

تعیین جریان محیط‌زیستی به روش هیدرولیکی در شرایط کمبود داده در رودخانه چشمه‌لنگان

- ❖ مهدی وفاخواه*؛ استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
- ❖ محمدطاوسی؛ استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

امروزه استفاده از آب‌های سطحی به منظور تامین نیازهای متنوع انسان نظیر شرب، کشاورزی و صنعت باعث شده است که سلامت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و نقش آن در سامانه طبیعی به خطر بیفتد. حداقل جریان محیط‌زیستی در رودخانه، سطح مطمئنی از حفاظت را برای محیط‌زیست وابسته به آب مهیاء می‌کند. در پژوهش حاضر مقدار جریان محیط‌زیستی رودخانه چشمه‌لنگان واقع در استان اصفهان از دو روش هیدرولیکی شیب منحنی و حداکثر انحناء محیط خیس شده محاسبه شد. نتایج نشان داد که هر دو روش شیب و انحناء مقادیر یکسانی از حداقل جریان محیط‌زیستی برآورد می‌کنند. به طوری که اختلاف دو روش در ایستگاه S1 حدود ۰/۰۷ مترمکعب بر ثانیه بود. با توجه به دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه S1، به غیر از ماه آذر در تمام ماه‌ها حداقل جریان محیط‌زیستی تامین می‌شود. در حالی که در ایستگاه‌های S3 و S4 دبی جریان اندازه‌گیری شده، حداقل جریان محیط‌زیستی را به دلیل تاثیر سد در هیچ کدام از ماه‌ها تامین نمی‌کند. مقدار دبی ۰/۳۹ مترمکعب بر ثانیه برای ایستگاه اول (S1) و ۱/۴۴ و ۱/۶۸ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب برای ایستگاه‌های سوم و چهارم (S3 و S4) به عنوان حداقل جریان محیط‌زیستی رودخانه چشمه‌لنگان پیشنهاد شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط کمبود داده می‌توان جریان محیط‌زیستی را به روش هیدرولیکی به دست آورد.

واژگان کلیدی: استان اصفهان، حق‌آبه محیط‌زیستی، محیط خیس شده، مدل‌سازی هیدرولیکی، HEC-RAS

۱. مقدمه

رودخانه‌ها از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی هستند که نقش ویژه در حفاظت تنوع زیستی و ارائه خدمات اکولوژیک گسترده از جمله تغذیه آب زیرزمینی و تعدیل شرایط اقلیمی داشته؛ ضمن آن که ارزش‌های خاص اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی از جمله تامین غذا، توسعه گردشگری و زیبایی‌شناختی دارند. رودخانه‌ها سبب تداوم حیات شده و از این نظر از اهمیت بالایی برخوردار هستند، بنابراین ارائه خدمات ارزشمند آن‌ها به اکوسیستم‌ها، به وجود آب با کمیت و کیفیت مناسب بستگی دارد [۲۳]. لذا نخستین گام در بهره‌مندی از خدمات ویژه آن‌ها و مدیریت هر رودخانه، تعیین یا برآورد نیاز آبی آن‌هاست. تعیین نیاز آبی صرفاً با اتکاء به روش‌های هیدرولوژیکی نمی‌تواند تصویر صحیحی از نیاز واقعی رودخانه برای استمرار خدمات اکولوژیکی ایجاد نماید، بنابراین، امروزه از روش‌های هیدرولوژیکی برای تعیین نیاز آبی این اکوسیستم‌ها استفاده می‌شود. تخصیص جریان محیط‌زیستی هنوز در مدیریت منابع آب از اولویت کمی برخوردار است و وضعیت اکوسیستم‌های آبی هر روز بدتر می‌شود. بنابراین در موقعیت کنونی لازم است، تحقیقات گسترده‌ای در قالب یک برنامه تحقیقاتی جامع برای ارزیابی جریان محیط‌زیستی انجام شود [۳۵]. برآورد حداقل جریان محیط‌زیستی مهم‌ترین راهکار برای برقراری تعادل بین بهره‌برداری اقتصادی از رودخانه و حفظ حیات اکولوژیکی آن است. جریان محیط‌زیستی شرایط مستعد نگهداری مجموعه‌ای از زیستگاه‌های آبی و فرآیندهای اکوسیستم را فراهم می‌کند. احداث سدها و سازه‌های مکانیکی می‌تواند تغییراتی را در حجم جریان محیط‌زیستی ایجاد نماید [۱۲، ۲۵]. مطالعات بررسی جریان محیط‌زیستی برای اولین بار توسط سرویس حیات وحش آمریکا از ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ در این کشور به کار رفت و قانون رسمی جریان محیط‌زیستی در سال ۱۹۷۰ به‌عنوان نتیجه این مطالعات در دستورالعمل سیاست‌گذاری ملی زیست‌محیطی و سند برنامه‌ریزی منابع آب آمریکا به ثبت رسید. عمده کارهای انجام شده در این

زمینه بر روی رودخانه‌ها متمرکز شده است [۳۰]. در ایران نیز در قوانین مختلف مرتبط با مدیریت منابع آب بر ضرورت حفاظت از نیازمندی‌های اکوسیستم‌های آبی تاکید شده است. پیرامون جریان محیط‌زیستی پژوهش‌های متعدد در دنیا صورت گرفته است [۱۰]. در پژوهش انجام شده [۲] با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولوژی و اکوهیدرولوژی به ارزیابی الزامات محیط‌زیستی برای ساخت سد در طول یک رودخانه مرزی در شمال غرب ایران پرداخته شد. در مطالعه دیگر [۲۸] با استفاده از روش‌هایی هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی حداقل جریان محیط‌زیستی را تحت شرایط کمبود داده در بخش جنوبی دریای خزر برآورد کردند. نتایج نشان داد که روش هیدرولوژیکی یک رژیم مناسبی از جریان محیط‌زیستی ارائه می‌دهد. در پژوهشی [۲۴] به‌منظور تعیین جریان محیط‌زیستی، کمیت و کیفیت جریان در چین مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین در مطالعه‌ی انجام شده [۴۶] با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی چارچوبی برای ارزیابی حداقل جریان محیط‌زیستی در رودخانه زرین حوزه آبخیز دریاچه ارومیه ارائه شد و نشان داده شد که ۱۷ تا ۳۵ درصد از میانگین دبی جریان سالانه باید به جریان محیط‌زیستی اختصاص یابد. در شرایط کمبود داده، مطالعه‌ای [۳۱] مبنی بر ارزیابی تطبیقی روش‌های برآورد جریان محیط‌زیستی در رودخانه کوهستانی Acheloos یونان انجام شد. نتایج نشان داد که در مناطق با کمبود اطلاعات، استفاده از شاخص‌های زیستی از طریق مدل‌های زیستگاه اطلاعات ارزشمندی را ارائه می‌دهد. در ارتباط با محاسبه حداقل جریان محیط‌زیستی دریاچه‌ها، در پژوهشی دیگر [۴۲] حداقل جریان محیط‌زیستی برای احیاء دریاچه ارومیه تعیین شد. در تحقیقی [۵] دستورالعملی برای تعیین جریان محیط‌زیستی برای اکوسیستم‌های آبی به‌منظور حفظ تنوع زیستی، ارزش‌های ذاتی و خدمات اکوسیستم مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان پایه‌ای برای دستیابی به پایداری ارائه شد و ۳۵ توصیه عملی برای هدایت و حمایت از اجرای جریان‌های محیط‌زیستی

