دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بهینه‌سازی چندهدفه در تعیین جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه

حامد نوروزی[۱]، فریدون رادمنش[۲]، امیر پورحقی[۳] و اباذر سلگی[۴]

۱، ۲ و ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴- دانشجوی دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز، (نویسنده مسوول: abazar_solgi@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۴

چکیده

احداث سدهای مخزنی روی رودخانه، علاوه بر تغییر رژیم و کاهش جریان رودخانه در پایین‌دست باعث مشکلات زیست‌محیطی برای اکوسیستم منطقه می‌شود. این موضوع با تخلیه آلاینده‌ها به رودخانه می‌تواند تشدید پیدا کند. ازاین‌رو، برآورد حداقل جریان زیست‌محیطی برای سیستم‌های رودخانه‌ای و سایر اکوسیستم‌های آبی یک امر ضروری جهت حفظ محیط‌زیست و منابع آب است. در این تحقیق، جریان زیست‌محیطی رودخانه دز با استفاده از بهینه‌سازی جریان خروجی از سد دز در بالادست آن تعیین شد. برای این منظور، ابتدا بازه مطمئنی برای جریان زیست‌محیطی رودخانه به میزان ۱۰ تا ۱۰۰ مترمکعب برثانیه تعریف شد، سپس شبیه‌سازی کیفی رودخانه برای بازه مذکور توسط مدل QUAL-2K انجام شد. در ادامه با استفاده از نظریه حل اختلاف نش، جریان رهاسازی بهینه از سد، تحت ۳ سناریوی وزن‌های نسبی برای اهداف مهم کمی و کیفی تعیین شدند که مقادیر آن‌ها به‌ترتیب برابر ٦٦، ۵۷ و٧٤ مترمکعب برثانیه به دست آمد که متوسط غلظت برای این سناریوها به ترتیب ۲/۹۲٦، ۳/۲۳۷ و ۲/۷۲۷ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد. هر کدام از این مقادیر می‌تواند درصدهای متفاوتی از نیازهای کمی و کیفی را تأمین کند و اولویت‌بندی این اهداف به تصمیم‌گیران واگذار شد.

واژه‌های کلیدی: جریان زیست‌محیطی، نظریه تعادل نش، Qual2k، سد دز

مقدمه

رودخانه‌ها همواره علاوه بر تأمین آب مورد نیاز جوامع، به عنوان یک منبع سهل‌الوصول و تجدیدپذیر برای تخلیه آلودگی‌ها نیز مد نظر بوده‌اند. اما با توسعه فعالیت‌های مختلف از قبیل فعالیت‌های شهری، کشاورزی و صنعتی، افزایش چشم‌گیری در مقدار و غلظت آلودگی‌های مختلف به رودخانه ها رخداده است. در سرتاسر دنیا، تخلیه عمدی و سهوی آلاینده‌های مختلف در رودخانه‌ها، موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی بسیاری شده است. تخیله آلاینده‌ها در رودخانه‌ها موجب افزایش غلظت مواد مضر برای سلامت انسان‌ها و گونه‌های جانوری و گیاهی موجود در رودخانه‌ها شده است. آلودگی آب در دهه‌های اخیر تهدیدی جدی برای انسان و زیست‌بوم‌های طبیعی تلقی می شود به طوری‌که بررسی تغییرات کیفیت آب یکی از موضوعات مهم جهت استفاده بهینه از آن است.

از طرف دیگر، رشد جمعیت و افزایش نیاز به آب، سبب احداث روز افزون سدهای مخزنی بر روی بسیاری از رودخانه‌ها شده است (۱۰). احداث سدها علاوه بر کاهش جریان بستر رودخانه و اثرات مخرب آن بر زیست‌گاه‌ها، معمولاً باعث ایجاد کارخانجات، توسعه سامانه‌های زهکشی مزارع و دیگر مسائلی از این دست در مناطق اطراف سد می‌شود که این امر خطر ورود آلاینده‌ها و کاهش کیفیت رودخانه را افزایش می‌دهد (۲۰).

