علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره نه، آذر ماه ۹۸

مقایسه روش‌های مختلف هیدرولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد

نازک روزگاری[۱] *
Nazak_Rouzegari@yahoo.com
محمدتقی ستاری[۲]
هاجر فیضی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۲۴ **تاریخ پذیرش:۹۵/۱۰/۲۹**

چکیده

زمینه و هدف: در مدیریت و بهره برداری از پروژه های منابع آب و به ویژه مخازن سدها تامین حداقل جریان آب مورد نیاز جهت حفظ زیستگاه گونه‌های مختلف موجودات آبزی و گیاهی ضروری است. در روند احیای دریاچه ارومیه، تخصیص سهم جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد، به عنوان یکی از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌روی هدف از نوشتن این مقاله برآورد حداقل جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی می‌باشد.

روش بررسی: در این تحقیق، نیاز محیط‌زیستی رودخانه مهاباد، با پنج روش تنانت، تسمن، مدل ذخیره رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان و تحلیل منحنی تداوم جریان برآورد شده است.

یافته‌ها: با توجه به نتایج حاصل ملاحظه گردید، برای حفاظت رودخانه مهاباد در حداقل شرایط محیط‌زیستی قابل‌قبول، دو روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس مدیریتی B (۳۵ درصد جریان متوسط سالانه، معادل ۲/۷ متر مکعب بر ثانیه) و روش مدل ذخیره رومیزی در کلاس مدیریتی B/C (۲۷/۳ درصد جریان متوسط سالانه، معادل ۲/۱۳ متر مکعب بر ثانیه)، نتایج تقریبا مشابه و قابل قبولی را ارایه می‌دهند.

بحث و نتیجه‌گیری: به طور کلی دو روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی، به دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت داشته و می‌توان این روش‌ها را برای تعیین نیاز محیط‌زیستی رودخانه مهاباد به کار برد.

واژه‌های کلیدی: حقابه محیط‌زیستی، روش‌های هیدرولوژیکی، انتقال منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی، رودخانه مهاباد.

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران *(مسوول مکاتبات)
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- دانشجوی دکترا، مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.9, November, 2019

Comparison of Hydrology and Eco Hydrology Methods in Environmental Flow Estimation of Mahabad River

Nazak Rouzegari[1*]
Nazak_Rouzegari@yahoo.com
MohammadTaghi Sattari[2]
Hajar Feyzi[3]

Admission Date:January 18, 2017 Date Received: October 15, 2016

Abstract

Background and Objective: In water resources management and operation, especially for dam reservoirs, supplying the minimum water demand for protecting the life of the different plant and aquatic species is essential. Allocating the environmental flow for Mahabad River, as one of the most important rivers in the Urmia Lake basin, is very crucial. Therefore, the purpose of this study was to estimate the minimum environmental flow for Mahabad River using Eco-Hydrology methods.

Method: In this study, the environmental flow for Mahabad River was estimated by five methods, namely Tenant, Tessman, Flow Duration Curve (FDC) Shifting, Desktop Reserve Model (DRM), and Flow Duration Curve Analysis (FDCA).

Findings: According to the results obtained in this study, to protect Mahabad River in the acceptable minimum environmental condition, the FDC shifting model considering class B (35.1% MAR (mean annual runoff), equivalent to 2.75 m^3/s) and DRM considering class B/C (27.24% MAR, equal to 2.13 m^3/s) led to approximately similar and acceptable results.

Discussion and Conclusion: Generally, the FDC shifting model and DRM that consider different hydrological classes are preferable to other methods, and these methods can be used to determine the environmental flow for Mahabad River.

Keywords: Environmental Flow; Hydrology Methods; Flow Duration Curve Shifting; Desktop Reserve Model; Mahabad River.

1- Msc, Departement of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran *(Corresponding author).
2- Associate Professor, Department of Water Resources, Faculty of Agricultural Engineering, University of Tabriz, Iran.
3- Ph.D Student, Department of Water Resources, Faculty of Agricultural Engineering, University of Tabriz, Iran.

مقدمه

در سال‌های اخیر، دست‌یابی به منابع آب به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است؛ به‌طوری که روزبه‌روز به احداث و بهره‌برداری از طرح‌های توسعه منابع آب در دنیا افزوده می‌شود. یکی از آسان‌ترین روش‌ها برای دست‌یابی به آب موردنیاز، استفاده از آب رودخانه‌هاست. این در حالی است که بوم‌سازگان آبی برای ادامه حیات خود نیازمند این آب می‌باشند (۱). به منظور پیش‌گیری از اثرات منفی درازمدت طرح‌های آبی بر بوم‌سازگان رودخانه‌ای، لازم است نیازمندی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه در قالب نیاز آب محیط‌زیستی تعریف گردد. با وجود سابقه طولانی در سطح جهان، موضوع نیاز محیط‌زیستی مفهومی جدید در ایران است (۲). تاکنون از روش‌های مختلف برای برآورد نیاز زیست‌محیطی استفاده شده است. عبدی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش‌های تنانت (Tenant)، تسمن(Tessman)، مدل ذخیره رومیزی (DRM) و انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting) به ارزیابی نیاز محیط‌زیستی رودخانه زرینه‌رود واقع در شمال‌غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که مقادیر به دست آمده از روش انتقال منحنی تداوم جریان به دلیل در نظر گرفتن شرایط مدیریت اکولوژیکی نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد (۲). مصطفوی و یاسی (۱۳۹۴)، از پنج روش (تنانت، تسمن، تحلیل منحنی تداوم جریان، تغییر منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی) برای ارزیابی حداقل جریان محیط‌زیستی رودخانه باراندوزچای در حوضه دریاچه ارومیه استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که از میان پنج روش، دو روش تغییر منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت دارند (۳). اسماختین و همکاران (۲۰۰۴)، در یک ارزیابی کلی از تخمین نیاز محیط‌زیستی رودخانه‌ها در مقیاس جهانی، میزان آن را ۲۰-۵۰ درصد میانگین آورد سالانه (MAR) تعریف کردند(۴). شاعری‌کریمی و همکاران (۲۰۱۲)، از روش انتقال منحنی تداوم جریان برای برآورد جریان محیط‌زیستی رودخانه شهرچای استفاده کردند و نتایج حاصل از آن را با نتایج حاصل از روش‌های مدل ذخیره‌ی رومیزی، تنانت، شاخص جریان کم و تحلیل منحنی تداوم جریان مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد، روش‌های مدل ذخیره رومیزی و انتقال منحنی تداوم جریان قابلیت بالاتری دارند (۵). پاستور و همکاران (۲۰۱۴)، برای برآورد جریان محیط‌زیستی یازده رودخانه، از پنج روش تنانت، تسمن، اسماختین، جریان ماهانه متغیر (VMF) و روش Q90 - Q50 استفاده کرده و نتایج را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که دو روش جریان ماهانه متغیر و تسمن، بیشترین همبستگی را با محاسبات محلی جریان محیط‌زیستی دارد و روش‌های تنانت، اسماختین و Q90 - Q50، در شرایط وقوع سیل در رودخانه در فصول خشک، کارایی مناسبی ندارند (۶). طبق بررسی منابع صورت گرفته ملاحظه می‌گردد، از تعداد ۱۹رودخانه منتهی به دریاچه ارومیه، رودخانه مهابادچای از جمله رودخانه‌هایی است که دارای رژیم آب‌دهی دایم می‌باشند (۷). با توجه به بحران خشک‌شدگی دریاچه‌ی ارومیه و سهم قابل توجه رودخانه مهابادچای، هدف اساسی این تحقیق برآورد حقابه محیط‌زیستی رودخانه مهاباد برای اولین بار با استفاده از پنج روش تنانت، تسمن، مدل ذخیره رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان و تحلیل منحنی تداوم جریان با لحاظ شرایط هیدرولوژیکی و اکولوژیکی حاکم بر منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