مطالعه بود. در ایران نیز، در پژوهشی [۳۲] جریان محیط‌زیستی رودخانه بشار با استفاده از روش محیط خیس‌شده تعیین شد. نتایج نشان داد که روش نقطه ایده‌آل به دلیل استفاده مستقیم از نمودار و سرعت بیشتر در محاسبات روش برتر می‌باشد. همچنین در مطالعه دیگری [۳] از ضریب معادله تغییرات دبی- محیط خیس‌شده استفاده شد و مقدار حداقل جریان محیط‌زیستی تعیین شد. نتایج این مطالعه نشان داد که روش هیدرولیکی با دارا بودن مزیت روش‌های هیدرولوژیکی از دقت بالاتری برخوردار است. در پژوهش دیگری [۳۷] به اهمیت استفاده از روش‌های هیدرولیکی برای تعیین جریان محیط‌زیستی پرداخته شد و نتایج نشان داد که عمق مقاطع عرضی بر روی نتیجه حاصل از این روش‌ها اثرگذار است. همچنین در پژوهشی [۲۵] با تعیین جریان محیط‌زیستی رودخانه زرینگل از روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده، این روش به عنوان یک روش بهینه معرفی شد. در مطالعه‌ای [۸] عملکرد مدل‌های عصبی-فازی تطبیقی و برنامه‌ریزی بیان ژن برای پیش‌بینی جریان رودخانه خرخره چای و جریان محیط‌زیستی رودخانه ساروق چای با روش اکوهیدرولوژی تعیین شد. نتایج نشان داد که مدل‌های عصبی-فازی تطبیقی و برنامه‌ریزی بیان ژن نتایج قابل قبولی در پیش‌بینی جریان رودخانه داشتند. نتایج بخش دوم این تحقیق نشان داد برای حفظ رودخانه ساروق چای در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست‌محیطی C)، به‌طور متوسط، دبی جریان ۲/۰۵ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۳ درصد متوسط جریان سالانه) در طول رودخانه تا دریاچه ارومیه، بایستی برقرار باشد. همچنین در پژوهش دیگری [۷] رژیم جامع اکولوژیکی در شرایط کمبود داده برای تعیین جریان محیط‌زیستی رودخانه‌ها معرفی شد. در مطالعه صورت گرفته [۱۹] برای تعیین جریان محیط‌زیستی از سه روش مدل‌سازی بارش- رواناب، روش هیدرولوژی و مدل پارامترهای تغییر هیدرولوژی در رودخانه هروچای اردبیل استفاده شد. نتایج نشان داد که روش مدل‌سازی قابل اتکاء و استناد می‌باشد.

بیان‌شد. در مطالعه‌ای [۲۰] اثرات ساخت پنج سد برق‌آبی بر جریان محیط‌زیستی مورد بررسی قرار گرفت و به‌منظور حفظ و تعیین جریان محیط‌زیستی راهکارهای عملی ارائه شد. همچنین در ارتباط با محاسبه میزان جریان طبیعی رودخانه، پژوهشی انجام شده [۴۵] با استفاده از روش‌های هیدرولیکی و محیط خیس‌شده میزان جریان طبیعی را در یک کانال تعیین کردند. در پژوهشی [۴۴] برای تعیین میزان جریان محیط‌زیستی رویکردی جدید برای مناطق ساحلی جنوب آمریکا ارائه شد. در مطالعه‌ای دیگر [۲۲] روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی تعیین جریان محیط‌زیستی برای ارائه روش علمی مناسب و مقرون به صرفه در رودخانه‌های کوهستانی مقایسه شد. برای این منظور از روش محیط خیس‌شده استفاده شد. نتایج نشان داد که تلفیق روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی برای تعیین جریان محیط‌زیستی می‌تواند بیش‌ترین کارایی را داشته باشد. همچنین در مطالعه انجام شده [۴۷] نیز تاثیر تغییرات موفولوژی کانال بر جریان محیط‌زیستی در رودخانه‌های شهری مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه انجام شده در سال‌های اخیر [۴۱] تولید حداکثر جریان برق‌آبی با حفظ حداقل جریان محیط‌زیستی در یک مخزن بررسی شده است. برای این منظور یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه و با به کارگیری الگوریتم ژنتیک ارائه شد. در نهایت نتایج منجر به بهبود مزایای نیروگاه‌های برق‌آبی همراه با حفظ جریان محیط‌زیستی رودخانه شد. اخیراً در پژوهشی [۴۳] میزان جریان محیط‌زیستی بر روی رودخانه Krishna هند در قبل و بعد از احداث پنج سد Srisailam، Nagarjuna، Narayanapur، Sagar و Ujjani و PD Jurala تعیین شد. تجزیه و تحلیل هیدرولیکی نشان داد که میزان جریان محیط‌زیستی تحت تاثیر ساخت سد قرار گرفته، و مقدار آن پس از ساخت سد باید کنترل شود. همچنین در پژوهش دیگر [۳۳] با استفاده از روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده و تلفیق با سامانه اطلاعات جغرافیایی جریان محیط‌زیستی در هند ارزیابی شد. نتایج حاکی از کافی بودن جریان محیط‌زیستی در پایین‌دست منطقه مورد

بارش‌ها به صورت برف بوده و هشت ماه از سال سرد است. کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۶ شامل ۳۲۵۲۴/۸ هکتار مرتع، ۱۸۷۲/۶ هکتار اراضی کشاورزی، ۶۱/۶ هکتار پهنه‌آبی و ۴۰۰/۷ هکتار مناطق مسکونی می‌باشد [۱۳]. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و بازه‌های مطالعاتی برای تعیین جریان محیط‌زیستی رودخانه چشمه‌لنگان را نشان می‌دهد.

۲.۲. روش پژوهش

با انجام عملیات میدانی، با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و امکان دسترسی به رودخانه به‌منظور نمونه‌برداری و برداشت صحرایی، در مجموع تعداد چهار ایستگاه مطالعاتی در طول رودخانه چشمه‌لنگان با مشخصات جدول ۱ نهایی شد.