مقدار جریان رودخانه از جمله پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر روی کیفیت رودخانه در طول مسیر است. در مواردی که تخلیه آلاینده‌ها به رودخانه قابل کنترل نبوده و رودخانه ظرفیت پذیرش حجم آلودگی را در خود ندارد، برای کاهش آسیب‌ها می‌توان از رقیق‌سازی آلودگی توسط تغییر جریان رودخانه استفاده کرد. بنابراین تعیین جریان رقیق‌سازی برای آلودگی‌های غیر قابل کنترل ضروری است. این کار می‌تواند نیازمند شبیه‌سازی کیفی رودخانه و یا استفاده از روش‌های معمول در تعیین جریان زیست محیطی باشد. مطالعات زیادی در راستای شبیه‌سازی کیفی رودخانه با مدل‌های مختلف (زهرا گورانی (۱۱)، پارکولی (۱۷)، کانل و همکاران (۱۹)، چو وریونگ‌ها (۷)) و تعیین جریان پایه زیست محیطی رودخانه (سان و همکاران (۲۵)، یانگ و همکاران (۳۰)، پنگ و همکاران (۱۶)، شیائو و وو (۲۲)) بر پایه مدل‌های ریاضی و نظری صورت گرفته است.

کاوندیش و دانسان (۶) جریان زیست محیطی را با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی برای منطقه میسوری به دست آورده و به این نتیجه رسیدند که مقدار جریان زیست محیطی اغلب اوقات با مدت افت جریان متناسب می‌باشد.

هو و همکاران (۱۴) به بررسی وضعیت احداث سدهابر حوزه آبریز رودخانه Huaih پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که احداث سدها روی این حوزه آبریز اثرات منفی قابل توجهی گذاشته است. در ادامه ایشان با استفاده از روش هیدرولوژیکی تنانت و الگوریتم محدوده تغییرپذیری RVA[1] یک محدوده جریان زیست محیطی پایدار برای حوزه تعیین کردند. پوف و همکاران (۱۸)، یک روش جدید و جامع برای ارزیابی نیازهای زیست محیطی رودخانه ارائه دادند. این روش که بر اساس محدودیت‌های ناشی از تغییرات هیدرولوژیکی تعریف شده است بر اساس تکنیک‌های هیدرولوژیکی موجود پایه‌ریزی شده است. از مزیت‌های این روش این است که قابل انعطاف برای مناطق مختلف است اما قابلیت بررسی تعیین جریان در شرایط احداث سد و در نظر گرفتن اهداف آن را ندارد.

1- Range of Variation Approach

شکوهی و هانگ (۲۴)، حداقل آب مورد نیاز زیست محیطی در رودخانه‌های دائمی را با استفاده از پارامترهای مورفولوژیکی تعیین کردند.

وی و همکاران (۲۹) یک مدل دینامیکی سیستم (SD) را که منعکس کننده تعاملات بین منابع آب، جریان محیطی و اقتصاد اجتماعی است را با استفاده از بسته 'SD' نرم افزار Vensim PLE توسعه دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد مدل توسعه یافته SD در بازتاب رفتار پویای سیستم در منطقه مورد مطالعه خوب بوده است.

شیائو و وو (۲۲) یک قاعده جدید برای بهره‌برداری از مخزن با هدف تأمین جریان مورد نیاز محیط زیست ارائه کردند. هدف از این تحقیق نزدیک کردن جریان رهاسازی به جریان طبیعی رودخانه، به منظور تأمین جریان مورد نیاز محیط زیست رودخانه بود.

ذوالفقاری و همکاران (۳۱)، برای تعیین جریان زیست محیطی تالاب شادگان از روش هیدرولوژیکی استفاده کردند. جریان زیست محیطی در تالاب شادگان بر اساس ایستگاه هیدرومتری شادگان در روش‌های منحنی تداوم جریان، قانون شیلات فرانسه و روش اسماکتین به ترتیب ۶/۸۳ ، ۱/۵۴، ۳/۱۸ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد. در روش مونتانا، جریان زیست محیطی در نیمه‌ی نخست سال ۱/۵۴ و در نیمه‌ی دوم سال ۳/۶ متر مکعب بر ثانیه محاسبه شد. نتایج نشان می دهد که در ایستگاههای هیدرومتری پس از احداث سد، شاخص جریان زیست محیطی کاهش یافته است.

