

تعیین سهم جریان زیست‌محیطی دریاچه ارومیه از رودخانه گدارچای با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی

سعید حبیبی آلاگوز^۱، مهدی یاسی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۵

۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار مهندسی رودخانه، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.yasi@ut.ac.ir

چکیده

هدف اصلی در مطالعه حاضر استفاده از روش‌های مختلف اکوهیدرولوژیکی برای تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه دائمی گدارچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه گدارچای در دو بازه مختلف ایستگاه پل نرده و پل بهراملو مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق، هشت روش هیدرواکولوژیکی (۱- Tennant؛ ۲- Tessman؛ ۳- شاخص‌های تداوم جریان FDC؛ ۴- Smakhtin؛ ۵- FDC shifting؛ ۶- DRM؛ ۷- محدوده تغییرپذیری RVA؛ و ۸- روش کیفیت آب موسوم به رابطه Q) برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی این رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این نتایج، برای حفظ رودخانه گدارچای در کمینه وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست‌محیطی C)، به ترتیب شدت جریان متوسط سالیانه معادل ۳/۲۸ و ۳/۲۵ مترمکعب بر ثانیه، باید در دو موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری پل نرده و پل بهراملو (در کیلومترهای ۴۰ و ۱۸ از دریاچه ارومیه)، برقرار باشد. توزیع ماهانه نیاز زیستی رودخانه گدار نیز تعیین و پیشنهاد شده است. احیای دریاچه ارومیه نیاز به ارزیابی جریان زیست‌محیطی هر یک از رودخانه‌های بزرگ حوضه آبریز دریاچه بر اساس پتانسیل جریان رودخانه‌ها و تعدیل حقایق کشاورزی دارد. پایش جریان زیست‌محیطی در طول رودخانه‌ها برای اطمینان از انتقال کمینه جریان زیست‌محیطی به دریاچه ارومیه ضروری است.

واژه‌های کلیدی: جریان زیست‌محیطی، دریاچه ارومیه، رودخانه گدارچای، روش‌های هیدرواکولوژیکی، مدیریت رودخانه

Determination of Environmental Flow Contribution of Gadar River to the Urmia Lake Using Eco-Hydrological Methods

S Habibi Alagoz¹, M Yasi^{2*}

Received: August 23, 2017 Accepted: December 16, 2018

¹ M.Sc. in Hydraulic Structures, Department of Water Engineering, Urmia University, Iran

² Associate Professor of River Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Iran

*Corresponding Author, Email: m.yasi@ut.ac.ir

Abstract

The main aim of the present study was to use different Hydro-Ecological methods to determine the environmental flow requirements in a typical perennial river, the Gadar River, in the Urmia Lake Basin, Iran. The ecological needs of the Gadar River were investigated in two different reaches along the river. Eight Eco-Hydrological methods (1- Tennant, 2- Tessman, 3- Flow Duration Curve Analysis (FDCA), 4- Smakhtin, 5- FDC shifting, 6- DRM, 7- RVA, 8- Q Equation) were used for the assessment of the minimum river environmental flow requirements. In order to maintain the Gadar River at minimum acceptable environmental status (i.e. Class C of the environmental management of rivers), average annual flows of 3.28 and 3.25 m³/s are to be allocated along the river in Naqadeh Bridge and Bahramlu Bridge Stations (located 40 and 18 km upstream from the Urmia Lake), respectively. Also, the prescribed monthly distribution of environmental flow requirements has been considered and proposed for the Gadar riverine life. Restoration of Urmia Lake needs the evaluation of the potential flows from the in-basin rivers and the revision of agricultural water rights. Monitoring the minimum environmental flow regime is necessary along the rivers to make sure the delivery of the water into the Urmia Lake.

Keywords: Environmental flows, Eco-hydrological Methods, River Management, Gadar River, Urmia Lake

مقدمه

راستا و برای کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از برداشت آب رودخانه‌ها، دانشی تحت عنوان جریان زیست‌محیطی ایجاد شد که هدف آن پاسخ به این سؤال است که تا چه حد می‌توان شرایط طبیعی رودخانه را در راستای بهره‌برداری از منابع آب و یا توسعه منابع آب دگرگون کرد، به نحوی که به اکوسیستم رودخانه آسیبی وارد نشود و یا آسیب وارده در حد قابل تحمل محیط‌زیست رودخانه باشد (ترمه و اسمختین ۲۰۰۳). برای مدیریت روزبه‌روز رودخانه، نیازهای زیست‌محیطی اغلب به‌عنوان مجموعه‌ای از دبی‌های جریان با مقدار، زمان وقوع، فراوانی و دوام جریان معین تعریف می‌شود. این جریان‌ها که شرایط مستعد نگهداری مجموعه‌ای از زیستگاه‌های آبی و فرآیندهای اکوسیستم

استفاده از منابع آب به نحوی که توانایی جامعه بشری در راستای تداوم حیات و پیشرفت در آینده را تأمین کند و تداخلی با ساختار سیکل هیدرولوژی و اکوسیستم‌های مرتبط با آن ایجاد نکند، مستلزم مصرف آب به صورت پایدار است و در این میان حفاظت از محیط‌زیست به‌عنوان یک ستون کلیدی برای تحقق این امر بسیار حائز اهمیت است. برداشت آب برای مقاصد مختلف، از مصارف کشاورزی گرفته تا صنعت و تأمین آب شرب، جریان رودخانه را کاهش داده و زیستگاه درون رودخانه را تغییر می‌دهد. کینگ و همکاران (۱۹۹۹) با مطالعه ۲۲۵ حوضه در سراسر جهان، به این نتیجه رسیدند که ۸۳ مورد (۳۷ درصد) از رودخانه‌ها شدیداً و ۵۴ مورد (۲۴ درصد) دیگر به‌طور متوسط آسیب‌دیده‌اند. در این

یکدیگر متفاوت‌اند. روش‌های مختلف برای اهداف مختلف شامل برنامه‌ریزی جامع منابع آب تا زمان‌بندی تفصیلی مدیریت رهاسازی از سدها موردنظر قرار گیرند (اسمختین و آپوتاس ۲۰۰۶).