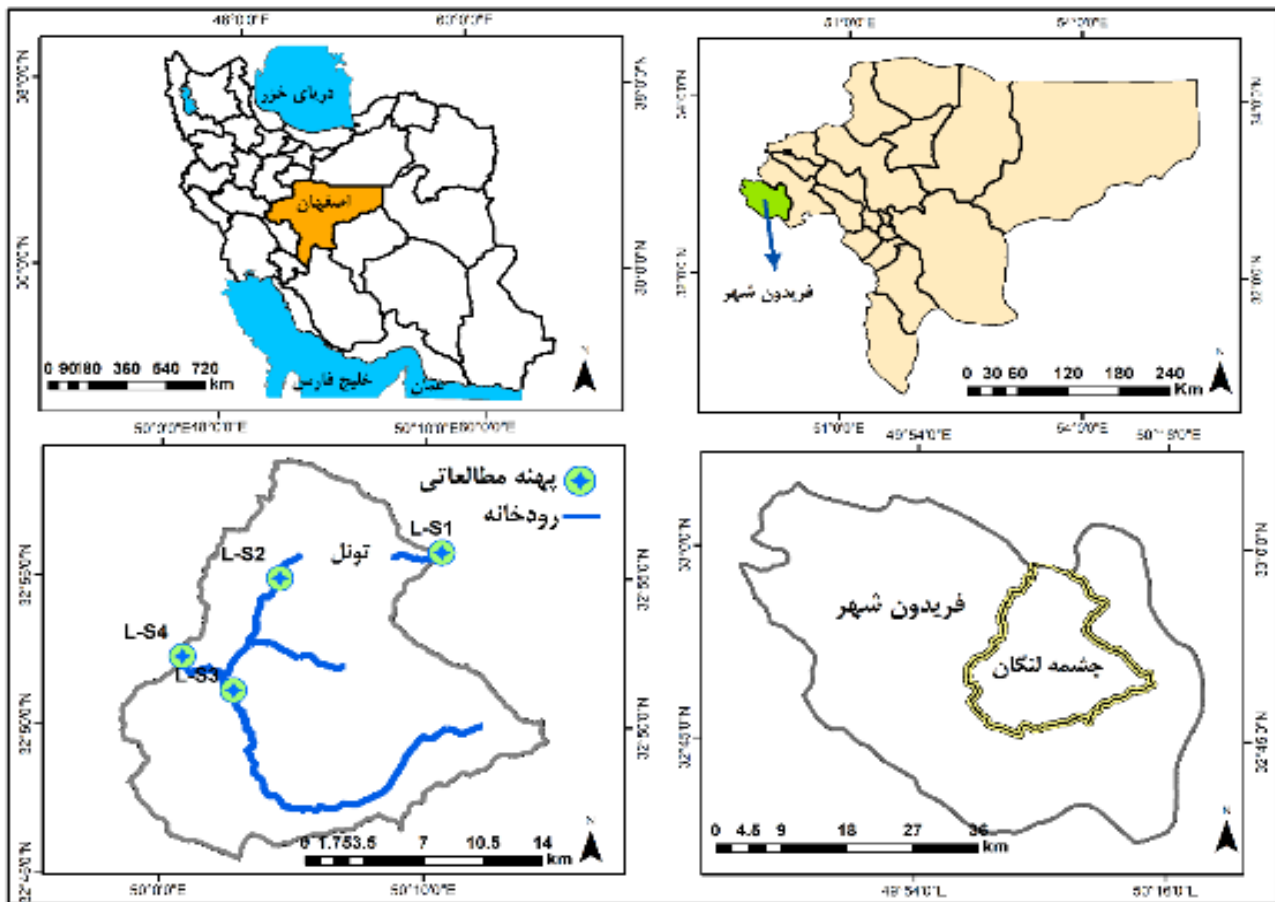
سپس با مراجعه به شرکت تحقیقات منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کشور، آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری موجود در منطقه مورد مطالعه دریافت شد. بر این اساس دو ایستگاه هیدرومتری چرخ و فلک و چشمه‌لنگان به ترتیب بر روی بازه S2 و S1 قرار دارد. با توجه به این که در منطقه مورد مطالعه ایستگاه هیدرومتری چشمه‌لنگان تحت تاثیر انتقال آب بوده و بر روی بازه‌های S3 و S4 ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد، به منظور تعیین دبی در این بازه‌ها از مدل SWAT استفاده شد. مدل SWAT یک مدل پیوسته زمانی، نیمه‌توزیعی و در مقیاس حوزه آبخیز می‌باشد که در گام‌های زمانی روزانه اجراء می‌شود. این مدل قادر است در مقیاس‌های ماهانه و سالانه نیز شبیه‌سازی نماید. در حال حاضر این مدل به‌صورت افزونه در محیط ArcGIS قابلیت اجراء دارد و بنابراین به‌کارگیری اطلاعات مکانی در مدل‌سازی را امکان‌پذیر می‌سازد. ورودی‌های اصلی مورد نیاز مدل، شامل لایه‌های مدل رقومی ارتفاع^۱، خاک‌شناسی، کاربری اراضی منطقه و داده‌های اقلیمی می‌باشد [۶].

در پژوهشی اخیراً [۳۴] جریان محیط‌زیستی رودخانه بالیخوچای با استفاده از سه روش تنانت، تسمن و منحنی تداوم جریان تعیین شد. به سبب وضعیت بحرانی ایران مرکزی به خصوص استان اصفهان و توسعه کشاورزی و افزایش شدید مصرف آب در منطقه مورد مطالعه، ضرورت مطالعات و تعیین جریان‌های محیط‌زیستی نه تنها در کل رودخانه، بلکه در بازه‌های مختلف آن آشکار است و باید بیش از پیش به این امر توجه نمود. همچنین با توجه به مزیت روش‌های هیدرولیکی نسبت به روش‌های دیگر تعیین جریان محیط‌زیستی و اهمیت محیط‌زیستی رودخانه چشمه‌لنگان و انتقال آب بین‌حوضه‌ای، هدف از انجام پژوهش حاضر تعیین جریان محیط‌زیستی رودخانه چشمه‌لنگان می‌باشد.

۲. روش‌شناسی

۱.۲. خصوصیات منطقه مورد مطالعه

سد چشمه‌لنگان در شهرستان فریدون‌شهر و ۱۸۰ کیلومتری غرب استان اصفهان واقع شده است. هدف از اجراء طرح انتقال آب رودخانه‌های سبیک، سرداب، چشمه‌لنگان و چشمه خدنگستان به رودخانه زاینده‌رود می‌باشد. با احداث سد چشمه‌لنگان سالیانه جمعاً ۱۹۵ میلیون مترمکعب آب از طریق تونل انتقال آب چشمه‌لنگان به حوضه زاینده‌رود منتقل می‌شود. چشمه‌لنگان، چشمه‌ای دائمی و پر آب در ۱۷ کیلومتری جنوب غربی فریدون‌شهر در غرب استان اصفهان قرار دارد. آب این حوضه به داخل دره‌ای در ورودی شهر فریدون‌شهر هدایت شده و مسیری حدوداً ۴۰ کیلومتری را تا الحاق به زاینده‌رود می‌پیماید. منطقه مورد مطالعه با میزان متوسط بارندگی سالانه ۴۷۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۹/۶۵ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم نیمه‌معتدل و یکی از مناطق کوهستانی می‌باشد که اکثر



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه رودخانه چشمه لنگان و چهار بازه مورد مطالعه

جدول ۱. خصوصیات مهم زیرحوزه‌های آبخیز مطالعاتی و ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در رودخانه چشمه لنگان

شماره ایستگاه	کد ایستگاه	نام ایستگاه	مساحت حوزه بالادست (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	شیب حوزه (درصد)	ارتفاع حداقل (متر)	ارتفاع حداکثر (متر)	ارتفاع متوسط (متر)
S1	۲۱-۴۵۷	چشمه لنگان	۴۷/۳۲	۶۸/۶۶	۹/۴۰	۲۳۶۰	۳۵۸۲	۲۷۶۴
S2	۲۱-۴۴۹	چرخ و فلک	۲۰/۶۵	۲۴/۹۱	۲۱/۵۹	۲۵۷۳	۳۵۵۴	۲۸۰۳
S3	-	-	۱۷۵/۶۹	۴۷/۳۳	۹/۶۵	۲۴۰۷	۴۰۲۸	۲۷۸۰
S4	-	-	۳۰۳/۱۷	۱۸۲/۱۷	۹/۴۲	۲۳۴۸	۴۰۲۸	۲۷۶۳

مورد مطالعه با استفاده از نقشه جهانی (soil-map-of-the-world) و نقشه کاربری اراضی با <http://www.fao.org/databases/faounesco/>

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و نقاط ارتفاعی مربوط به محدوده آبخیز چشمه لنگان، مدل رقومی ارتفاع با اندازه سلول ۳۰ متر تهیه شد. نقشه خاکشناسی منطقه

رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها در ایالات متحده گسترش یافت. در سال‌های اخیر این روش‌ها در کنار روش شبیه‌سازی زیستگاه‌ها تقویت شده‌اند یا این که در قالب روش‌های جامع قرار گرفته‌اند. این روش‌ها مبتنی بر استفاده از داده‌های سری زمانی و داده‌های مقاطع عرضی بحرانی و مهم کانال رودخانه هستند. در این روش‌ها هیدرولیک رودخانه به صورت تابعی از جریان مدل شده و رابطه‌ای بین پارامترهای هیدرولیکی نظیر محیط تر شده، عمق و سرعت جریان رودخانه برقرار می‌شود، سپس جریان محیط‌زیستی به عنوان دبی که شرایط بهینه زیستگاه‌ها را فراهم کند تعریف می‌شود، به طوری که در صورت عدم‌تامین این جریان، کاهش چشم‌گیری در فراوانی گونه هدف رخ می‌دهد [۲، ۳۲]. روش محیط‌خیس شده معمول‌ترین روش از دسته روش‌های هیدرولیکی است که در استرالیا و آمریکا برای تامین زیستگاه مناسب برای پرورش ماهیان، به کار گرفته می‌شود [۱۶، ۳۰، ۳۶]. در شکل ۲ نقطه بحرانی نشان داده شده است. استفاده از محیط‌خیس شده در برخی مواقع بسیار دشوار است، زیرا یک مقطع با توجه به شکل آن می‌تواند چندین نقطه شکست و یا اصلاً فاقد نقطه شکست باشد [۳]. نقطه بحرانی یا نقطه شکست در ابتدا به صورت چشمی انتخاب می‌شود که به دلیل خطا در برداشت شخصی بیننده و یا مقیاس ترسیم، چندان دقیق نبود. رابطه میان محیط‌خیس شده و دبی، تابعی از هندسه مقاطع و نحوه افزایش دبی در مقابل عمق است. اشکال هندسی مقاطع از مثلث تا مستطیل در نوسان است. می‌توان با استفاده از معادله مانینگ (رابطه ۲)، روابط بین محیط‌خیس شده و دبی را برای مقاطع مثلثی (رابطه ۳) و مستطیلی (رابطه ۴)، به دست آورد [۶].

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

استفاده از تصویر سنجنده OLI ماهواره Landsat مربوط به سال ۱۳۹۶ تهیه شد. داده‌های اقلیمی شامل بارندگی روزانه و حداکثر و حداقل دمای روزانه از ایستگاه‌های چرخ و فلک و فریدون‌شهر استفاده شد. با توجه به این که طول دوره آماری مشترک بارندگی و دما در ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه نه سال بین سال‌های آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۳-۱۳۹۲ می‌باشد. این طول دوره آماری برای اجرایی مدل SWAT انتخاب شد. بر این اساس دو سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ و ۸۶-۱۳۸۵ برای گرم کردن^۱ مدل و هفت سال دیگر برای اجرای مدل استفاده شد. SWAT در ابتدا آبخیز را به چندین زیرحوضه تقسیم می‌کند، هر زیرحوضه خود به واحدهای همسان از نظر خصوصیات خاک و کاربری اراضی تفکیک می‌شود. این واحدهای مکانی همگن از نظر ژئومورفولوژیکی و ویژگی‌های هیدرولوژی، واحدهای واکنش هیدرولوژیکی^۲ نامیده می‌شود [۲۱، ۲۷]. در این مدل اصلی‌ترین معادله در برآورد رواناب، معادله بیلان آبی می‌باشد. رواناب سطحی با روش SCS^۳ برای هر واحد واکنش هیدرولوژیکی شبیه‌سازی شده و سپس کل رواناب حاصل برای حوزه آبخیز روندیابی می‌شود [۲۷]. مقدار نهایی آب خاک (SW_t) با استفاده از مقدار اولیه آب خاک (SW_o)، مقدار بارندگی (R_{day})، مقدار رواناب (Q_{surf})، مقدار تبخیر و تعرق (E_a)، مقدار آب نفوذی به لایه غیر اشباع از پروفیل خاک فوقانی خاک (W_{seep}) و مقدار جریان برگشتی (Q_{gw}) و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۹].

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

۱.۲.۲. روش هیدرولیکی

این روش‌ها در ابتدا برای تعیین جریان‌های درون

1 Warm-up period

2 Hydrologic Response Unit (HRU)

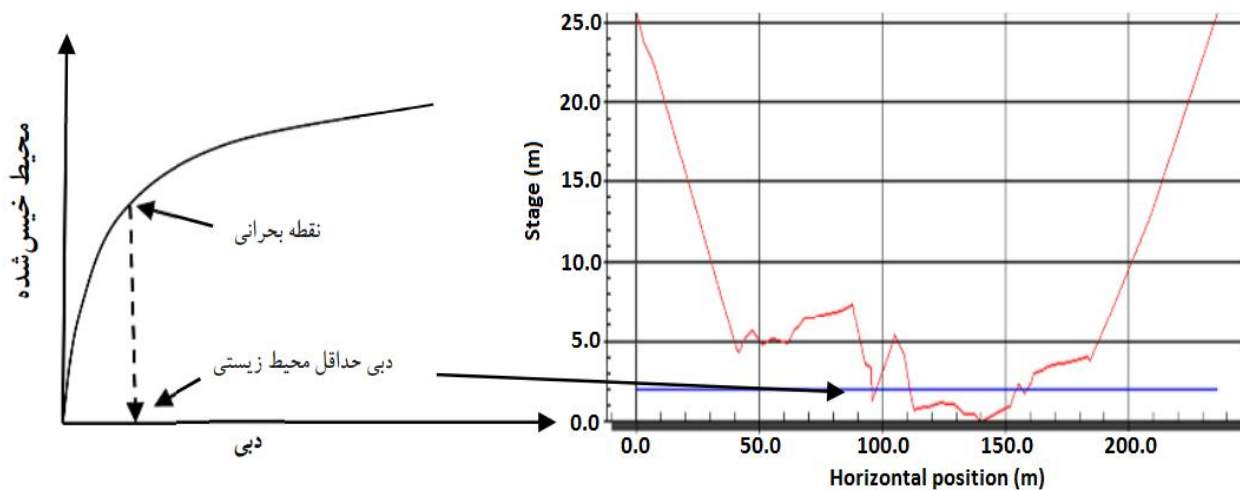
3 Soil Conservation Service (SCS)

ثانیه، A مساحت مقطع جریان بر حسب مترمربع، R شعاع هیدرولیکی بر حسب متر و S شیب جریان بر حسب متر بر متر، P محیط خیس‌شده بر حسب متر، n ضریب مانینگ و a و b ضرایب رگرسیون نمودار دبی در مقابل محیط خیس‌شده می‌باشد.

$$P = CQ^b \quad (3)$$

$$P = a \ln Q + 1 \quad (4)$$

در روابط بالا Q دبی جریان بر حسب مترمکعب بر



شکل ۲. نمایش رابطه بین دبی و محیط خیس‌شده-نقطه بحرانی و دبی محیط‌زیستی [۳۹]

آمده و در آن معرف میزان انحنای منحنی مورد نظر است. مقدار به ازای مختصات نقطه بحرانی، بیشینه می‌شود [۱۶].

$$K = \frac{\frac{d^2 P}{dQ^2}}{\left[1 + \left(\frac{dP}{dQ}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

در بررسی توانایی این دو روش در برآورد دبی بحرانی، پژوهش صورت گرفته [۱۶] روش شیب منحنی را به علت سادگی، بهتر از روش حداکثر انحنای دانسته و مقادیر حاصل از روش شیب منحنی را کمتر از روش حداکثر انحنای گزارش نموده‌اند. به منظور اجرای این روش در سه ایستگاه چشمه‌لنگان، بازه‌ای به طول یک کیلومتر از رودخانه با استفاده از دوربین توتال‌استیشن (ایستگاه‌های S1 و S3) و پهپاد (S4) با مقیاس ۱:۵۰۰ و نقشه رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۵۰ سانتیمتر نقشه‌برداری شد. همچنین ضریب مانینگ رودخانه در طول بازه یک

برای تعیین نقطه بحرانی (شکست منحنی) در منحنی دبی-محیط خیس‌شده دو روش ارائه شده است.