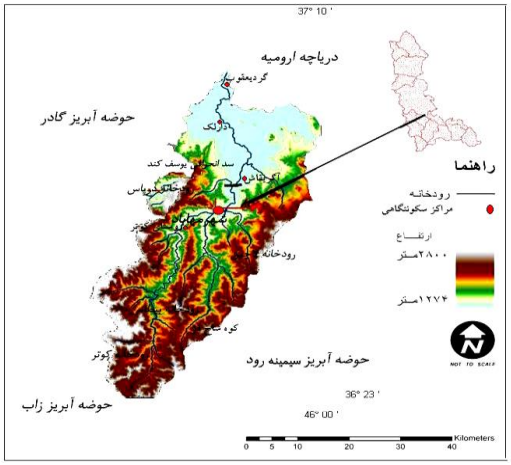
مبانی نظری

حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه در شمال‌غربی ایران توسط بخش‌های شمالی کوه زاگرس، شیب‌های جنوبی کوه سبلان، شیب‌های شرقی، غربی و شمالی کوه سهند احاطه شده است. تمامی رودخانه‌های این حوضه، به دریاچه ارومیه جریان می‌یابند. این حوضه به هشت زیرحوضه تقسیم شده است که یکی از زیرحوضه‌ها، حوزه آبخیز رودخانه مهاباد است (۸). شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز رودخانه مهاباد را نشان می‌دهد. این رودخانه از دو شاخه اصلی به نام‌های کوتر و بیطاس و یک شاخه کوچک به نام دهبکر تشکیل یافته است. برای انجام محاسبات برآورد دبی محیط‌زیستی رودخانه، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری کوتر و بیطاس، واقع در بالادست سد مهاباد

بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۲ استفاده شد. اطلاعات مربوط به آبدهی رودخانه، در جدول (۱) ارایه شده است.

۱- روش هیدرولوژیکی تنانت یا مونتانا (Tenant)

این روش از ساده‌ترین و سریع‌ترین روش‌های هیدرولوژیکی برای تعیین نیاز آب محیط‌زیستی محسوب می‌شود. در سال ۱۹۷۶، دونالد تنانت روشی برای تعیین جریان محیط‌زیستی مورد نیاز برای ماهی‌ها معروف به روش (مونتانا) معرفی کرد (۹). در این روش، درصدهای مختلفی از متوسط جریان سالانه در نظر گرفته می‌شود (۱۰). سطح قابل‌قبول از این روش، با توجه به نشریه استاندارد وزارت نیرو، معادل ۳۰ درصد دبی متوسط سالانه برای فروردین تا شهریور (به‌عنوان دوره پرآبی) و ۱۰ درصد دبی متوسط سالانه برای مهر تا اسفند (به‌عنوان دوره کم‌آبی) می‌باشد (۱۱).



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز رودخانه مهاباد

Figure 1.Location of Mahabad River Basin

جدول ۱- آبدهی درازمدت ماهیانه و سالانه (مترمکعب بر ثانیه) رودخانه مهاباد، (۱۳۹۲-۱۳۷۰)

Table 1. Monthly and Annual Long-Term Discharge (m^3/s) of Mahabad River, (1991- 2014)

جریان	بده متوسط	بده حداکثر	بده حداقل
مهر	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷
آبان	۲/۶۵	۲/۶۵	۲/۶۵
آذر	۳/۴۸	۳/۴۸	۳/۴۸
دی	۵/۴۹	۵/۴۹	۵/۴۹
بهمن	۷/۷۱	۷/۷۱	۷/۷۱
اسفند	۱۷/۸۳	۱۷/۸۳	۱۷/۸۳
فروردین	۳۲/۸۳	۳۲/۸۳	۳۲/۸۳
اردیبهشت	۱۹/۰۳	۱۹/۰۳	۱۹/۰۳
خرداد	۳/۳۷	۳/۳۷	۳/۳۷
تیر	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳
مرداد	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰
شهریور	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱
سالانه	۷/۸۴	۷/۸۴	۷/۸۴

- روش هیدرولوژیکی تسمن (Tessman)

تسمن (۱۹۸۰)، با اقتباس از پیشنهادات فصلی روش تنانت، از ترکیبی از متوسط جریان ماهیانه (MMF) و متوسط جریان سالیانه (MAF) برای تعیین حداقل جریان ماهیانه مورد نیاز استفاده کرد که دارای مراحل زیر است (۱۲).

