم است که در این بازه، شرایط مساعد برای رشد ماهی‌ها فراهم نیست و از روش زیستگاه نمی‌توان دبی محیط زیستی را برای بازه درابکای‌خانه پیشنهاد نمود.

آمار کیفیت شیمیایی آب رودخانه زاب توسط سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان‌غربی و اداره کل محیط زیست استان، در ایستگاه‌های نمونه‌برداری، پایش می‌شود. این پارامترها شامل TDS، PH، EC، HCO_3، Cl، So_4، Ca، Mg، K، SAR، BOD_5، COD، DO، TSS، PO_4 و درجه حرارت برحسب سلسیوس است. بررسی مقادیر متوسط و دامنه تغییرات پارامترهای کیفی و مقایسه آنها با استانداردهای موجود، نظیر نشریه ۱۱۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی برای استاندارد کیفیت آب آشامیدنی، دیاگرام ویلکوکس و شولر نشان می‌دهد که کلاس آب رودخانه زاب در دیاگرام ویلکوکس، C2-S1 است، که برای کشاورزی مناسب است[۲۲]. در دیاگرام شولر نیز در محدوده خوب قرار می‌گیرد که از نظر حفاظت از منابع طبیعی و آبزیان مناسب است. مقدار COD به‌طور متوسط ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است. در استاندارد وزارت نیرو برای COD مقداری تعیین نشده است. بنابراین از استاندارد EPA آمریکا در کیفیت آب‌های سطحی برای حفاظت از آبزیان استفاده شد (جدول ۷). پارامتر COD به‌دلیل بحرانی بودن مقدار آن، به‌عنوان پارامتر شاخص رابطه Q انتخاب شد.

در روش کیفیت آب، دبی روزانه متناظر با بحرانی‌ترین مقدار آلودگی پایش شده در همان روز (Q)، با اندیس یک به‌کار برده شد و غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر مطابق با استاندارد EPA، در جدول ۷ به‌عنوان مقدار COD مطلوب انتخاب شد. در محل‌های پایش شده، جریان دیگری به رودخانه وارد نمی‌شود. بنابراین مقادیر Q و C با اندیس ۲، برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. دبی جدید (Q_c) در بازه‌های درابکای‌خانه، گرژال و پل سردشت به‌ترتیب ۰/۹، ۳۶/۹ و ۱۸ مترمکعب بر ثانیه محاسبه شد. با مقایسه این مقادیر با شرایط هیدرولوژیکی بازه‌های مورد مطالعه و روند افزایشی دبی در طول رودخانه، نتایج به‌دست آمده منطقی به‌نظر نمی‌رسد.

نتایج برآورد حداقل جریان محیط زیستی از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی- هیدرولیکی- اکولوژیکی در سه بازه رودخانه زاب و مقادیر نظیر در گزارش‌های مطالعاتی سدها در موقعیت سه بازه مورد مطالعه، در جدول ۸ آورده شده است[۱۷، ۲۴ و ۲۵].

جدول ۹ اطلاعات توزیع ماهانه مقادیر حداقل دبی جریان محیط زیستی از روش‌های منتخب در مطالعات حاضر، با مقادیر نظیر برآورد شده در پروژه سدهای احداثی در سه بازه درابکای‌خانه، گرژال و پل سردشت از رودخانه زاب، مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر دبی جریان محیط زیستی برآورد شده در گزارش‌های سدها، عموماً از مقادیر پیشنهادی در این پژوهش کمتر هستند. از دلایل اصلی اختلاف برآورد، استناد به ظرفیت هیدرولوژیکی جریان، بدون لحاظ نیاز اکوسیستم حیاتی رودخانه است.

