نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۲۳۱-۱۲۱۹

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1219-1231

ارزیابی حداقل جریان زیست محیطی رودخانه‌ها با روش‌های اکو- هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه باراندوزچای- حوضه دریاچه ارومیه)

سمیه مصطفوی[۱] - مهدی یاسی[۲*]

تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۳

چکیده

طرح‌های توسعه منابع آب (نظیر احداث سدها) دارای اثرات زیست محیطی متعددی می‌باشد، که تغییر رژیم طبیعی رودخانه و کاهش جریان سطحی پایین‌دست از مهم‌ترین آن است. هدف اصلی از تحقیق حاضر، برآورد جریان زیست محیطی رودخانه باراندوزچای، ارومیه، از پنج روش هیدرولوژیکی (۱- تنانت، ۲- تسمن، ۳- تحلیل منحنی تداوم جریان، ۴- تغییر منحنی تداوم جریان، ۵- مدل ذخیره رومیزی) بوده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برای حفظ رودخانه باراندوزچای در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست محیطی C)، شدت جریان ۱/۹ متر مکعب بر ثانیه (معادل ۲۶ درصد متوسط جریان سالانه) به‌طور متوسط در طول رودخانه تا دریاچه ارومیه، باید برقرار گردد.

واژه‌های کلیدی: جریان زیست محیطی، روش‌های اکو- هیدرولوژیکی، رودخانه باراندوز، دریاچه ارومیه

مقدمه

رودخانه‌ها در اغلب نقاط جهان در اثر ساخت سدها و سرریزها و افزایش استحصال آب برای مصارف کشاورزی و شهری و... دستخوش تغییر شده‌اند. بر اساس برآورد کمیته جهانی سدها، احداث سدها، انتقال آب بین حوضه‌ای و استحصال آب برای کشاورزی، ۶۰ درصد رودخانه‌های جهان را در معرض تهدید قرار داده است. این مداخلات منجر به بروز اثرات چشمگیری از جمله کاهش کل جریان رودخانه و تحت تأثیر قرار دادن تغییرات فصلی جریان و نیز اندازه و تناوب سیلاب‌ها می‌شود. در بسیاری از موارد این تغییرات می‌تواند اثرات منفی روی خدمات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی فراهم‌شده به‌وسیله اکوسیستم‌ها داشته باشد که به‌نوبه خود میزان آسیب‌پذیری مردم وابسته به این خدمات را افزایش می‌دهد. واضح است که تغییرات انجام شده در جریان رودخانه، لازم است با حفاظت از خدمات اکولوژیکی ضروری وابسته به آب متوازن شود. جریان‌های مورد نیاز برای حفاظت از این خدمات "جریان‌های زیست محیطی" نامیده شده و فرآیند تعیین این جریانات "ارزیابی جریان زیست محیطی" نامیده می‌شود. تعیین و تخصیص جریان زیست محیطی، مؤثرترین نگرش برای جلوگیری از اثرات تنظیم جریان رودخانه‌ها است (۱۴).

مطالعه شرایط کیفی آب از این جهت مهم است که هر گونه تغییری در پارامترهای کیفی آب باعث اختلال گونه‌های گیاهی و جانوری می‌شود. کمبود برخی از گونه‌های ماکروفیت‌ها که برای بی‌مهرگان و ماهی‌ها غذا و پناهگاه تأمین می‌کنند، باعث از بین رفتن گونه‌های بالاتر در زنجیره غذایی می‌شود. در حالت کلی حفظ کیفیت آب باید با نگرش کنترل آلاینده‌ها در مبدأ با توجه به توان خودپالایی رودخانه‌ها و تالاب‌ها صورت گیرد. هدف اصلی از تأمین جریان آب مورد نیاز اکوسیستم‌ها، تأمین یکسری اهداف هیدرو- اکولوژی است و نه رفع مشکل کیفیت آب. به‌عنوان مثال جریانی که برای بهبود کیفیت آب رودخانه از طریق سیاست ترقیق رهاسازی شود جریان زیست محیطی نیست. در فرایند تعیین نیاز زیست محیطی ابتدا با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی اکوسیستم نیاز آبی به لحاظ کمی تعیین شده و کنترل کیفیت آب انجام می‌گیرد. بدین منظور می‌توان پس از تعیین رژیم جریان زیست محیطی، وضعیت کیفیت آب رودخانه و اکوسیستم‌های وابسته را در ازای آن شبیه‌سازی نموده و با استانداردهای کیفیت آب مقایسه نمود. سپس درصورتی‌که جریان آب تخصیص داده شده، برای تأمین الزامات کیفی کافی نباشد، رژیم جریان زیست محیطی پیشنهادی باید مجددا مورد بازنگری قرار

۱ - دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه
۲ - استاد گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران و دانشیار مهندسی رودخانه گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه
(* نویسنده مسئول: (Email: m_yasi@yahoo.com

گیرد. به‌عنوان مثال در شرایطی که یک رودخانه در حالت طبیعی شوری بالایی دارد و جریان‌های حداقل پیشنهادی منجر به افزایش شوری تا حد بحرانی و غیرقابل قبول شود، افزایش جریان زیست محیطی می‌تواند مدنظر قرار گیرد (۱۰).

روش‌های متعددی برای تعیین جریان‌های زیست محیطی وجود دارد. اکثریت این روش‌ها را می‌توان در چهار گروه مجزا به نام روش هیدرولوژیکی، روش درجه‌بندی هیدرولیکی، روش شبیه‌سازی (درجه-بندی) زیستگاه و روش جامع طبقه‌بندی کرد (۱۷). این روش‌ها به‌طور معنی‌داری از نظر اهداف، اطلاعات ورودی مورد نیاز و دقت نتایج خروجی با یکدیگر متفاوتند. روش‌های مختلف برای اهداف مختلف شامل برنامه‌ریزی جامع منابع آب تا زمان‌بندی تفصیلی مدیریت رهاسازی از سدها مورد نظر قرار می‌گیرند (۱۱). تصمیم برای انتخاب روش مناسب بستگی به: نوع رودخانه (دائمی، فصلی، جریان پایه بالا، سیلابی)؛ اهمیت زیست محیطی سامانه رودخانه؛ پیچیدگی تصمیم-گیری؛ هزینه‌های زیاد و دشواری جمع‌آوری مقادیر زیاد اطلاعات؛ تأثیرات توسعه طرح‌های منابع آبی در سامانه رودخانه دارد. روش‌های ارزیابی جریان زیست محیطی عموما در کشورهای توسعه یافته طراحی و یا بکار برده شده‌اند. شکاف آشکاری از نظر دانش و تجربه جریان‌های زیست محیطی در رویکردهای فعلی مدیریت منابع آبی، تقریبا در تمام کشورهای در حال توسعه به‌چشم می‌خورد (۲). قوانین زیست محیطی ملی و بین‌المللی هنوز بندرت جریان‌های زیست محیطی را مدنظر قرار می‌دهند. فقط تعدادی کشورها از قبیل استرالیا، افریقای جنوبی و انگلستان این مفهوم را به‌طور کامل در مدیریت منابع آب گنجانده‌اند (۱۲).