۱- روش شیب منحنی: در این روش با مشتق‌گیری از رابطه دبی-محیط خیس‌شده (روابط ۳ و ۴) و مساوی قرار دادن آن با عدد یک، نقطه بحرانی (دبی جریان محیط‌زیستی) به دست می‌آید [۱۶].

$$\left(\frac{\Delta P_w}{\Delta Q} = 1\right) \quad (5)$$

۲- روش حداکثر انحنای: دومین روش برای تعیین نقطه بحرانی، تعیین نقطه انحنای بیشینه است. انحنای قسمتی است که در آن منحنی تغییر جهت می‌دهد و تابع زاویه‌ای است که مماس بر منحنی در نقطه مورد نظر از کمان یا محور طول‌ها می‌سازد [۱۴]. رابطه ۶ براساس این تعریف به دست

نهایتاً با اعمال تبدیل آب‌پخشی و تعیین خطوط آب‌پخشی قطعه‌بندی اولیه تصاویر انجام شد. در آخرین مرحله داده‌های دانه‌بندی رسوبات استخراج شد. کلیه مراحل مذکور با استفاده از امکانات مختلف پردازش تصویر در نرم‌افزار MATLAB و همچنین با بکارگیری امکانات نرم‌افزار SGIA انجام شد.

۳. نتایج

۳.۱. برآورد دبی سالانه

مقدار رواناب سالانه با اجرای مدل SWAT برآورد شد. پیش‌نیاز اجرای مدل SWAT، آماده‌سازی داده‌ها در محیط ArcSWAT و منطبق با راهنمای مدل [۲۷] می‌باشد. باتوجه به این که ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه تحت تاثیر سد و انتقال آب قرار داشتند، دبی مورد اطمینانی برای ارزیابی صحت مدل SWAT وجود نداشت. از سوی دیگر مدل SWAT پیش از واسنجی و اعتبارسنجی از حداقل دقت قابل قبول برخوردار است [۱۴ و ۱۵]. لذا در پژوهش حاضر جریان شبیه‌سازی شده توسط این مدل قابل اطمینان است. جدول ۶ مقدار ارتفاع رواناب و دبی سالانه در ایستگاه‌های منتخب با استفاده از مدل SWAT را نشان می‌دهد.

کیلومتر با استفاده از تصاویر برداشت‌شده توسط پهپاد به دست آمد. برای استفاده از روش‌های پردازش تصویر برای جداسازی رسوبات بستر رودخانه و نهایتاً تعیین ضریب زبری رودخانه، ابتدا آماده‌سازی نمونه‌ها و تصویربرداری در نور و ارتفاع معین با حداقل سایه‌اندازی و با کیفیت مناسب انجام شد. برای رسوبات با اندازه‌های در حد چند سانتی‌متر از عکس‌برداری با استفاده از دوربین و از ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری به صورت عمود در یک کادر مربعی با ابعاد ۴۰ سانتی‌متری و برای رسوبات درشت‌دانه بستر حاصل انتقال توسط سیلاب‌های با دبی زیاد با استفاده از پهپاد استورم ۳ عملیات پرواز به منظور به حداقل رساندن میزان سایه (به عنوان عامل ایجاد خطا و یا نقصان داده) در تصاویر برداشت‌شده، در حوالی ظهر که تابش نور خورشید عمودتر است، انجام شد. در ابتدا تصاویر رنگی خوانده و سپس به تصاویر سطح خاکستری تبدیل شدند. در مرحله بعد مرزهای اولیه بر روی تصویر با استفاده از اعمال فیلتر sobel تعیین شدند. در مرحله بعد نیاز بود به نوعی رسوبات واقع در سطح تصویر شناسایی شوند تا امکان اندازه‌گیری و انجام عملیات دیگر بر روی آن‌ها میسر شود. بدین ترتیب لازم بود پیکسل‌های پیش‌زمینه از پیکسل‌های پس‌زمینه جدا شوند. این کار با استفاده از اعمال متوالی عملگرهای peningo و econstruction و سپس اعمال عملگرهای closing و reconstruction و در نهایت با کمک تعیین ماکزیمم‌های محلی انجام گرفت. در مرحله بعد با استفاده از اعمال تبدیل فاصله بر روی تصاویر، مرکز رسوبات مشخص شد و

جدول ۲. مقدار ارتفاع رواناب و دبی سالانه در ایستگاه‌های منتخب با استفاده از مدل SWAT

ایستگاه	ارتفاع رواناب سالانه (سانتی‌متر)	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	دبی سالانه (مترمکعب بر ثانیه)
S1	۲۸/۰۲۷	۴۷/۳۲	۴/۲۱
S3	۲۷/۲۸	۱۷۵/۶۹	۱۵/۱۹
S4	۲۶/۶۶	۳۰۳/۱۷	۲۵/۶۳

۲.۳. محاسبه ضریب زبری

چشمه لنگان، در کرانه‌های راست، وسط و چپ محاسبه شد. در جدول ۳ مقادیر ضریب زبری برآوردی آورده شده است.

ضریب زبری (n) در مقاطع مختلف سه ایستگاه

جدول ۳. ضرایب زبری محاسبه شده در چشمه لنگان

ایستگاه	مقطع	کرانه راست	وسط جریان	کرانه چپ
S1	مقطع ۱	۰/۰۵	۰/۰۷۳	۰/۰۵۰
	مقطع ۲	۰/۰۸۴	۰/۰۸۹	۰/۰۸۴
	مقطع ۳	۰/۰۸۴	۰/۰۷۹	۰/۰۸۴
S3	مقطع ۱	۰/۰۵۸	۰/۰۷۴	۰/۰۵۸
	مقطع ۲	۰/۰۵۸	۰/۰۸۹	۰/۰۶۳
	مقطع ۳	۰/۰۶۸	۰/۰۸۹	۰/۰۷۴
S4	مقطع ۱	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۶۹
	مقطع ۲	۰/۰۶۱	۰/۰۷۴	۰/۰۷۵
	مقطع ۳	۰/۰۷۲	۰/۰۷۴	۰/۰۷۵

ایستگاه نشان داده شده است. به منظور اجرای مدل هیدرولیکی HEC-RAS، جریان در حالت زیربحرانی و با توجه به اجرایی مدل در حالت زیربحرانی شرایط مرزی رودخانه برای پایین دست و عمق نرمال تعریف شد.

۴.۳. تعیین نیاز آبی به روش هیدرولیکی

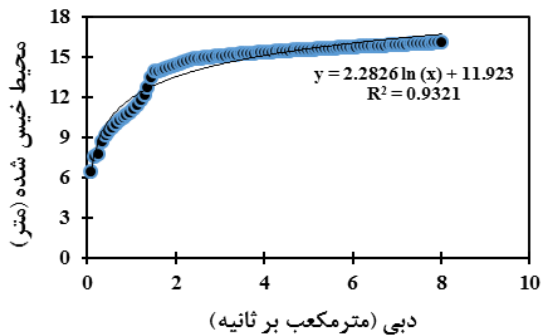
برای تعیین نقطه بحرانی (شکست منحنی) در منحنی دبی-محیط خیس شده از دو روش شیب منحنی و حداکثر انحنا استفاده شد. در اشکال ۴ و ۵ نتایج حاصل از روش‌های مذکور برای اولین مقطع هر ایستگاه آورده شده است.

در جدول ۴ حداقل جریان محیط‌زیستی از دو روش شیب و انحنا برای هر بازه محاسبه شده است.

