نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۷۷-۵۶۵

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 565-577

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی کمبود آب با درنظرگرفتن همزمان کمیت و کیفیت آب و جریان زیست‌محیطی زرینه‌رود

بهجت سرچشمه[1*]- جواد بهمنش[2]- وحید رضاوردی نژاد[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱

چکیده

آب نقشی مهم برای رفاه انسانها و محیط‌زیست دارد. مردم برای مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی از آب رودخانه استفاده می‌کنند. علاوه بر این، برآورده شدن نیاز زیست‌محیطی اکوسیستم رودخانه بسیار مهم خواهد بود. کمبود آب یک محدودیت اصلی و جدی برای توسعه اقتصادی-اجتماعی در کشورهای در حال توسعه و یک خطر برای معیشت مردم در نقاط مختلفی از جهان شده است. در سال‌های اخیر دریاچه ارومیه که در شمال غرب ایران واقع شده است با کمبود جدی آب مواجه شده‌است. زرینه‌رود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌هایی است که آب دریاچه را تامین می‌کند. در این مطالعه براساس داده‌های ماهانه کمیت آب از سال ۱۳۶۵تا ۱۳۹۵ ایستگاه نظام‌آباد رودخانه زرینه‌رود، نیاز جریان زیست‌محیطی با روش تنانت محاسبه شد. همچنین داده‌های کیفی و کمی آب و نیاز جریان زیست‌محیطی برای ارزیابی کمبود آب به وسیله شاخص S_{QQE} مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که متوسط نیاز جریان زیست‌محیطی برابر ۴۰۰ ×۱۰^{۶} مترمکعب‌درسال و برابر با ٪ ۳۳/۱۱ متوسط جریان سالانه جهت مدیریت اکولوژیکی و حفظ اکوسیستم رودخانه در سطح خوب می‌باشد. شاخص‌های کمی و کیفی به ترتیب ۱/۰۲ و ۱/۰۸ محاسبه شدند. محاسبات نشان می‌دهند، شاخص کمی، همان شاخص اسمختین، می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهند که هر دو شاخص کمی و کیفی بالای حد ۱ هستند و در نتیجه این ایستگاه در حال تحمل کمبود آب مربوط به کمیت و کیفیت برای مقدار معین نیاز جریان زیست‌محیطی می‌باشد. بنابراین چاره‌اندیشی مدیریتی مناسب، ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: ردپای آب، زرینه رود، کمبود آب، کیفیت آب، نیاز جریان زیست‌محیطی

مقدمه

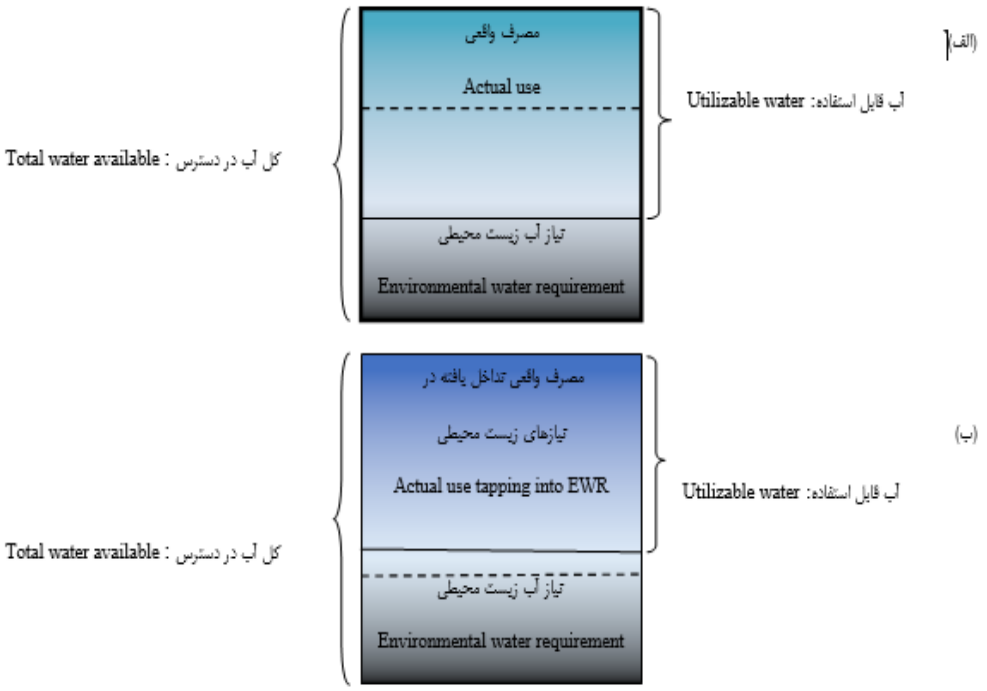
در سال‌های اخیر تقاضای‌آب به علت رشد جمعیت و توسعه‌های اقتصادی-اجتماعی آن افزایش یافته است. در این راستا فعالیت انسان‌ها بر محیط‌های زیست آبی و تنوع زیستی رودخانه‌ها تاثیر داشته است (۳۷). بنابراین توجه به نیاز جریان زیست‌محیطی و کمبود آب رودخانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد (۱۵). بررسی نیاز آب زیست‌محیطی اولین بار توسط سرویس حیات وحش آمریکا از سال ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ در این کشور انجام گرفت و قانون رسمی جریان آب زیست‌محیطی در سال ۱۹۷۰ به عنوان نتیجه در دستورالعمل سیاست‌گذاری ملی زیست‌محیطی و سند برنامه‌ریزی منابع آب (بویژه رودخانه‌ها) به ثبت رسید. ارزیابی جریان زیست‌محیطی می‌تواند یک ابزار مهم برای ارزیابی منابع آب و مدیریت مخزن و احیای اکوسیستم رودخانه‌ای باشد (۴).

جریان رودخانه شامل جریان اصلی و جریان سریع می‌باشد. جریان اصلی از یک آبخوان هیدرولیکی مرتبط با رودخانه یا منابع تأخیری دیگر مانند ذخیره زیرسطحی یا دریاچه‌هاست. جریان سریع پاسخ سریع یک حوضه‌آبریز به بارش یا ذوب برف را نشان می‌دهد.

جریان اصلی و جریان سریع هر دو می‌توانند به عنوان سهمی از جریان متوسط سالانه طولانی‌مدت در یک رودخانه مطرح شوند (۲۸). نیاز جریان زیست‌محیطی تعیین کننده مقدار برداشت ممکن از یک رودخانه و مقدار آب لازم برای حفظ اکوسیستم رودخانه می‌باشد (۲). رابطه بین آب در دسترس، آب مصرفی و نیاز آب زیست‌محیطی توسط شاخص کمبود آب تعریف می‌گردد. مناطقی که دارای مصارف بیش از حد مجاز می‌باشند به اکوسیستم رودخانه آسیب می‌رسانند و به عنوان مناطق بحرانی از لحاظ زیست‌محیطی شناسایی می‌شوند (۲۸).

در رودخانه، کل آب در دسترس متوسط آورد سالانه رودخانه بوده و آب در دسترس برای انواع مختلف مصارف، مجموع مصارف کل در مسیر رودخانه و نیاز جریان زیست‌محیطی مقدار آب لازم جهت حفظ رودخانه، می‌باشد. رابطه میان آب در دسترس، مجموع مصارف و نیاز آب زیست‌محیطی با شاخص بدون بعدی برای ارزیابی کمبود آب توسط اسمختین ارائه شد (۲۷).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: behjat.sarcheshme@gmail.com)
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.82187



شکل ۱- ارتباط بین کل منابع آب، برداشتهای آب و نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه (۲۸)

الف- نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه در امنیت ، شکل ۱- ب- کمبود نیاز آب زیست‌محیطی

Figure 1- Relationships between total water resources, total present water withdrawals, and EWR in environmentally safe (a) and environmentally water scarce (b) river basins (28)

شکل ۱- الف- نشان می‌دهد که تامین آب برای مصارف مختلف کنترل شده و نیاز جریان زیست‌محیطی و اکوسیستم در امنیت است. شکل ۱- ب- نشان می‌دهد که در اثر برداشت و مصرف بیش از حد، نیاز جریان زیست‌محیطی با کمبود روبرو شده و اکوسیستم آسیب دیده است.