در ایران نیز مطالعات متعددی در خصوص تعیین و ارزیابی جریانات زیست‌محیطی رودخانه‌ها انجام گرفته است. یاسی و عاشوری (۲۰۱۷) با استفاده از روش‌های اکولوژیکی و هیدرولوژیکی همچون تنانت، تسمن، اسمختین، تغییر منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی و ... سهم جریان زیست‌محیطی رودخانه زرينه‌رود را ارزیابی کرده و نتیجه گرفتند که روش تغییر منحنی تداوم جریان با در نظر گرفتن خصوصیات اکولوژیکی منطقه نتایج مناسب‌تری را ارائه می‌دهد.

صدیق کیا و همکاران (۲۰۱۷) تعدیل و اصلاح روش تنانت به‌عنوان یک روش هیدرولوژیکی و روش پیرامون مرطوب به‌عنوان یک روش هیدرولیکی را در حوضه سیمین دشت تهران موردبررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که استفاده هم‌زمان از این روش‌ها میزان جریان پیشنهادی را کاهش می‌دهد.

زرعکانی و همکاران (۲۰۱۷) در شرایط کمبود داده برای تعیین حبابه زیست‌محیطی رودخانه‌ها با در نظر گرفتن حدود آستانه‌ای متعدد در رودخانه از جمله فراهم آوردن شرایط مناسب هیدرولیکی برای موجودات زنده درون رودخانه، حفظ مورفولوژی بستر رودخانه، حفاظت از شکل آبراهه اصلی، نگهداری از پوشش گیاهی اطراف رودخانه و همسویی با اقلیم حاکم بر حوضه آبریز، رژیم جامع اکولوژیکی را ارائه نموده‌اند.

هدف اصلی در تحقیق، ارزیابی کمینه سهم جریان زیست‌محیطی دریاچه ارومیه از رودخانه‌های اصلی حوضه دریاچه ارومیه است. در این مقاله، نتایج ارزیابی برای یک رودخانه در حوضه جنوبی دریاچه ارومیه

را فراهم می‌کنند، به‌عنوان جریان زیست‌محیطی^۱، نیاز آب زیست‌محیطی^۲ و تقاضای آب زیست‌محیطی^۳ و روند محاسبه این جریان‌ها ارزیابی جریان زیست‌محیطی^۴ نامیده می‌شود (عبدی و یاسی ۲۰۱۵).

اکولوژیست‌ها عقیده دارند که ضابطه اصلی برای محاسبه جریان زیست‌محیطی باید شامل حفظ الگوهای زمانی و مکانی جریان رودخانه باشد. تغییرپذیری جریان بر تنوع ساختاری و عملکردی رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت آن‌ها تأثیرگذار بوده و بر تنوع گونه‌های رودخانه نیز اثر می‌گذارد. بنابراین جریان زیست‌محیطی نباید فقط شامل مقادیر موردنیاز آب باشد، بلکه باید بتواند به این سؤال که این آب کی و چطور باید در رودخانه جاری شود نیز پاسخ دهد (عبدی و یاسی ۲۰۱۵).

در شبکه جریانات سطحی ورودی به دریاچه ارومیه ۱۰ رودخانه اصلی با پتانسیل جریان دائمی وجود دارد که عبارت‌اند از نازلوچای؛ آجی چای؛ زرينه‌رود؛ سیمینه‌رود؛ مهابادچای؛ گدارچای؛ شهرچای؛ باراندوزچای روضه چای و زولاچای. در روند احیای دریاچه ارومیه، تخصیص کمینه سهم جریان زیست‌محیطی برای هر یک از ده رودخانه؛ و تضمین تداوم جریان به دریاچه، از راهکارهای اصلی و پایدار در خروج از بحران دریاچه ارومیه است. (احمد پور و یاسی ۲۰۱۳).

روش‌های متعددی برای تعیین جریان‌های زیست‌محیطی وجود دارد. اکثریت این روش‌ها را می‌توان در چهارگروه مجزا به نام روش هیدرولوژیکی، روش درجه‌بندی هیدرولیکی، روش شبیه‌سازی زیستگاه و روش جامع طبقه‌بندی کرد (ترمه و اسمختین ۲۰۰۳).

این روش‌ها به‌طور معنی‌داری از نظر اهداف، اطلاعات ورودی موردنیاز و دقت نتایج خروجی با

³ Environmental flow requirements

⁴ Environmental flow assessment

¹ Environmental flow

² Environmental water requirements



شکل ۲- رودخانه گدارچای.

اطلاعات هیدرولوژیکی

رودخانه گدارچای دارای ۱۲ ایستگاه هیدرومتری است که مهم‌ترین آن‌ها ایستگاه‌های پی قلعه، پل نقده و پل بهراملو (جاده سنتو) است. برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی در رودخانه گدارچای از داده‌های ایستگاه پل نقده که در ورودی شهر نقده از طرف جاده اشنویه واقع است و ایستگاه بهراملو که نزدیک‌ترین ایستگاه به دریاچه ارومیه است، استفاده شده است. سابقه ثبت اطلاعات در این ایستگاه‌ها به سال آبی ۱۳۴۴ برمی‌گردد. ایستگاه پل نقده تنها ایستگاه هیدرومتری است که می‌تواند نشانگر پتانسیل کل رودخانه باشد (جدول ۱ تا ۳). بر روی رودخانه گدارچای سدی هنوز احداث نشده است؛ ولی سد حسنلو با حجم مخزن ۹۶ میلیون مترمکعب، که خارج از بستر این رودخانه است، از رودخانه گدارچای آگیری می‌کند.