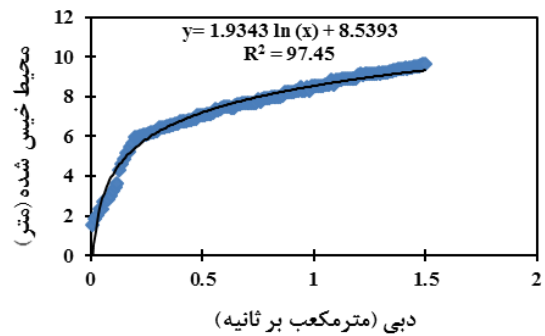
۳.۳. تعیین حداقل نیاز جریان محیط‌زیستی به

روش هیدرولیکی

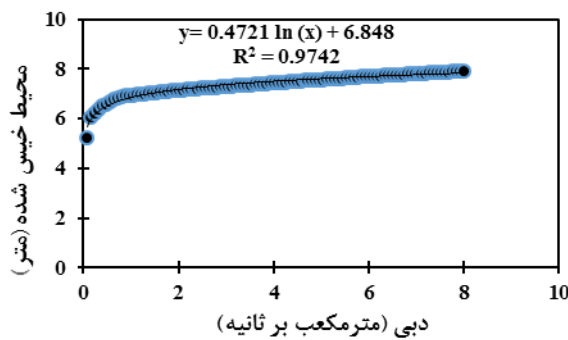
با استفاده از نقشه ۱:۵۰۰، مقاطع عرضی رودخانه در محیط GIS Arc/ با استفاده از افزونه HEC-GeoRAS استخراج شد. به منظور اجرای روش محیط خیس شده، پنج، چهار و هشت مقطع عرضی به ترتیب برای ایستگاه‌های اول، سوم و چهارم در نقاط مختلف رودخانه انتخاب شد. برای مقاطع منتخب میزان دبی بین ۰/۰۱ تا ۱/۵ (ایستگاه اول)، ۰/۰۸ تا ۸ مترمکعب بر ثانیه (ایستگاه سوم و چهارم) در محیط مدل هیدرولیکی HEC-RAS اجراء و سپس نمودار دبی-محیط خیس شده استخراج و ترسیم شد. در شکل ۳ نمودار دبی-محیط خیس شده مقاطع اول در هر



(ب)

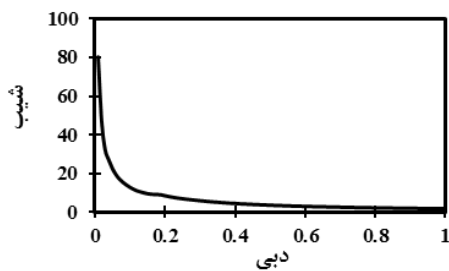


(الف)

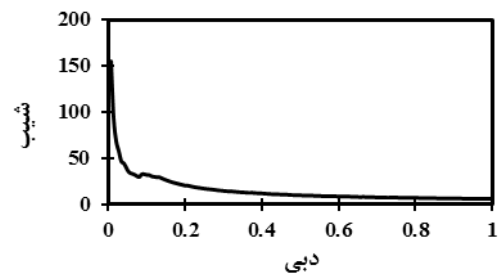


(ج)

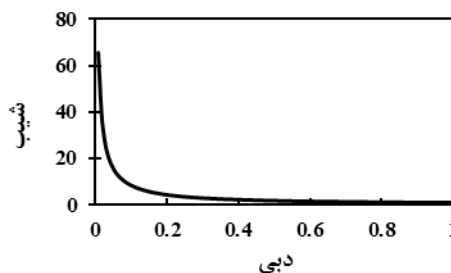
شکل ۳- منحنی تغییرات دبی-محیط خیس شده برای اولین مقطع عرضی در ایستگاه شماره ۱ (الف)، شماره ۳ (ب)، شماره ۴ (ج) رودخانه چشمه‌لنگان



(ب)

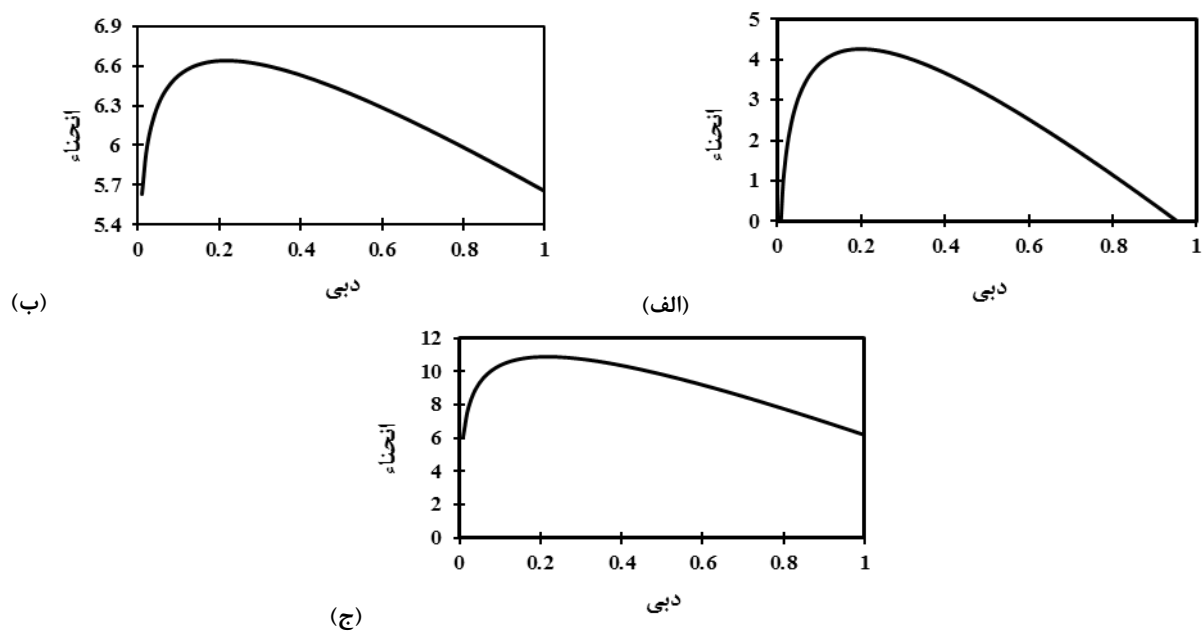


(الف)



(ج)

شکل ۴- منحنی تغییرات شیب مقطع عرضی رودخانه-دبی برای اولین مقطع عرضی در ایستگاه شماره ۱ (الف)، شماره ۳ (ب)، شماره ۴ (ج) رودخانه چشمه‌لنگان



شکل ۵. منحنی تغییرات انحناء مقطع عرضی رودخانه-دبی برای اولین مقطع عرضی در ایستگاه شماره (الف)، شماره ۳ (ب)، شماره ۴ (ج) رودخانه چشمه‌لنگان

جدول ۴. نتایج حداقل جریان محیط‌زیستی رودخانه با دو روش مختلف (بر حسب مترمکعب بر ثانیه)

S4		S3				S1				بازه				
مقطع	اول	دوم	سوم	چهارم	مقطع	اول	دوم	سوم	چهارم	مقطع	اول	دوم	سوم	چهارم
شیب	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱
انحنا	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به رقابت بر سر منابع آب و لزوم پایداری جریان محیط‌زیستی به منظور بقاء اکوسیستم، محاسبه حداقل جریان محیط‌زیستی در رودخانه ضرورتی قابل انکار است [۱۸]. روش‌های متفاوتی برای برآورد حداقل جریان محیط‌زیستی وجود دارد. در پژوهش حاضر از روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده استفاده شد. با اجرای مدل SWAT رواناب در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه طبق جدول ۲ شبیه‌سازی شد. با توجه به مساحت