در کشورهای در حال توسعه، کمبود داده‌ها و نبود کارشناسان مجرب، چالشی بزرگ در حفظ اکوسیستم رودخانه‌ای است (۳۵). کمبود داده‌های طولانی مدت، مدیریت منطقه‌ای منابع آب و به حساب آوردن حداقل جریان رودخانه به عنوان نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه، موجب بی‌توجهی به جریان زیست‌محیطی رودخانه شده است (۱). بررسی منابع نشان می‌دهد که حدود ۲۰۷ روش منحصربه‌فرد (مستقل) در ۴۴ کشور برای ارزیابی نیاز جریان زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۴ و ۱۶). نیاز جریان زیست محیطی توسط روش‌های مختلفی که در ۴ گروه شامل روش‌های هیدرولوژیک، هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه و روش‌های جامع و کلی‌نگر و بر اساس داده‌های ورودی مورد نیاز طبقه‌بندی شده‌اند، ارزیابی می‌شود (۷، ۲۳، ۲۹ و ۳۴). ارزیابی کمبود آب با روش‌های متفاوتی همچون روش‌های فالکن مارک، موسسه بین‌المللی مدیریت آب IWMI، شاخص فقر آبی و .... انجام می‌گیرد (۳۰ و ۸). در اغلب محاسبات کمبود آب، نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه و کیفیت آب نادیده گرفته می‌شد (۱۷). اوایل دهه ۲۰۰۰، دانشمندان تکنیک‌های ارزیابی کمبود آب را با در نظرگرفتن خصوصیات بیشتر آب توسعه دادند. از آنجاییکه درک صحیح و واقعی از کمبود آب نیازمند تحلیل ردپای آب و اثرات زیست‌محیطی آن می‌باشد. در اغلب روش‌ها تلاش شده تا خصوصیات بیشتری از آب مانند ردپای آب، کیفیت آب و نیاز جریان زیست‌محیطی ترکیب شوند. ابتدا مفهوم ردپای آب، با اصطلاح آب پنهان (آب مجازی) برای آب استفاده شده در تولید کالاهای وارداتی مطرح شد. سپس، توسط هاکسترا (۱۰) به عنوان یک شاخص تجربی برای مصارف مستقیم و غیر مستقیم آب ارائه شد. این مفهوم نشان دهنده کل حجم آب مورد نیاز مصرف شده توسط یک نفر یا بیشتر و یا یک شرکت یا ملت در مناطق خاص در واحد زمان می‌باشد. البته ردپای آب با برداشت آب متفاوت است. برداشت آب شامل آب‌های برگشتی نیز می‌تواند باشد ولی ردپای آب شامل آب‌های برگشتی نیست. بنابراین ردپای آب اغلب کمتر از میزان آب برداشت شده است. هاکسترا (۱۱) برداشت یا

مصرف آب و ردپای آب را مورد تحلیل قرار داد و جریانهای مورد نیاز جهت پایداری عملکردهای مهم زیست‌محیطی را نیز به عنوان نیاز جریان زیست‌محیطی وارد محاسبات نمود. ردپای آب شامل سه قسمت، ردپای آب سبز، حجم آب باران تبخیر شده و یا آب تلف شده از طریق تبخیر–تعرق در طول رشد گیاه (۴۳) است. ردپای آب آبی، حجم آب سطحی و زیرزمینی تبخیر شده یا مصرف شده در تولید محصول و یا انتقال یافته به حوضه‌ای دیگر است (۴۳). ردپای آب خاکستری حجم آب مورد نیاز برای رقیق سازی آلایندگی آب براساس کد استانداردهای کیفیت آب می‌باشد (۲۴). فیستر و همکاران (۲۵) محاسبه ردپای آب را روشی مهم برای ارزیابی مصرف آب مرتبط با اثرات مصرف کالاها و خدمات معرفی کردند. ایشان دو روش ارائه شده توسط انجمن شبکه ردپای آب (WFN)[1] و انجمن ارزیابی چرخه زندگی (LCA)[2] مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد روش‌های مذکور بسیار شبیه هم عمل نموده و هردو روش، مصرف آب و اثرات آن را بررسی می‌کنند. نیل‌سالاب و همکاران (۲۰) ضرورت محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی، به عنوان جزء ضروری برای حفظ و نگهداری منابع آب در محاسبات تقاضای آب مطرح کردند. نتایج تحقیق نشان داد که آب زیست‌محیطی به عنوان قسمتی از ردپای آب باید در محاسبات شاخص کمبود آب در نظر گرفته شود. همچنین نیل‌سالاب و همکاران (۲۱) تغییرات جزئی در معادله شاخص کمبود آب ارائه شده توسط فیستر (۲۴) ایجاد کردند. برای محاسبه شاخص کمبود آب، نیاز آب زیست‌محیطی را یکبار بعنوان تقاضای جداگانه همراه با دیگر تقاضاهای انسانی در نظر گرفتند. بار دیگر نیاز آب زیست‌محیطی را بعنوان آب ذخیره شده برای محیط زیست کنار گذاشتند. روش دوم روشی محافظه‌کارانه برای حفظ محیط‌زیست بود. روش اول انعطاف‌پذیری برای اولویت‌بندی تخصیص آب را نشان داد. بدین ترتیب شاخصی جدید معرفی کردند و از این شاخص برای ارزیابی تاثیر مصرف آب روی منابع آب در ارزیابی چرخه زندگی استفاده کردند. نیل‌سالاب و همکاران (۲۲) در یکی از حوضه‌های آبریز تایلند با دو روش ارائه شده در تحقیق قبلی خود کمبود آب را محاسبه کردند. نتایج نشان داد حوضه مورد مطالعه با مشکل کمبود آب مواجه شده است. بدین ترتیب نشان دادند که اولویت تخصیص آب در هر منطقه، کلید انتخاب شاخص کمبود آب می‌باشد. محققان ارزریابی چرخه زندگی کمبود آب حوضه‌آبریز را همان ردپای آب مصرفی حوضه معرفی کردند. هاکسترا (۱۲) نقد مفصلی که بیانگر وجود فاکتورهای فراوان دیگر، علاوه بر ردپای آب، جهت بررسی کمبود آب ارائه نمود. یانگ و همکاران (۴۱) برای حفاظت از تنوع زیست‌محیطی و توسعه پایدار بر تامین آب زیست‌محیطی با کیفیت و کمیت قابل قبول تاکید کردند. تعریف و مفهوم کاملی برای نیاز آب زیست‌محیطی و روش‌های تخمین و طبقه‌بندی آن ارائه کردند. حداقل نیاز آبی سه رودخانه و کمبود آب مرتبط با نیازهای آبی مورد تقاضا را تعیین کردند. و نیاز آب زیست‌محیطی سالهای ۲۰۱۰، ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ را برای سه رودخانه مورد مطالعه برآورد کردند. اسمختین و همکاران (۲۸) در مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی جهانی نیازهای آب زیست‌محیطی و کمبود آن روشی جهت برآورد حجم آب مورد نیاز برای حفظ و نگهداری اکوسیستم‌های وابسته به آب شیرین در مقیاس جهانی ارائه کردند. در این روش نیاز آب زیست‌محیطی به صورت ترکیبی از نیاز حداقل و حداکثر جریان در نظر گرفته شد. نیاز آب زیست‌محیطی حدود ۱۲۸ حوضه رودخانه‌ای را برآورد کردند. نتایج نشان داد، تقریبا ۵۰–۲۰ درصد متوسط جریان سالانه رودخانه‌های مختلف باید برای حفظ و توسعه اکوسیستم‌های آبی یا نگهداری اکوسیستم‌ها در شرایط نسبتاً خوب اختصاص یابد. باکیسانرام و همکاران (۵) در منطقه Mae Moh Mine تایلند، یک مدل آبی برای مدیریت کمیت و کیفیت آب و کاهش ردپای زیست‌محیطی و حفظ محیط‌زیست ارائه کردند. یانگ و همکاران (۴۲) تاثیر تغییر خصوصیات هیدرولوژیک تالاب، بر اجزای زنده، ساختار و عملکرد اکوسیستم تالاب، مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. ضرورت وارد کردن نیاز آب زیست محیطی به محاسبات آب مورد نیاز منابع آبی (تالاب‌ها) را مطرح کردند. روش جدید ضریب سطح آب اکولوژیکی را برای محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها پیشنهاد کردند. نتایج نشان داد که تغییرات سالانه نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها با تغییر اقلیم و تغییر خصوصیات هیدرولوژیک مطابقت دارد. سان و همکاران (۳۱) روشی برای تعیین کمیت و کیفیت جریان‌های زیست‌محیطی در محل ورودی رودخانه زرد چین ارائه کردند که اهداف زیست‌محیطی و اکولوژیکی متعددی را تامین می‌نمود. اکسیا و همکاران (۴۰) با بررسی عملکرد آب رودخانه و کاربردهای آن روشی یکپارچه و جامع برای جای دادن نیاز آب زیست‌محیطی (EWR)[3] در رابطه مدیریت کیفی و کمی آب در حوضه رودخانه زرد چین ارائه کردند. مفهوم عملکرد اکولوژیکی (IEFRW)[4] را برای حوضه رودخانه مورد مطالعه، که با افزایش جمعیت و دسترسی کم به منابع آب و زوال اکولوژیکی روبرو بود، ارائه کردند. سان و همکاران (۳۲) یک روش جامع چند منظوره برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی ارائه کردند. نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات زیست‌بومی و گونه‌های بومی