- اگر 40% MAF > MMF باشد، MMF به‌عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.
- اگر 40% MAF < MMF باشد، 40% MAF به‌عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.
- اگر 40% MMF < MAF باشد، 40% MMF به‌عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

۳- روش اکوهیدرولوژیکی انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting)

این روش توسط اسماختین و آنپوتاس (۲۰۰۶)، به منظور ارزیابی جریان محیطزیستی در سامانه رودخانه معرفی شده است (۱۳).که شامل چهار مرحله اصلی شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدولوژیکی موجود، تعریف کلاس‌های مدیریت محیطزیستی، تولید منحنی‌های تداوم جریان محیطزیستی و تولید سری زمانی جریان محیطزیستی ماهانه می‌باشد.

۳-۱- شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود

در این روش از داده‌های جریان ماهیانه استفاده و محور احتمالات منحنی تداوم جریان با نمایش ۱۷ مورد درصد احتمال وقوع (۰/۰۱، ۰/۱، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۹۵، ۹۹، ۹۹/۹، ۹۹/۹۹) تهیه می‌شود (۱۳).

۳-۲- تعریف طبقه‌های مدیریت محیطزیستی

در ارزیابی جریان محیطزیستی در این روش، از داده‌های ماهیانه رودخانه استفاده شده و بر مبنای منحنی تداوم جریان طبیعی و موجود رودخانه، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر طبقه موردنظر از نظر مدیریت محیطزیستی تعیین می‌شود و برای کلاس‌های مختلف مدیریتی، جریان‌های مختلفی را تولید می‌کند. این کلاس‌ها، در جدول (۲) ارایه شده است (۲). طبقه بالاتر مدیریت محیطزیستی، به آب بیش‌تری جهت حفظ و نگهداری بوم‌سازگان نیاز خواهد داشت (۱۳).

۳-۳- تولید منحنی‌های تداوم جریان محیطزیستی

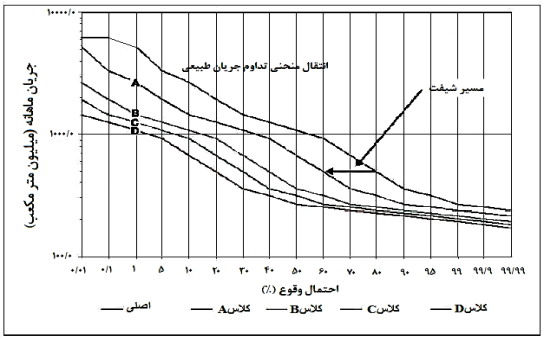
پس از ترسیم منحنی تداوم جریان طبیعی، در مرحله بعد، با استفاده از شیفت عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال، منحنی تداوم جریان محیطزیستی برای هر طبقه مدیریتی، محاسبه می‌شود. با توجه به شکل (۲)، ملاحظه می‌شود که ۱۷ درصد احتمالاتی اشاره شده به‌عنوان گام‌های مختلف این شیفت استفاده می‌شوند. یک شیفت در منحنی تداوم جریان طبیعی، به این معنی است که جریانی که ۹۹/۹۹ درصد مواقع رخ می‌داد، اکنون در ۹۹/۹ درصد مواقع رخ می‌دهد و الی آخر (۱۳).

جدول ۲- طبقه‌های مدیریت محیطزیستی در روش انتقال منحنی تداوم جریان (۲)

Table 2. Environmental Management Classes (EMC) – Flow Duration Curve Shifting Method (2)

طبقه‌های مدیریت محیطزیستی (EMC)	تعریف اکولوژیکی	دیدگاه مدیریتی
A: طبیعی	وضعیت دست‌نخورده یا حداقل تغییرات زیستگاه ساحلی و رودخانه‌ای	رودخانه‌ها و حوضه‌های حفاظت شده، مناطق حفاظت شده و پارک‌های ملی، اجازه هیچ پروژه آبی (سدها، انحراف آب و ...) داده نمی‌شود.
B: اندک تغییر یافته	تنوع زیستی و زیستگاه‌های دست‌نخورده بیش‌تر، با وجود توسعه منابع آبی و/یا تغییرات حوضه‌ای	طرح‌های تأمین آب یا توسعه آبیاری موجود و یا مجاز.
C: نسبتا تغییر یافته	زیستگاه‌ها و دینامیک بیوتا مختل شده ولی عملکردهای اساسی بوم‌سازگان هنوز دست‌نخورده‌اند. برخی گونه‌های حساس ازبین رفته و/یا تا حدی کاهش یافته‌اند. گونه‌های ناشناخته موجود می‌باشند.	موانع و مشکلات زیاد در ارتباط با نیاز برای توسعه اقتصادی - اجتماعی از قبیل سدها، پروژهای انحراف آب، تغییرات زیستگاه و کیفیت کاهش یافته آب.

D: تا حد زیادی تغییر یافته	تغییرات وسیعی در زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی بوم‌سازگان رخ داده است. فراوانی گونه‌ها به طرز قابل وضوحی کم‌تر از حد انتظار است. کاهش چشم‌گیر گونه‌های غیر مقاوم (حساس)، افزایش و شیوع گونه‌های ناشناخته.	موانع کاملاً مشهود و مهم در ارتباط با توسعه منابع آبی و حوضه‌های شامل سدها، انحراف آب، انتقالات، تغییرات زیستگاه‌ها وکاهش کیفیت آب.
E: به شدت تغییر یافته	تعداد و تنوع زیستگاه‌ها کاهش یافته‌است. فراوانی گونه‌ها به طرز شگفت‌آوری کم‌تر از حد انتظار است . فقط گونه‌های مقاوم باقی می‌مانند. گونه‌های بومی، نمی‌توانند تولید شوند. گونه‌های ناشناخته، بوم‌سازگان را مورد تهاجم قرار داده‌اند.	تراکم جمعیت انسانی بالا و بهره‌برداری زیاد از منابع آبی. عموماً این حالت نباید به‌عنوان یک هدف مدیریتی پذیرفته شود. مداخلات مدیریتی جهت بازیابی الگوی جریان و انتقال رودخانه به یک طبقه مدیریتی بالاتر لازم است.
F: به طرز بحرانی تغییر یافته	تغییرات به یک سطح بحرانی رسیده‌اند و بوم‌سازگان کاملاً دچار تغییرات شده و می‌توان گفت زیستگاه‌های طبیعی و موجودات زنده دچار تخریب کامل شده‌اند. در بدترین حالت عملکردهای اساسی بوم‌سازگان از بین رفته‌اند و تغییرات، جبران‌ناپذیر هستند.	این حالت از نقطه نظر مدیریتی قابل‌قبول نمی‌باشد. دخالت‌های مدیریتی برای بازگرداندن الگوهای جریان، زیستگاه‌های رودخانه‌ای و ... (اگر هنوز ممکن و شدنی باشد) برای جابه جا کردن یک رودخانه به طبقه مدیریتی بالاتر ضروری می‌باشد.