سید سراجی و همکاران (۲۱)، در تحقیقی با استفاده از مدل QUAL-2E، به بررسی اثرات تغییر دبی بر دما و اکسیژن محلول در رودخانه، با استفاده از داده‌های کمی و کیفی محاسبه شده، اثرات افزایش دبی بر تغییرات اکسیژن محلول در رودخانه قزل اوزون و شاخه فرعی شاهرود و در نزدیکی سد سفیدرود پرداختند.

عبدی و همکاران (۱) به منظور تعیین جریان زیست محیطی رودخانه زرینه‌رود به ارزیابی روش‌های هیدرولوژیکی تنانت[1]، تسمان[2]، مدل ذخیره رومیزی[3] و انتقال منحنی تداوم جریان[4] پرداختند. برای این منظور از اطلاعات آب‌سنجی ایستگاه هیدرومتری ساری قمیش استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصل، مقادیر به‌دست آمده از روش انتقال منحنی تداوم جریان، به دلیل در نظر گرفتن شرایط مدیریت اکولوژیکی نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد. بنابراین، نیاز زیست‌محیطی رودخانه زرینه‌رود در طبقه مدیریت زیستی C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) به‌طور متوسط برابر ۱۶/۷ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۳۳ درصد دبی متوسط سالانه) برآورد شده است.

تقوی کلجاهی و همکاران (۲۶) از تلفیق روش هیدرولوژیکی منحنی تداوم جریان و روش جامع نیاز آب زیست‌محیطی تالاب میان‌کاله در محل ورودی رودخانه‌های تغذیه‌کننده آن را برآورد کردند. نتایج نشان داد که حداقل دبی ورودی از رودخانه‌های سیاه‌آب و غازمحله به تالاب با استفاده از روش منحنی تداوم جریان به ترتیب ۰/۵۷۸ و ۰/۰۵۴ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.در روش جامع حداقل دبی برای رودخانه سیاه آب و غازمحله ۲/۱۶۳ و ۰/۰۹۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

باقریان مرزونی (۴) به منظور شبیه‌سازی کیفی رودخانه کارون در حد فاصل ملاثانی تا فارسیات، از مدل QUAL-2K استفاده کرد. در این تحقیق نشان داده شد که مدل QUAL-2K توانایی خوبی در شبیه‌سازی رودخانه کارون دارد.

فرهادیان (۹) به منظور شبیه‌سازی رودخانه کارون در پایین‌دست سد گتوند از مدل ریاضی QUAL-2K استفاده کرد. در ادامه به منظور تعیین میزان جریان پایه زیست محیطی رودخانه کارون با توجه اهداف کمی و کیفی سد گتوند، سه سناریوی مدیریتی را با کمک نظریه نش مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که نظریه تعادلی نش توانایی بالایی در برآورد جریان بهینه و پایه زیست محیطی دارد.

همانطورکه ملاحظه می‌گردد تحقیقات خوبی در زمینه شبیه‌سازی کیفی سیستم رودخانه با استفاده از مدل QUAL-2K و تعیین جریان پایه زیست محیطی با استفاده از روش‌های مختلف انجام شده است. روش‌های معمول در تعیین جریان زیست‌محیطی همچون روش هیدرولوژیکی با وجود دارا بودن مزیتی همچون اجرا با داده‌های کم، اغلب ناکارآمدند و قادر به در نظر گرفتن تغییرات کوتاه مدت جریان نیستند (۱۰). دیگر روش‌های مرسوم نیز معمولاً نیازمند داده‌های فراوان هستند و قادر به در نظر گرفتن دیگر اهداف در نظر گرفته شده سدها و رودخانه‌ها نمی‌باشند. لذا در این مطالعه، به منظور افزایش دقت کار و کاهش وقت و هزینه، از نظریه تعادلی نش جهت تعیین جریان زیست‌محیطی استفاده گردید. این نظریه، می‌تواند به خوبی دیگر اهداف مورد نظر رودخانه‌ها و سدهای بالادست آن‌ها را در نظر بگیرد.

تغییرات شاخص BOD بیشترین تأثیر را روی محیط زیست و به خصوص موجودات زنده در محیط‌های آبی دارد (۴). به عبات دیگر، معقول‌ترین معیار برای سنجش کیفیت آب، BOD است (۲). لذا این پارامتر می‌تواند یک پارامتر معقول برای انجام این تحقیق باشد.