1- WFN: Water Footprint Network
2- LCA: Life Cycle Assessment
3- EWR: Environmental Water Requirement
4- IEFRW: Intensity of Ecological Function of River Water

فاکتوری مهم در تعیین عکس العمل اکوسیستم‌ها به تغییرات هیدرولوژیک می‌باشد. ساندوال و همکاران (۲۶) با مطالعه بر حوضه مرزی مشترک بین دوکشور آمریکا و مکزیک Rio Grande به این نتیجه رسیدند که جریان زیست‌محیطی به عنوان قسمتی از مدیریت منابع آب در حوضه مورد نظر، مورد توجه قرار نگرفته است. ماکزیمم حجم آب در دسترس برای جریان‌های زیست‌محیطی بدون تاثیر بشر، بدون نیاز به آب‌های بین‌المللی و بدون افزایش خطر سیل برآورد شد. برآورد جریان‌های زیست‌محیطی بر اساس آنالیز هیدرولوژی تغییرات مخازن آب رودخانه انجام گرفت. در نهایت یک مدل برای شبیه‌سازی سیستم تخصیص آب طراحی و ارائه گردید. یک طرح بهره‌برداری مجدد از مخازن برای تامین جریان‌های زیست‌محیطی پیشنهاد شد. بدین ترتیب نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه وارد محاسبات گردید. زو و همکاران (۴۵) برای محاسبه تقاضای آب زیست‌محیطی و ردپای آب آبی رودخانه Dalinghe، روش حداقل رواناب متوسط ماهانه و متوسط غلظت رسوب ماهانه را پیشنهاد کردند. آدامز (۱)، سه کشور استرالیا، آفریقای جنوبی و آمریکا را توسعه دهنده‌های اصلی روش‌های تعیین نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها معرفی کرد. نشان داد که اگر چه بیشتر روش‌ها در دسترس می باشند ولی اجرای آنها کند است و نیاز به ساختار مدیریتی قوی و مشارکت توافقی و هماهنگ دارد. زنگ و همکاران (۴۴) برای ارزیابی کمبود آب روش ساده‌ای با توجه به ردپای آب آبی و ردپای آب خاکستری توسعه دادند. لیو و همکاران (۱۷) با در نظر گرفتن همزمان نیاز جریان زیست‌محیطی، ردپای آب آبی و ردپای آب خاکستری، کمبود آب را با ارائه روش جدیدی تحت عنوان S_{QQE}[1] برای حوضه رودخانه Huangqihai در چین ارزیابی نمودند. با توجه به کاربرد روش ارائه شده در مناطق خشک و نیمه خشک در تحقیق حاضر نیز به کار گرفته می‌شود. لیو و همکاران (۱۸) در توسعه تحقیقات قبلی خود به مقایسه خصوصیات شاخص‌های ارزیابی کمبود آب پرداختند. نتایج نشان داد که روش منتخب در این مقاله خصوصیات بیشتری را بررسی نموده و عملکرد بهتری نسبت به سایر روشها دارد. خشک شدن دریاچه ارومیه به‌طور عمده به کاهش جریان رودخانه‌های منتهی به دریاچه و تغییر خصوصیات هیدرولوژیک منطقه و کیفیت آب‌های ورودی مرتبط است. مناطق طبیعی مهم دریاچه ارومیه در اثر کمبود کمی و کیفی جریان‌های زیست‌محیطی، در معرض خطر و تهدید قرار دارند. جریان‌های ورودی دریاچه ارومیه به طور عمده توسط چهارده رودخانه اصلی تامین می‌شود. زرینه‌رود طولانی‌ترین رودخانه و تامین کننده حدود ۴۱٪ جریان‌های ورودی سطحی دریاچه می‌باشد. سد شهید کاظمی بوکان به عنوان کنترل کننده جریان بر روی این رودخانه قرار دارد. با توجه به جریان کنترل شونده و افزایش مصرف در مسیر رودخانه، جریان منتهی به دریاچه روبه‌کاهش می‌باشد. به دلیل اهمیت بالای دریاچه ارومیه، تامین و مدیریت آب ورودی دریاچه ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور جهت بررسی و ارزیابی کمبود آب ورودی به دریاچه، در تحقیق حاضر کمبود آب ایستگاه نظام‌آباد زرینه‌رود، محاسبه خواهد شد. شاخص کمی، کیفی، زیست‌محیطی S_{QQE}، کمبود آب را با در نظر گرفتن نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه و با محاسبه ردپای آب آبی و خاکستری، و تعیین نقش کمیت و کیفیت آب، محاسبه می‌نماید. شاخص ارائه شده توسط اسمختین کمبود آب را با محاسبه ردپای آب آبی تحلیل نموده و با شاخص مورد مطالعه، مقایسه خواهد گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه زرینه‌رود یکی از مهم‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه‌های مستقل، دائمی و پرآب حوضه‌آبریز دریاچهٔ ارومیه شکل ۲ محسوب می‌شود. این رودخانه از کوههای چهل‌چشمه کردستان سرچشمه گرفته و با حوضهٔ‌آبریز به وسعت ۱۱۰۰۰ کیلومتر مربع و طول تقریبی ۲۷۵ کیلومتر جریان دارد. در مسیر خود از شهرهای مریوان و سقز در استان کردستان و شهرستان‌های شاهین‌دژ و میاندوآب در استان آذربایجان‌غربی عبور می‌کند. در نهایت با میزان آبدهی متوسط سالانه ۱۲۰۸ میلیون متر مکعب در سال و متوسط دبی حدود ۳۸/۳۰ متر مکعب در ثانیه از ایستگاه نظام‌آباد عبور کرده و به دریاچه ارومیه می‌ریزد (شکل ۳).

در این تحقیق نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه زرینه‌رود در ایستگاه نظام‌آباد واقع در پایین‌دست سد شهیدکاظمی بوکان تقریبا نزدیکترین ایستگاه به دریاچه ارومیه، با روش تنانت، آسان‌ترین و سریع‌ترین روش محاسبه شد. سپس ارزیابی کمبود آب با محاسبه ردپای آب آبی و خاکستری و در نظرگرفتن همزمان کیفیت و کمیت آب و نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه انجام گرفت. موقعیت جغرافیایی ایستگاه نظام‌آباد در جدول ۱ ارائه شده است. در ایستگاه نظام‌آباد کاربرد آب رودخانه کشاورزی می‌باشد. در جدول ۲ مقادیر نیتروژن و تقاضای اکسیژن شیمیایی در فصول مختلف سال به عنوان مهم‌ترین و موثرترین آلاینده‌ها از اندازه‌گیری‌های مستقیم پارامترهای مذکور در ایستگاه نظام‌آباد توسط خلیفه و خوش‌نظر (۱۳) اخذ گردید.