شکل ۲- برآورد منحنی تداوم جریان محیط‌زیستی برای کلاس‌های مدیریت محیط‌زیستی از طریق شیفت عرضی (۱۳)

Figure 2. Estimation of Environmental Flow Duration Curve for Environmental Management Classes Through a Transverse Shift (13)

۳-۴- تولید سری زمانی جریان محیط‌زیستی ماهیانه

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 محیط‌زیستی قرائت می‌شود. در روش انتقال منحنی تداوم جریان، از نرم‌افزار " محاسب جهانی جریان محیط‌زیستی " GEFC استفاده می‌شود. این نرم‌افزار، در سال ۲۰۰۷ به وسیله مؤسسه بین المللی مدیریت منابع آب (IWMA) توسعه یافته است. داده‌های ورودی مورد نیاز نرم‌افزار، داده‌های بلندمدت (حداقل ۲۰ سال) جریان ماهانه می‌باشد (۱۳).

۴- روش اکو- هیدرولوژیکی مدل ذخیره رومیزی (DRM)

این روش توسط هاگس و هنارت (۲۰۰۳)، برای ارزیابی نیاز محیط‌زیستی رودخانه در آفریقای جنوبی ارایه شد (۱۴). این روش می‌تواند جریان اکولوژیکی را در شرایط محدود بودن داده‌های در دسترس و در حالی که یک ارزیابی سریع مورد نیاز

است، محاسبه کند. تغییرپذیری جریان، نقش مهمی در تعیین نیاز محیط‌زیستی ایفا می‌کند، بنابراین، چهار طبقه مدیریتی زیستی A تا D تعریف می‌شوند. طبقه A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییر نیافته می‌شود. طبقه B رودخانه‌های تغییریافته ولی تا حد زیادی طبیعی، طبقه C رودخانه‌های نسبتاً تغییریافته و طبقه D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییریافته با خسارات زیاد به زیستگاه طبیعی می‌باشد. در این دسته‌بندی‌ها، طبقه‌بندی‌های انتقالی (مثلا A/B) نیز برای افزایش محدوده جریان‌های محیط‌زیستی ممکن، مورد استفاده قرار گیرند (۱۴). در این تحقیق برای محاسبه نیاز آب محیط‌زیستی از روش مدل ذخیره رومیزی، از نرم‌افزار Desktop Model (ver. 2) Reserve استفاده شد که داده‌های ورودی به این نرم‌افزار داده‌های جریان ماهیانه می‌باشد.

۵- روش تحلیل منحنی تداوم جریان (FDCA)

یکی از خصوصیات مربوط به جریان آب در ارزیابی نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر محیط‌زیستی ، منحنی تداوم جریان است. در این روش عموماً بده جریان در سطح اطمینان ۷۰٪ تا ۹۵٪ (Q50 تا Q70)، به‌عنوان شاخص جریان کم‌آبی، برای حداقل جریان محیط‌زیستی در نظر گرفته می‌شود (۱۵).

نتایج و بحث

در این تحقیق، جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد، از روش‌های مختلف، برآورد و با یکدیگر مقایسه گردید که نتایج به شرح زیر می‌باشد:

۱- تنانت: با استفاده از روش تنانت و مطابق ابلاغیه وزارت نیرو (۱۱)، مقدار جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد، برای فروردین تا شهریور، ۳۰٪ متوسط جریان سالانه یعنی ۲/۳۵ مترمکعب بر ثانیه و برای مهر تا اسفند ۱۰٪ متوسط جریان سالانه یعنی ۰/۷۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. اختصاص ۱۰٪ متوسط جریان سالانه برای ماه‌های مهر تا اسفند می‌تواند شرایط بحرانی برای بوم‌سازگان رودخانه به‌وجود آورده و غیرقابل پذیرش است. این روش، بر روی جریان سالانه تاکید دارد.

۲- تسمن: توزیع ماهانه نیاز محیط‌زیستی از این روش برای رودخانه مهاباد در جدول (۳) ارایه شده‌است. در این جدول، MMF و MAF به ترتیب متوسط جریان ماهانه و متوسط جریان سالانه می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از روش تسمن و رجوع به جدول (۳)، به طور متوسط می‌توان گفت این روش، ۳/۷۳ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۰/۴۷ درصد متوسط جریان سالانه) را به‌عنوان نیاز محیط‌زیستی رودخانه مهاباد در نظر می‌گیرد (یعنی حدودا نیمی از جریان)، در نتیجه ملاحظه می‌گردد که بر اساس روش کار تسمن (جدول (۳)، اصولا مقدار بالایی برای جریان محیط‌زیستی در نظر گرفته شده است.