حوضه‌ی هر ایستگاه، بیشترین دبی برآوردی توسط مدل SWAT مربوط به ایستگاه S4 است. همچنین ضریب زبری درمقاطع مختلف ایستگاه‌ها بین ۰/۰۵ و ۰/۰۸۹ متغیر بود. برای مقایسه حداقل جریان محیط‌زیستی با مقدار دبی موجود در رودخانه، دبی جریان به صورت ماهانه در کلیه مقاطع رودخانه چشمه‌لنگان توسط مدل SWAT شبیه‌سازی شد. حداقل جریان محیط‌زیستی در ایستگاه S1 از هر دو روش شیب و انحنا بیش از ۰/۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. با توجه به دبی اندازه‌گیری

است [۱۳]. نتایج پژوهش‌های پیشین [۱۵]، [۴۸] و [۴۰] نیز حاکی از آن بود که احداث سد بر روی پارامترهای هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی تاثیر گذار بوده‌است. بنابراین لازم است رهاسازی آب به پایین دست به‌نحوی انجام گیرد که حق‌آبه محیط‌زیستی این دو ایستگاه حفظ شود. نتایج حاصل از برآورد جریان محیط‌زیستی با دو روش شیب و انحنا نشان می‌دهد که بر خلاف نتایج برخی پژوهش‌های پیشین [۳۲]، [۱۸] هر دو روش مقادیر یکسانی را از حداقل جریان محیط‌زیستی برآورد کردند. به طوری که اختلاف دو روش در ایستگاه S1 حدود ۰/۰۷ مترمکعب بر ثانیه است. در برخی پژوهش‌ها [۱]، [۳۶] نتایج روش انحنا را بهتر از روش شیب می‌دانند. در حالی که پژوهش‌های دیگر [۳۲]، [۱۱] روش شیب را به روش انحنا ترجیح دادند. منحنی تغییرات دبی-محیط‌خیس شده (شکل ۳) نشان می‌دهد ارتباط قوی با ضریب تبیین بیش از ۹۰ درصد بین دبی و محیط‌خیس شده در هر سه ایستگاه مورد مطالعه وجود دارد. از جمله منابع خطا و محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به انتخاب مقاطع عرضی برای ترسیم منحنی دبی-محیط‌خیس شده و تخمین ضریب زبری اشاره نمود. در نهایت باید گفت تخصیص جریان محیط‌زیستی هنوز در مدیریت منابع آب از اولویت کمی برخوردار است. نادیده گرفتن نیاز زیست‌بوم رودخانه، دلیل اصلی برآورد کم مشاوران سدساز از دبی محیط‌زیستی رودخانه است [۹]، [۳۱]. بنابراین بررسی تنش‌های اجتماعی در تخصیص حق‌آبه محیط‌زیستی و توجه به طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای برای مطالعات تکمیلی و تدقین حداقل جریان محیط‌زیستی پیشنهاد می‌شود.

شده در این ایستگاه، به غیر ماه آذر در تمام ماه‌ها حداقل دبی محیط‌زیستی تامین می‌شود. در حالی که در ایستگاه‌های S3 و S4 دبی جریان شبیه‌سازی شده، حداقل جریان محیط‌زیستی را در هیچ‌کدام از ماه‌ها تامین نمی‌کند. علت آن می‌تواند قرارگیری سد در بالادست ایستگاه S4 و همچنین سد در حال احداث در بالادست ایستگاه S3 باشد. به طوری که سد چشمه‌لنگان که در بالادست ایستگاه S4 و پایین‌دست ایستگاه S3 قرار دارد از نوع بتنی بوده و حجم نرمال آن ۰/۹ میلیون مترمکعب است و در حال حاضر جریانی از این سد به پایین‌دست جریانی رها نمی‌شود که سبب شده است جریان محیط‌زیستی پایین‌دست رودخانه سرداب‌رود (ایستگاه S4) تامین نشود. به طوری که در ایستگاه S3 و S4 حداکثر دبی ماهانه موجود در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۱ مترمکعب بر ثانیه بوده است، در حالی که حداقل جریان محیط‌زیستی برای این ایستگاه‌ها به ترتیب ۱/۴۴ و ۱/۶۸ مترمکعب بر ثانیه محاسبه شده است. لازم به توضیح است که میزان جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه S4 از طریق چشمه‌های موجود در پایین‌دست سد می‌باشد [۱۳]. همچنین افزایش تغییر کاربری اراضی مخصوصاً مراتع و تخریب زیستگاه‌های طبیعی حاشیه رودخانه با توجه به بازدیدهای میدانی و مشاهده مستقیم از مهم‌ترین چالش‌های محدوده مطالعاتی چشمه‌لنگان می‌باشد [۱۳]. به طوری که طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۶، مراتع با وضعیت خوب، متوسط و فقیر در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۴۰۵ و ۲۶۶ هکتار کاهش و ۷۴۲ هکتار افزایش یافته است. همچنین اراضی کشاورزی نیز طی دوره مورد مطالعه ۲۹۵ هکتار کاهش و مناطق مسکونی ۱۶۲ هکتار افزایش یافته

References

- [1] Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., & Srinivasan, R. (2018). A guideline for successful calibration and uncertainty analysis for soil and water assessment: a review of papers from the 2016 international SWAT conference.

- [2] Abdi, R., and Yasi, M. (2015). Evaluation of Environmental Flow Requirements Using Eco-Hydrologic-Hydraulic Methods in Perennial Rivers. *Water Science and Technology*, 72(3), 354–63.
- [3] Amin, M., and Shokoohi, A. (2014). An Analytical Solution for Finding the Deflection Point of the Wetted Perimeter – Discharge Curve by Hydraulic Methods for the Determination of Environmental Flow Requirements. *Journal of Hydraulics*, 9(1), 27-43.
- [4] Arcement, G. and Schneider, V. (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Floodplains, United States Geological Survey Water Supply Paper 2339.
- [5] Arthington, A. H., Bhaduri, A., Bunn, S. E., Jackson, S. E., Tharme, R. E., Tickner, D., Young, B., Acreman, M., Baker, N., Capon, S., Horne, A. C., Kendy, E., McClain, M. E., Poff, N. L., Richter, B. D. and Ward, S. (2018). The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows. *Frontiers in Environmental Science*, 6(45), 1–15.
- [6] Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., and Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.
- [7] Azrakani, M., Shokoohi, A., and Singh, V. (2017). Introducing a Holistic Ecological Model under Data Shortage for Determining Rivers' Ecological Water Requirements. *Iran-Water Resources Research*, 13(2), 140-153.
- [8] Behmanesh, J., Mostafavi, S., and Zamanzad Ghavidel, S. (2017). Use of Soft Calculations at Estimation and Prediction of Environmental Flow Discharge (Case Study: Khorkhoreh Chay River). *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 47.3(88), 9-22. (In Persian)
- [9] Dastourani, M.T., and Sharifi darani, H., (2011). Efficient water currency methods for estimating runoff height in areas without statistics. In the Fourth Fashion Conference of the Rhron Water Resources.
- [10] Dabiri, F., and Kiani, M. (2008). Review of preventive laws and regulations, including environmental impact assessment in Iran and several industrialized countries. *Environmental Science and Technology*, 9 (4), 95-109. (In Persian)
- [11] Dehghanzadeh, M., Mosaedi, A., and Farashi, A., (2017). Environmental flow assessment using wetted perimeter method. Second Conference on Science, Engineering and Environmental Technology, University of Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran. (In Persian)
- [12] Esfandyari Darabad, F., Mostafazadeh, R., Shahmoradi, R., Nasiri Khiavi, A. (2019). Investigation the Effect of Boukan Dam on Hydrological Indices of Zarrineh River Based on Flow Duration Curve. *Water and Soil Science*, 29(4), 147-159. (In Persian)
- [13] Esmaili Sari, A. (2019). Determining the Environmental Water Requirement in the Cheshmeh Langan River using Ecological, Hydraulic, Hydrological and Habitat Simulation Methods. Iran Water and Power Resources Development Company.
- [14] Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2007). The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1211-1250.
- [15] Gain, A. and Giupponi, C., (2014). Impact of the Farakka Dam on thresholds of the hydrologic flow regime in the Lower Ganges River Basin (Bangladesh). *Water*, 6(8), pp.2501-2518.
- [16] Gippel, C.J., and Stewardson, M.J. (1998). Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Journal of Regulated Rivers: Research and Management*, 14, 53-67.
- [17] Goodman, A.W. (1980). *Analytical Geometry and the Calculus*, 4th (ed.), Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 997pp.
- [18] Hosseinpour, D., Zare Bidaki, R., and Karimian Kakolaki, R. (2019). Use of the hydraulic method to estimate the minimum environmental flow for a part of Duab Samsami River. *Journal of Natural Environment*, 72(1), 59-72
- [19] Jabbarian Amiri, B., and Kharazi Baheri, B. (2018). Comparing three approaches to determine environmental flow for Harou river in Ardabil province. *Journal of Natural Environment*, 71(2), 139-150.
- [20] King, J. M., and Brown, C. (2018). Environmental Flow Assessments Are Not Realizing Their Potential as an Aid to Basin Planning. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 133.
- [21] Krysanova, V. and Arnold, J. G. (2008). Advances in Ecohydrological modelling with SWAT—a review. *Hydrological Sciences Journal*, 53(5), 939-947.