روش تنانت

تنانت در سال ۱۹۷۶ (۳۳) روشی به نام تنانت (مونتانا) را معرفی کرد، که رایج‌ترین روش هیدرولوژیک است. این روش در اغلب کشورهای جهان، برای ارزیابی نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها به‌کار برده می‌شود (۳۴). روش تنانت آسان، سریع، ارزان و بر اساس روابط تجربی بین درصد پیشنهادی متوسط جریان سالانه است.

1- S_{QQE}: Scarcity Quantity-Quality-Environmental

شرایط اکولوژیکی رودخانه برای استفاده در این روش مشخص شده است (۱۹). در این روش برای توضیح سطوح مختلف شرایط اکولوژیکی جریان مرتبط با ماهیگیری، حیات وحش، تفریحی و منابع زیست‌محیطی، دو دوره مختلف ۶ ماهه (فصولی با جریان آب زیاد و کم) درصدی از متوسط جریان سالانه، به‌کار می‌برد (۳۹)(جدول ۳).

شکل ۲- موقعیت کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ایران
Figure 2- Location of Urmia lake basin in Iran

شکل ۳- موقعیت سد شهید کاظمی بوکان و منطقه مورد مطالعه زرینه‌رود
Figure 3- Location of case study area of Zarrinehrood river basin

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه نظام‌آباد
Table 1- The geographical location of Nezamabad station

ایستگاه Station	طول جغرافیایی X	عرض جغرافیایی Y	ارتفاع Height
نظام‌آباد Nezamabad	45°56′	37°03′	1283

جدول ۲- مقادیر نیتروژن و تقاضای اکسیژن شیمیایی در ایستگاه نظام‌آباد
Table 2- The values of Nitrogen and Chemical Oxygen Demand (COD)

فصل/ آلودگی Pollution / Season	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter
نیتروژن (میلی‌گرم/ لیتر) Nitrogen (mg/l)	2	1.1	0.7	1.6
تقاضای اکسیژن شیمیایی (میلی‌گرم/ لیتر) COD (mg/l)	30	26	35	22

جدول ۳- شرایط اکولوژیکال رودخانه بر اساس روش تنانت (مونتانا ۱۹۷۶)
Table 3- The ecological condition of river based on Tennant (Montana) method (1976)

رده جریان یا کیفیت زیستگاه Flow category or habitat quality	جریان پیشنهاد شده (درصد متوسط جریان سالانه) Recommended flow (% of MAF)	
	فروردین- شهریور April-September	مهر- اسفند October-March
Maximum ماکزیمم	200	200
Optimum بهینه	60-100	60-100
Outstanding ممتاز	60	40
Excellent عالی	50	30
Good خوب	40	20
Moderately degraded متوسط تخریب شده	30	10
Severely degraded به شدت تخریب شده	10≥	10≥

بر اساس جدول تنانت (جدول ۳) برای حفظ سطوح مختلف شرایط زیستگاه درصدهای متوسط جریان سالانه دارای تغییرات زمانی می‌باشند.

نیاز جریان زیست محیطی

دبی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ ایستگاه نظام‌آباد جهت محاسبه نیاز جریان زیست‌محیطی براساس روش تنانت به‌کاربرده‌شد. برای این منظور از دو معادله (۱) و (۲) استفاده شد.

$$EFR = \sum_{i=1}^{12} eij \quad (۱)$$

$$eij = 3600 * 24 * ni * Qi * Pij \quad (۲)$$

در معادلات بالا، j نشان‌دهنده سطح کیفیت زیستگاه (ماکزیمم، بهینه، ممتاز، عالی، خوب، متوسط، مینیمم، خیلی کم)، i نشان‌دهنده ماه، eij نشان‌دهنده نیاز جریان زیست‌محیطی در ماه i و سطح کیفیت زیستگاه j (برحسب مترمکعب)، ni معرف تعداد روزهای ماه iام، Qi معرف متوسط جریان در ماه iام (برحسب مترمکعب بر ثانیه) و Pij درصد متوسط جریان سالانه در ماه iام و سطح کیفیت زیستگاه j و EFRj نشان‌دهنده نیاز جریان زیست‌محیطی سالانه یک رودخانه (برحسب متر مکعب بر سال) در سطح کیفیت زیستگاه j می‌باشد (۱۷).

در این مطالعه، سطوح مختلف نیاز جریان زیست‌محیطی برای حفظ سطوح مختلف کیفیت زیستگاه تعیین شده در روش تنانت محاسبه شد. بخشی از منابع آب آبی مورد نیاز برای حفظ کیفیت زیستگاه در سطح خوب به عنوان EFR (نیاز جریان زیست‌محیطی) مناسب در نظر گرفته شد. اگر نیاز جریان زیست‌محیطی کمتر از این حد باشد، کیفیت زیستگاه ضعیف خواهد بود.

شاخص کمبود آب (S_{QQE})

شاخص کمبود آب S_{QQE} بر اساس معادلات (۳) و (۴) و (۵) زیر محاسبه می‌شود (۱۷).

$$S_{QQE} = S_{Quantity}(P) | S_{Quality} \quad (۳)$$

$$S_{Quantity} = \frac{BWF}{BWA} = \frac{W \times R}{(BWR - EFR)} \quad (۴)$$

$$S_{Quality} = \frac{GWF}{BWR} \quad (۵)$$

S_{QQE} یک شاخص جامع برای نشان‌دادن کمبود آب با در نظر گرفتن شاخص‌های کمیت و کیفیت آب و نیاز جریان زیست‌محیطی می‌باشد.

$S_{Quantity}$ شاخص کمبود کمی آب را نشان می‌دهد. BWF[1]،

1- BWF: Blue Water Footprint

BWA[1], BWR[2] به ترتیب نشان‌دهنده رد پای آب آبی، آب آبی قابل دسترسی و منابع آب آبی برحسب متر مکعب، W مقدار برداشت آب آبی برحسب متر مکعب و R نسبت مصرف آب می‌باشند. $S_{Quantity}$ از تقسیم ردپای آب آبی بر آب آبی قابل دسترسی به‌دست می‌آید.

اگر $S_{Quantity}$ کوچکتر و مساوی یک باشد، به این معنی است که آب کافی برای نیازهای مصرف آب وجود دارد. ولی اگر $S_{Quantity}$ بزرگتر از یک باشد، به این معنی است که آب شیرین قابل دسترسی برای مصرف آب حوضه کافی نیست و حوضه در حال تحمل کمبود آب ناشی از کمیت آب می‌باشد.

P: نشان‌دهنده درصد نیاز جریان زیست محیطی در کل منابع آب آبی می‌باشد و مربوط به نیاز جریان زیست‌محیطی لازم جهت حفظ کیفیت زیستگاه در یک سطح خوب می‌باشد.

$S_{Quality}$ نشان‌دهنده شاخص کمبود آب ایجاد شده در اثر آلودگی است. این شاخص از تقسیم ردپای آب خاکستری بر منابع آب آبی حاصل می‌شود. ردپای آب خاکستری مقدار آب مورد نیاز برای از بین بردن غلظت آلودگی‌های فاضلاب جهت رسیدن به استانداردهای کیفیت آب زیست‌محیطی می‌باشد.

اگر $S_{Quality}$ کوچکتر و مساوی یک باشد، به این معنی است که آب کافی برای از بین بردن غلظت آلودگی‌ها وجود دارد. اما اگر $S_{Quality}$ بزرگتر از یک باشد، به این معنی است که آب کافی جهت از بین بردن غلظت آلودگی آب و رسیدن به سطح استاندارد کیفیت مورد نظر وجود ندارد و حوضه در حال تحمل کمبود آب ناشی ازکیفیت آب می‌باشد (۱۰).

ردپای آب آبی و ردپای آب خاکستری

ردپای آب آبی شامل هر دو آب سطحی و زیرزمینی مصرف شده است (۱۰). در حوضه رودخانه زرینه‌رود، ردپای آب آبی ایستگاه نظام‌آباد با حاصل‌ضرب برداشت آب و نسبت مصرف آب محاسبه شد. کاربرد نسبت مصرف به این دلیل است که مقداری از آب برداشتی به جریان برگشته و مصرف شده واقعی نیست، بلکه به رودخانه برگشته و دوباره توسط کاربران پایین‌دست مصرف می‌شود (۳ و ۶).