روش‌های مورد استفاده

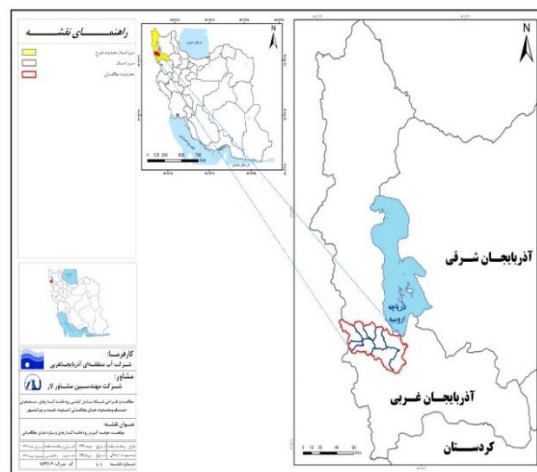
روش تنانت^۵

دونالد تنانت (۱۹۷۶) روشی برای تعیین جریان زیست‌محیطی مورد نیاز برای ماهی‌ها معروف به روش «مونتانا» یا به‌طور متداول‌تر، روش «تنانت» معرفی کرد. این روش درصدی از متوسط جریان سالیانه را برای

(رودخانه گدارچای) ارائه شده است. کمینه جریان زیست‌محیطی رودخانه گدارچای بر اساس پتانسیل آبدی رودخانه، ملاحظات اکولوژیکی-هیدرولیکی بر پایه نیازهای بیولوژیکی رودخانه (انتخاب مدیریت مناسب زیستی رودخانه) و با قضاوت کارشناسی، در ماه‌های مختلف سال برآورد شده است.

مواد و روش‌ها

رودخانه گدارچای با حدود ۱۰۰ کیلومتر طول، سطح حوضه ۲۱۰۰ کیلومترمربع و حجم رواناب سالیانه ۴۰۰ میلیون مترمکعب سومین رودخانه بزرگ حوضه آبریز دریاچه ارومیه، بعد از زرينه رود و سیمینه رود است که به عرض‌های شمالی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه و طول‌های شرقی ۴۴ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۴۱ دقیقه محدود است. نقشه محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه و موقعیت رودخانه گدارچای در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت زیر حوضه گدارچای.

وضعیت‌های بقای نسبتاً خوب بوده و ۶۰ درصد AAF برای زیستگاه مطلوب مناسب است (تنانت ۱۹۷۶).

تعیین کیفیت زیستگاه ماهیان بکار می‌برد. تنانت از ۵۸ مقطع عرضی از ۱۱ رودخانه در مونتانا^۷، نبراسکا^۸ و وایومینگ^۹، نتیجه گرفت که ۱۰ درصد متوسط جریان سالیانه^۹ (AAF)، کمینه جریان برای بقای کوتاه‌مدت ماهی‌ها است. ۳۰ درصد AAF در نظر گرفته شده قادر به حفظ

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری.

مختصات UTM (Zone 38s)		فاصله از دریاچه ارومیه (km)	ارتفاع از سطح دریا	شهرستان	نام ایستگاه هیدرومتری
N-UTMx	N-UTMy				
۵۰۲۹۸۷	۴۰۹۴۱۸۷	۷۹	۱۴۸۷ متر	اشنویه	پی قلعه
۵۲۴۷۲۵	۴۰۹۰۹۷۹	۴۲	۱۳۴۰ متر	نقده	پل نقده
۵۵۲۱۷۵	۴۰۹۰۷۰۲	۱۸/۵	۱۲۸۳ متر	نقده	پل بهراملو

جدول ۲- آبدی درازمدت ماهیانه و سالانه (مترمکعب بر ثانیه) رودخانه گدارچای، ایستگاه پل نقده (۱۳۴۴-۱۳۹۱).

جریان	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
بدنه متوسط	۱/۳	۳/۸	۵/۶	۵/۵	۵/۵	۱۰	۲۶/۴	۴۶/۱	۲۹/۲	۶/۸	۱/۶	۰/۸۹	۱۱/۹
حداکثر بده	۶/۵	۲۱	۲۶/۱	۱۷/۵	۱۶/۶	۲۷/۹	۸۳/۲	۱۸۳/۶	۱۶۷	۵۱	۱۰/۱	۵/۴	۱۸۳/۶
کمینه بده	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۷	۵/۵۳	۴/۵۹	۰/۴۴	۰	۰	۰	۰

جدول ۳- آبدی درازمدت ماهیانه و سالانه (مترمکعب بر ثانیه) رودخانه گدارچای، ایستگاه پل بهراملو (۱۳۴۴-۱۳۹۱).