هیوز و هنارت برای ارزیابی‌های اولیه نیازهای جریان زیست محیطی رودخانه‌ها در افریقای جنوبی، یک روش رومیزی بنام "مدل ذخیره رومیزی" را توسعه دادند. کاربر یک شاخص هیدرولوژیکی را (یعنی ضریب تغییرپذیری جریان‌ها تقسیم بر نسبت جریان کل که جریان پایه می‌باشد) با استفاده از داده‌های جریان رودخانه در محل محاسبه می‌کند. سپس، منحنی‌هایی برای تعریف درصدی از حجم میانگین آورد سالانه که برای مؤلفه‌های مختلف (کم‌آبی‌ها و سیلاب‌ها) رژیم جریان زیست محیطی مورد نیاز است، بکار گرفته می‌شوند (۴).

کاشایگلی و همکاران (۵) با مطالعه حوضه آبریز رودخانه روحای بزرگ[1] در تانزانیا از مدل ذخیره رومیزی برای ارزیابی جریان زیست محیطی این حوضه استفاده کردند. آن‌ها بر اساس نتایج حاصل از مدل، ۲۲ درصد میانگین آورد سالانه را به‌عنوان حداقل جریان زیست محیطی پیشنهاد دادند (۵).

سیما (۱۰) با ارزیابی آب زیست محیطی منابع سطحی کشور با استفاده از روش اسمختین[2]، وضعیت بهره‌برداری در برخی از رودخانه‌های شاخص حوضه‌های شمال غرب، مرکز، غرب و جنوب کشور را به دست آورد، و با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته نتیجه‌گیری کرد که نیاز آب زیست محیطی به دست آمده از روش اسمختین حدودا بر Q_{80} منطبق می‌باشد. همچنین عنوان کرد حوضه مرکزی، در بین حوضه‌های مورد مطالعه به لحاظ بهره‌برداری، شرایط بحرانی‌تری را نسبت به بقیه حوضه‌ها دارد که این امر ضرورت توجه خاص در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و انجام مطالعات زیست محیطی دقیق‌تر روی این حوضه را نشان می‌دهد (۱۰).

شکوهی و بهروزنیا (۹)، در مطالعه‌ای برای تعیین حداقل نیاز زیست محیطی رودخانه‌ها دو روش هیدرولیکی را با یک روش هیدرولوژیکی متداول در ایران بنام روش تنانت[3] (مونتانا) مقایسه کرده‌اند. در این مطالعه نشان داده شده است که استفاده از روش مونتانا می‌تواند انتخابی نامناسب برای تعیین جریان حداقل برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه‌ها باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق از میان دو روش هیدرولیکی شیب منحنی و حداکثر انحنای منحنی، روش دوم نتایج بهتری را به دست می‌دهد. روش شیب منحنی برای حداقل دبی زیست محیطی مقادیری را توصیه می‌کند که بسیار بزرگتر از دبی متوسط رودخانه می‌باشد که می‌تواند در مناطق دارای بحران آب سؤال برانگیز باشد (۹).

مازویماوی و همکاران (۶)، در مطالعه‌ای برای ارزیابی نیاز جریان زیست محیطی جهت برنامه‌ریزی حوضه رودخانه در زیمباوه از روش مدل ذخیره رومیزی استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌منظور حفظ زیستگاه در شرایط نسبتا اصلاح‌شده، نیاز آب زیست محیطی باید بین ۳۰ تا ۶۰ درصد متوسط جریان سالانه[4] در نواحی با رودخانه‌های دائمی و ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه در نواحی خشک (با رودخانه‌هایی که فقط در طی فصل تر جریان دارند) باشد. این نتایج مشابه با نتایج تنانت و ماگان برای برخی حوضه‌های ایالات متحده امریکا بود (۶، ۷ و ۱۵).

شناسایی عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر زیست محیطی ضروری است تا بتوان با پیش‌بینی و ارزیابی عملکرد آن‌ها، با درنظرگرفتن سیاست‌ها و قوانین و مقررات، کنترل حفاظت محیط زیست را انجام داد که تأثیر قطعی و تعیین کننده‌ای بر روی تصمیم‌گیری‌ها، طراحی و نیز چگونگی بهره‌برداری از سدها، خواهد گذارد. در میان اثرات مختلفی که احداث سدهای مخزنی می‌تواند بر روی بخش‌های گوناگون محیط زیست بگذارد اثرات آن بر پایین‌دست سد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجائی که آب‌های باراندوزچای در خاتمه مسیر خود به دریاچه ارومیه منتهی می‌گردد، بخش عمده‌ای از

1- Great Ruaha

2-Smakhtin

3- Tennant

4- Mean Annual Runoff (MAR)

تغییرات حاصل از احداث سد مخزنی، بر ویژگی‌های زیست محیطی این دریاچه اثر خواهد گذارد. تغییراتی نظیر کاهش بیش از چند میلیون متر مکعب آب در سال و ورود زهاب‌های کشاورزی همراه با بقایای سموم و کودهای مصرفی به آب‌های دریاچه ارومیه، اثرات اکولوژیک کم و بیش قابل توجهی را به بار خواهد آورد که شناخت زوایای آن، به مطالعات دقیق و گسترده اکولوژیک نیاز خواهد داشت. در همین چارچوب، به‌منظور شناخت آلودگی‌های ناشی از احداث سد در پایین‌دست و روند آن و نیز اثرات آن بر اکوسیستم دریاچه ارومیه نیاز به اندازه‌گیرهای عناصر در مقاطع زمانی خاص دارد که پس از احداث سد باید به‌طور برنامه‌ای صورت گیرد (۱۰).

هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی کاربرد پنج روش اکو- هیدرولوژیکی برای تعیین حداقل جریان زیست محیطی رودخانه باراندوزچای، در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. با توجه به احداث سد باراندوزچای و شرایط بحرانی دریاچه ارومیه، برآورد جریان زیست محیطی رودخانه‌ها به سمت دریاچه ارومیه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه طرح شامل حوضه آبریز باراندوزچای می‌باشد. حوضه آبریز باراندوزچای از ارتفاعات مرزی بین ایران و ترکیه در جنوب غربی ارومیه سرچشمه گرفته و در منطقه عمومی جنوب غرب تا جنوب ارومیه واقع است. باراندوزچای پس از طی مسیر در جهت جنوب غرب به شمال شرق، در جنوب شرق ارومیه به دریاچه ارومیه می‌ریزد. (شکل ۱).

رودخانه باراندوزچای با حدود ۴۰ کیلومتر طول دارای چهار ایستگاه هیدرومتری دیزج، قاسملو، بابارود و بی‌بکران می‌باشد. برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی در رودخانه باراندوزچای، از داده‌های جریان ماهانه ایستگاه هیدرومتری هاشم آباد (بی بکران)، استفاده شده است. ایستگاه هاشم آباد در بالادست رودخانه و سد باراندوز قرار داشته، و ایستگاه شاخص در برآورد پتانسیل طبیعی جریان رودخانه باراندوز به‌حساب می‌آید. ارتفاع ایستگاه ۱۷۵۰ متر از سطح دریای آزاد، در موقعیت جغرافیایی '۵۴ °۴۴ طول شرقی و '۱۷ °۳۷ عرض شمالی است. دوره آماری مورد استفاده در این تحقیق ۳۰ ساله (۸۹-۱۳۶۰) می‌باشد (۱). متوسط جریان سالانه رودخانه باراندوزچای در ایستگاه بی‌بکران ۷/۳۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. متوسط جریان در ماه‌های مختلف سال به صورت جدول ۱ می‌باشد.

روش‌های تعیین جریان زیست محیطی

بیش از ۲۰۷ روش برای ارزیابی جریان زیست محیطی رودخانه‌ها موجود می‌باشد، در این تحقیق با توجه به هزینه، وقت و اطلاعات موجود، برای تعیین شدت جریان زیست محیطی رودخانه باراندوزچای از پنج روش هیدرولوژیکی (۱- تنانت، ۲- تسمن[1]، ۳- روش تحلیل منحنی تداوم جریان[2]، ۴- روش تغییر منحنی تداوم جریان[3]، ۵- روش مدل ذخیره رومیزی)[4]، استفاده شده است.

روش تنانت: تنانت درصدهای مختلفی از متوسط جریان سالانه را به‌عنوان جریان زیست محیطی پیشنهاد می‌کند (جدول ۲). سطح مورد نظر «قابل قبول» از این روش با توجه به دستورالعمل ابلاغ شده از طرف وزارت نیرو معادل ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه برای April تا September (نیمه فروردین تا شهریور) و ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای October تا March (مهر تا نیمه فروردین) می‌باشد. منطق بکار رفته در انتخاب بازه زمانی ۶ ماهه، دو دوره کم-آبی و پرآبی می‌باشد (۱۵).

روش تسمن: تسمن در سال ۱۹۸۰ با اقتباس از پیشنهادات فصلی روش تنانت، از ترکیبی از متوسط جریان ماهانه[5] و متوسط جریان سالانه برای تعیین حداقل جریان ماهانه مورد نیاز استفاده کرد، این مراحل بصورت فلوچارتی در شکل ۲ ارائه شده است (۱۶).

روش تحلیل منحنی تداوم جریان: یکی از خصوصیات مربوط به جریان آب در ارزیابی نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر زیست محیطی، منحنی تداوم جریان است. منحنی تداوم جریان یکی از مفیدترین روش‌های نمایش محدوده کامل دبی‌های رودخانه از رخدادهای کم‌آبی تا سیلابی می‌باشد. منحنی تداوم جریان رابطه بین مقدار و فراوانی جریان را نشان می‌دهد.

شاخص‌های جریان کم‌آبی مختلفی از FDCها مورد استفاده قرار می‌گیرند. جریان‌های Q_{90} و Q_{95} شاخص‌هایی هستند که اکثر مواقع به‌عنوان شاخص‌های جریان کم‌آبی بکار می‌روند (۸).

روش تغییر منحنی تداوم جریان: اسمختین و آنپوتاس (۱۳) به منظور ارزیابی جریان زیست محیطی در سامانه رودخانه از این روش استفاده کردند. این روش که یک رژیم هیدرولوژیکی برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژی مطلوب ارائه می‌دهد اصطلاحا "انتقال منحنی تداوم جریان" نامیده می‌شود (شکل ۳). این روش برای چهار کلاس مختلف مدیریتی رودخانه از A تا D (شکل ۳) جریان‌های مختلفی را ارائه می‌کند (۱۳). مشخصات برخی از کلاس های مدیریتی رودخانه در جدول ۳ ارائه شده است. در این روش چهار مرحله اصلی وجود دارد که عبارتند از: ۱- شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود. ۲- تعریف کلاس‌های مدیریت زیست محیطی.