جدول۷- کلاس‌های مختلف آلودگی برحسب مقدار COD [۲۳]

متغیر	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵
COD	۳>	۱۰-۳	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	۳۰<

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۸- مقایسه دبی جریان محیط زیستی در سه بازه رودخانه زاب، از روش‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

روش		نیاز آب محیط زیستی		
		درابکای‌خانه	گرژال	پل سردشت
انتقال منحنی تداوم جریان	کلاس A	۴/۵	۳۳/۰	۳۲/۸
	کلاس B	۲/۳	۲۰/۲	۲۲/۱
	کلاس C	۱/۵	۱۶/۱	۱۶/۲
	کلاس D	۱/۰	۱۱/۹	۱۱/۳
	کلاس E	۰/۷	۹/۰	۸/۱
	کلاس F	۰/۶	۷/۱	۶/۰
مدل ذخیره رومیزی	کلاس A	۳/۲	۲۵/۱	۲۵/۲
	کلاس A/B	۲/۷	۲۰/۶	۲۰/۶
	کلاس B	۲/۲	۱۶/۴	۱۶/۴
	کلاس B/C	۱/۸	۱۲/۵	۱۳/۶
	کلاس C	۱/۴	۱۰/۵	۱۰/۶
	کلاس C/D	۱/۲	۸/۶	۸/۸
	کلاس D	۰/۹	۶/۷	۶/۸
تنانت	اسفند تا تیر	۲/۰	۱۳/۱	۱۳/۴
	مرداد تا بهمن	۰/۷	۴/۴	۴/۴
تسمن		۳/۳	۲۰/۸	۲۳/۸
اسمختین		۲/۷	۱۹/۱	۲۰/۸
روش شاخص‌های جریان کم‌آبی	۷Q۲	۰/۷	۷/۱	۷/۸
	۷Q۱۰	۰/۳	۴/۹	۴/۷
روش شاخص‌های تداوم جریان	Q۵۰	۶/۲	۳۷/۰	۴۵/۸
	Q۷۰	۴/۴	۳۱/۲	۳۴/۴
	Q۷۵	۴/۳	۲۷/۱	۲۸/۰
	Q۸۰	۳/۸	۲۳/۹	۲۵/۷
	Q۸۵	۳/۲	۲۱/۷	۲۳/۸
	Q۹۰	۲/۵	۱۹/۱	۲۰/۸
	Q۹۵	۲/۳	۱۶/۵	۱۹/۵
روش محدوده تغییرپذیری	Low RVA	۴/۴	۲۶/۸	۳۱/۱
روش هیدرولیکی	شیب منحنی	۲/۹	۴/۵	۱۰/۴
	حداکثر انحنا	۲/۰	۳/۲	۷/۴
روش ترکیبی شبیه‌ساز زیستگاه هیدرولیکی - اکولوژیکی	فروردین تا خرداد	۳/۶	۵/۵	۵/۷
	تیر تا اسفند	۱۲/۰	۱۳/۹	۱۴/۲
روش کیفیت آب	رابطه Q	۰/۹	۳۶/۹	۱۸/۰
گزارش‌های طرح سدهای احداثی		۲/۰	۹/۰	۴/۶

www.SID.ir

جدول ۹- مقایسه توزیع ماهانه جریان محیط زیستی رودخانه زاب در طرح احداث سدها با روش پیشنهادی (مترمکعب بر ثانیه)

بازه	دبی زیستی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین
بازه درابکای	دبی ماهانه	۰/۸	۱/۶	۱/۶	۱/۵	۱/۳	۲/۳	۷/۷	۲۲/۱	۲۵/۵	۱۰/۵	۳/۰	۱/۲	۶/۶
	مطالعه حاضر	۰/۴	۰/۸	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۱/۰	۲/۳	۸/۱	۸/۱	۳/۶	۱/۱	۰/۵	۲/۳
	گزارش سد سیلوه	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۹	۷/۱	۸/۹	۳/۸	۱/۳	۰/۷	۲/۰
بازه گرژال	دبی ماهانه	۸/۰	۱۷/۹	۲۰/۷	۲۲/۵	۲۵/۷	۵۰/۳	۹۵/۰	۱۱۳/۶	۷۴/۱	۳۲/۵	۱۲/۹	۷/۷	۴۳/۷
	مطالعه حاضر	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۱۳/۹	۱۳/۹	۱۳/۹	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۷/۶
	گزارش سد کانی سیب	۰/۹	۱/۸	۱/۸	۲/۶	۲/۷	۵/۱	۱۰/۸	۳۷/۶	۲۶/۲	۱۱/۵	۴/۶	۲/۶	۹/۰
بازه پل سردشت	دبی ماهانه	۸/۱	۱۹/۲	۲۱/۳	۲۶/۰	۳۰/۲	۶۳/۱	۱۵۵/۸	۱۲۲/۵	۸۱/۴	۳۴/۸	۱۳/۴	۷/۵	۴۴/۴
	مطالعه حاضر	۵/۷	۵/۷	۵/۷	۵/۷	۵/۷	۵/۷	۱۴/۲	۱۴/۲	۱۴/۲	۵/۷	۵/۷	۵/۷	۷/۸
	گزارش سد سردشت	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۶/۰	۱۰/۰	۱۰/۰	۶/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۴/۶