نوآوری این تحقیق آن است که به منظور تعیین جریان پایه زیست محیطی رودخانه دز، به دیگر اهداف کمی و کیفی سد دز با صرف کمترین هزینه و داده، نیز توجه شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مرسوم، یک بازه مطمئن جریان زیست‌محیطی برای رودخانه دز تعیین گردید. در ادامه با شبیه‌سازی پارامتر BOD با استفاده از مدل Qual-2K در بازه تعیین شده و استفاده کردن از نظریه تعادلی نش، مقدار دقیق جریان تحت سناریوهای مختلف برآورد شد.

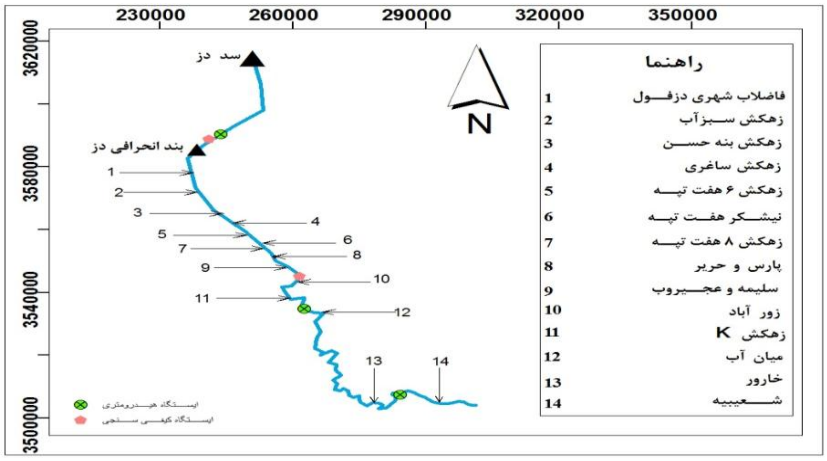
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه دز یکی از مهترین سرشاخه‌های رودخانه کارون بزرگ است که با سرچشمه گرفتن از ارتفاعات زاگرس و طی مسیر کوهستانی رشته کوه‌های زاگرس وارد دشت دزفول و پس از طی یک مسیر نسبتاً طولانی در نقطه‌ای با نام بند قیر

1- Tennant 2- Tessman 3- Desktop Reserve Model 4- Flow Duration Curve Shifting

با رودخانه کارون تلاقی پیدا می‌کند. سد دز بر روی مسیر رودخانه و در شمال‌غرب شهرستان دزفول قرار دارد. محدوده مورد مطالعه رودخانه دز در پایین دست سد دز و حد فاصل سد انحرافی دز تا نقطه بند قیراست. طول رودخانه حدود ۱۹۰ کیلومتر است که در این فاصله انواع آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی وارد رودخانه می‌شود (شکل ۱). مطابق با شکل، به ترتیب دو ایستگاه کیفی سنجی گلال‌کوپیته و آب‌شیرین و ۳ ایستگاه هیدرومتری دزفول، حرمله و بامدژ بر روی مسیر رودخانه قرار دارد.



شکل ۱- رودخانه مورد مطالعه و آلاینده‌های ورودی به آن.
Figure 1. The studied river and entered pollutants to it

دسته‌بندی مدل‌های شبیه‌ساز کیفی

امروزه مدل‌های زیادی جهت تجزیه و تحلیل تغییرات اکسیژن محلول در رودخانه‌ها وجود دارند که با کمک آنها می توان مطالعاتی در مورد تعیین بار مواد زائد انجام داد. اصولاً شکل ریاضی همه آن‌ها یکسان بوده و همه آن‌ها دارای مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل و همچنین معادلاتی برای هر ماده و یا موجود زنده هستند که بایستی به طور واضح در چارچوب مدل منظور گردند. با توجه به گستردگی و توانایی‌های این مدل‌ها، می‌توان آن‌ها را به دو دسته کلی مدل‌های ساده و مدل‌های پیشرفته تقسیم نمود.