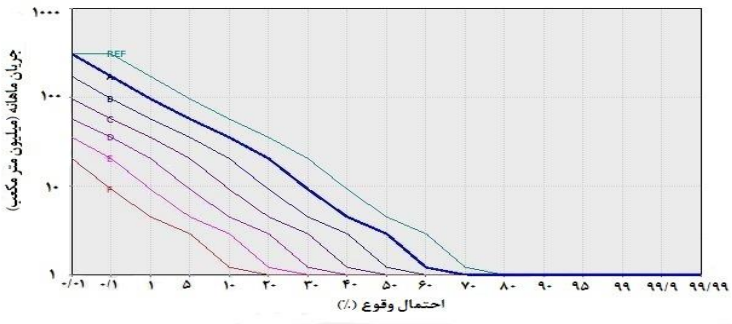
جدول ۳- توزیع ماهانه جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد با استفاده از روش تسمن

Table 3. Monthly Distribution of Mahabad River Environmental Flows using Tessman

ماه	MMF(m^3/s)	0.4MMF(m^3/s)	MAF(m^3/s)	0.4MAF(m^3/s)	QTessman(m^3/s)
مهر	۰/۲۷	۰/۱۱	۷/۸۴	۳/۱۴	۰/۲۷
آبان	۲/۶۵	۱/۰۶	۷/۸۴	۳/۱۴	۲/۶۵
آذر	۳/۴۸	۱/۳۹	۷/۸۴	۳/۱۴	۳/۱۴
دی	۵/۴۹	۲/۲	۷/۸۴	۳/۱۴	۳/۱۴
بهمن	۷/۷	۳/۰۸	۷/۸۴	۳/۱۴	۳/۱۴
اسفند	۱۷/۸۳	۷/۱۳	۷/۸۴	۳/۱۴	۷/۱۳
فروردین	۳۲/۸۳	۱۳/۱۳	۷/۸۴	۳/۱۴	۱۳/۱۳
اردیبهشت	۱۹/۰۳	۷/۶۱	۷/۸۴	۳/۱۴	۷/۶۱

خرداد	۳/۳۷	۱/۳۵	۷/۸۴	۳/۱۴	۳/۱۴
تیر	۰/۷۳	۰/۲۹	۷/۸۴	۳/۱۴	۰/۷۳
مرداد	۰/۴	۰/۱۶	۷/۸۴	۳/۱۴	۰/۴
شهریور	۰/۳۱	۰/۱۲	۷/۸۴	۳/۱۴	۰/۳۱

۳- انتقال منحنی تداوم جریان: با کاربرد این روش و نتایج حاصل در شکل (۳) و جدول (۴)، مشاهده می‌شود که شدت جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد برای حفظ شرایط ایده‌آل (کلاس A)، به طور متوسط، حداقل معادل ۴/۸۶ مترمکعب بر ثانیه و در شرایط بحرانی (کلاس F)، به طور متوسط، معادل ۰/۳۵ مترمکعب بر ثانیه ارزیابی می‌شود. در این پژوهش، با توجه به بازدیدهای میدانی از منطقه و پیمایش رودخانه مهاباد در محدوده مورد مطالعه در پایین‌دست سد مهاباد و ارزیابی اکولوژیکی رودخانه بر اساس تعاریف موجود در روش انتقال منحنی تداوم جریان (جدول۲) و اهمیت محیط‌زیستی رودخانه مهاباد به‌عنوان یکی از رودخانه‌های مهم حوضه دریاچه ارومیه، کلاس مدیریت محیط‌زیستیB(به طور متوسط ۲/۷۵ مترمکعب بر ثانیه) به‌عنوان طبقه مدیریتی مورد نظر انتخاب و سری زمانی جریان ماهیانه محیط‌زیستی در کلاس‌های مختلف رودخانه مهاباد تولید شد. با استفاده از این سری زمانی می‌توان جریان محیط‌زیستی ماهیانه مورد نیاز برای حفظ رودخانه در کلاس مدیریتی B را بدست آورد (شکل ۴). با توجه به نمودار شکل (۴) ملاحظه می‌گردد نیاز محیط‌زیستی حاصل از این روش در تمام ماه‌ها، کم‌تر از جریان رودخانه می‌باشد.



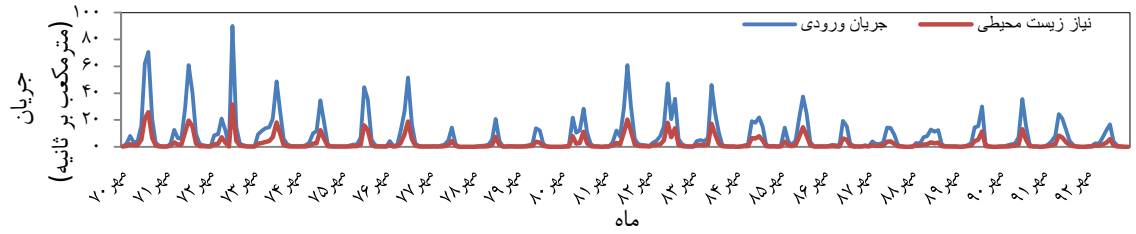
شکل ۳- منحنی تداوم جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد

Figure 3- Environmental Flow Duration Curve for Mahabad River

جدول ۴- نیاز آب محیط‌زیستی رودخانه مهاباد با روش انتقال منحنی تداوم جریان بر حسب درصدی از MAR

Table 4. Environmental Water Demand for Mahabad River by Using FDC Shifting Method

نام رودخانه	متوسط آورد سالانه(MAR) (m^3/s)	نیاز آب محیط‌زیستی بلند مدت (EWR) (درصدی از MAR)				
		کلاس A	کلاس B	کلاس C	کلاس D	کلاس E	کلاس F
مهاباد	۷/۸۴	۶۲	۳۵/۱	۱۹/۷	۱۱/۲	۶/۷	۴/۵



شکل ۴- توزیع ماهیانه جریان طبیعی و زیست‌محیطی رودخانه مهاباد از روش انتقال منحنی تداوم جریان در کلاس B

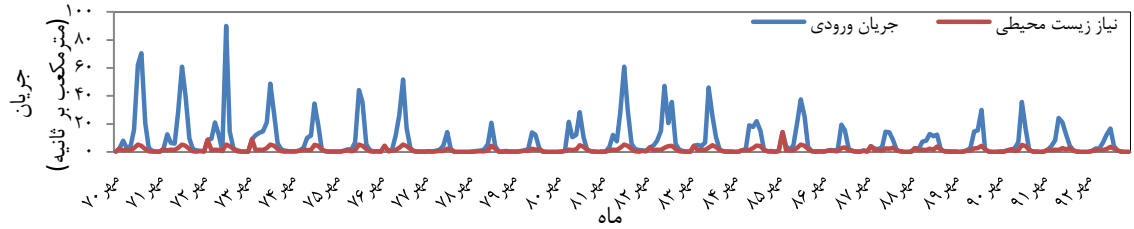
Figure 4. Monthly Distribution of Natural and Environmental Flow for Mahabad River by Using FDC Shifting Method (Class B)