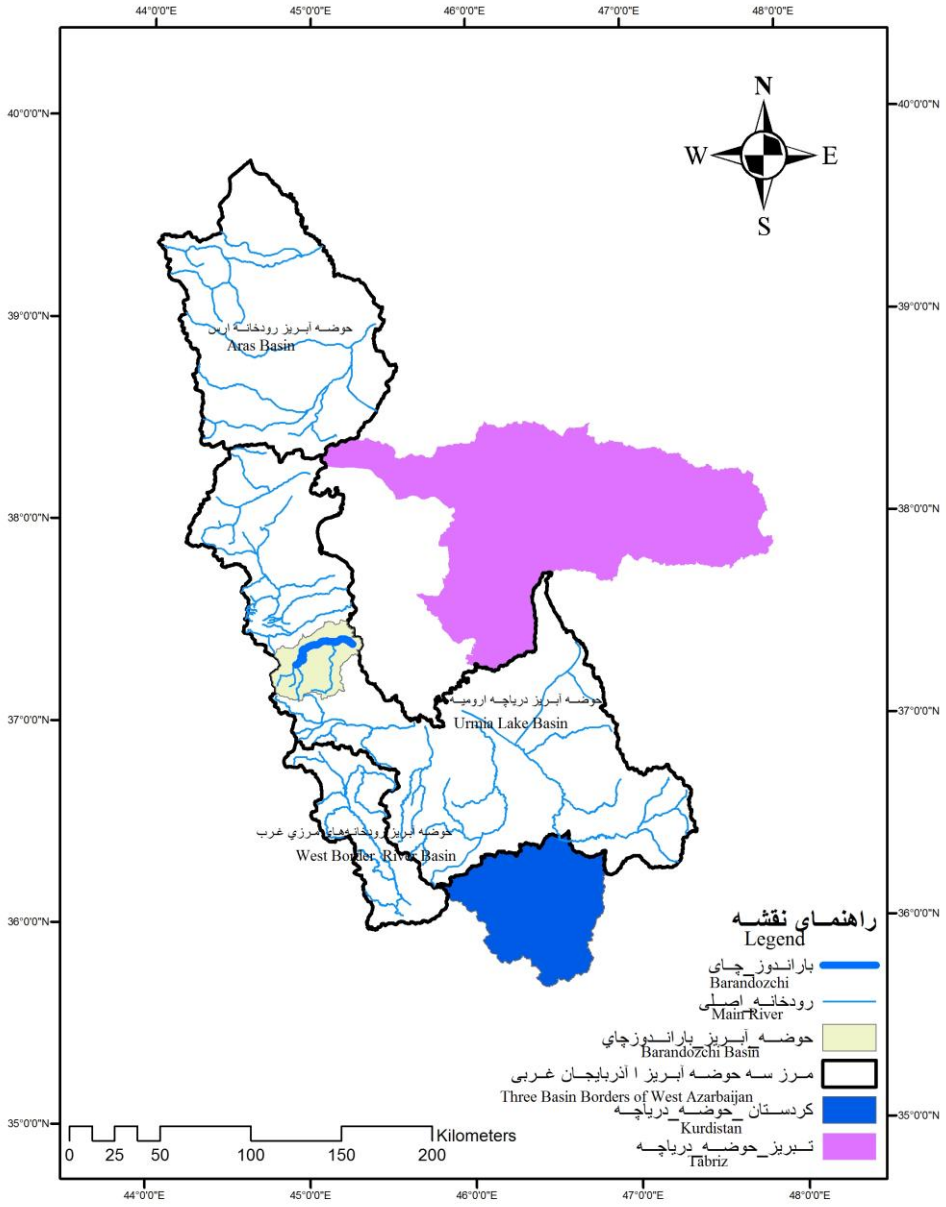
1- Tessman
2- Flow Duration Curve Analysis
3- Flow Duration Curve Shifting (FDC shifting)
4- Desktop Reserve Model (DRM)
5- Mean Monthly Flow (MMF)

۳- تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست محیطی. ۴- تولید سری زمانی جریان زیست محیطی ماهانه.

جدول ۱- مشخصات آماری دبی سالانه و ماهانه ایستگاه هیدرومتری بی‌بکران

Table 1- Annual and monthly flow of Bi-bakran's hydrometric station

	مهر Oct. Sept	آبان Nov. Oct	آذر Dec. Nov	دی Jan. Dec	بهمن Feb. Jan	اسفند March. Feb	فروردین April. March	اردیبهشت May. April	خرداد June. May	تیر July. June	مرداد Aug. July	شهریور Sept. Aug	سالانه Annual
دبی متوسط Average rate (m^3/s)	2.23	4.34	3.95	3.32	3.28	5.17	12.14	22.81	17.5	8.24	3.08	1.93	7.33



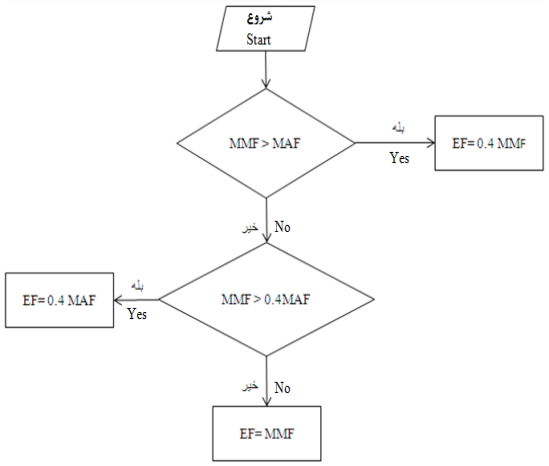
شکل ۱- موقعیت رودخانه باراندوزچای

Figure 1- Location of the Barandozchi River

جدول ۲- جریان زیست محیطی محاسبه شده برای ماهیان، حیات وحش و مقاصد تفریحی

Table 2- Evaluation of environmental flows for fish, wildlife and entertainment purposes

دسته‌بندی جریان Description of flows	جریان زیست محیطی پیشنهادی تنانت *Tennant* proposed environmental flows (% MAR)	
	مهر- اسفند October- March	فروردین- شهریور April- September
شستشوی سریع یاحداکثر Flushing or maximum	200	200
محدوده بهینه Optimum range	60 -100	60 -100
بسیار عالی Outstanding	40	60
عالی Excellent	30	50
خوب Good	20	40
قابل قبول Fair or degrading	10	30
ضعیف Poor or minimum	10	10
بسیار ضعیف Severe degradation	< 10	< 10



شکل ۲- روندنما تعیین جریان زیست محیطی به روش تسمن

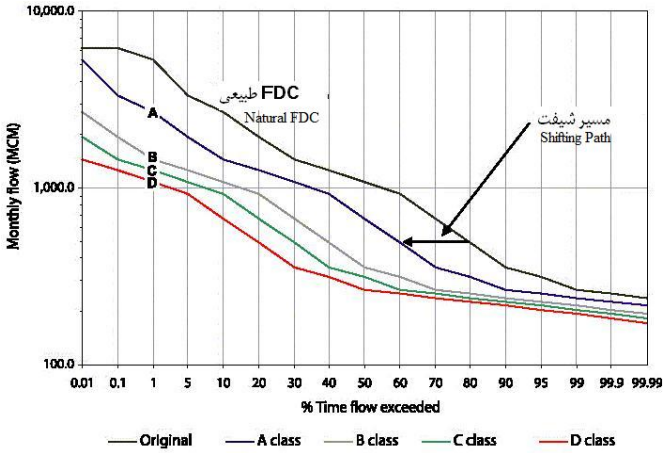
Figure 2- Tessman flowchart for the evaluation of environmental flows

مدل ذخیره رومیزی: این روش توسط هیوز و هنارت (۴) برای ارزیابی نیاز آب زیست محیطی رودخانه‌ها ارائه شد. مدل ذخیره رومیزی 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 افریقای جنوبی توسعه یافته است (۴).