مدل‌های ساده

اغلب مدل‌های ساده، بر اساس رابطه‌های ریاضی حرکت آلودگی در رودخانه، تحت شرائط و فرضیات خاصی به دست آمده‌اند. از حل رابطه‌های حرکت آلودگی در رودخانه توسط محققین مختلف، مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی انتشار و پخش انواع آلودگی در رودخانه‌ها ارائه شده‌اند. این مدل‌ها حاصل حل‌های عددی یا حل‌های تحلیلی و با در نظر گرفتن شرائط مرزی و فرضیات خاص هستند. یکی از مدل‌های رایجی که برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول در رودخانه به کار می‌رود، رابطه استریتر-فلپس است. استریتر و فلپس (۱۹۲۵) با در نظر گرفتن فرضیاتی از جمله، حذف اثرات تنفس و فتوسنتز گیاهان آبزی و عدم محاسبه نیاز اکسیژن بیوشیمیایی نیتروژنی (NBOD)، به علت مقدار ناچیز آن‌ها و همچنین فرض اختلاط کامل آلودگی با آب در حالت ماندگار جریان رودخانه به ارائه یک رابطه پرداختند.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u\frac{\partial c}{\partial x} + D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - kc \qquad (۱)$$

مدل‌های پیشرفته

ورود آلودگی‌های مختلف به رودخانه‌ها، واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی بین آلودگی‌ها و همچنین رابطه آلودگی‌ها با شرایط محیطی از جمله شرایط هیدرولیکی رودخانه‌ها، موجب بروز پیچیدگی‌های زیادی در فرآیند محاسبات شبیه‌سازی کیفی می‌شوند. برای شبیه‌سازی تمامی این عوامل بصورت هم‌زمان با هم، به مدل‌های توانمندی در این زمینه نیاز است. لذا مدل‌های مختلفی با استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی رایانه‌ای ایجاد شده‌اند که قادر به شبیه‌سازی شاخص‌های کیفی مختلف در رودخانه‌ها هستند.

مدل Qual-2k

یکی از مهمترین عامل‌های دست‌یابی به نتایج قابل قبول در شبیه‌سازی کیفی آب‌های سطحی، انتخاب مدل شبیه‌ساز مناسب است. انتخاب مدل مناسب، به نوع مسئله، شناخت پیچیدگی‌های موجود و اهداف مطالعه بستگی دارد. برای انتخاب مدل شبیه‌ساز کیفی، باید اهداف و فرضیات مسئله، داده‌های لازم برای هر مدل و داده‌های موجود، ویژگی‌های آلودگی‌های مسئله و گام‌های زمانی و مکانی شبیه‌سازی تعیین شوند. در این تحقیق برای انتخاب مدل مناسب شبیه‌ساز کیفی، علاوه بر بررسی جوانب ذکر شده، به بررسی تحقیقات پیشین انجام شده در راستای شبیه‌سازی کیفی رودخانه‌ها پرداخته شده است. لذا در نهایت مدل QUAL-2K به عنوان شبیه‌ساز کیفی رودخانه انتخاب گردیده است. مدل QUAL-2K از آخرین مدل‌های سری QUAL است و نسخه کامل شده مدل‌های پیشین این سری است. این مدل به‌عنوان کامل‌ترین مدل شبیه‌سازی

کیفی رودخانه است که در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرد و قادر است شاخص‌های بسیاری از قبیل DO، BOD، دما، اسیدیته، مواد معلق، فسفر، حالت‌های مختلف نیتروژن و جلبک را شبیه‌سازی کند (۱۰).

مدل یک بعدی QUAL-2K تنها در جهت طول رودخانه، تغییرات کیفیت آب را شبیه‌سازی می‌کند. لذا با فرض اختلاط کامل در جهت عمق و عرض، طول رودخانه به بازه‌هایی با اندازه‌های مختلف تقسیم‌شده و با حل معادلات مربوط به شاخص‌های هیدرولیکی و کیفی، در هر بازه کیفیت آب رودخانه شبیه‌سازی می‌شود. حل‌معادلات این مدل در شرایط یکنواخت و غیریکنواخت جریان رودخانه انجام‌پذیر هستند. این مدل منابع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای را در شرایط مختلفی از تعداد تخلیه و برداشت آلودگی و آب، در شاخه‌های اصلی و فرعی شبیه‌سازی می‌کند.