برای محاسبه ردپای آب خاکستری معادله ۶ به عنوان یک روش عمومی به‌کاربرده می‌شود (۱۰).

$$GWF = \frac{L}{(Cmax - C\,nat)} \quad (۶)$$

L: مقدار آلودگی را با واحدکیلوگرم درسال نشان می‌دهد، C_{max}: ماکزیمم غلظت پذیرفته شده کیفیت آب و C_{nat}: غلظت آلودگی طبیعی آب را بر حسب میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد.

از آنجایی‌که غلظت طبیعی آلوده‌کننده‌ها دردسترس نیست، بنابراین $C_{nat}=0$ فرض می‌شود (۹). کاربرد مقدار صفر برای C_{nat} نشان می‌دهد که این روش، به‌طور محتاطانه عمل کرده و موجب افزایش احتمال جریان زیست‌محیطی کافی برای از بین بردن غلظت آلودگی و رسیدن سطح آلودگی به سطح قابل قبول می‌گردد.

غلظت تقاضای اکسیژن شیمیایی و نیتروژن دو عامل مهم برای محاسبه ردپای آب خاکستری هستند. از آنجاییکه اغلب مصارف در ایستگاه نظام‌آباد کشاورزی است در این تحقیق ردپای آب خاکستری برای بخش کشاورزی محاسبه شد. برای محاسبه ردپای آب خاکستری تقاضای اکسیژن شیمیایی و کل نیتروژن به ترتیب به عنوان آلاینده اصلی خانگی و صنعتی و نیز مهم‌ترین آلوده کننده کشاورزی و دامپروری انتخاب شدند (۳۸). برای محاسبه ردپای آب خاکستری، بر اساس استاندارد کیفیت آب ایران برای آب‌های سطحی، ماکزیمم غلظت برای تقاضای اکسیژن شیمیایی، ۸ میلی‌گرم بر لیتر و ماکزیمم غلظت برای کل نیتروژن ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر جهت ارزیابی کیفیت آب کشاورزی به کار برده شد (۳۶).

روش اسمختین

اسمختین (۲۷) شاخصی برای ارزیابی بحران آب ارائه نمود که با معادله ۷ نشان داده می‌شود:

$$WSI = \frac{Withdrawals}{MAR - EWR} \quad (۷)$$

که در آن WSI: شاخص بی‌بعد کمبود آب، Withdrawals: برداشت سالانه از رودخانه برحسب مترمکعب‌درسال، می‌باشد. MAR[3]: میانگین آورد سالانه رودخانه و EWR: نیاز آب زیست محیطی سالانه رودخانه برحسب متر مکعب در سال می‌باشد. اگر شاخص کمبود آب اسمختین از یک بیشتر باشد رودخانه دچار کمبود آب بوده و قادر به تامین نیاز آب زیست‌محیطی نیست. اگر بین ۰/۶ و ۱ باشد رودخانه دارای تنش می‌باشد. اگر بین ۰/۳ و ۰/۶ باشد شرایط برداشت از رودخانه متوسط است. اگر کمتر از ۰/۳ باشد رودخانه از نظر تامین آب زیست‌محیطی امنیت دارد و دچار هیچ کمبودی نیست (۲۷).

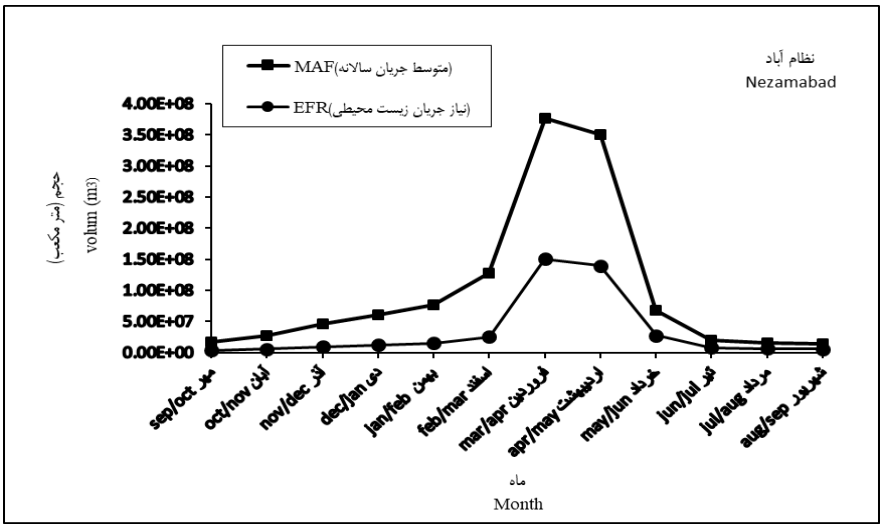
نتایج و بحث

با توجه به معادله اسمختین، محاسبات انجام گرفته با روش اسمختین، همان شاخص کمی مورد استفاده در شاخص مورد مطالعه این تحقیق می‌باشد. روش اسمختین کمبود آب را فقط از نظر کمی

1- BWA: Blue Water Availability
2- BWR: Blue Water Resources
3- MAR: Mean Annual Runoff

مورد سنجش قرار می‌دهد و ارزیابی کیفی صورت نمی‌گیرد. در شاخص کمی، کیفی و زیست‌محیطی مورد مطالعه این تحقیق، کمیت آب با محاسبه ردپای آب آبی همانند روش اسمختین محاسبه می‌شود. نیاز زیست‌محیطی رودخانه با روش تنانت و کیفیت آب نیز با محاسبه ردپای آب خاکستری وارد محاسبات می‌گردد.

شکل ۴ نشان می‌دهد، که از ابتدای نمودار (شروع سال آبی) با افزایش نزولات جوی نمودار جریان رودخانه و نیاز جریان زیست‌محیطی صعودی و افزایشی است. از فروردین ماه به بعد نمودار حالت نزولی و کاهشی دارد. بیشترین جریان رودخانه از دی‌ماه (January) تا خردادماه (June) می‌باشد. از تیرماه (July) تا آذرماه (December) جریان بسیار ضعیفی برقرار است. با توجه به معادلات (۱) و (۲)، نیاز جریان زیست‌محیطی براساس جریان ماهانه رودخانه محاسبه گردید. اختلاف بین این دو نمودار آب قابل استفاده (دردسترس) برای مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی می‌باشد. نمودار نشان می‌دهد که در ماه‌های تیر تا آذر با کاهش جریان رودخانه، نیاز جریان زیست‌محیطی و آب دردسترس برای سایر مصارف نیز کاهش می‌یابد. در ماه‌های دی تا خرداد با افزایش جریان رودخانه، نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه و آب در دسترس برای سایر مصارف نیز افزایش می‌یابد. طبق محاسبات، مقدار کل منابع آب آبی در ایستگاه نظام‌آباد زرینه‌رود (۱۲۰۸*۱۰^{۶}) متر مکعب درسال است. برای حفظ سلامت زیستگاه رودخانه زرینه‌رود در یک سطح خوب، باید (۴۰۰*۱۰^{۶}) متر مکعب درسال آب در رودخانه رها شود. بنابراین نیاز جریان زیست‌محیطی، ٪۳۳/۱۱ (حدود یک سوم) کل منابع آب آبی سالانه است.