تغییرپذیری جریان نقش مهمی در تعیین نیاز زیست محیطی ایفا می‌کند. در مدل ذخیره رومیزی دو مقیاس تغییرپذیری هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد: ۱- شاخص ضریب تغییرات، ۲- شاخص جریان پایه. فرض اصلی در مدل ذخیره رومیزی این است که رودخانه‌هایی با رژیم جریان پایدارتر نیازهای جریان کم‌آبی بیشتری در سال‌های نرمال دارند و رودخانه‌هایی با رژیم جریان متغیرتر نیازهای جریان کم‌آبی کمتری دارند (۳).

با توجه به اینکه مدل ذخیره رومیزی، در محاسبات نیاز به داده-های کمی دارد، علاوه بر شرایط هیدرولوژیکی، شرایط اکولوژیکی را هم در نظر می‌گیرد، محاسبات را سریع انجام می‌دهد؛ از این‌رو با انتخاب کلاس مدیریت زیستی نوع C در مدل ذخیره رومیزی (با هدف حفاظت پایدار از تنوع زیستی، با وجود طرح‌های توسعه منابع

آب در سامانه رودخانه)، بده جریان زیست محیطی بـه‌دسـت آمـده از این روش پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۳- برآورد منحنی تداوم جریان زیست محیطی برای کلاس‌های مدیریت زیست محیطی از طریق شیفت عرضی

Figure 3- Duration curves of environmental flows for different environmental management classes by lateral shifting

جدول ۳- منتخبی از کلاس‌های مدیریت زیست محیطی رودخانه ها

Table 3- Selected environmental management classes of rivers

کلاس‌های مدیریت زیست محیطی Environmental Management Classes	شرایط اکولوژیکی Ecological Condition	دیدگاه مدیریتی Management Perspective
B اندک تغییریافته Slightly Modified	رودخانه های با اهمیت اکولوژیکی و تنوع زیستی، حتی با وجود طرح های توسعه منابع آبی در حوضه. Ecologically important rivers with largely intact biodiversity despite water resources development.	طرح‌های تأمین آب یا توسعه شبکه آبیاری انجام شده، و یا اجرای آنها از نظر زیست محیطی مجاز اشت. Water supply schemes or irrigation development present and/or allowed
نسبتا تغییریافته Moderatly Modified	زیستگاه آبزیان مختل شده، ولی کارکرد اکوسیستم هنوز برجاست. برخی گونه‌های حساس از بین رفته، یا تا حدی کاهش یافته‌اند. گونه های مهاجم توسعه یافته اند. The habitats and dynamics of the biota have been disturbed, but basic ecosystem functions are still intact; some sensitive species are lost and/or reduced in extent; alien species present	اختلالات زیادی در اثر ساخت سازه های آبی، کاهش کیفیت آب و تغییر زیستگاه، برای نیاز به توسعه اقتصادی- اجتماعی ایجاد شده است. Multiple disturbances (e.g., dams, diversions, habitat modification, and reduced water quality) associated with the need for socioeconomic development
D تاحد زیادی تغییریافته Highly Modified	تغییرات زیاد در کارکرد حداقلی زیستگاه. کاهش فراوانی گونه‌ها و بخصوص گونه‌های غیرمقاوم (حساس)، افزایش گونه‌های مهاجم. Large changes in basic ecosystem functions, species richness is low, lowered presence of intolerant species, and alien species prevail.	اختلالات اساسی در اثر ساخت سازه های آبی، انتقال آب، کاهش کیفیت آب و تغییر زیستگاه، در اثر ی توسعه منابع آب و حوضه. Significant disturbances (e.g., dams, transfers, habitat modification, and water quail degradation) associated with basin and water resources development.

نتایج و بحث

روش تنانت: تنانت درصدهای مختلفی از متوسط جریان سالانه را به‌عنوان جریان زیست محیطی پیشنهاد می‌کند. نتایج حاصـل از ایـن پیشنهادات برای رودخانه باراندوزچای در جـداول ۴ و ۵ ارائـه شـده است.

روش تسمن: نتایج محاسبه جریان زیست محیطی از این روش برای رودخانه باراندوزچای در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول، MMF و MAR به ترتیب متوسط جریان ماهانـه و متوسـط جریـان سالانه است.

روش تحلیل منحنی تداوم جریان: جریان‌های بـا احتمـال تجاوز ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵، ۹۰ و ۹۵ درصد در جدول ۶ ارائه شده اسـت. جدول ۷ جریان‌های Q_{50}، Q_{90} و Q_{95} به دست آمده برای مـاه‌هـای مهر تا شهریور رودخانه باراندوزچای را نشان می‌دهد.

جدول ۴- جریان زیست محیطی رودخانه باراندوزچای

Table 4- Evaluation of environmental flows, Barandozchi River

شرح جریان Description of flows	روش تنانت *Tennant* method (% AAF)		جریان پیشنهادی Proposed flows (m^3/s)	
	مهر- اسفند October- March	فروردین- شهریور April- September	مهر- اسفند October- March	فروردین- شهریور April- September
شستشوی سریع Flushing	200	200	14.72	14.72
محدوده بهینه Optimum range	60 -100	60 -100	4.42 – 7.36	4.42 -7.36
بسیار عالی Outstanding	40	60	2.94	4.42
عالی Excellent	30	50	2.21	3.68
خوب Good	20	40	1.47	2.94
قابل قبول Fair or degrading	10	30	0.74	2.21
ضعیف Poor or minimum	10	10	0.74	0.74
بسیار ضعیف Severe degradation	< 10	< 10	< 0.74	< 0.74

روش تغییر منحنی تداوم جریان: برای محاسبه نیاز آب زیست محیطی از روش تغییر منحنی تداوم جریان از اولین نسخه نرم‌افزار GEFC(۱۳) استفاده شد. داده‌های مورد نیاز ورودی به این نرم‌افزار داده‌های بلند مدت (حداقل ۲۰ سال) جریان ماهانه می‌باشد. نتایج حاصل از این روش در جداول ۸ و ۹ ارائه شده است. مهم‌ترین مسئله در این روش استفاده مناسب از شیفت‌های عرضی در هر کلاس مدیریت زیست محیطی می‌باشد. تعیین تعداد شیفت‌های عرضی منحنی تداوم جریان در هر کلاس، بدون آگاهی از ارتباط بین مشخصات اکولوژیکی و تغییرات جریان در رودخانه‌ها با رژیم‌های هیدرولوژیکی مختلف، بسیار مشکل می‌باشد. بنابراین با توجه به فقدان این اطلاعات، در این تحقیق از حداقل شیفت عرضی ممکن در هر کلاس (یک شیفت عرضی) استفاده شد.