- [22] Książek, L., Woś, A., Florek, J., Wyrębek, M., Młyński, D., and Wałęga, A. (2019). Combined Use of the Hydraulic and Hydrological Methods to Calculate the Environmental Flow: Wisłoka River, Poland: Case Study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4), 1-17.
- [23] Khoroshi, S., Mostafazadeh, R., Ismail A, Raouf, M. (2017). Evaluation of temporal and spatial changes of river hydrological health index in watersheds of Ardabil province. *Iranian Journal of Eco-hydrology*, 4 (2): 379-393. (In Persian)
- [24] Liu, J., Liu, Q., and Yang, H. (2016). Assessing Water Scarcity by Simultaneously Considering Environmental Flow Requirements, Water Quantity, and Water Quality. *Ecological Indicators*, 60,434–41.
- [25] Mosaedi, A. (2018). Evaluation of environmental water requirements by using hydraulic methods of wetted perimeter in Zarin Gol River, Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*. (In Persian)
- [26] Nasiri Khiavi A, Mostafazadeh R, Esmali A, Ghafarzadeh O, Golshan M. Changes in Environmental Flow Components under the Effect of Sabalan Dam in the Qarehsou River of Ardebil Province . *jwmr*. 2019; 10 (19) :85-94(In Persian)
- [27] Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
- [28] Nikghalb, S., Shokoohi, A.R., Singh, V.P., and Yu, R. (2016). Ecological Regime versus Minimum Environmental Flow: Comparison of Results for a River in a Semi Mediterranean Region. *Water Resources Management* , 30(13), 4969–84.
- [29] Noor, H., Vafakhah, M., Taheriyoun, M., and Moghadasi, M. (2014). Hydrology modelling in Taleghan mountainous watershed using SWAT. *Journal of Water and Land Development*, 20 (I–III), 11–18.
- [30] Office of Engineering and Technical Criteria of Water and Water of Ministry of Energy (2011). Guidance on determining the water requirements of water stations no. 557, Deputy of Planning and Strategic Supervision of the President, 127p.
- [31] Papadaki, C., Soulis, K., Ntoanidis, L., Zogaris, S., Dercas, N., and Dimitriou, E. (2017). Comparative Assessment of Environmental Flow Estimation Methods in a Mediterranean Mountain River. *Environmental Management*, 60(2), 280–92.
- [32] Poorsalehan, S., Sedghiasl, M., and Parvizi, M. (2014). Application of The Wetted Perimeter Method for Predicting Minimum Environmental flow of Beshar River. *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(1), 107-118.
- [33] Prakasam, C., and R. Saravanan. (2021). Evaluation of Environmental Flow Requirement Using Wetted Perimeter Method and GIS Application for Impact Assessment. *Ecological Indicators*, 121, 107019.
- [34] Raouf, M., Alioghli, S. (2020). Estimation of environmental flow of the Balikhlochai River and evaluation impact of Yamchi dam operation on hydrological and environmental regime of the river. *Journal of Natural Environment*, 73(2), 299-312.
- [35] Revenga, C., Smakhtin, V., and Doll, P. (2004). Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments. *Comprehensive Assessment Research Report 2*. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat.
- [36] Richardson, B.A. (1986). Evaluation of instream flow methodologies for freshwater fish in New South Wales, In Campbell I.C. (eds.), *Stream Protection, the Management of Rivers for Instream Uses*. Water Studies Centre, Chisholm Institute of Technology, Caulfield, pp. 143–167.
- [37] Shokoohi, A. R. (2015). Sensitivity Analysis of Hydraulic Methods Regarding Hydromorphologic Data Derivation Methods to Determine Environmental Water Requirements. *Journal of Water and Wastewater*, 26(3), 104-115. (In Persian)
- [38] Shokoohi, A., and Hong, Y. (2011). Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran) Sea Basin-Iran). *Hydrological Processes*, 25, 3490-3498.
- [39] Shokouhi, A., and Hang, Y. (2012). Use of Morphological Characteristics in Permanent Rivers to Determine Minimum Requirements for Ecological Aquatic Environment. *Journal of Environmental Studies*, 37(58), 117-128

- [40] Sojka, M., Jaskuła, J., Wicher-Dysarz, J., and Dysarz, T., (2016). Assessment of dam construction impact on hydrological regime changes in Lowland River—A case of study: the Stare Miasto reservoir located on the Powa River. *Journal of Water and Land Development*, 30(1), pp.119-125.
- [31] Suwal, N. et al. (2020). Optimisation of Cascade Reservoir Operation Considering Environmental Flows for Different Environmental Management Classes. *Renewable Energy*, 158, 453–64.
- [42] Torabi Haghighi, A., Nasim Fazel, A., Hekmatzadeh, A. and Klöve, B. (2018). Analysis of Effective Environmental Flow Release Strategies for Lake Urmia Restoration. *Water Resources Management*, 32(11),3595–3609.
- [43] Uday Kumar, A. and Jayakumar, K. V. (2021). Modelling of Environmental Flow Requirements Using Hydraulic and Habitation Models. *Ecological Indicators*, 121(October 2020),107046.
- [44] Van Niekerk, L., Taljaard, S., Adams, J. B., Lamberth, S. J., Huizinga, P., Turpie, J. K., and Wooldridge, T. H. (2019). An Environmental Flow Determination Method for Integrating Multiple-Scale Ecohydrological and Complex Ecosystem Processes in Estuaries. *Science of the Total Environment*, 656, 482–94.
- [45] Vatankhah, A. R. (2018). Normal Depth and Wetted Perimeter in General Power-Law Channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 64,234–41.
- [46] Yasi, M. and Ashori, M. (2017). Environmental Flow Contributions from In-Basin Rivers and Dams for Saving Urmia Lake. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 41(1), 55–64.
- [47] Zhang, L., Buxian, Y., Xinan, Y., and Yanwei, Zh. (2019). The Influence of Channel Morphological Changes on Environmental Flow Requirements in Urban Rivers. *Water (Switzerland)*, 11(9), 1–13.
- [48] Zuo, Q., and Liang, S. (2015). Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 368, 275-280.