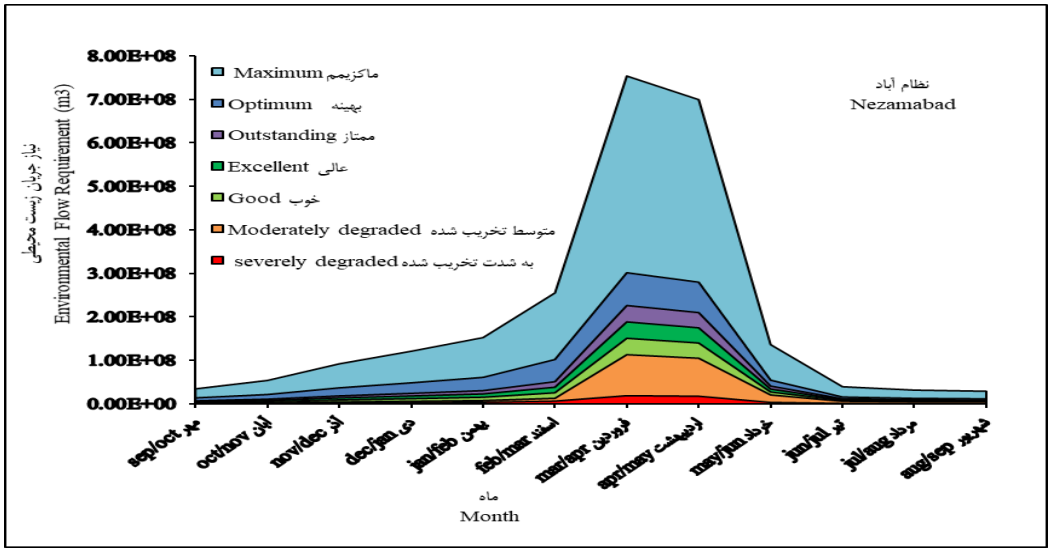
شکل ٤- نیاز جریان زیست‌محیطی و متوسط جریان سالانه ایستگاه نظام آباد زرینه‌رود

Figure 4- Environmental flow requirement (EFR) and mean annual flow (MAF) for the (Nezamabad station) Zarrinehrood river basin; EFR shows the proposed flow for the good level specified in Table 3

شکل ۵ شرایط نیاز جریان زیست‌محیطی ایستگاه نظام‌آباد زرینه‌رود را با استفاده از جدول تنانت و شرایط مشخص شده از خیلی کم تا ماکزیمم، نشان می‌دهد. در این ایستگاه نیاز جریان زیست‌محیطی از (۶۰*۱۰^{۶}) در سطح خیلی کم سلامت زیستگاه، تا (۲۴۰۰*۱۰^{۶}) در سطح ماکزیمم سلامت زیستگاه متغیر است. برای حفظ شرایط سلامت زیستگاه زرینه‌رود در سطح خوب باید (۴۰۰*۱۰^{۶}) متر مکعب آب سالانه در رودخانه رها شود. نیاز جریان زیست‌محیطی تابعی از جریان رودخانه می‌باشد. با توجه به شروع سال آبی از مهرماه و افزایش نزولات جوی و جریان رودخانه‌ها، نیاز جریان زیست‌محیطی در تمام سطوح تنانت افزایش یافته و در فروردین ماه به نقطه اوج خود می‌رسد. از فروردین ماه نیاز جریان زیست‌محیطی شروع به کاهش می‌کند و با گرم شدن هوا و افزایش برداشت از آب رودخانه در شهریور ماه به کم‌ترین حد خود می‌رسد. لازم است مقادیر برداشت به صورتی کنترل گردد که شرایط سلامت زیستگاه در حد خوب حفظ شود.

ردپای آب آبی و آب آبی قابل دسترسی این ایستگاه به ترتیب برابر با (۸۳۰ *۱۰^{۶}) و (۸۰۸ *۱۰^{۶}) متر مکعب در سال محاسبه شد که ردپای آب آبی حدود ۱/۰۲ برابر آب آبی قابل دسترسی این ایستگاه می‌باشد، بنابراین شاخص اسمختین و S Quantity شاخص مورد مطالعه این تحقیق برابر ۱/۰۲ خواهد بود.

ردپای آب خاکستری کل این ایستگاه حدود (۱۳۰۸ * ۱۰^{۶}) محاسبه شد که ۱/۰۸ برابر منابع آب آبی کل است، بنابراین S Quality برابر ۱/۰۸ خواهد بود.



شکل ۵- تفاوت سطوح نیاز جریان زیست‌محیطی کل در ایستگاه نظام‌آباد زرینه‌رود

Figure 5- Different levels of total environmental flow requirement (EFR) in the (Nezamabad station) Zarrinehrood river

شاخص اسمختین یا همان $S_{Quantity}$ ایستگاه نظام‌آباد زرینه‌رود، ۱/۰۲ و $S_{Quality}$ ، ۱/۰۸ به دست آمد. مقدار هردو بالای حد استاندارد ۱، و نشانگر آن بود که ایستگاه مورد مطالعه از نظر کمیت و کیفیت دچار کمبود می‌باشد. شاخص کمبود آب S_{QQE} برای این حوضه، ۱/۰۸|(۳۳/۱۱٪)۱/۰۲ می‌باشد.

می‌توان نتیجه گرفت که ۳۳/۱۱٪ کل منابع آب آبی رودخانه، تحت عنوان نیاز جریان زیست‌محیطی برای حفظ شرایط اکولوژیکی زیستگاه در سطح خوب لازم است. درصدهای دیگر نیاز جریان زیست‌محیطی برای نشان دادن دیگر شرایط سطوح اکولوژیکی زیستگاه به کار برده می‌شوند.

در این ایستگاه، درحالی‌که نیاز جریان زیست‌محیطی تامین بوده و شرایط اکولوژیکی خوبی برای زیستگاه فراهم آورده است. $S_{Quantity}$ نشان می‌دهد که مصرف آب ۱/۰۲ برابر آب آبی‌قابل دسترسی است و $S_{Quality}$ نیز نشان می‌دهد که جهت از بین بردن آلودگی آب و داشتن کیفیت آب استاندارد ۱/۰۸ برابر منابع آب آبی، آب لازم است.

دیگر روش‌های تعیین نیاز جریان زیست‌محیطی به داده‌های طولانی مدت مختلفی نیاز دارند. تنها روشی که فقط با استفاده از داده‌های هیدرولوژیک می‌تواند نیاز جریان زیست‌محیطی را محاسبه نماید روش تنانت است. کمبود داده در این حوضه موجب شد نیاز جریان زیست‌محیطی با روش تنانت محاسبه شود. بعد از محاسبه کمبود آب با شاخص اسمختین و شاخص S_{QQE} این شاخص‌ها را با هم مقایسه شدند. روش اسمختین کمبود آب را فقط از نظر کمّی بررسی می‌نماید. شاخص اسمختین معادل ۱/۰۲ و بالاتر از حد معین ۱ می‌باشد و کمبود کمّی در ایستگاه مورد نظر مشاهده می‌شود. با بررسی دقیق‌تر با روش S_{QQE} نتیجه می‌شود که ایستگاه مورد مطالعه علاوه بر کمبود کمی از نظر کیفی با داشتن شاخص کیفی معادل ۱/۰۸ و بالاتر از حد معین ۱، دچار کمبود کیفی آب نیز می‌باشد.

هر چند شاخص S_{QQE} از نظر محاسبه، درک و تعمیم دادن به سایر مناطق بسیار آسان است اما محدودیت‌هایی نیز دارد. برای ارزیابی کامل‌تر باید اطلاعات بیشتری در نظر گرفته شود. محدودیت بارز شاخص S_{QQE} عدم کاربرد ردپای آب سبز در محاسبه این شاخص می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کمبود آب با در نظر گرفتن همزمان کمیت آب، کیفیت آب و نیاز جریان زیست‌محیطی در حوضه رودخانه زرینه‌رود ایران ارزیابی شد. و با روش اسمختین به عنوان یک روش دیگر ارزیابی کمبود آب مقایسه شد، شاخص اسمختین کمبود آب حوضه را، فقط از نظر کمّی، ولی شاخص S_{QQE} از نظر کمی، کیفی و نیاز جریان زیست‌محیطی ارزیابی و ارائه می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از هر دو مسئله کمبود آب کمی و کیفی رنج می‌برد. نیاز جریان زیست‌محیطی برای حفظ سطح اکولوژیکی خوب، در بعضی از ماه‌های سال کافی نیست. آلودگی آب نقش اساسی در ایجاد کمبود آب در حوضه رودخانه دارد. این نشان می‌دهد که حل مشکل کمبود آب، تنها با کاهش مصرف آب میسر نیست. توجه به کاهش آلودگی آب و حفاظت کیفی آب نیز لازم است. روش S_{QQE} در مناطقی که با کمبود داده‌های هیدرولوژیک مواجه هستند نیز می‌تواند به کار برده شود.