مدل ذخیره رومیزی: برای محاسبه نیاز آب زیست محیطی از مدل ذخیره رومیزی استفاده شد. داده‌های مورد نیاز ورودی به این نرم‌افزار داده‌های طبیعی جریان ماهانه می‌باشد. این روش برای کلاس‌های مختلف اکولوژیکی جریان‌های مختلفی را ارائه می‌کند، و نتایج حاصل از این روش برای هفت کلاس اکولوژیکی A تا D برای رودخانه باراندوزچای در جدول ۱۰ ارائه شده است.

در این تحقیق، کلاس C به‌عنوان وضعیت اکولوژیکی مطلوب برای رودخانه باراندوزچای انتخاب شد. نتایج حاصل از این روش برای کلاس اکولوژیکی C، برای رودخانه باراندوزچای در جدول ۱۱ ارائه شده است. بنابراین براساس این روش جریان زیست محیطی رودخانه باراندوزچای برابر است با: سالانه جریان ۶۰/۸۶ میلیون متر مکعب (۱/۹۳ متر مکعب بر ثانیه) معادل با ۲۶ درصد متوسط جریان سالانه.

ارزیابی جریان زیست محیطی سد باراندوزچای

جدول ۱۲ نشان می‌دهد که، میزان جریان گزارش زیست محیطی سد باراندوزچای با میزان پیشنهادی روش اکو- هیدرولوژیکی DRM در کلاس C مطابقت نداشته و کمتر است. برآورد مشاور طرح سد از درجه اطمینان کمتری برخوردار بوده، و در آینده منجر به بروز مشکلات زیست محیطی در رودخانه باراندوزچای و آب پذیرنده آن (دریاچه ارومیه) می‌شود. در حال حاضر بر اساس دستورالعمل ستاد احیای دریاچه ارومیه، احداث سد باراندوز متوقف شده است. تجدیدنظر در تخصیص آب برای مصارف مختلف و افزایش سهم جریان زیست محیطی برای احیای دریاچه ارومیه، در دستور کار قرار گرفته است.

جدول ۵- توزیع ماهانه جریان زیست محیطی رودخانه باراندوزچای با استفاده از روش تنانت و تسمن

Table 5- Evaluation of monthly environmental flows from Tennant and Tessman methods, Barandozchi River

ماه Month	MMF (m^3/s)	0.4 MMF (m^3/s)	MAR (m^3/s)	0.4 MAR (m^3/s)	$Q_{Tennant}$ (m^3/s)	$Q_{Tessman}$ (m^3/s)
October- September مهر	2.23	0.82	7.33	2.93	0.73	2.23
November- October آبان	4.34	1.74	7.33	2.93	0.73	2.93
December- November آذر	3.95	1.58	7.33	2.93	0.73	2.93
January- December دی	3.32	1.33	7.33	2.93	0.73	2.93
February- January بهمن	3.28	1.31	7.33	2.93	0.73	2.93
March- February اسفند	5.17	2.07	7.33	2.93	0.73	2.93
April- March فروردین	12.14	4.86	7.33	2.93	2.20	4.86
May- April اردیبهشت	2.81	9.12	7.33	2.93	2.20	9.12
June- May خرداد	17.50	7.00	7.33	2.93	2.20	7.00
July- June تیر	8.24	3.30	7.33	2.93	2.20	3.30
August- July مرداد	3.08	1.23	7.33	2.93	2.20	2.93
September- August شهریور	1.93	0.77	7.33	2.93	2.20	1.93

جدول ۶- شاخص‌های منحنی تداوم جریان سالانه

Table 6- Annual flow duration curve indices

رودخانه River	شاخص‌های منحنی تداوم جریان Flow duration curve indices (m^3/s)					
	Q_{95}	Q_{90}	Q_{85}	Q_{80}	Q_{75}	Q_{70}
باراندوزچای Barandozchi	1.44	1.70	1.93	2.18	2.51	2.76

جدول ۷- شاخص‌های منحنی تداوم جریان ماهانه

Table 7- Monthly flow duration curve indices

ماه Month	MMF (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{90} (m^3/s)	Q_{95} (m^3/s)
October- September مهر	2.23	2.14	1.30	0.61
November- October آبان	4.34	3.63	1.70	1.57
December- November آذر	3.95	3.52	2.08	1.81
January- December دی	3.32	2.82	2.16	1.89
February- January بهمن	3.28	3.04	1.97	1.92
March- February اسفند	5.17	4.47	3.01	2.79
April- March فروردین	12.14	10.11	7.96	6.62
May- April اردیبهشت	2.81	20.68	10.15	8.49
June- May خرداد	17.50	16.04	5.35	4.34
July- June تیر	8.24	6.67	1.80	1.52
August- July مرداد	3.08	2.42	1.23	0.76
September- August شهریور	1.93	1.67	1.17	0.70
Average میانگین	7.33	6.43	3.32	2.75

جدول ۸- نیاز زیست محیطی رودخانه باراندوزچای در روش تغییر منحنی تداوم جریان (درصدی از متوسط جریان سالانه)

Table 8- Environmental flows of Barandozchi River by FDC shifting method as a percentage of MAR

رودخانه River	متوسط جریان سالانه MAR (m^3/s)	نیاز آب زیست محیطی بلند مدت EWR (% MAR)					
باراندوزچای Barandozchi River	7.33	F 15.9	E 21.1	D 28.1	C 38.1	B 52.8	A 73.9

جدول ۹- توزیع ماهانه جریان زیست محیطی از روش تغییر منحنی تداوم جریان در کلاس مدیریتی C