این مدل دارای مزیت‌های بسیاری است و آن مزیت‌ها شامل موارد زیر است: (۱) این مدل توانایی شبیه‌سازی آلودگی‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای را داراست که این مورد از موارد مهم برای مسئله مورد نظر تحقیق است، (۲) روش کار با آن نسبت به دیگر مدل‌ها بسیار ساده‌تر است، (۳) به‌صورت وسیعی در تحقیقات کیفی آب‌های سطحی به کار رفته و نتایج قابل قبولی ارائه کرده است که مواردی از آن‌ها نیز آورده شده است، (۴) هزینه تهیه آن کم است، (۵) با داده‌های ورودی اندک هم مدل اجرا می‌شود و (۶) مدل قابلیت تحلیل پارامترهای کیفی بیش‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها دارد.

QUAL-2K در انتهای فرآیند شبیه‌سازی، نتایج را به صورت اطلاعات و نمودارها برای رودخانه اصلی ارائه می‌کند. درصورتی‌که رودخانه مورد نظر دارای انشعابات فرعی نیز باشد، این اطلاعات و نمودارها علاوه بر رودخانه اصلی برای انشعابات فرعی نیز درصورت درخواست کاربر، ارائه می‌شوند. این ویژگی مدل نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل انتخاب آن جهت انجام فرآیند شبیه‌سازی باشد.

جریان زیست‌محیطی رودخانه

مقداری از آب موجود در رودخانه که برای حفظ حیات زیست‌بوم‌های وابسته به رودخانه ضروری است، جریان زیست‌محیطی نام دارد (۱۳). این جریان به منظور تأمین آب مورد نیاز برای فعالیت‌های موجود در زیست‌بوم‌های رودخانه لازم است که درصورت عدم تأمین آن، ادامه حیات زیست‌بوم رودخانه با بحران مواجه خواهد شد. برای برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها، روش‌های مختلفی بر اساس دقت لازم، مکان رودخانه مورد نظر، اطلاعات موجود و مسائل اقتصادی ناشی از تخصیص آب به جریان زیست‌محیطی، ارائه شده است. تعداد این روش‌ها بسیار زیاد است اما می‌توان آن‌ها را به چهار دسته اصلی که شامل روش‌های هیدرولیکی، هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی زیستگاه‌ها و روش جامع می‌شوند، طبقه‌بندی نمود. تارمه (۲۸) در تحقیقی ۲۰۷ روش برآورد جریان زیست‌محیطی را شناسایی و در دسته‌بندی‌های فوق قرار داد که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- تعداد روش‌های شناسایی شده از هرکدام از دسته‌بندی‌ها (تارمه، ۱۹۹۸).

Table 1. The number of identified methods for each classification (Tharme,1998)

نوع روش	تعداد روش‌ها	درصد از کل
شبیه‌سازی زیستگاه	۵۸	۲۸
هیدرولیکی	۲۳	۱۱/۱
هیدرولوژیکی	۶۱	۲۹/۵
جامع	۱۶	۷/۷
ترکیب روش‌ها	۳۵	۱۶/۹
سایر روش‌ها	۱۴	۶/۸

روش‌های هیدرولوژیکی عمدتاً براساس داده‌های هیدرولوژیکی موجود رودخانه‌ها طراحی شده‌اند. مهم‌ترین داده‌ها در این روش، مقدار جریان طبیعی رودخانه در مقیاس‌های روزانه، ماهانه یا سالانه هستند. به علت سادگی روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های بسیاری در این دسته‌بندی جای می‌گیرند که اغلب این روش‌ها نتایج حاصل از تحقیقات یک محقق در یک منطقه خاص از دنیا بوده و برای برآورد جریان زیست‌محیطی در همان منطقه کاربرد دارند. در ایران نیز روش تنانت به علت داده‌های کم مورد نیاز و آسان بودن کاربرد، مرسوم‌ترین روش برآورد جریان زیست‌محیطی است. این روش نیز مانند دیگر روش‌های هیدرولوژیکی در برخی موارد دارای خطای بیش‌تری نسبت به روش‌های دیگر دسته‌بندی‌هاست. البته این روش دارای شرایط و ضوابطی است که با رعایت آن‌ها می‌توان نتایج حاصل را بهبود بخشید. در ادامه شرحی از روش‌های تنانت به اختصار آورده شده است.