۴- مدل ذخیره رومیزی: نتایج حاصل از روش مدل ذخیره رومیزی برای هفت کلاس اکولوژیکی A تا D برای رودخانه مهاباد، در جدول (۵) ارائه شده‌است. مشاهده می‌شود که شدت جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد، برای حفظ شرایط ایده‌آل (کلاس A)، به طور متوسط، حداقل معادل ۳/۷۱ مترمکعب بر ثانیه و در شرایط بحرانی (کلاس D)، به طور متوسط، معادل ۱/۱۱ مترمکعب بر ثانیه ارزیابی می‌شود. در این پژوهش، براساس بازدیدهای میدانی، پیمایش رودخانه مهاباد در بازه پایین‌دست سد مهاباد و ارزیابی اکولوژیکی رودخانه بر اساس تعاریف موجود در روش مدل ذخیره رومیزی (بند ۲-۴) و اهمیت محیط‌زیستی رودخانه مهاباد به‌عنوان یکی از رودخانه‌های مهم حوضه دریاچه ارومیه، کلاس مدیریتی B/C انتخاب شد. برای حفظ رودخانه در کلاس B/C، جریانی معادل ۲۷/۲۴ درصد MAR (۲/۱۳ مترمکعب بر ثانیه) مورد نیاز است. یکی از محدودیت‌های مدل ذخیره رومیزی، این است که با توجه به شرایط آفریقای جنوبی ماه‌های ژانویه (دی) تا مارس (اسفند) را به‌عنوان ماه‌های پرآبی و ماه‌های ژوئیه (خرداد) تا آگوست (مرداد) را به‌عنوان ماه‌های کم‌آبی در نظر می‌گیرد و متاسفانه این گزینه در مدل، قابل تغییر نمی‌باشد. این درحالی است که برای رودخانه مهاباد، ماه‌های مارس تا مه (اسفند تا اردیبهشت)، ماه‌های پرآب می‌باشند. از آن‌جا که ماه‌های پرآب بر ماه‌های کم‌آب غلبه دارند، بنابراین سری زمانی داده‌های جریان ماهیانه ورودی به مدل، برای انجام دقیق‌تر محاسبات، دو ماه، شیف داده شدند. (یعنی مارس به ژانویه و الی آخر). با استفاده از این سری زمانی می‌توان جریان محیط‌زیستی ماهیانه مورد نیاز برای حفظ رودخانه در کلاس مدیریتی B/C را بدست آورد (شکل ۵). با توجه به نمودار شکل (۵) ملاحظه می‌گردد نیاز محیط‌زیستی حاصل از این روش در تمام ماه‌ها، کم‌تر از جریان رودخانه می‌باشد.

جدول ۵- نیاز آب محیط‌زیستی رودخانه مهاباد از روش مدل ذخیره رومیزی

Table 5. Environmental Water Demand for Mahabad River by Using DRM

MAR (m^3/s)	نیاز آب محیط‌زیستی بلند مدت (EWR) بر حسب درصدی از MAR						
	A	A/B	B	B/C	C	C/D	D
۷/۸۴	۴۷/۳۵	۳۹/۸۷	۳۲/۴۷	۲۷/۲۴	۲۱/۶۷	۱۷/۸۱	۱۴/۱۴



شکل ۵- توزیع ماهیانه جریان طبیعی و محیط‌زیستی رودخانه مهاباد از روش مدل دخیره رومیزی در کلاس B/C

Figure 5. Monthly Distribution of Natural and Environmental Flow for Mahabad River by Using DRM (Class B/C)

۵- تحلیل منحنی تداوم جریان: برای برآورد شدت جریان زیست‌محیطی رودخانه مهاباد با استفاده از روش تحلیل منحنی تداوم جریان، شاخص‌های تداوم جریان مختلفی از محدوده Q70 تا Q95 به‌کار رفت. جریان‌های Q90 و Q95 معرف جریانی هستند که به ترتیب در ۹۰ و ۹۵ درصد مواقع جریان دارند و در بیش‌تر موارد به‌عنوان حداقل جریان محیط‌زیستی در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به نتایج بدست آمده محدوده جریان کم‌آبی برای رودخانه مهاباد بین ۵/۵۴ (Q70) تا ۲/۸۶ (Q95) مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. جریان‌های با احتمال تجاوز ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵، ۹۰ و ۹۵ درصد در جدول (۶) محیط‌زیستی شده است. جدول (۷) جریان‌های Q50، Q90 و Q95 به دست آمده برای ماه‌های مهر تا شهریور رودخانه مهاباد را نشان می‌دهد.

جدول ۶- شاخص‌های منحنی تداوم جریان سالانه از روش تحلیل منحنی تداوم جریان (m^3/s)

Table 6. Annual Flow Duration Curve Indexes by Using FDCA Method (m^3/s)

	Q95	Q90	Q85	Q80	Q75	Q70
رودخانه مهاباد	۲/۸۶	۳/۲۹	۳/۷۷	۴/۰۷	۴/۶۲	۵/۵۴

جدول ۷- شاخص‌های منحنی تداوم جریان ماهانه (m^3/s)

Table 7.Monthly Flow Duration Curve Indexes by Using FDCA (m^3/s)

ماه	MMF	Q50	Q90	Q95
مهر	۰/۲۷	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۳
آبان	۲/۶۵	۱/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۳
آذر	۳/۴۸	۲/۲۵	۰/۶۷	۰/۳۲
دی	۵/۴۹	۲/۶۳	۱/۱۶	۱/۰۵
بهمن	۷/۷	۶/۷۱	۱/۶۳	۱/۵۷
اسفند	۱۷/۸۳	۱۵/۱۷	۶/۲۱	۵/۱۲
فروردین	۳۲/۸۳	۲۶/۹۵	۱۳/۲۳	۱۲/۳
اردیبهشت	۱۹/۰۳	۱۵/۶۶	۳/۱۷	۲/۱۵
خرداد	۳/۳۷	۱/۶۱	۰/۵۲	۰/۲۹
تیر	۰/۷۳	۰/۴	۰/۱۵	۰/۱۲
مرداد	۰/۴	۰/۲۹	۰/۰۵	۰/۰۵
شهریور	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۲
میانگین	۷/۸۴	۶/۱۱	۲/۲۵	۱/۹۳

نتایج حاصل از پنج روش به کار رفته در این تحقیق، در جداول (۸) و (۹) با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۸- مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد از روش‌های مختلف

Table 8. Comparison Of Mahabad River Environmental Flow Values By Different Method

روش		نیاز آب محیط‌زیستی (m^3/s)
FDC Shifting	طبقه A	۴/۸۶
	طبقه B	۲/۷۵
	طبقه C	۱/۵۴
	طبقه D	۰/۸۸
	طبقه E	۰/۵۲
	طبقه F	۰/۳۵
DRM	طبقه A	۳/۷۱
	طبقه A/B	۳/۱۲
	طبقه B	۲/۵۴
	طبقه B/C	۲/۱۳
	طبقه C	۱/۷
	طبقه C/D	۱/۳۹
	طبقه D	۱/۱۱
Tenant	مهر- اسفند	۰/۷۸
	فروردین- شهریور	۲/۳۵
Tessman		۳/۷۳
FDCA	Q70	۵/۵۴
	Q75	۴/۶۲
	Q80	۴/۰۷
	Q85	۳/۷۷
	Q90	۳/۲۹
	Q95	۲/۸۶

جدول ۹- مقایسه مقادیر پیشنهادی جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد از روش‌های مختلف

Table 9. Comparison of Mahabad River Environmental Flow Values by Different Methods

ماه	دبی متوسط ماهانه (متر مکعب بر ثانیه)	نیاز محیط‌زیستی				
		تنانت	تسمن	FDC Shifting	DRM	FDC-Q90
مهر	۰/۲۷	۰/۷۸	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۰۵
آبان	۲/۶۵	۰/۷۸	۲/۶۵	۰/۸۱	۲/۶۴	۰/۱۶
آذر	۳/۴۸	۰/۷۸	۳/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۶۷
دی	۵/۴۹	۰/۷۸	۳/۱۴	۱/۶۱	۱/۳۵	۱/۱۶
بهمن	۷/۷	۰/۷۸	۳/۱۴	۲/۱۹	۱/۱۴	۱/۶۳
اسفند	۱۷/۸۳	۰/۷۸	۷/۱۳	۵/۹۰	۲/۱۹	۶/۲۱

فروردین	۳۲/۸۳	۲/۳۵	۱۳/۱۳	۱۱/۳۸	۴/۰۹	۱۳/۲۳
اردیبهشت	۱۹/۰۳	۲/۳۵	۷/۶۱	۶/۶۲	۳/۵۸	۳/۱۷
خرداد	۳/۳۷	۲/۳۵	۳/۱۴	۱/۰۰	۱/۴۶	۰/۵۲
تیر	۰/۷۳	۲/۳۵	۰/۷۳	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۱۵
مرداد	۰/۴	۲/۳۵	۰/۴	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۵
شهریور	۰/۳۱	۲/۳۵	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۰۳
میانگین	۷/۸۴	۱/۵۷	۳/۷۳	۲/۷	۲/۱۳	۲/۲۵

با توجه به جدول (۹) ملاحظه می‌گردد در روش تنانت جریان محیط‌زیستی حاصل برای ماه‌های مهر، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب برابر ۰/۷۸، ۲/۳۵، ۲/۳۵ و ۲/۳۵ مترمکعب بر ثانیه است که به ترتیب بیشتر از مقدار جریان رودخانه در این ماه‌ها معادل ۰/۲۷، ۰/۷۳، ۰/۴ و ۰/۳۱ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. با توجه به جدول (۸)، در این روش، ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه معادل ۰/۷۸ مترمکعب بر ثانیه به‌عنوان پایین‌ترین حد ممکن برای نیاز محیط‌زیستی مطابق با شرایط بسیار ضعیف بوم‌سازگان رودخانه‌ای پیشنهاد شده است در حالی که این مقدار کمتر از مقدار به دست آمده از روش مدل ذخیره رومیزی و کلاس مدیریتی D معادل ۱/۱۱ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که حداقل جریان معادل ۱۰ درصد پیشنهادی روش تنانت برای رودخانه مهاباد، با توجه به طبقه مدیریتی زیستی انتخاب شده (کلاس B/C که حداقل جریان مورد نیاز محیط‌زیستی را معادل ۲/۱۳ مترمکعب بر ثانیه در نظر می‌گیرد) نمی‌تواند پاسخ‌گوی نیاز محیط‌زیستی منطقه مورد مطالعه بوده و ممکن است حیات آبزیان را به خطر اندازد. با توجه به جدول (۹) در روش تسمن، دبی محیط‌زیستی برآوردی در برخی ماه‌ها، (به‌عنوان مثال ماه‌های خرداد تا آذر) تمام یا بخش عمده‌ای از جریان رودخانه در این ماه‌ها را شامل شده و کل جریان را به نیاز محیط‌زیستی تخصیص می‌دهد. با توجه به شرایط اجتماعی-اقتصادی منطقه مورد مطالعه و وابستگی شدید کشاورزان به این آب از سویی و تخصیص بخش قابل ملاحظه ای از آب به بخش شرب از سویی دیگر، عملا تخصیص کل آب به‌عنوان نیاز محیط‌زیستی مقدور نخواهد بود. چرا که ممکن است بین مصرف‌کنندگان رقابت و نهایتا تعارض ایجاد نموده و موجب افزایش احتمالی تنش های اجتماعی-سیاسی در منطقه شود. همچنین ملاحظه می‌شود که روش تحلیل منحنی تداوم جریان (نظیر Q95)، در برخی ماه‌ها از جمله ماه‌های مهر، مرداد و شهریور به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۵ و ۰/۰۳ متر مکعب بر ثانیه از جریان را به بخش محیط‌زیستی اختصاص داده است که مقادیر ناچیزی بوده و می‌تواند حیات آبزیان موجود در منطقه را به خطر بیندازد. بنابراین روش تحلیل منحنی تداوم جریان به علت در نظر نگرفتن ویژگی زیستی رودخانه، گزینه مناسبی نخواهد بود. روش انتقال منحنی تداوم جریان به عنوان یک روش ترکیبی هیدرولوژیکی-اکولوژیکی، نیاز محیط‌زیستی را بر اساس دید اکولوژیکی در طبقه‌های مدیریت زیستی مختلف با توجه به شرایط زیستی رودخانه و با استفاده از آمار دبی‌های ماهیانه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود بر روی رودخانه ارایه می‌کند. مدل ذخیره رومیزی، تحت وضعیت‌های طبیعی قسمت‌های مختلف رژیم جریان و شرایط اکولوژکی رودخانه مورد مطالعه، نیاز آب محیط‌زیستی را محاسبه می‌کند (۲). با توجه به جدول (۸) ملاحظه می‌گردد که نیاز محیط‌زیستی حاصل از روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی در تمام ماه‌ها، کمتر از جریان رودخانه بوده و به ترتیب ۲/۷۵ و ۲/۱۳ متر مکعب بر ثانیه را به عنوان نیاز محیط‌زیستی رودخانه در نظر می‌گیرد که به نظر می‌رسد این تخصیص با توجه به شرایط زیستی و محیطی منطقه مورد مطالعه منطقی باشد (با توجه به جدول (۸) و (۹)). مصطفوی و همکاران (۱۳۹۴) و شاعری کریمی و همکاران (۲۰۱۲) نیز به نتیجه مشابهی در این زمینه دست یافتند (۳ و ۵). با توجه به نتایج بدست آمده و با توجه به این‌که اساس طبقه‌بندی‌های دو روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی تقریبا مشابه است، لذا به نظر می‌رسد نتایج هر دو روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل

ذخیره رومیزی را می‌توان با اطمینان نسبتاً بیش‌تری برای تعیین نیاز محیط‌زیستی رودخانه مهاباد به کار برد.

نتیجه‌گیری

با توجه به خشک شدن اکثر دریاچه‌ها و تالاب‌های کشور در سال‌های اخیر و تشدید روند خشک شدن دریاچه ارومیه، مطالعه در زمینه تعیین سهم جریان محیط‌زیستی رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی و اکولوژیکی از ضروریات اساسی مطالعات مدیریت منابع آب با تاکید بر جنبه‌های محیط‌زیستی می‌باشد. لذا با توجه به بحران خشک‌شدن دریاچه ارومیه، تخصیص سهم جریان محیط‌زیستی از رودخانه مهاباد در برنامه‌ی احیای دریاچه ارومیه، امری ضروری است. در این تحقیق، حداقل جریان محیط‌زیستی رودخانه مهاباد با استفاده از روش‌های تنانت، تسمن، مدل ذخیره رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان و تحلیل منحنی تداوم جریان محاسبه شد. ملاحظه شد که حداقل جریان معادل ۱۰ درصد پیشنهادی روش تنانت نمی‌تواند برای رودخانه مهاباد مناسب باشد. براساس نتایج بدست آمده روش تسمن، ۰/۴۷ درصد متوسط جریان سالانه را به‌عنوان نیاز محیط‌زیستی رودخانه مهاباد در نظر می‌گیرد که به نظر می‌رسد به علت نیاز بالای مصارف کشاورزی و وابستگی شدید اقتصادی مردم منطقه به آب، تخصیص این مقدار نسبتا بزرگ منطقی نباشد. استفاده از روش تحلیل منحنی تداوم جریان (نظیر Q95)، به علت در نظر نگرفتن ویژگی زیستی رودخانه، گزینه مناسبی نیست. از میان روش‌های هیدرولوژیکی به کار رفته در این تحقیق، دو روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی، به دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی، به ترتیب میانگین جریان محیط‌زیستی مورد نیاز را ۲/۷ و ۲/۱۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد نمودند. به نظر می رسد در خصوص سد مهاباد و با توجه به شرایط زیستی و محیطی منطقه مورد مطالعه و لحاظ نمودن مسایل اجتماعی و اقتصادی موجود، دو روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت داشته باشند.

Reference

1. Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J., 2003. The essentials of environmental flows. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
2. Abdi, R., Yasi, M., Sokooti Oskoui, R. and Mohammadi, E., 2014. Environmental requirement assessment in Zarrinehrood River by hydrological methods. Watershed Engineering and Management, Vol.6, Issue3, pp.211-223. (In Persian)
3. Mostafavi, S. and Yasi, M., 2015. Evaluation of environmental flows in rivers using hydrological methods (case study: the Barandozchi River-Urmia lake basin). Water and Soil, Vol.29, Issue5, pp.1219-1231. (persian)
4. Smakhtin, V.U., Revenga, C. and Doll, P., 2004. A pilot global assessment of environment water requirement and scarcity. International water resources association, Vol.29, Issue.3, pp.307-317.
5. Shaeri Karimi, S., Yasi, M. & Eslamian, S., 2012. Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. International journal of environmental science and technology, Vol.9, Issue3, pp.549-558.
6. Pastor, A. V., Ludwig, F., Biemans, H., Hoff, H. and Kabat, P., 2014. Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. Hydrology and earth system sciences, Vol.18, Issue.12, pp.5041-5059.
7. Noori, G. and Aghaei, V., 2012. Assessment of the Environmental Risks of the Urmia Lake Peripheral Parts Due to the Lake's Border

Fluctuations During 1985 to 2010. Journals Management System, Vol.1, Issue. 2, pp.79-94. (In Persian)

8. Sadeghian, M. S., Heydari, M., Noori, M., Ebrahimi, F. and ShahiriParsa, A., 2014. Evaluating the suspended sediment of mahabad dam using statistical methods. Journal of river engineering, Vol.2, Issue.7.
9. Tennant, D.L., 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Journal of fisheries, Vol.1, Issue. 4, pp.6-10.
10. 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, Vol.19, Issue.5, pp.397-441.
11. The standard of water and waste water industry, 2010. Draft of guidelines for determining the minimum water requirement of aquatic ecosystems. Ministry of Power, Assistant of Water and Wastewater Affair, 113 p. (In Persian)
12. 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.
13. Smakhtin, V.U. and Anputhas, M., 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian River basins. IWMI research report 107. International water management institute, Colombo, Sri Lanka, 36 pages.
14. 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, Vol.270, Issue.3, pp.167-181.
15. Pyrce R., 2004. Hydrological low flow indices and their uses. WSC report 4, Watershed science centre, Trent university, Peterborough, Ontario, 33 p.