Table 9- Evaluation of monthly environmental flows from FDC shifting method, Management class c

ماه Month	MMF (m^3/s)	EWR (m^3/s)
October- September مهر	2.23	0.93
November- October آبان	4.34	1.94
December- November آذر	3.95	1.98
January- December دی	3.32	1.70
February- January بهمن	3.28	1.71
March- February اسفند	5.17	2.52
April- March فروردین	12.14	3.99
May- April اردیبهشت	2.81	7.35
June- May خرداد	17.50	5.48
July- June تیر	8.24	3.11
August- July مرداد	3.08	1.31
September- August شهریور	1.93	0.58
Average میانگین	7.33	2.72

جدول ۱۰- نیاز زیست محیطی رودخانه باراندوزچای از روش DRM (درصدی از متوسط جریان سالانه)

Table 10- Environmental flows in Barandozchi River by DRM as a percentage of MAR

رودخانه River	متوسط جریان سالانه MAR (m^3/s)	نیاز زیست محیطی EWR (% MAR)						
باراندوزچای Barandozchi River	7.33	D 16.26	C.D 20.94	C 25.71	B.C 33.54	B 41.2	A.B 52.6	A 65.32

بنابراین، ارزش و اهمیت حفاظت از زیست بوم رودخانه باراندوز و آب پذیرنده آن (دریاچه ارومیه)، و ضرورت برآورد کامل‌تری از توزیع ماهانه جریان زیست محیطی براساس داده‌های موجود، مورد توافق حکمرانان منطقه و ملی است.

نتیجه‌گیری کلی

اکثر روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در این تحقیق، در تحلیل‌های خود نیاز به داده‌های ماهانه دارند که به‌راحتی در ایران در دسترس می‌باشند. بنابراین در اکثر رودخانه‌های ایران می‌توان از این روش‌ها استفاده کرد.

روش تنانت فقط بر روی متوسط جریان سالانه تکیه دارد. رودخانه‌هایی که دچار زوال و افت زیست محیطی شده‌اند، از متوسط جریان سالانه قابل قبولی برخوردار نبوده و قادر به نگهداری زیستگاه طبیعی خود نیستند. در این شرایط، استفاده از روش تنانت در پروژه‌های احیا و بازگردانی توصیه نمی‌شود.

روش تسمن برگرفته از روش تنانت بوده و با مقایسه جریان ماهانه موجود با متوسط جریان سالانه، حداقل نیاز آبی زیست محیطی مورد نیاز را در ماه‌های مختلف پیشنهاد می‌کند. با توجه به جدول ۵ به‌طور متوسط می‌توان گفت این روش، جریان ۳/۸۴ متر مکعب بر ثانیه (۵۲ درصد متوسط جریان سالانه) را برای رودخانه باراندوزچای به‌عنوان نیاز زیست محیطی پیشنهاد می‌کند که منطقی نیست.

جدول ۱۱- توزیع ماهانه جریان زیست محیطی از روش DRM در کلاس مدیریتی C

Table 11- Evaluation of monthly environmental flows from DRM, Management class c

ماه Month	جریان متوسط ماهیانه MMF (m^3/s)	نیاز زیست محیطی EWR (m^3/s)
October- September مهر	2.23	0.89
November- October آبان	4.34	1.03
December- November آذر	3.95	1.04
January- December دی	3.32	1.03
February- January بهمن	3.28	1.05
March- February اسفند	5.17	1.57
April- March فروردین	12.14	2.90
May- April اردیبهشت	2.81	5.73
June- May خرداد	17.50	2.87
July- June تیر	8.24	2.84
August- July مرداد	3.08	1.26
September- August شهریور	1.93	0.92
Average میانگین	7.33	1.93

جدول ۱۲- مقایسه جریان زیست محیطی سد باراندوزچای با نتایج به دست آمده از روش DRM

Table 12- Comparison of environmental flows of Barandozchi Dam with DRM method

ماه Month	روش DRM کلاس C (m3/s)	گزارش سد باراندوزچای Barandozchi Dam Report (m3/s)
October- September مهر	0.89	0.05
November- October آبان	1.03	0.06
December- November آذر	1.04	0.06
January- December دی	1.03	0.07
February- January بهمن	1.05	0.07
March- February اسفند	1.57	0.09
April- March فروردین	2.90	0.59
May- April اردیبهشت	5.73	0.87
June- May خرداد	2.87	0.74
July- June تیر	2.84	0.26
August- July مرداد	1.26	0.16
September- August شهریور	0.92	0.12
Average میانگین	1.93	0.26

برای برآورد شدت جریان زیست محیطی از روش تحلیل منحنی تداوم جریان، شاخص‌های تداوم جریان مختلفی بکار رفت (محدوده بین Q_{70} تا Q_{95}). بنابراین محدوده جریان‌های کم‌آبی برای رودخانه باراندوزچای بین ۲/۷۶ (Q_{70}) تا ۱/۴۴(Q_{95}) متر مکعب بر ثانیه می‌باشد.

از میان این پنج روش هیدرولوژیکی، دو روش تغییر منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی به دلیل درنظرگرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان، و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان‌های زیست محیطی پیشنهادی خود، نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت دارند.

با توجه به متوسط جریان سالانه، برای حفظ رودخانه باراندوزچای در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست محیطی C)، شدت جریان ۱/۹ متر مکعب بر ثانیه (معادل ۲۶ درصد متوسط جریان سالانه) به‌طور متوسط در طول رودخانه تا دریاچه

ارومیه، باید برقرار گردد.

روش و مقادیر پیشنهادی در این مقاله راه حل نهایی برای مشکلات زیست محیطی رودخانه باراندوزچای نمی‌باشد.

با توجه به احداث سد باراندوزچای و با توجه به بحران آبی و شرایط اکولوژیک خاص دریاچه ارومیه، تکمیل مطالعات حاضر با تأکید بر ارزش زیستگاهی سامانه رودخانه (و با تشخیص گونه‌های شاخص گیاهی و جانوری) و با توجه به نیاز آبی طرح احیای دریاچه ارومیه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1- Abkhan consulting engineering. 2009. Environmental report of Barandozchi Dam. West Azarbaijan Regional Water Company.

2- Dyson M., Bergkamp G., and Scanlon J. 2003. The essentials of environmental flows. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN, 118 P.