۴- نتیجه‌گیری

حداقل جریان محیط زیستی در سه بازه از رودخانه فرامرزی زاب، از روش‌های مختلف اکو- هیدرولیکی- هیدرولوژیکی برآورد شد. در بازه بالادست (درابکای‌خانه)، کاربرد روش انتقال منحنی تداوم جریان، در کلاس زیستی B، برای حفاظت پایدار تنوع زیستی، با وجود طرح‌های توسعه منابع آب، با نیاز حیاتی این بازه تطابق بهتری داشت. شدت جریان محیط زیستی در این بازه به‌طور متوسط ۲/۳ مترمکعب بر ثانیه در سال است که از ۰/۴ در مهرماه تا ۸/۱ در اردیبهشت و خرداد تغییر می‌کند. در دو بازه گرژال و پل سردشت، کاربرد روش ترکیبی شبیه‌ساز زیستگاه با در نظر گرفتن خصوصیات گونه زرده‌ماهی، هندسه رودخانه و ظرفیت طبیعی جریان توصیه می‌شود. در سه ماه بهار، دبی جریان محیط زیستی در دو بازه گرژال و پل سردشت به‌ترتیب ۱۳/۹ و ۱۴/۲ مترمکعب بر ثانیه و در سایر ماه‌ها به‌ترتیب ۵/۵ و ۵/۷ مترمکعب بر ثانیه پیشنهاد می‌شود. نادیده گرفتن نیاز زیست‌بوم رودخانه، دلیل اصلی برآورد کم مشاوران سدساز از دبی جریان محیط زیستی رودخانه است. تکمیل اطلاعات اکولوژیکی رودخانه زاب، بررسی تنش‌های اجتماعی در تخصیص حق‌آبه محیط زیستی، توجه به طرح انتقال بین‌حوضه‌ای آب رودخانه زاب به دریاچه ارومیه و ملاحظات مرزی، برای مطالعات تکمیلی و تدقیق دبی جریان محیط زیستی ماهانه پیشنهاد می‌شود.

۵- منابع

1. Tharme, R.E. (2003). "A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers." *J. of River Res. Appl.*, 19(5-6), 397-441.
2. Smakhtin, V.U., Revenga, C., and Doll, P. (2004). "A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity." *J. of Water International*, 29, 307-317.
3. Dyson, M., Berkamp, G., and Scanlon, J. (2003). *Flow: The essentials of environmental flows IUCN Gland*, Switzerland and Cambridge, UK
4. Knights, P. (2002). "Environmental flows: Lessons from an Australian experience." *Proceedings of International Conference: Dialog on Water*, *Food and Environment*, Hanoi, Vietnam.
5. Arthington, A., Bunn, S., Poff, N., and Naiman, R. (2006). "The challenge of providing environmental flow rules tosustain river ecosystems." *J. of Ecological Applications*, 16(4), 1311-1318.