جریان	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
بدنه متوسط	۰/۴۶	۳/۶۶	۵/۴۵	۵/۱۶	۵/۸۵	۹/۹	۲۶/۷۴	۴۱/۴۶	۱۸/۵	۳/۷۲	۰/۴۲	۰/۰۷	۱۰/۱۱
حداکثر بده	۳/۷۸	۲۱/۷	۱۸/۳	۲۴/۵	۲۰/۹	۵۰/۱	۷۱/۱۹	۹۰/۲۵	۷۸/۷	۲۸/۸	۷/۶۷	۴/۴	۹۰/۲۵
کمینه بده	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۴۹	۰/۸۳	۰	۰	۰	۰	۰

روش تسمن^{۱۰}

تسمن (۱۹۸۰) با اقتباس از پیشنهادهای فصلی روش تنانت از ترکیبی از متوسط جریان ماهیانه^{۱۱} (MMF) و متوسط جریان سالیانه^{۱۲} (MAF) تعیین کمینه جریان ماهیانه موردنیاز برای مراحل زیر است و در شکل ۱ این مراحل به صورت فلوچارتی ارائه شده است (تسمن ۱۹۸۰).

تحلیل منحنی تداوم جریان^{۱۳} (FDC)

یکی از خصوصیات مربوط به جریان آب که در ارزیابی نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارت است از منحنی تداوم جریان (FDC). این روش یکی از مفیدترین روش‌های نمایش محدوده کامل بده جریان‌های رودخانه از رخدادهای کم‌آبی تا سیلابی است که رابطه بین مقدار و فراوانی جریان را نشان می‌دهد.

¹⁰ Tessman

¹¹ Mean monthly flow;

¹² Mean annual flow

¹³ Flow duration curve

Montana

⁷Nebraska

⁸ Wyoming

⁹Average annual flow

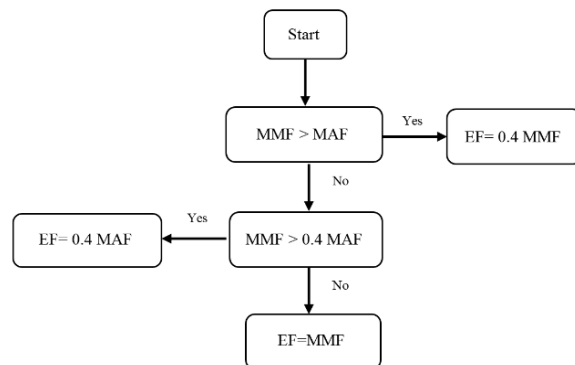
سال است؛ و HFR در موارد پربابی و تأثیر آن در شکل رودخانه و گیاهان اطراف رودخانه نمود پیدا می‌کند (اسمختین و همکاران ۲۰۰۴).

در این روش برای آنکه شرایط رودخانه به صورت «نسبتاً خوب» باشد، باید LFR مساوی Q_{90} در نظر گرفته شود. Q_{90} جریانی است که نود درصد مواقع سال، بده رودخانه از آن مقدار بیشتر است. مقدار HFR نیز به اهداف مدیریت زیست‌محیطی و رژیم جریان رودخانه بستگی دارد. در این روش، حوضه‌های آبریز را به چهار کلاس طبقه‌بندی شده و مقدار HFR را به صورت درصدی از میانگین آورد سالانه 17 (MAR) ارائه گردد (جدول ۴).

تغییر منحنی تداوم جریان^{۱۸}

یکی از خصوصیات مربوط به جریان آب که در ارزیابی نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد، منحنی تداوم جریان است. منحنی تداوم جریان محدوده بده‌های رودخانه از رخدادهای کم‌آبی تا سیلابی را نمایش می‌دهد. این روش رابطه بین مقدار و فراوانی جریان را نشان می‌دهد (اسمختین و آنپوتاس ۲۰۰۶).

اسمختین و آنپوتاس (۲۰۰۶) به منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در سامانه رودخانه از این روش استفاده کردند. این روش که یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژی مطلوب ارائه می‌دهد، اصطلاحاً «انتقال منحنی تداوم جریان» نامیده می‌شود. در این روش چهار مرحله اصلی وجود دارد: اولین مرحله، تهیه منحنی تداوم جریان طبیعی (FDC) در بازه رودخانه‌ی موردنظر با استفاده از داده‌های ماهیانه جریان است. در این روش، محور احتمالات منحنی تداوم جریان با نمایش ۱۷ درصد احتمال وقوع (۰/۱، ۱/۱، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۹۵، ۹۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹۹) تهیه می‌گردد. این



شکل ۳- روند نمای تعیین جریان زیست‌محیطی Tesson.

شاخص‌های جریان کم‌آبی مختلفی از منحنی‌های تداوم جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. جریان‌های بین محدوده ۷۰ تا ۹۹ درصد زمان تجاوز Q_{70} تا Q_{99} معمولاً به عنوان جریان‌های کم‌آبی استفاده می‌شوند (جدول ۳-۷). جریان‌های Q_{90} و Q_{95} شاخص‌هایی هستند که اکثر مواقع به عنوان شاخص‌های جریان کم‌آبی بکار می‌روند. جریان میان‌ماهانه Q_{50} نیز در ماه‌های تابستان، شاخص تداوم جریان دیگری است (هوقس و اسمختین ۱۹۹۶).