منابع:

1- Adams Janine B. 2014. A review of methods and frameworks used to determine the environmental water requirements of estuaries. Hydrological Sciences Journal 59(3-4): 451-465.
2- Alcazar J., and Palau A. 2010. Establishing environmental flow regimes in a Mediterranean watershed based on a regional classification. Journal Hydrology 388: 41-51.
3- Anisfeld S.C. 2010. Water Resources. Island Press, Connecticut Ave., NW, Washington.
4- Arthington A.H. 2012. Environmental Flow: Saving Rivers in the Third Millennium. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, USA.
5- Bhakdisongkhram T., Koottatep S., and Towprayoon S. 2007. A water model for water and environmental management at Mae Moh Mine area in Thailand. Water Resource Management 21: 1535-1552.
6- Cai X., Rosegrant M.W., and Ringler C. 2003. Physical and economic efficiency of water use in the river basin: implications for efficient water management. Water Resource 1: 1–12.
7- Cosgrove W.J., and Rijsberman F.R. 2000. World Water Vision: Making Water Everybody's Business, Earth scan Public Ltd London U.K.
8- Falkenmark M., Lundqvist J., and Widstrand C. 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches. National Resource Forum 13: 258–267.
9- Franke N.A., Boyacioglu H., and Hoekstra A.Y. 2013. Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines. Value of Water Research Report Series, No.65. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
10- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., and Mekonnen M.M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earths can Press, London, UK.
11- Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., Chapagain A.K., Mathews R.E., and Richter B.D. 2012. Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water availability. PLOS ONE, 7: e32688.
12- Hoekstra A.Y. 2016. A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. Ecological Indicators 66: 564–573.
13- Khalifeh S., Khoshnazar A. 2018. Evaluation of water quality in Zarrinehrood River using the standard quality index of Iran's Surface Water Resources. Water & Wastewater Science & Engineering 3 (1): 22-34, spring. (In Persian with English abstract)
14- King J.M., Tharme R.E., and De Villiers M. 2000. Environmental flow assessments for rivers: manual for the building block methodology. In: De Villiers, M (Ed), Water Research Commission, Pretoria, South Africa.
15- Kirby J.M., Connor J., Ahmad M.D., Gao L., and Mainuddin M. 2014. Climate change and environmental water reallocation in the Murray Darling Basin: impacts on flows, diversions and economic returns to irrigation. Journal Hydrology.(In press).
16- Kumara B.K.H., and Srikantaswamy S. 2011. Environmental flow requirements in Tungabhadra River, Karnataka, India. National Resource 20(3): 193–205.
17- Liu J., Liu Q., and Yang H. 2016. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. Ecology Indicator 60: 434–441.
18- Liu J., Yang H., Gosling S.N., Kummu M., Florke M., Pfister S., Hanasaki N., Wada Y., Zhang X., Zheng C., Alcamo J., and Oki T. 2017. Water scarcity assessment in the past, present, and future. Earth's Future 5: 545-559.
19- Men B., Yu T., Kong F., and Yin H. 2014. Study on the minimum and appropriate instream ecological flow in Yitong River based on Tennant method. National Environmental Pollution Technology 13(3): 541–546.
20- Nilsalab P., Gheewala S.H., and Silalertruksa T. 2017. Methodology development for including environmental water requirement in the water stress index considering the case of Thailand. Journal of Cleaner Production 167: 1002–1008.
21- Nilsalab P., Gheewala S.H., and Pfister S. 2018. Method Development for Including Environmental Water Requirement in the Water Stress Index. Water Resource Management 32: 1585–1598.
22- Nilsalab P., and Gheewala S.H. 2019. Assessing the Effect of Incorporating Environmental Water Requirement in the Water Stress Index for Thailand. Sustainability, 11,152.
23- Pastor A.V., Ludwig F., Biemans H., Hoff H., and Kabat P. 2014. Accounting for envi-ronmental flow requirements in global water assessments. Hydrology Earth System Science 18(12): 5041–5059.
24- Pfister S., Koehler A., and Hellweg S. 2009. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. Environmental Science & Technology 43: 4098–4104.
25- Pfister S., Boulay A.M., Berger M., Hadjikakou M., Motoshita M., Hess T., Ridoutt B., Weinzettel J., Scherer L., Doll P., Manzardo A., Nunez M., Verones F., Humbert S., Buxmann K., Harding K., Benini L., Oki T., and Henderson A. 2017. Understanding the LCA and ISO water footprint: a response to Hoekstra (2016) a critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. Ecological Indicators 72: 352–359
26- Sandoval-Soils S., A.M.ASCE D. C., and McKinney M.ASCE. 2014. Integrated water management for

environmental flows in the Rio Grande. Journal of Water Resources Planning and Management 140(3): 355-364.
27- Smakhtin V.U., Revenga C., and Döll P. 2004.Talking into account environmental water requirements in global-scale resources assessments. Comprehensive Assessment Reasearch Report 2. Colombo, Sri Lanka.
28- Smakhtin V.U., Revenga C., and Döll P. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. Water International 29: 307–317.
29- Smakhtin V.U., Shilpakar R.L., and Hughes D.A. 2006. Hydrology-based assessment of environmental flows: an example from Nepal. Hydrology Science Journal 51(2): 207–222.
30- Sullivan C.A., Meigh J.R., Giacomello A.M. 2003. The water poverty index: development and application at the community scale. National Resource Forum 27: 189–199.
31- Sun T., Yang Z.F., and Cui B.S. 2008. Critical environmental flows to support integrated ecological objectives for the Yellow River Estuary, China. Water Resource Management 22: 973-989.
32- Sun T., Xu J., and Yang Z.F. 2013. Environmental flow assessments in estuaries based on an integrated multi-objective method. Hydrology Earth System Science 17: 751-760.
33- Tennant D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries 1: 6–10.
34- Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Resource Application 19: 397–441.
35- Tharme R.E., and Smakhtin V.U. 2003. Environmental flow assessment in Asia: capitalizing on existing momentum. In: Proceedings of the First Southeast Asia Water Forum Chiang Mai Thailand 2: 301–313.
36- The Iranian Department of Environment 2016. Iran water quality index for surface water resources-conventional parameters (IRWQISC), https://www.doc.ir/portal/file/?696074/.
37- Van vliet M.T.H., Franssen W.H.P., Yearsley J.R., Ludwig F., Haddeland I., Lettenmaier D.P., and Kabat P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. Global Environmental Change 23: 450–464.
38- Vörösmarty C.J., McIntyre P.B., Gessner M.O., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., Glidden S., Bunn S.E., Sullivan C.A., Liermann C.R., and Davies P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, 467: 555-561.
39- Xia J., Feng H.L., Zhan C.S., and Niu G.W. 2006. Determination of a reasonable percentage for ecological water use in the Haihe River Basin, China. Pedosphere 16(1): 33–42.
40- Xia X., Yang Z., and Wu Y. 2009. Incorporating Eco-environmental Water Requirement in Integrated Evaluation of Water Quality and Quantity. A study for the Yellow River. Water resource management, 23: 1067-1079. DOI: 10.1007/s11269-008-9315-z.
41- Yang Z., Cui B., and Liu J. 2005. Estimation methods of eco-environmental water requirements: Case study. Ser D Earth Sciences, Vol.48 No.8: 1280–1292. DOI: 10.1360/02yd0495.
42- Yang Z.F., Liu J.L., Cui B., and Zhong P. 2008. Eco-environmental water demands for the Baiyangdian Wetland. Front Environ Science Engineering China, 2(1): 73-80. DOI: 10.1007/s11783-008-0015-y.
43- Zeng Z., Liu J., Koeneman P.H., Zarate E., and Hoekstra P.D.I.A. 2012. Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in Northwest China. Hydrology Earth System Science Discussion 9: 5779–5808.
44- Zeng Z., Liu J., and Savenije H.H.G. 2013. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. Ecology Indicator 34: 441–449.
45- Zhou L.I., Zhong Q.I., Xia Z.H., and Cheng Q.I. 2014. Calculation of Eco-environmental Water Demand for River Dalinghe Applied Mechanics and Materials, ISSN 1662782, 535: 276-280.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, Jul-Agu 2020, p. 565-577

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۷۷-۵۶۵

Evaluation of Water Scarcity by Determining Quantity and Quality and Environmental Flow Requirement of Zarrinehrood

B. Sarcheshmeh[1]*- J. Behmanesh[2]- V. Rezaverdinejad[3]

Received: 02-09-2019
Accepted: 19-04-2020

Introduction: Drying Urmia Lake, located in northwest of Iran, is mainly related to the reduction in rivers flowing into the lake and hydrological parameters changes. Considering the importance and critical ecological conditions of Urmia Lake, the purpose of this research is to accommodate the environmental water requirement in managing rivers leading to the lake, including Zarrinehrood as the largest river to the lake. Moreover, water scarcity was assessed by QQE approach in this basin.