Archive of SID
www.SID.ir

6. Gippel, C.J., and Stewardson, M.J., (1998). "Use of the wetted perimeter in defining the minimum environmental flows." *J. of Regulated Rivers: Research and Management*, 14, 53-67.
7. Poff, N., Richter, B., Arthington, A., Bunn, S., Naiman, R., Kendy, E., and Acreman, M. (2010). "The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards." *J. of Freshwater Biology*, 55, 147-170.
8. Shokoohi, A., and Hong, Y. (2011). "Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of pernnial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats, Case study: Mazandaran Sea Basin-Iran." *J. of Hydrol. Process*., 25, 3490-3498. (In Persian)
9. Nazari Doost, A. (2006). "Development of methodologies, instructions and software for calculating minimum water requirements of wetlands ecosystem, (Case study: International Urmia Plain Wetland)." Ph.D. Thesis, Tehran Science and Research University, Iran. (In Persian)
10. Shaeri Karimi, S., Yasi, M., and Eslamian, S. (2012) "Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach." *International J. of Environmental Science and Technology*, 9, 549-558.
11. Ahmadpour, Z. (2012). "Indices of hydrologic flow variables in the evaluation of environmental flows in rivers." MSc Thesis in Water Resources Engineering, Dept. of Water Engineering, Urmia University, Iran. (In Persian)
12. Gordon, N.D., McMahon, T.A., and Finlayson, B.L. (2004). *Stream hydrology: An introduction for ecologists*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York.
13. Suxia, L., Xingguo, M., Jun, X., Changming, L., Zhonghui, L., Baohui, M., and Lina, J. (2006) "Estimating the minimum in-stream flow requirements via wetted perimeter method based on curvature and slope techniques." *J. of Geographical Sciences*, 16(2), 242-250.
14. Annear, T.C., and Conder, A.L. (1984) "Relative bias of several fisheries instream flow methods." *N. Am. J. Fish. Mgmt*, 4, 531-539.
15. Iran Water Resources Management CO., Deputy of Research. (2005). *Guideline of floodplain zoning and determination of floodway and flood fringe (Publication No. 307)*, Management and planning organization of Iran, Tehran. (In Persian)
16. Roberts, J., Young, W.J., and Marston, F. (2000). *Estimating the water requirements for plants of floodplain wetlands: A guide*, Land and Water Resources Research and Development Corporation, Australia.
17. Fanavarn Ab-Sazeh Consulting Engineers. (2009). "Studies of water transmission from Zab basin to Urmia lake basin (environmental and social report of Kanisib dam, Badin Abad diversion dam and tunnel)." West Azerbaijan Regional Water Company, Urmia. (In Persian)
18. Code, B. (1995). *Freshwater fishes of Iran*, Institute of Landscape Ecology of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Czech Republic.
19. Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (1978). *Wastewater engineering: Treatment disposal reuse*, 2nd Ed., Metcalf and Eddy Inc., McGraw-Hill, New York.
20. Smakhtin, V.U., and Anputhas, M. (2006). *An assessment of environmental flow requirements of Indian River Basins*, IWMI Research Report 107. International Water Management Institute, Colombo, SriLanka.
21. Arthington, A., Rall, J., Kennrad, M., and Pusey, B. (2003) "Environmental flow requirements of fish in Lesotho rivers using the DRIFT methodology." *J. of River Res. Applic*., 19, 641-666.
22. Office of Standard and Technical Criteria, Planning and Budget Organization of Iran. (1992). "Drinking water standards (Publication No. 116-3)." Planning and Budget Organization of Iran, Tehran. (In Persian)
23. Biswas, H. (1997). Technical guidance manual for performing waste load allocations, Book II: Streams and Rivers-Part 1: Biochemical Oxygen Demand/Dissolved Oxygen and Nutrients/ Eutrophication. USEPA., USA.
24. Abgir Consulting Engineers. (2005). "Studies on the agricultural and environmental water needs of Zab and Gedar rivers." West Azerbaijan Regional Water Company, Urmia. (In Persian)
25. Moshanir Consulting Engineers. (2008). "Studies of sardasht dam and power plant environmental impacts assessment." Iran Water Resources Management Company, Tehran. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir