

تعیین دبی زیست‌محیطی بومی سفیدرود

فاطمه فتاح‌پور^۱، کیومرث ابراهیمی^{۲*}، سوگند بیات^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. استاد مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۵/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۱۱/۲۹)

چکیده

دبی زیست‌محیطی توصیفی از زمان‌بندی، کیفیت و کمیت آب مورد نیاز برای پایداری اکوسیستم آبی است. هدف مقاله حاضر، ارزیابی روش‌های متداول تعیین دبی زیست‌محیطی و ارائه روش بومی سفیدرود است. دبی زیست‌محیطی سفیدرود با کمک روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه بررسی شد و نتایج به‌دست‌آمده به صورت یک پیشنهاد بومی در غالب درصدی از میانگین دبی سالانه بیان شد. طبق ابلاغیه وزارت نیرو، شیوه تعیین دبی زیست‌محیطی روش تنانت (هیدرولوژیکی) است. این روش به همراه روش محیط ترشده (هیدرولیکی) با سه ایده متفاوت به کار گرفته شد و در روش شبیه‌سازی زیستگاه نیز فیل‌ماهی به عنوان گونه شاخص انتخاب و دبی زیست‌محیطی مطابق با شرایط زندگی گونه هدف بررسی شد. مزایا و محدودیت‌های روش‌های بررسی‌شده معرفی شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر محاسباتی و ضعف‌ها و قوت‌های آنها به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درصد میانگین دبی سالانه برای حفظ سلامت رودخانه در شرایط ضعیف تا نسبتاً خوب پیشنهاد شد. در نهایت، روش ترکیبی شبیه‌سازی زیستگاه و بیشترین انحنای محیط خیس‌شده برای تعیین کمترین دبی زیست‌محیطی و بهبود شرایط اکوسیستم منطقه به عنوان روش بومی سفیدرود پیشنهاد شد.

کلیدواژگان: تنانت، حبابه زیستی، رودخانه، گونه شاخص، محیط خیس‌شده.

مقدمه

گسترش طرح های توسعه منابع آب با توجه به روند افزایش جمعیت، امری اجتنابناپذیر است؛ به بیان دیگر ذخیره، تنظیم و برداشت حجم زیاد آب از رودخانه ها سبب اختلال در رژیم طبیعی بخش عظیمی از سیستم های رودخانه ای شده است. این امر موجب تغییر ساختار در فرایندهای لازم برای حفظ اکوسیستم های طبیعی وابسته به رودخانه شده است [۱].

از طرف دیگر، به دلیل توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش در ایران و محدودیت منابع آب شیرین و شرایط خشک کشور، بهره برداری بیش از حد از آب های سطحی صورت گرفته است. در این بین عموماً یا سهم زیست محیطی رودخانه، کمتر مورد توجه قرار گرفته و یا اینکه در ردیف نیازهای غیر ضروری تلقی شده است. دبی زیست محیطی توصیفی از زمان، کیفیت و مقدار جریان آب مورد نیاز برای حفظ آب سالم و اکوسیستم رودخانه و رفاه انسان و معیشت وابسته به آب است [۲]. به دلیل ارتباط نزدیک محیط زیست و زندگی انسان و دیگر جانداران، اهمیت نیاز زیستی بر تمام آب بران، مشخص و محرز است. سلامت اکوسیستم، سبب بهبود سلامت اجتماع، افزایش امنیت و حمایت از رفاه اجتماعی و کاهش هزینه های اقتصادی خواهد شد. واژه «دبی زیست محیطی» اغلب به عنوان تعریفی از رژیم جریان رودخانه، که به توجه و مراقبت اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی مهم نیاز دارد، به کار

می رود [۳]. به این منظور، فقط یک راه حل منحصربه فرد برای ارزیابی دبی زیست محیطی وجود ندارد [۴ و ۵]. هر روش، شیوه یا چهارچوب با توجه به هدف طرح و امکانات در دسترس انتخاب می شود. به طور کلی، روش های تعیین دبی زیست محیطی را می توان به چهار گروه اصلی روش های هیدرولوژیکی، درجه بندی هیدرولیکی، شبیه سازی زیستگاه ها و جامع تقسیم کرد [۶].

این طبقه بندی توسط مؤسسه بین المللی مدیریت منابع آب (IWMI)^۱ به شرح زیر صورت گرفته و مزایا و محدودیت های آنها را می توان به شرح جدول ۱ خلاصه کرد [۷].

بررسی ها نشان می دهد بیشتر روش های ارائه شده هیدرولوژیکی اند [۶]. سیاست های روشن و مشخصی در زمینه تعیین کمترین آب زیست محیطی در کشورهای در حال توسعه و به خصوص ایران وجود ندارد [۸]. عموماً روش های هیدرولوژیکی برای تعیین اولیه دبی زیست محیطی در هر منطقه ای به کار می رود و در مراحل بعد با توجه به هدف طرح و امکانات موجود و دانش و تجربه متخصصان، یکی از روش های موجود به عنوان انتخاب نهایی در نظر گرفته می شود.

به این منظور، تارمه و کینگ با مطالعه روز جریان زیست محیطی در رودخانه لسوتو به این نتیجه رسیدند که ارزیابی جریان زیست محیطی در رودخانه ها برای تعیین و ارزیابی مقدار رژیم اولیه رودخانه ضروری است [۹].

جدول ۱. مزایا و محدودیت های روش های اصلی تعیین دبی زیست محیطی

مزایا، محدودیت ها	مثال از هر روش	روش های اصلی	ردیف
آسان، سریع، ارزان، نیاز به داده های کم، مناسب برای اهداف مطالعات اولیه منابع آب، دارای پتانسیل بومی سازی، ارتباط کم با اکولوژی، نتایج خروجی کم	تنانت، منحنی تداوم جریان، نگرش محدوده تغییرپذیری (RVA) ^۲	هیدرولوژیکی	۱
نیاز به داده های کم تا متوسط، وابستگی نتایج به مطالعه موردی	محیط ترشده	هیدرولیکی	۲
تحلیل یادشده در ایجاد ارتباط بین زیست بوم و جریان برای گونه هدف، تمرکز گونه شاخص و نه کل اکوسیستم، ارتباط محدود با خصوصیات رژیم جریان، خروجی محدود، ارتباط ضعیف با واکنش های بیولوژیکی، نیاز به شش تا ۱۸ ماه از اطلاعات	PHABSIM	شبیه سازی زیستگاه	۳
تمرکز بر کل اکوسیستم، نیاز به دو تا بیش از پنج سال اطلاعات، متکی بر قضاوت کارشناسی، سختی در تطبیق نظرات تخصصی، برقراری تعادل بین نیازها	DRIFT، IFIM	جامع	۴

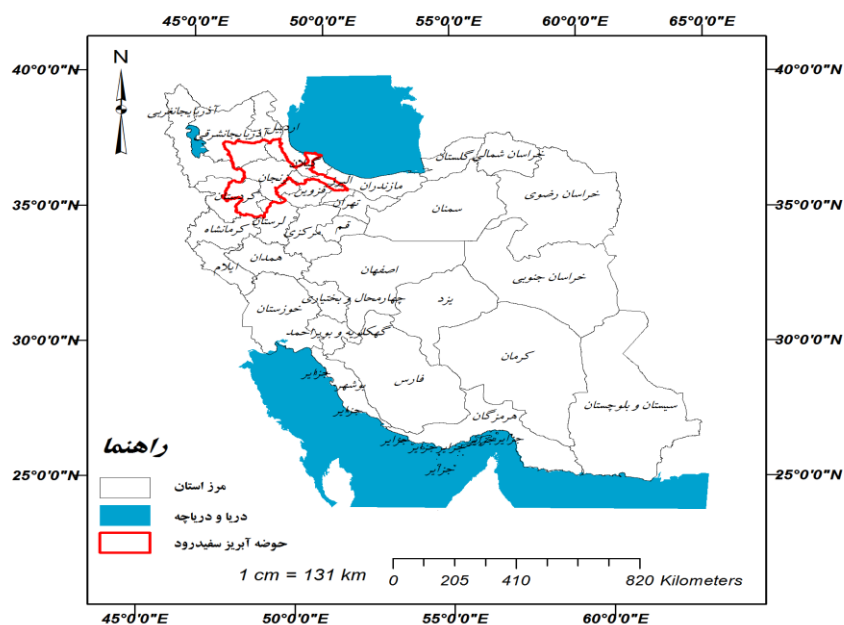
زیست‌محیطی را بر اساس مطالعات موردی بررسی کردند و به مقایسه روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های مختلف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش‌هایی که توسعه داده شده‌اند مربوط به کشورهای دیگر هستند، پس ضرورت دارد این روش‌ها برای رودخانه‌های ایران بومی شوند [۱۷]. در یک جمع‌بندی در بیشتر مطالعات انجام‌شده، هدف برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها بوده است در حالی که مقاله حاضر بر بومی‌سازی و انطباق شرایط برای نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه سفیدرود متمرکز است.

مواد و روش‌ها

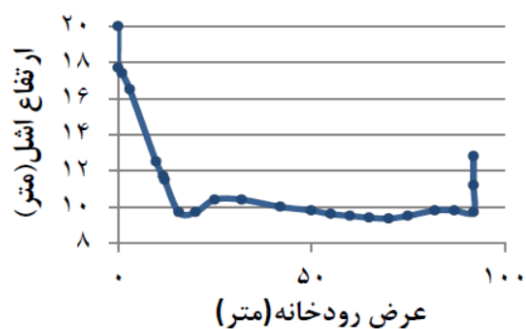
رودخانه سفیدرود حوضه‌ای به وسعت تقریبی ۵۹ هزار کیلومترمربع دارد و مطابق شکل ۱ در محدوده استان‌های آذربایجان شرقی، غربی، کردستان، همدان، زنجان، تهران، البرز و گیلان قرار دارد. از نظر توپوگرافی حوضه سفیدرود مناطق بسیار مرتفع و پرشیب، مناطق تپه‌ماهوری و دره‌های عمیق آبرفتی دارد. شیب متوسط بستر این رودخانه در کوهستان حدود ۰/۳ درصد و در محدوده‌های جلگه‌ای حدود ۰/۲ درصد است. آب حوضه آبریز سفیدرود پس از ذخیره‌شدن در مخزن سد سفیدرود به مصارف تولید برق و کشاورزی می‌رسد، بنابراین دبی خروجی سد در پایین‌دست سد در ماه‌های مختلف سال متفاوت و غیرطبیعی است.

بر اساس آمار موجود بلندمدت طی یک دوره آبی یک‌ساله، میزان ریزش‌های جوی در حوضه آبریز سفیدرود ۳۵۹ میلی‌متر است. با توجه به روش‌های موجود و برای دستیابی به اهداف مقاله حاضر، دو ایستگاه بین راه رودبار واقع در پایین‌دست سد سفیدرود و به فاصله دو کیلومتری آن و ایستگاه پل آستانه با فاصله ۹۷ کیلومتری از سد انتخاب شد. اطلاعات دبی رودخانه مطالعه شده برای سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۱ تهیه و استفاده شد. پروفیل عرضی رودخانه در ایستگاه‌های بحث شده، در شکل ۲ ارائه شده است.

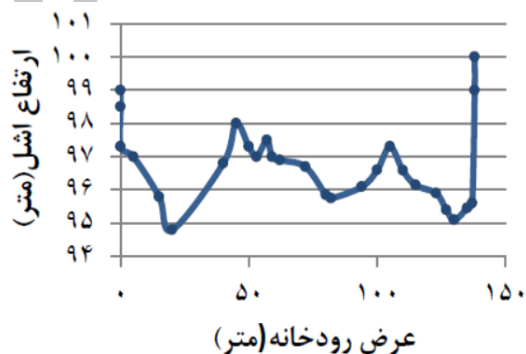
اسماختین و همکارانش در یک ارزیابی کلی از تخمین نیاز جریان زیست‌محیطی در مقیاس جهانی، میزان آن را ۲۰ تا ۵۰ درصد میانگین آورد سالانه تعیین کردند [۱۰]. مان (۲۰۰۶) صحت روش تنانت را در هفت ایالت غربی آمریکا بررسی کرد. وی بر اساس شرایط مدیریتی محدوده‌ای را به عنوان جریان زیست‌محیطی ارائه داد، که با توجه به توصیه‌های تنانت محدوده ۶۰ درصد تا ۱۰۰ درصد جریان سالیانه به عنوان میزان بهینه جریان زیست‌محیطی تعریف شده است [۱۱]. وات (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای روی رودخانه‌ها در آنتاریو کانادا به این نتیجه رسید که دو روش تنانت و تسمن با وضعیت رودخانه‌های آنتاریو سازگار نیستند و کاربرد این روش‌ها را در صورت استفاده از مطالعات بیشتر و اصلاح آنها برای رودخانه‌های آنتاریو مناسب دانست [۱۲]. ذوالفقاری و همکارانش در پژوهشی جریان زیست‌محیطی در تالاب شادگان را با روش‌های هیدرولوژیکی منحنی تداوم جریان، قانون شیلات فرانسه و روش اسماختین در دو دوره آماری قبل و بعد از اجرای سد برآورد کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد پس از احداث سد، شاخص جریان زیست‌محیطی کاهش یافته است [۱۳]. پوف و همکارانش روش جدید و جامعی را برای ارزیابی نیازهای جریان زیست‌محیطی تعریف کردند. این روش بر اساس مبانی هیدرولوژیکی ایجاد شده است و برای مناطق مختلف انعطاف‌پذیر بوده و با اهداف اجتماعی، اطلاعات اکولوژیکی و استانداردهای موجود، شرایط را برای مدیریت صحیحی از جریان محیط زیستی فراهم می‌کند [۱۴]. جاشی و همکارانش در مطالعه‌ای روی رودخانه سانه در نزدیکی فلات آمار کانتاک با استفاده از روش تغییر منحنی تداوم جریان، در کلاس زیست‌محیطی نسبتاً تغییر یافته مقدار ۱۹/۸ درصد میانگین آورد سالانه را برای جریان زیست‌محیطی آن رودخانه برآورد کردند [۱۵]. مصطفوی و یاسی با تحقیق درباره نیاز زیست‌محیطی رودخانه باراندوزچای ارومیه، به این نتیجه رسیدند که برای حفظ کمترین وضعیت اکولوژیکی قابل قبول، باید به طور متوسط شدت جریان ۱/۹ متر مکعب بر ثانیه در طول رودخانه تا دریاچه ارومیه برقرار شود [۱۶]. بیات و ابراهیمی با یک رویکرد مقایسه‌ای روش‌های مختلف دبی



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز سفیدرود



ب) ایستگاه بین راه رودبار



الف) ایستگاه پل آستانه

شکل ۲. پروفیل عرضی رودخانه سفیدرود

سه پارامتر عمق، سرعت، درصد وسعت خیس شده همراه با ملاحظات بیولوژیکی و تفرج برای تعیین کیفیت زندگی ماهیان تعریف کرد (جدول ۲). دو نکته بسیار مهم و مثبت در روش تنانت وجود دارد: نخست اینکه وجود ۱۰ درصد از متوسط جریان سالانه در رودخانه به طور دائم را به عنوان کمترین شرایط لازم برای زندهمانی رودخانه اعلام کرده است و دوم آنکه وجود حداقل ۳۰ درصد از جریان اکولوژیکی به همراه رعایت تغییرات فصلی ضروری اعلام می‌کند.

روش تنانت

روش تنانت (مونتانا) توسط دونالد تنانت در منطقه مونتانا ارائه و بررسی شد [۱۸]. داده‌های مورد نیاز از زندگی ماهیان در ۵۸ مقطع از ۱۱ رودخانه مختلف در مونتانا، نبراسکا، و یومینگ ایالات متحده آمریکا جمع‌آوری شد [۱۹]. از میان تحقیقات وسیع و گسترده تنانت یک روش ساده استاندارد استخراج شد. در این روش جریان‌های مشخصی با کیفیت زندگی ماهیان در ارتباط است. همچنین، تنانت مقدار درصدهای میانگین جریان سالانه، که هر یک معرف کیفیت زندگی ماهیان بودند، را در غالب

جدول ۲. نتایج مطالعات منتشر شده توسط تنانت ۱۹۷۵

عمق (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	سرعت (فوت بر ثانیه)	عمق (فوت)	درصد پهنا	درصد جریان متوسط سالانه رودخانه
۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰/۳	۰/۲۲	۰/۷۵	۱	۶۰	۱۰
۰/۴۵	۰/۴۵	۱/۵	۱/۵	۶۵	۳۰
۰/۶۱	۰/۶۱	۲	۲	۱۰۰	۱۰۰
۰/۹۱	۱/۲۲	۳/۵	۳	۱۱۰	۲۰۰

روش محیط خیس شده

انر و همکارانش در اجرای روش یاد شده فرض را بر این گذاشتند که دبی تعیین شده از نمودار، برای حفاظت ماهیان موجود، در حد رضایت بخش است و فرض دیگر ایشان این بود که کانال یک رودخانه محکم و پایدار است و با گذشت زمان تغییر نمی کند. روش محیط خیس شده قابلیت تعیین جریان برای فراهم آوردن زمینه ایجاد شرایط زندگی آبزیان را دارد، و به عنوان نقطه عطفی در زمینه دیگر روش ها استفاده می شود. در مقایسه با دیگر روش ها، روش محیط خیس شده به دلیل تعریف صریح نقطه بحرانی (شکل ۳)، توانایی و اعتماد بیشتری دارد [۲۲].

در مقاله حاضر برای اعمال این روش دو مقطع از سفیدرود در پایین دست سد، در مسیری که برداشت زیادی از رودخانه صورت نمی گیرد، انتخاب شد، تا جریان به حالت طبیعی خود نزدیک تر باشد؛ زیرا رژیم طبیعی جریان، تعریفی از اکوسیستم رودخانه است [۲۳]. سپس، با طی مراحل زیر دبی زیست محیطی رودخانه سفیدرود به روش هیدرولیکی محیط خیس شده محاسبه شد.

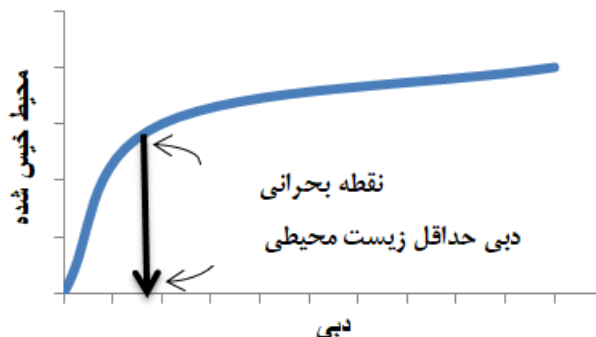
روش منحنی تداوم جریان

منحنی تداوم جریان یک ابزار گرافیکی برای نمایش جریان رودخانه از کمترین مقدار تا مقادیر سیلابی جریان در آن است. جریان هایی که در ۷۰ تا ۹۹ درصد مواقع از مقدار آن متجاوز است، معمولاً برای برنامه ریزی جریان های کم آبی استفاده می شوند. طراحی جریان کم آبی با نمودار منحنی تداوم جریان، با شاخصه ۷۰Q تا ۹۹Q مشخص می شود.

منحنی تداوم جریان نشان دهنده ارتباط بین جریان رودخانه و درصدی از احتمال وقوع آن است. این ارتباط بر اساس قضاوت های کارشناسی مشخص می شود [۲۰]. منحنی تداوم جریان با مرتب کردن داده های آماری جریان به صورت نزولی ترسیم می شود. این جریان ها در مقابل مقدار احتمال (P) ترسیم می شود. احتمال وقوع هر دبی از رابطه ۱ به دست می آید [۲۱].

$$P = \frac{m}{(n+1)} \quad (1)$$

که در آن m: مرتبه دبی در سری زمانی مرتب شده و n: کل تعداد فراوانی داده هاست.



شکل ۳. نمایش رابطه دبی و محیط خیس شده - نقطه بحرانی و دبی حداقل زیست محیطی

$$\frac{dp}{dq} = 1 \quad (3)$$

روش انحنا: نقطه‌ای که در آن انحنای نمودار دبی-محیط خیس شده بیشترین حد باشد. در نمودار بی بعد دبی و محیط خیس شده انحنای منحنی با رابطه ۴ بیان می‌شود.

$$k_c = \frac{\frac{d^x p}{dq^x}}{\left[1 + \left(\frac{dp}{dq}\right)^2\right]^{x/2}} \quad (4)$$

روش شبیه‌سازی زیستگاه

گام نخست در اجرای روش شبیه‌سازی زیستگاه، انتخاب گونه شاخص است [۲۵]. می‌توان گفت که چرخه حیات زیستگاه سفیدرود به بزرگ‌ترین عضو آن، یعنی ماهی وابسته است. چگونگی ساختار رفتاری و جمعیتی ماهیان نشان‌دهنده سلامت بودن یا نبودن محیط پیرامونشان است. به این منظور، لازم است گونه‌ای انتخاب شود تا توانایی ارائه تصویر بهتری از اکوسیستم رودخانه را داشته باشد. در پژوهش حاضر برای تعیین گونه شاخص، از روش ارزش‌گذاری که روش add-hoc نیز نامیده می‌شود، استفاده شد [۲۶].

نتایج و بحث

در جدول ۳ نتایج به دست آمده از روش تنانت و مقادیر برآورده دبی زیست‌محیطی رودخانه سفیدرود با این روش ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج تنانت و مقادیر برآورده دبی زیست‌محیطی سفیدرود به روش تنانت

درصد جریان بهار - زمستان	درصد جریان پاییز - زمستان	حالت جریان (هدف)	درصد جریان پاییز - زمستان	درصد جریان بهار - تابستان
۲۶۲	۲۶۲	فلاشینگ	۲۰۰ درصد میانگین جریان سالانه	۲۰۰ درصد میانگین جریان سالانه
۱۳۱/۲ - ۷۹	۱۳۱/۲ - ۷۹	یا حالت ماکزیمم محدوده بهینه	۶۰ - ۱۰۰ درصد	۶۰ - ۱۰۰ درصد
۵۲/۵	۷۹	بسیار عالی	۴۰ درصد	۶۰ درصد
۳۹/۳	۶۵/۶	عالی	۳۰ درصد	۵۰ درصد
۲۶/۲	۵۲/۵	خوب	۲۰ درصد	۴۰ درصد
۱۳/۱۱	۳۹/۳	نسبتاً خوب	۱۰ درصد	۳۰ درصد
۱۳/۱۱ - ۰	۱۳/۱۱ - ۰	ضعیف یا مینیمم	۱۰ - ۰ درصد	۱۰ - ۰ درصد
۱۳/۱۱ - ۰	۱۳/۱۱ - ۰	تخریب شدید	۱۰ - ۰ درصد	۱۰ - ۰ درصد

رابطه مانینگ برای به دست آوردن دبی به صورت رابطه ۲ است:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

که در آن Q: دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه؛ A: سطح مقطع جریان بر حسب مترمربع؛ R: شعاع هیدرولیکی بر حسب متر. $R = A/p$ و S: شیب طولی رودخانه، بدون بعد است.

با مشخص بودن شکل مقطع عرضی، شیب طولی و ضریب زبری مانینگ (۰/۰۲۵) هر مقطع، اقدام به رسم منحنی بی بعد محیط خیس شده در مقابل دبی جریان شد (شکل ۴). به این صورت که برای عمق‌های مختلف ابتدا مساحت و محیط خیس شده محاسبه شد و سپس با قراردادن پارامترهای به دست آمده در رابطه مانینگ، برای عمق مد نظر دبی نیز محاسبه شد. با تکرار این کار برای عمق‌های مختلف مقطع عرضی نمودار بی بعد دبی-محیط خیس شده $q = Q/Q_{max}$ (و $p = P/P_{max}$) به دست آمد. سپس، نقطه بحرانی تعیین شده و در نهایت تعیین دبی معادل نقطه بحرانی به عنوان دبی زیست‌محیطی بر اساس آنچه در ادامه اشاره شده است، انجام شد.

برای تعیین نقطه بحرانی دو روش پیشنهاد شده است [۲۴]:

روش شیب: نقطه بحرانی جایی تعریف می‌شود که در آن نقطه، شیب برابر یک باشد.

بررسی های بالا، شیب، پوشش گیاهی، فصول مختلف، خشکسالی و ترسالی و مورفولوژی رودخانه و عوامل متعدد بسیاری بر رابطه ۱ تأثیر دارند. درخور یادآوری است که بر اساس تجربه مؤلفان در این موضوع بومی سازی دقیق روش مونتانا و یا به بیان دیگر ارائه روش جدید با زمینه مطالعاتی تنانت، مستلزم کار میدانی چندین ساله درباره هر رودخانه خاص است.

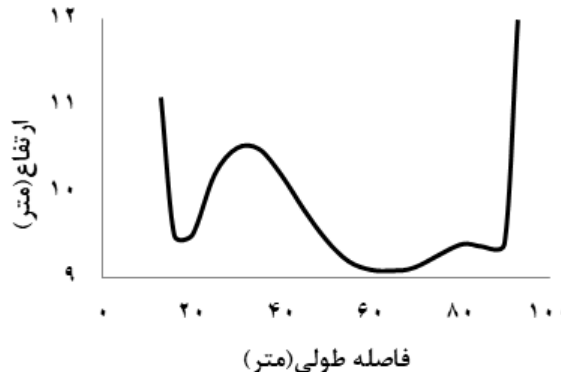
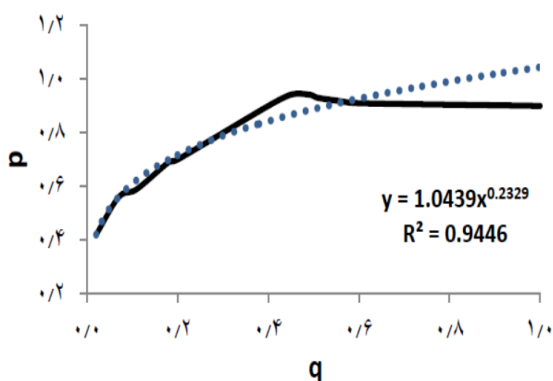
در مقاله حاضر با مقارنه‌ی به q در رابطه ۴ و در محیط نرم‌افزار اکسل بیشترین مقدار kc به دست آمد. سپس، با ضرب q معادل kc حداکثر، در دبی ماکزیمم حداقل جریان زیست‌محیطی به دست آمد [۲۷].

طبق نتایج ارائه شده در جدول ۴ مشاهده می‌شود که درصد دبی متناظر با ۶۰ درصد محیط خیس شده در رودخانه سفیدرود، با نتایج پژوهش تنانت برای رودخانه‌های آمریکا متفاوت است. سرعت جریان برآورد شده در ۶۵ و ۶۰ درصد محیط خیس شده به ترتیب، ۱/۲۱ متر بر ثانیه و ۱/۰۲ متر بر ثانیه هستند؛ که با سرعت‌های پیشنهادی تنانت (۰/۴۵، ۰/۶۱، ۰/۲۲) اختلاف زیادی دارد.

به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر پیشنهادی تنانت درباره ۱۰ و ۳۰ درصد میانگین جریان سالانه، فقط برای آمریکا قابل کاربرد است، زیرا تنانت شروط استفاده از این رابطه را بیان نداشته و مطابق

جدول ۴. برآورد ۶۵ و ۶۰ درصد محیط خیس شده میانگین جریان سالانه

ردیف	درصد پهنا	دبی متناظر	درصد دبی متناظر	درصد دبی پیشنهادی تنانت	سرعت متناظر	سرعت پیشنهادی تنانت
۱	۱۰۰ درصد	۸۱/۲	۱۰۰ درصد	۱۰۰ درصد	۱/۶	۰/۶۱
۲	۶۵ درصد	۴۳	۳۳ درصد	۳۰ درصد	۱/۲	۰/۴۵
۳	۶۰ درصد	۲۶	۱۹ درصد	۱۰ درصد	۱	۰/۲۲



شکل ۴. مقطع عرضی سفیدرود به همراه منحنی بی بعد تغییرات محیط خیس شده در مقابل دبی

نیاز زیست‌محیطی رودخانه، معادل ۱۸ درصد میانگین دبی سالانه در ماه‌های فروردین تا شهریور و ۱۹ درصد متوسط دبی سالانه در ماه‌های مهر تا اسفند برآورد شد. این مقدار، در صورتی می‌تواند حیات ماهیان را حفظ کند که ورود آلاینده‌ها به رودخانه کنترل شده، صید بی‌رویه متوقف و تغییری در بستر رودخانه و محل تخم‌ریزی و لانه‌گزینی ماهیان به وجود نیامده باشد.

برای سفیدرود با توجه به منابع موجود اکولوژیکی و هیدرولیکی، فیل‌ماهی^۱ و سیاه‌کولی^۲ به عنوان گونه‌های شاخص انتخاب شدند. مشخصات اکولوژیکی و عمق جریان مورد نیاز این دو گونه در زمان‌های مختلف سال در جدول ۵ ارائه شده است. با محاسبات به دست آمده از این روش،

1. Acipenseridae, Huso Huso
2. Cyprinidae, Vimba

جدول ۵. مشخصات اکولوژیکی و عمق جریان مورد نیاز فیل ماهی و سیاه کولی

ردیف	گونه	زمان تخم‌ریزی	عمق مورد نیاز در ماه‌های تخم‌ریزی	کمترین عمق مورد نیاز در غیر ماه‌های تخم‌ریزی
۱	سیاه کولی vimba	اردیبهشت تا تیر	۱/۳	۰/۸
۲	فیل ماهی Huso Huso	اوایل بهار و پاییز	۱/۷	۱/۲

جدول ۶. نتایج روش‌های مختلف بر آورد دبی زیست‌محیطی برای سفیدرود

روش	میانگین درصد دبی سالانه
تنانت	فروردین تا شهریور ۴۰ درصد
منحنی تداوم جریان (Q85)	مهر تا اسفند ۲۰ درصد
محیط خیس‌شده - شیب	۲۲ درصد
محیط خیس‌شده - انحنای	۳۰ درصد
شبیه‌سازی زیستگاه	۱۹ درصد
	۱۸ درصد
	۱۹٪

نتیجه‌گیری

خلاصه برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه سفیدرود از روش‌های مختلف در جدول ۶ ارائه شده است.

با توجه به وجود سد سفیدرود روی این رودخانه متأسفانه زیست‌بوم و اکوسیستم منطقه با مشکل مواجه شده است. نبود سامانه‌های تصفیه فاضلاب برای کارگاه‌های کوچک و بزرگ صنعتی، ورود زه‌آب‌های کشاورزی، برداشت‌های غیرمجاز از رودخانه، تخلیه زباله‌های شهری در اطراف رودخانه، مدیریت نامناسب بهره‌برداری آب، صید بی‌رویه و موانع و سازه‌های آبی غیراصولی سفیدرود را با بحران زیست‌محیطی روبه‌رو کرده است. در مقاله حاضر با یک رویکرد مقایسه‌ای، روش‌های تنانت، منحنی تداوم جریان، محیط خیس‌شده و شبیه‌سازی زیستگاه برای رودخانه سفیدرود ارزیابی شد، نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ خلاصه شده است. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، تفاوت درخور توجهی در نتایج وجود دارد.

تنانت در گزارش خود، شرایط استفاده از روش یادشده را بیان نکرده است، طبق ارزیابی‌های به‌عمل آمده، یکی از فاکتورهای مهم زیست‌بوم و دبی زیست‌محیطی رودخانه‌ها، شیب رودخانه است زیرا تأثیر متقابل شیب طولی رودخانه و دبی آن در تأمین اکسیژن کافی و اکسیژن‌گیری رودخانه تأثیر اساسی دارد که تنانت به آن توجه نکرده است. همچنین، سرعت‌های پیشنهادی تنانت کمتر از سرعت‌های رودخانه سفیدرود است و سبب کاهش توان خودپالایی

رودخانه می‌شود. همچنین، اظهار درصدی از میانگین جریان سالانه، برای همه ماه‌ها چندان مناسب نیست، ضمن اینکه جریان پیشنهادی تنانت بیشتر از دبی موجود رودخانه است و یا در برخی از ماه‌ها نیاز زیست‌محیطی گونه‌ها تأمین نشده است. هرچند که مزیت روش‌هایی که برحسب درصدی از بده رودخانه بیان می‌شوند، سادگی و کم‌هزینه بودن آن در شرایط نبود اطلاعات اکولوژی و هیدرولیکی است. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت که نتایج روش تنانت بیان‌کننده تطبیق ناکافی این روش با اقلیم ناحیه مطالعه شده است.

بنابراین، با توجه به بررسی به‌عمل آمده با کمک روش تنانت و دیگر روش‌های صورت‌گرفته، به منظور پایش اولیه دبی زیست‌محیطی، ۲۰ درصد میانگین جریان سالانه برای حفظ اکوسیستم در شرایط ضعیف و ۳۰ درصد میانگین جریان سالانه برای حفظ اکوسیستم در شرایط نسبتاً خوب، برای سفیدرود پیشنهاد می‌شود.

با توجه به اینکه میانگین جریان سالانه برای سال ۱۳۲۸ تا ۱۳۶۰، ۱۳۴ مترمکعب بر ثانیه است؛ جریانی که در ۸۵ درصد مواقع به صورت ماهانه در رودخانه جریان داشته، بیشتر از ۳۰ مترمکعب بر ثانیه بوده است. این مقدار، ۲۲ درصد میانگین جریان سالانه در این بازه زمانی است. نکته درخور توجه اینکه با محاسبه این مقدار برای دبی روزانه طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰، ۳/۶ مترمکعب بر ثانیه است. این تفاوت نشان‌دهنده روند کاهشی دبی

- [2]. Arthington A. Saving Rivers in the Third Millennium. Ecology and the Environment Book; 2012.
- [3]. Dunbar MJ, Acreman MC, Gustard A, Elliott CRN. Overseas Approaches to Setting River Flow Objectives; 1998.
- [4]. Acreman M, Dunbar MJ. Defining environmental river flow requirements- a review. J. Hydrology and Earth system Sciences. 2004; 8(5): 861-876.
- [5]. Liu J, Liu Q, Yang H. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. Ecological Indicators. 2016; 60: 434-441.
- [6]. Tharme RE. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. Published online in Wiley InterScience. 2003; 19:397-441.
- [7]. Richter BD, Baumgartner JV, Wigington R, Braun DP. How much water does a river need. Freshwater Biology. 1997; 37: 231-249.
- [8]. Office of Standard and Technical Criteria. Planning and Budget Organization of Iran. Drinking Water Standards. Tehran; 1992. (In Persian)
- [9]. Tharme RE, King JM. Development of the Building Block Methodology for Instream Flow Assessment, and Supporting Research on the Effects of the Different magnitude Flows on Riverine Ecosystems. Water Research Commission; 1998.
- [10]. Smakhtin VU, Revenga C, Doll P. A pilot Global Assessment of Environment Water Requirement and Scarcity. International water Resources Association. 2004; 307-317.
- [11]. Mann JL. Instream flow methodologies: An evaluation of the Tennant method for higher gradient streams in the national forest system lands in the western US. Master Thesis. Department of Forest, Rangeland, and Watershed Stewardship, Colorado state university, Colorado; 2006. 143 p.
- [12]. Watt SP. A methodology for environmental protection of Ontario watercourses with respect to the permit to take water program; 2007. 134p.
- [13]. Zolfaghari S, Ghanbarpour M, Habibnejad M, Afkhami M. Evaluation and assessment of environmental flow using hydrological methods (Case study: Shadegan wetland). Journal of Watershed Management Science and Engineering. 2009; 3(8): 67-70. (in Persian)

رودخانه و برداشت‌های غیرمجاز و تغییرات اساسی در مقادیر جریان در طول زمان بوده است.