روش اسمختین^{۱۴}

اسمختین و همکاران (۲۰۰۴) از این روش برای بررسی ۱۲۸ حوضه آبریز در نقاط مختلف جهان، به منظور ارزیابی وضعیت بهره‌برداری از رودخانه‌های جهان با لحاظ نمودن نیاز آب زیست‌محیطی استفاده کردند. این روش یک روش هیدرولوژیکی است که برای ارزیابی در سطح اولیه و در مقیاس مکانی بزرگ (بین‌المللی و ملی) به کار می‌رود. در این روش نیاز آب زیست‌محیطی (EWR) به صورت ترکیبی از نیاز کمینه جریان زیست‌محیطی^{۱۵} (LFR) و نیاز حداکثر جریان زیست‌محیطی^{۱۶} (HFR) در نظر گرفته شده است. پارامتر LFR کمینه آب موردنیاز برای ماهیان و سایر موجودات آبی در

¹⁷ Mean annual runoff

¹⁸ FDC Shifting

¹⁴ Smakhtin method

¹⁵ Environmental low-flow requirement

¹⁶ Environmental high-flow requirement

همین منظور از روشی که هوقس و اسمختین (۱۹۹۶) ارائه دادند، استفاده می‌شود. از این روش برای تولید سری زمانی سایت‌های فاقد اطلاعات با استفاده از سایت‌های دارای اطلاعات استفاده می‌شود. در این روش برای هر ماه، یک درصد بر روی منحنی تداوم جریان طبیعی تشخیص داده می‌شود و سپس در همان درصد، مقدار جریان ماهیانه از روی منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی قرائت می‌شود و سری زمانی جریان زیست‌محیطی را تشکیل می‌دهد. مراحل کار در شکل ۴ نشان داده شده است (اسمختین و آنپوتاس ۲۰۰۶).

این روش برای اولین بار توسط هوقس و هانارت (۲۰۰۳) برای ارزیابی‌های اولیه نیازهای جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها در آفریقای جنوبی توسعه داده شده است.

مدل ذخیره رومیزی^{۱۹}

مدل ذخیره رومیزی یکی از این روش‌ها است که قادر است نیاز جریان اکولوژیکی را در شرایطی که یک ارزیابی سریع مورد نیاز است و داده‌های موجود محدود می‌باشند محاسبه کند. این مدل برای وضعیت‌های مشاهده شده در آفریقای جنوبی توسعه یافته است.

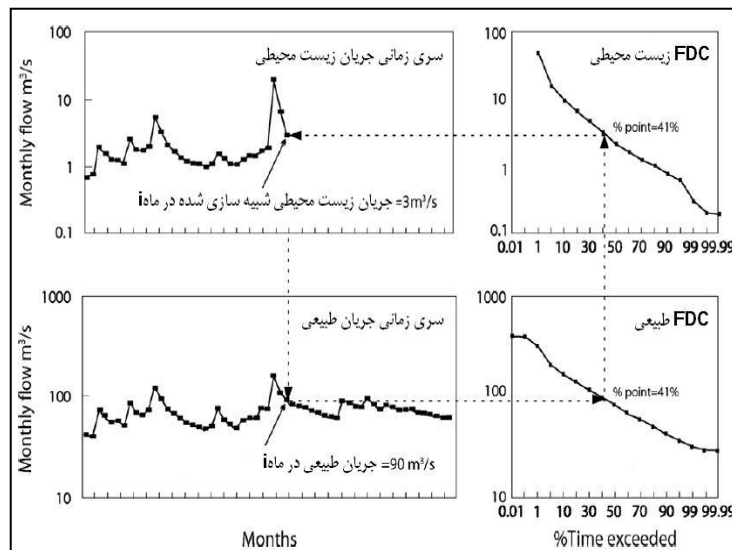
نقاط تضمین می‌کنند که تمام محدوده جریان‌ها به قدر کافی پوشش داده شده و همین‌طور ادامه کار را در مراحل بعدی آسان می‌سازند. پس از رسم منحنی تداوم جریان طبیعی، در مرحله بعد از تغییرات (شیفت) عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال استفاده می‌شود تا منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مدیریتی محاسبه شود. (اسمختین و آنپوتاس ۲۰۰۶).

یک شیفت در منحنی تداوم جریان طبیعی به این معنی است که جریانی که ۹۹/۹۹ درصد مواقع رخ می‌داد اکنون ۹۹/۹ درصد مواقع رخ می‌دهد. مهم‌ترین مسئله در این روش استفاده مناسب از شیفت‌های عرضی در هر کلاس مدیریت زیست‌محیطی است. در این روش ۶ کلاس مدیریتی زیست‌محیطی (A-F) مورد استفاده قرار می‌گیرد که کلاس A برای حالت طبیعی و کلاس F به صورت بحرانی تغییر یافته است. در این تحقیق از کلاس C یعنی نسبتاً تغییر یافته استفاده گردیده است.

منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس، رژیم جریان زیست‌محیطی قابل قبول برای آن کلاس را به‌طور خلاصه ارائه می‌دهد. با استفاده از یک میان‌یابی فضایی می‌توان منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی را به سری‌های زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه تبدیل کرد، به

جدول ۴- تخمین حداکثر جریان زیست‌محیطی با روش اسمختین.

توضیحات	نیاز جریان بیشینه (HFR)	نیاز جریان کمینه (Q ₉₀)
در حوضه‌های با رژیم متغیر که جریان عمدتاً بر اثر سیلاب در فصل تر به وجود می‌آید.	HFR = ۲۰٪MAR	۱۰٪ MAR > Q ₉₀
	HFR = ۱۵٪MAR	۲۰٪ MAR > Q ₉₀ > ۱۰٪MAR
	HFR = ۷٪MAR	۳۰٪ MAR > Q ₉₀ > ۲۰٪MAR
در حوضه‌های با رژیم ثابت، جایی که جریان در طول سال ثابت است و نیاز جریان کمینه به‌عنوان جزء اصلی در نظر گرفته می‌شود.	HFR = ۰	۳۰٪ MAR < Q ₉₀



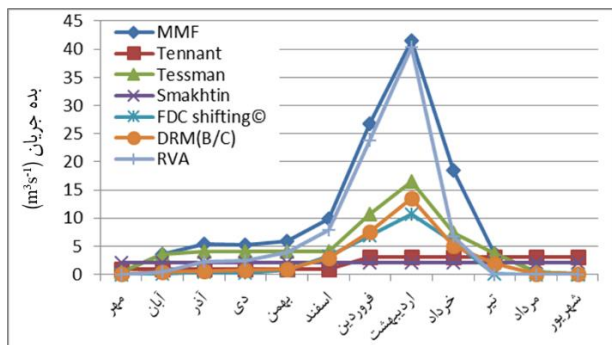
شکل ۴- روند تولید یک سری زمانی کامل جریان زیست محیطی از منحنی تداوم جریان زیست محیطی تولیدشده.