3- Hughes D.A., and Munster F. 2000. Hydrological information and techniques to support the determination of the water quantity component of the ecological reserve for rivers. WRC Report 867/3/2000, Report to the Water Research Commission by the Institute for Water Research, Rhodes University, Pretoria, South Africa.

4- Hughes D.A., 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.

5- Kashaigili J.J., Mccartney M., and Mahoo H.F. 2007. Estimation of environmental flows in the Great Ruaha River Catchment, Tanzania. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, 32:1007-1014.

6- Mazvimavi D., Madamombe E., and Makurira H. 2007. Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, 30:639-647.

7- Orth D.J., and Maughan O.E. 1981. Evaluation of the "Montana Method" for Recommending Instream Flows in Oklahoma Streams. Proceedings of the Oklahoma Academy of Science, 61:62-66.

8- Pyrce R. 2004. Hydrological low flow indices and their uses. WSC Report 4, Watershed Science Centre, Trent University, Peterborough, Ontario, 33 p.

9- Shokoohi A., and Behrooznia M. 2010. Evaluation of environmental flows in rivers using hydrological and hydraulic methods. 9th Iranian hydraulic conference, Tarbiat Modares university, Tehran. (in Persian)

10- Sima s. 2005. Integrated environmental management of current reservoirs. The thesis submitted for the degree of master of science, Department of Civil engineering, Sharif university of technology, Tehran. (in Persian with English abstract)

11- Smakhtin V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, 240:147-186.

12- Smakhtin V.U., Revenga C., and Döll P. 2004. Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments. Research Report 2 of the CGIAR, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 24 p.

13- Smakhtin V.U., and Anputhas M. 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. IWMI Research Report 10, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 36 p.

14- Standard of Water and Wastewater industries. 2009. Guideline for finding aquatic ecosystems environmental water requirement. Ministry of energy,Office of deputy for Water and Wastewater affairs, Bureau of engineering and technical criterias for Water and Wastewater, 113 p.

15- Tennant D. L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1:6-10.

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

17- 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 Research and Applications, 19:397-441.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1219-1231

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۲۳۱-۱۲۱۹

Evaluation of Environmental Flows in Rivers Using Hydrological Methods
(Case study: The *Barandozchi* River- *Urmia* Lake Basin)

S. Mostafavi [1]- M. Yasi[2*]
Received: 27-04-2013
Accepted: 24-05-2015

Introduction Development of water resources projects are accompanied by several environmental impacts, among them, the changes in the natural flow regime and the reduction of downstream water flows. With respect to the water shortages and non-uniform distribution of rainfall, sustainable management of water resources would be inevitable. In order to prevent negative effects on long-term river ecosystems, it is necessary to preserve the ecological requirements of the river systems. The assessment of environmental flow requirements in a river ecosystem is a challenging practice all over the world, and in particular, in developing countries such as *Iran*. Environmental requirements of rivers are often defined as a suite of flow discharges of certain magnitude, timing, frequency and duration. These flows ensure a flow regime capable of sustaining a complex set of aquatic habitats and ecosystem processes and are referred to as "environmental flows". There are several methods for determining environmental flows. The majority of these methods can be grouped into four reasonably distinct categories, namely as: hydrological, hydraulic rating, habitat simulation (or rating), and holistic methodologies. However, the current knowledge of river ecology and existing data on the needs of aquatic habitats for water quantity and quality is very limited. It is considered that there is no unique and universal method to adapt to different rivers and/or different reaches in a river. The main aim of the present study was to provide with a framework to determine environmental flow requirements of a typical perennial river using eco-hydrological methods. The *Barandozchi* River was selected as an important water body in the *Urmia* Lake Basin, *Iran*. The preservation of the river lives, the restoration of the internationally recognized *Urmia* Lake, and the elimination of negative impact from the construction of the *Barandoz* dam on this river were the main concerns in this study.

Materials and Methods: With lack of ecological data, the environmental requirements of the *Barandozchi* River were investigated using five eco-hydrological methods (1- Tennant, 2- Tessman, 3- Flow Duration Indices, 4- FDC shifting, 5- DRM). Some of these methods are too simplistic and do not take into account the direct hydro-ecological interactions (e.g. Tennant method), and some have been developed for a specific country/region (e.g., DRM), and need to be adapted to a different physiographic environment before they can be reliably applied. Two ecological friendly models GEFC, and DRM were tested to estimate the environmental flow of this river. The results were compared with corresponding flows allocated for the release from the *Barandoz* Dam (currently under construction).

Results and Discussion: The prediction of the mean annual environmental flows from five eco-hydrological methods are presented and compared with the corresponding value reported in the downstream dam's documents. The ultimate decision making based on the potential flows in the river, the environmental class of the river management, and engineering judgment is also recommended for the flows in the river towards the *Urmia* Lake. The results indicated that the flow allocation for the river environment (4% of mean annual flows) is not sufficient to meet the minimum flow requirements for any of the targeting species in the river ecosystem. In order to maintain the *Barandozchi* River at minimum acceptable environmental status (i.e. Class C of environmental management), an average annual flow of 1.9 m^3/s (26% MAR) are to be provided. The distribution of monthly flow rates in the river is also recommended for sustaining the *Barandozchi* River life.

Conclusion: The provision for the minimum ecological flows was investigated in the *Barandozchi* River ecosystem. The results indicated that, in order to maintain the *Barandozchi* River at minimum acceptable environmental status (i.e. Class C), an average annual flow of 1.9 m^3/s (26% MAR) are to be provided along the river towards the internationally recognized *Urmia* Lake, in *Iran*. Considering the construction of the *Barandoz* dam on this river, the pre-determined environmental flow releases from the dam are to be revised in order to increase the order of flows from 4% to 26% or more. Further investigation is necessary to take into account for the targeting riverine species and for the saving of the *Urmia* lake ecosystem. It is noted that minimum flow

1- Ph.D. Student, Water Resources Engineering, Deptartment. of Water Engineering, Urmia University, Iran
2- Visiting Professor, Tehran University, Iran Associate Professor, Urmia University; Iran
(*- Corresponding Author Email: m_yasi@yahoo.com)

requirements are to be allocated in critical months of the year or during drought period of the river basin. Water leasing from agricultural users is an option or a necessary action whenever long-term environmental damages to the river ecosystem must be avoided.

Keywords: Environmental flow, Eco-Hydro methods, Barandozchi River, Urmia Lake.