Materials and Methods: Tennant method is easy, rapid, inexpensive, and is based on empirical relationships between the recommended percent of the MAF. The ecological conditions of the river have been determined for use in this method. In this study, different levels of EFR were calculated to protect the relevant levels of habitat quality defined in the Tennant method. Also the fraction of Blue Water Resources (BWR) required to protect a "good" level of habitat quality was considered as the suitable EFR. If it is less than the lower limit, the habitat quality will be in degraded status.

$EFR = \sum_{i=1}^{12} eij$, $eij = 3600 * 24 * ni * Qi * Pij$

S_{QQE} is a complete index to demonstrate water scarcity by considering water quantity and quality and EFR indicator.

$S_{QQE} = S_{Quantity}(P)|S_{Quality}$, $S_{Quantity} = \frac{BWF}{BWA} = \frac{W \times R}{(BWR - EFR)}$, $S_{Quality} = \frac{GWF}{BWR}$

$$GWF = \frac{L}{(C\max - C\ nat)}$$

The Smakhtin method provided an indicator for assessing the water scarcity.

$WSI = \frac{Withdrawels}{MAR - EWR}$

Where WSI is the index of water scarcity, MAR is the mean annual flow and EWR is the environmental water requirement of river. If the water scarcity index is more than one, the river would suffer from water shortage and not be able to meet the environmental water requirement. When the water scarcity index is between 0.6 and 1, the river would be under stress, and if it is between 0.3 and 0.6 Harvesting conditions from the river is moderate, and if it is less than 0.3 the river is ecologically safe and has no shortage.

Results and Discussion: According to the Smakhtin method, can be noticed that the calculations of this method are the same quantitative index of the other method used in this research. Only the quantitative conditions are evaluated in the Smakhtin method. However, in addition to the quantity (blue water footprint), environmental requirement and water quality are also included in the other method used in this research. Figure 1 shows the mean annual flow (MAF) and environmental flow requirement (EFR). As shown in figure 1, the majority river flow has been conducted from January to June and the rest from July to December. The annual BWR in the Nezamabad station was equal to 1208×10^6 (m^3/year). To protect the habitat health of Zarrinehrood river at a good level, 400×10^6 (m^3) of water must be left in the river per year. Therefore EFR was equivalent to 33.11% of the annual BWR. It is about one-third of total BWR.

In this station, EFR ranged from 60×10^6 (m^3/year) as severely degraded to 2400×10^6 (m^3/year) as maximum habitat health situation by using the Tennant table (Fig 2).

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor of Water Engineering Department, Urmia University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: behjat.sarcheshme@gmail.com)
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.82187

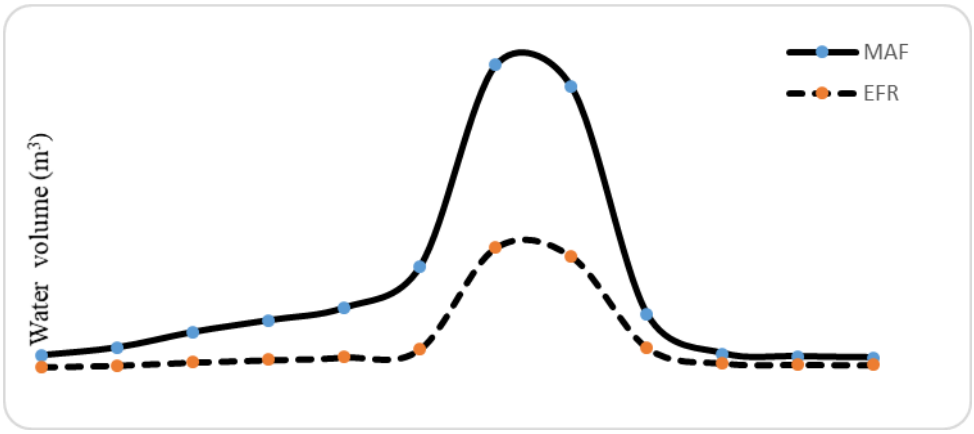


Figure 1- Environmental flow requirement (EFR) and mean annual flow (MAF) for the (Nezamabad station) Zarrinehrood river basin

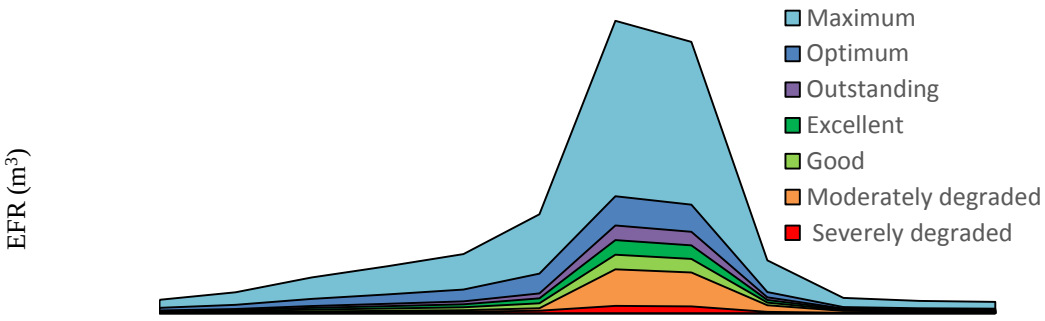


Figure 2- Different levels of total environmental flow requirement (EFR) in the (Nezamabad station) Zarrinehrood river. Habitat quality levels with the flows shown in table 3 (Tennant) have be matched

The BWF and the BWA for the studied station were calculated 830×10^6 and 808×10^6 (m^3/year), respectively. The BWF is 1.02 times the BWA. Therefore, the WSI $_{Smakhtin}$ and S $_{Quantity}$ will be 1.02.

The total GWF in this station was 1.08 times the BWR. Thus, the S $_{Quality}$ will be 1.08.

P is a demonstrator that shows the percentage of EFR in total BWR. It is related with the EFR to protect the habitat quality in a "good" level.

As you know, the number in the bracket shows that 33.11% of the total BWR of the basin is required as EFR, for maintaining the ecological habitat condition at the 'good' level. Other percentages of EFR are used to represent other ecological levels of habitat condition.

The S $_{Quantity}$ and S $_{Quality}$ for the Nezamabad station in Zarrinehrood river basin were obtained 1.02 and 1.08, respectively. Both indices are above the threshold (1.0), and the basin suffer from both qualitative and quantitative deficiencies. Thus, the final water scarcity indicator, S_{QQE}, is 1.02 (33.11%) |1.08.

Conclusion: The EFR for protecting the good ecological level is not enough in some months during a year. Water scarcity was evaluated by simultaneously considering water quantity, water quality and EFR in the Zarrinehrood river basin in Iran. Compared with the Smakhtin method as another method of water scarcity assessment, the Smakhtin Index is only quantitatively, but the S_{QQE} Index provides a comprehensive assessment of the water scarcity. The results imply that the studied region is suffering from both water quantity, water quality problems. The water pollution has a big role in causing the water scarcity in the river basin. This shows that only aiming on reducing water consumption cannot help impressive reduce the water scarcity. It is necessary to pay attention to reduce water pollution and water conservation. Even in the areas that the hydrological and ecological data are rare, the QQE approach as a holistic method could be used.

Keywords: Environmental flow requirement, Water quality, Water footprint, Water scarcity, Zarrinehrood