۲-۳-۷- روش محدوده تغییرپذیری^{۲۰} (RVA)

روش محدوده تغییرپذیری به عنوان یک روش پیچیده از روش های هیدرولوژیکی که توسط ریچتر و همکاران (۱۹۹۸) توسعه یافت. این روش مطلوب ترین روش از دسته شاخص های هیدرولوژیکی است. هدف آن تهیه یک سری از ویژگی های آماری، جنبه های اکولوژیکی رژیم جریان با برجسته کردن نقش مهم تغییرات هیدرولوژیکی در حفاظت از اکوسیستمها است. این روش برای استفاده در رودخانه های تنظیم شده است که حفاظت از کارکرد اکوسیستم های طبیعی و بومی و حفظ تنوع زیستی طبیعی از اهداف اولیه مدیریت است. روش RVA برای پر کردن شکاف بین اهداف مدیریت رودخانه و نظریه های فعلی اکولوژیکی توسعه داده شده است. روش RVA کمینه به آمار ۲۰ ساله جریان ماهانه نیاز دارد. در صورتی که سری زمانی ۲۰ ساله فراهم نباشد، با استفاده از شبیه سازی های هیدرولوژیکی باید آمار تمدید شود. روش RVA از یک محدوده قراردادی از تغییرپذیری مبنی بر ± 1 انحراف استاندارد از میانگین و یا از چارک های ۲۵ یا ۷۵ درصد استفاده می کند. سپس پیشنهاد می شود که مدیریت طرح های توسعه منابع آب به گونه ای

در افریقای جنوبی رودخانه ها نسبت به وضعیت اکولوژیکی مطلوب، تقسیم بندی می شوند و متعاقباً نیازهای جریان نیز طبقه بندی می گردند. این سیستم طبقه بندی نشان می دهد در عین حال که برخی رودخانه ها از نظر زیست محیطی پراهمیت هستند اما به دلیل نیازهای توسعه اجتماعی-اقتصادی همه رودخانه ها نمی توانند در وضعیت های نزدیک به شرایط طبیعی باقی بمانند؛ بنابراین چهار «کلاس A شامل زیست محیطی» ممکن (A-D) تعریف می شود. کلاس A شامل رودخانه های طبیعی و تغییر نیافته است. کلاس B رودخانه های تغییر یافته ولی تا حد زیادی طبیعی، کلاس C رودخانه های نسبتاً تغییر یافته و کلاس D رودخانه های تا حد زیادی تغییر یافته با خسارات زیاد به زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم است. در این دسته بندی ها، طبقه بندی های انتقالی (مثلاً A/B و B/C) نیز برای افزایش محدوده جریان های زیست محیطی ممکن مورد استفاده قرار می گیرند که این سیستم طبقه بندی در مدل DRM استفاده می شود و نیازهای جریان بر اساس آن محاسبه می شود. به کلاس بالاتر، آب بیشتری برای حفظ اکوسیستم تخصیص داده می شود و تغییرپذیری جریان بیشتر حفظ می شود (هوقس و هانارت ۲۰۰۳).

²⁰ Range of variability approach



شکل ۶- جریان زیست محیطی گدارچای در ایستگاه پل بهراملو.

از بین روش‌های مورد استفاده در این تحقیق، روش تغییر منحنی تداوم جریان در کلاس اکولوژیکی C به عنوان روش مناسب انتخاب گردید؛ که دلایل اصلی انتخاب این روش به شرح زیر است:

۱. این روش رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژی مطلوب را ارائه می‌دهد.
۲. هدف تأمین جریان‌های زیست محیطی، حفظ اکوسیستم در وضعیت‌های مورد نظر است.
۳. جایگیری یک رودخانه در یک کلاس مدیریت زیست محیطی معین، اغلب به وسیله قضاوت کارشناسانه صورت می‌گیرد.
۴. کلاس‌های مدیریت زیستی از A - F هستند. A برای حالت طبیعی و F برای حالت تغییر یافته بحرانی است. کلاس مدیریت زیست محیطی انتخابی در این روش کلاس C است که از نتایج باز دیدهای میدانی حاصل شده است. کلاس C حالت نسبتاً تغییر یافته است که زیستگاه‌ها و دینامیک بیوتا (زیست بوم) مختل شده‌اند ولی عملکردهای اساسی اکوسیستم هنوز دست نخورده‌اند. برخی گونه‌های حساس از بین رفته‌اند و یا تا حد زیادی کاهش یافته‌اند. گونه‌های ناشناخته موجود هستند.

صورت گیرد که توزیع مقادیر سالیانه پارامترها شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی^{۲۱} (IHA) صورت پذیرد.