بنابراین، برای تعیین دبی زیست‌محیطی، انتخاب بازه زمانی برای ورود اطلاعات مهم است، باید بازه‌ای از زمان انتخاب شود که رودخانه به شرایط طبیعی خود نزدیک‌تر باشد تا توان حفظ طبیعی خود را داشته باشد. در تعیین دبی زیستی به روش انحنای محیط خیس شده، بیشترین و کمترین مقادیر دبی بر جواب به دست آمده تأثیر بسزایی دارند، پیشنهاد می‌شود که از مقدار متوسط استفاده شود. در روش شیب این حساسیت روی بیشترین دبی است.

در بین روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی، محیط خیس شده (انحنا) نتایج قابل قبول‌تری ارائه داده است. پیشنهاد می‌شود، این روش برای هر ماه، به صورت جداگانه بررسی شده و از میانگین اطلاعات بلندمدت استفاده شود. می‌توان دبی زیست‌محیطی برآورد شده با کمک روش یادشده را به عنوان کمترین دبی زیست‌محیطی در نظر گرفت و با ترکیب روش شبیه‌سازی زیستگاه و محیط خیس شده موجب بهبود سطح اکوسیستم شد. نکته درخور یادآوری این است که با توجه به اهداف تعریف شده برای هر رودخانه، روش پیشنهادی متفاوت خواهد بود. در حال حاضر، آلودگی‌های شیمیایی و سموم کشاورزی و ورود فاضلاب به سفیدرود معضلی جدی و نگران‌کننده است. این موضوع صرفاً با افزایش مقادیر دبی بیشتر حل نخواهد شد، سیاست‌های پیشگیرانه مانند تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و خانگی، برداشت نکردن غیرمجاز از رودخانه، حذف تعرض به حریم و بستر رودخانه، و توجه ویژه به اکوسیستم حیاتی پیش‌نیاز انتخاب روش تعیین دبی زیست‌محیطی است.

تقدیر و تشکر

به این وسیله از دانشگاه تهران، شرکت آب منطقه‌ای گیلان، شرکت مدیریت منابع آب ایران و پژوهشکده آبروی پروری آب‌های داخلی کشور که امکانات، داده‌ها و اطلاعات لازم برای انجام تحقیق حاضر و تهیه مقالات مربوط به آن را تأمین کردند، تشکر می‌شود.

منابع

- [1]. Naiman R J, Bunn SE, Nilsson C, Petts GE, Pinay G, Thompson LC. Legitimizing fluvial systems as users of water: an overview. Environmental Management. 2002; 30:455-467.

- [14]. Poff N, Richter B, Arthington A, Bunn S, Naiman R, Kendy E, et al. The ecological li, its of hydrologic alteration (ELOHA), A new framework for developing regional environmental flow standards. *J. Freshwater Biol.* 2010; 55(1): 147-170.
- [15]. Jushi KD, Jha DN, Alam A, Srivastava SK, Kumar V, Sharma AP. Environmental Flow requirements of river sone: impact of low discharge on fisheries. *Current Science.* 2014; 107(3): 478.
- [16]. Mostafavi S, Yasi M. Evaluation of Environmental Flowsin Rivers Using Hydrological Methods (case study: The Barandozchi River- Urmia Lake Basin). *J. water Soil.* 2015; 29(5), 1219-1231. (in Persian)
- [17]. Bayat S, Ebrahimi K., Assessment of Different Environmental Flow Methods. 2th National Iraninan Conference on Hydrology, Shahrekord, Iran, 2017. (in Persian)
- [18]. Orth DJ, Maughan OE. Evaluation of the "Montana Method" for recommending instream flows in Oklahoma streams. *Pro. Okla. Acad. Sci.* 1981; 61:62-66.
- [19]. Tennant DL. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and environmental resources. *Instream Flow Needs. Volume II.* American Fisheries Society. Bethesda MD. 1976; 359-373.
- [20]. King JM, Tharme RE, Villiers DE. Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology. *Water Research Commission Technology Transfer Report No. TT131/00.* Pretoria, South Africa; 2003.
- [21]. Peres DJ, Cancelliere A, Environmental Flow Assessment Based on Different Metrics of Hydrological Alteration. *Water Resources Management.* 2016; 30(15).
- [22]. Annear TC, Conder AL. Relative bias of Several fisheries instream flow methods. *North American Journal of Fisheries Management.* 1984; 4(4B): 531-539.
- [23]. Poff NL, Allan JD, Bain MB, Kar JR, Prestegard kl. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bio science,* 1997; 47: 769-784.
- [24]. Gippel CJ, Stewardson MJ. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research and Management,* 1998; 14: 53-67.
- [25]. Jowett IG. Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated rivers.* 1997; 13: 115-127.
- [26]. Ahmadipour Z, Yasi M. Comparison of echo-hydrologic-hydraulic methods in the assessment of river ecological flow (Nazlou river, Urmia lake basin), *Hydraulic science journal.* 2015; 9(2): 69-82. (in Persian)
- [27]. Amini M, Shokouhi A. Analytical solution Determination of the fracture point of the contaminated-discharge environment in the hydraulic method of determining the minimum environmental flow. *"Journal of Hydraulic.* 2015; 9(1): 27-43. (in Persian)