رابطه کیفیت آب

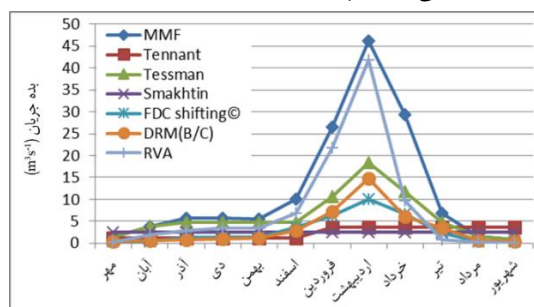
در راستای اعمال اثر کیفیت آب در جریان زیست محیطی پیشنهاد شده، از رابطه ۱ کمک گرفته شد تا کارایی این رابطه در برآورد جریان زیست محیطی بررسی شود (ارمیتیچ و پتس ۱۹۹۲).

$$(Q_1 + Q_c) \times C_0 = (Q_2 \times C_2) + (Q_1 \times C_1) \quad [1]$$

که در آن Q_1 بده جریان اولیه، Q_2 بده جریان ثانویه، Q_c بده جریان لازم که باید اضافه شود تا به غلظت مطلوب رسید، C_1 غلظت اولیه، C_2 غلظت ثانویه و C_0 غلظت مطلوب است. در رودخانه گدارچای عنصر CO به عنوان عامل بحرانی و محدود کننده شناسائی گردید.

نتایج و بحث

با کاربرد هشت روش مختلف فوق، جریانات زیست محیطی مختلفی برای هر یک از روش‌ها در دو ایستگاه هیدرومتری پل نقده و پل بهراملو محاسبه گردید که خلاصه نتایج آن در جدول ۶ و شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. با توجه به اینکه ایستگاه پل نقده بعد از اتصال تمامی سرشاخه‌های اصلی قرار داشته و مصرف آب رودخانه در بالادست توسط انهار کشاورزی کم است، این ایستگاه به عنوان ایستگاه شاخص برای ارائه جریان زیست محیطی انتخاب گردید.



شکل ۵- جریان زیست محیطی گدارچای در ایستگاه پل نقده.

²¹ Indicator of hydrological alteration)

۵. جریان زیست‌محیطی محاسباتی به صورت درصدی از جریان‌های ماهیانه است.

۶. انعطاف‌پذیری این روش در ماه‌های کم‌آبی و پرآبی مناسب است.

توزیع جریان ماهانه زیست‌محیطی رودخانه گدارچای در ایستگاه پل نقده برای روش منتخب در شکل ۷ ارائه شده

است. نتایج نشان می‌دهد که برای حفظ حیات رودخانه گدارچای در کلاس مدیریت زیستی C، به‌طور متوسط بده جریان ۳/۲۸ مترمکعب در ثانیه موردنیاز است. این مقدار از کمینه جریان زیستی محاسباتی از روش رابطه Q (۲/۵۸) مترمکعب در ثانیه) بیشتر بوده و این خود تأکیدی بر کیفیت مناسب آب رودخانه در این بده پیشنهادی است.

جدول ۶- مقایسه جریان‌های زیست‌محیطی پیشنهادی برای رودخانه گدارچای.

نیاز آب زیست‌محیطی (EWR)				روش‌ها
ایستگاه پل بهراملو		ایستگاه پل نقده		
(m ³ s ⁻¹)	(%MAR)	(m ³ s ⁻¹)	(%MAR)	
۸/۲۳	۸۱/۵	۸/۱۶	۶۸/۶	کلاس A
۵/۲۲	۵۱/۷	۵/۱۲	۴۳/۱	کلاس B
۳/۲۵	۳۲/۲	۳/۲۸	۲۷/۶	کلاس C
۲/۰۰	۱۹/۹	۲/۱۵	۱۸/۱	کلاس D
۱/۱۹	۱۱/۸	۱/۴۵	۱۲/۲	کلاس E
۰/۶۵	۶/۵	۰/۹۸	۸/۳	کلاس F
۴/۷۸	۴۷/۳۷	۵/۷۵	۴۸/۳۹	کلاس A
۴/۰۳	۳۹/۸۸	۴/۸۳	۴۰/۶۲	کلاس A/B
۳/۲۸	۳۲/۴۸	۳/۹۲	۳۳	کلاس B
۲/۷۲	۲۷/۲۴	۳/۲۸	۲۷/۶۴	کلاس B/C
۳/۳	۲۱/۶۷	۲/۶۱	۲۱/۹۵	کلاس C
۱/۸	۱۷/۸۲	۲/۱۴	۱۸/۰۵	کلاس C/D
۱/۴۲	۱۴/۱۴	۱/۷	۱۴/۳۱	کلاس D
۱/۰۱	۱۰	۱/۱۷	۱۰	مهر تا اسفند
۳/۰۴	۳۰	۳/۵۱	۳۰	فروردین تا شهریور
۴/۹۳	۴۱/۴۲	۶/۰۲	۵۰/۵	تسمن
۲/۰۲	۱۹/۹۸	۲/۵۹	۲۱/۷۶	اسمختین
۰/۲۲	۲/۱	۱/۴	۱۱/۷۶	Q75
۰/۰۰	۰	۰/۲۵	۲/۱	Q90
۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۰	Q95
۷/۳۳	۷۲	۷/۷۷	۶۵	محدوده تغییرپذیری RVA
۳/۰۱	۲۹/۸	۲/۵۸	۲۱/۶	کیفیت آب رابطه Q
۳/۲۵	۳۲/۲	۳/۲۸	۲۷/۶	جریان زیست‌محیطی توصیه‌شده

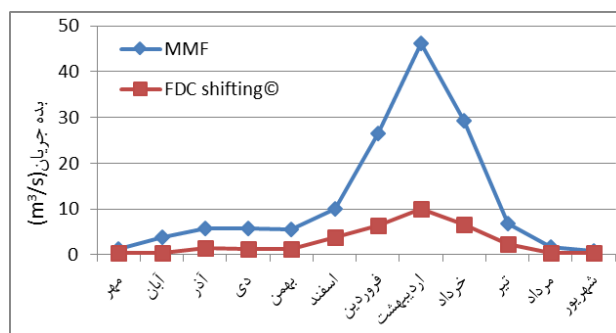
در شرایط متوسط (کلاس C) ۳/۳ مترمکعب در ثانیه موردنظر است. در شرایط متوسط سهم دریاچه ارومیه از رودخانه گدارچای ۱۰۴ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود. این مقدار برابر با شاخص بده جریان Q₆₀ است؛ بطوریکه در ۶۰ درصد مواقع بده رودخانه از این مقدار بیشتر بوده است.

تداوم کمینه جریان در ماه‌های مختلف در رودخانه گدارچای (مطابق شکل ۷)، و در نهایت انتقال جریان پایه زیستی به دریاچه ارومیه ضروری است. برای تحقق این امر مطالعات کامل در حوزه حقایقه‌های انهار کشاورزی با در نظر گرفتن کمینه جریان زیست محیطی الزامی است.

موارد مهم در تکمیل مطالعات عبارت‌اند از:

۱- ارزیابی جریان‌های زیست محیطی هر یک از رودخانه‌های ده‌گانه بزرگ حوضه آبریز دریاچه ارومیه بایستی بر اساس بر اساس پتانسیل جریان رودخانه در بالادست و حقایقه‌های کشاورزی در پایین‌دست تعیین گردد.

۲- پایش جریان زیست محیطی در طول رودخانه‌ها برای اطمینان از تحویل جریان زیست محیطی به دریاچه ارومیه ضروری است.



شکل ۷- جریان زیست محیطی پیشنهادی با روش FDC-Shifting برای ایستگاه پل نقده گدارچای.

نتیجه‌گیری کلی

در این بررسی، نیاز جریان زیست محیطی رودخانه گدارچای، از شاخه‌های اصلی دریاچه ارومیه با جریان دائمی، از هشت روش هیدرواکولوژیکی (۱- Tennant؛ ۲- Tessman؛ ۳- شاخص‌های تداوم جریان FDC؛ ۴- Smakhtin؛ ۵- FDC shifting؛ ۶- DRM؛ ۷- محدوده تغییرپذیری RVA؛ و ۸- روش کیفیت آب موسوم به رابطه Q) برآورد گردیده؛ و برحسب کلاس‌های مختلف مدیریت زیست محیطی رودخانه در جدول ۶ مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به‌منظور حفاظت رودخانه گدارچای در شرایط اکولوژیکی ایده‌آل (کلاس A)، بده پیوسته جریان معادل ۸/۲ مترمکعب در ثانیه و در شرایط کمینه وضعیت اکولوژیکی قابل‌قبول (کلاس F) ۰/۹۹ مترمکعب در ثانیه و

منابع مورد استفاده

- Abdi R and Yasi M, 2015. Evaluation of environmental flow requirements using eco-hydrologic-hydraulic methods in perennial rivers. *International Journal of Water Science and Technology* 72 (3): 354-363.
- Ahmadipour Z and Yasi M, 2014. Evaluation of eco-hydrology-hydraulics methods for environmental flows rivers (case study: Nazloo River, Urmia Lake Basin). *Journal of Hydraulics* 9 (2): 69-82.
- Azrakani M, Shokoohi A and Singh VP, 2017. Introducing a holistic ecological model under data shortage for determining rivers' ecological water requirements. *Journal of Iran-Water Resources Research* 13 (2): 140-153.
- Armitage P and Petts GE, 1992. Biotic score and prediction to assess the effects of water abstraction on river macro invertebrates for conservation purposes. *Aquat. Conserve* 2: 1-17.
- Hughes DA and Hannart P, 2003. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. *Journal of Hydrology* 270: 167-181.
- Hughes DA and Smakhtin VU, 1996. Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal* 41(6): 851-871.
- King JM, Tharme RE and Brown CA, 1999. Definition and implementation of instream flows, Thematic Report for the World Commission on Dams. Cape Town, SA, Southern Waters Ecological Research and Consulting, 63.

- Pyrce R, 2004. Hydrological low flow indices and their uses. Watershed Science Centre. WSC Report No. 04, Trent University, Peterborough, Ontario, 33.
- Richter BD, Baumgartner JV, Braun DP, Powell J, 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research Management* 14 (4): 329–340.
- Sedigkia M, Ayubzadeh SA, Haji Esmaeili M, 2015. Investigation on the necessities of Instream Flow Needs assessment in the rivers using hydro-ecological methods. *Iranian Journal of Eco Hydrology* 2 (3): 289-300.
- Smakhtin VU and Anputhas M, 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. Pp. 1–10, IWMI Research Report 107. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Smakhtin VU, Revenga C, Doll P, 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water International* 29: 307–317.
- Smakhtin VU, Shilpakar RL, Hughes DA, 2006. Hydrology-based assessment of environmental flows: an example from Nepal. *Hydrological Sciences Journal* 51 (2): 207–222.
- Tennant DL, 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1: 6–10.
- Tessman SA, 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.
- Tharme RE, Smakhtin VU, 2003. Environmental flow assessment in Asia: capitalizing on existing momentum. Pp. 301–313, Proceedings of the First Southeast Asia Water Forum, Vol 2, Chiang Mai, Thailand, November 2003, Thailand Water Resources Association, Bangkok.
- Yasi M and Ashuri M, 2017. Environmental flow contributions from in-basin rivers and dams for saving Urmia Lake. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* (41): 55–64.
- Zarkani M, Shokoohi A, Singh V, 2017. Introducing a holistic ecological model under data shortage for determining river ecological water requirements. *Iran-Water Resource Research* 13 (2): 140-153.