روش تنانت

تنانت (۱۹۷۶) بر اساس تحقیقاتی که برای برآورد جریان زیست‌محیطی بر روی رودخانه‌هایی در چند ایالت آمریکا و به‌خصوص ایالت مونتانا[1] انجام داد، روشی را ارائه نمود. در این روش، ابتدا جریان طبیعی رودخانه، پیش از تأثیر هرگونه دخالت فعالیت‌های انسانی از جمله سدسازی، از روی داده‌های تاریخی جریان به‌دست می‌آید. سپس از جریان طبیعی به‌دست آمده متوسط سالانه گرفته می‌شود و درصدی از این متوسط به عنوان جریان زیست‌محیطی درنظر گرفته می‌شود. تنانت بر اساس نتایج حاصل از تحقیقاتش، سه درصد آستانه از جریان طبیعی رودخانه، که عبارتند از ۱۰، ۳۰ و ۶۰ درصد را به عنوان جریان زیست‌محیطی در سه شرایط مختلف برای حفظ سلامت زیست‌بوم‌ها معرفی کرد. ۱۰ درصد به‌عنوان شرایط کمینه، ۳۰ درصد به‌عنوان شرایط نسبتاً

1- Montana

مساعد و ۶۰ درصد به‌عنوان شرایط مساعد برای حیات جانوران آبزی است. علی‌رغم کمبودهای روش تنانت، به خاطر مزیت‌های اساسی این روش نسبت به دیگر روش‌ها، همچنان یکی از رایج‌ترین روش‌های محاسبه جریان زیست‌محیطی به شمار می‌رود. تنانت همچنین یک جدول برای مقدار جریان زیست‌محیطی در شرایط مختلف مطلوبیت سلامت زیست‌بوم‌ها ارائه کرده است که جدول ۲ معرف آن است.

جدول ۲- درصدهای پیشنهادی تنانت برای حفظ زیست بوم

Table 2. The offered Tenant percentages for Ecosystem preservation

کیفیت حیات آبزیان	مهر تا اسفند (٪)	فروردین تا شهریور (٪)
بیشینه جریان ممکن	۲۰۰	۲۰۰
وضعیت بهینه	۶۰ تا ۱۰۰	۶۰ تا ۱۰۰
بسیار عالی	۴۰	۶۰
عالی	۳۰	۵۰
خوب	۲۰	۴۰
قابل قبول	۱۰	۳۰
ضعیف	۱۰	۱۰
کمبود شدید	کمتر از ۱۰	کمتر از ۱۰

نظریه بازی‌ها[1]

مدیریت کیفی رودخانه‌ها، مستلزم درنظر گرفتن شرایط تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان مختلفی است که هرکدام از آن‌ها دارای مطلوبیت‌های خاص خود هستند. علاوه بر این مطلوبیت‌های خاص، وجود منابع محدود و مشترک موجب بروز اختلافاتی در بین تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان می‌شود، درحالی‌که مدیریت پایدار منابع آبی نیازمند توافق‌های پایدار در میان تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان است. در چنین شرایطی، ترجیح دستیابی به منافع شخصی کوتاه‌مدت بر منافع عموم، بدون درنظر گرفتن پیامدهای آن، موجب وارد آمدن خساراتی زیست‌محیطی می‌شود که در بلندمدت گریبان‌گیر تمامی افراد و حتی ذی‌نفعان منابع آب می‌شود. لذا استفاده از روش‌هایی که بتوانند اختلافات میان تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان مختلف را به بهترین شکل ممکن حل نماید از ضروریات است. یکی از روش‌های موجود برای رفع اختلاف‌های ممکن در مسائل کیفی منابع آب، استفاده از نظریه بازی‌ها است. نظریه بازی‌ها با مطالعات برل (۵) بر روی چند بازی رایج در میان عموم مردم آن زمان شروع شد. نظریه بازی‌ها یک روش ریاضی برای تجزیه و تحلیل مسائلی است که دربرگیرنده موقعیت‌های در تعارض هستند (اصغرپور، ۱۳۸۲). بعدها این نظریه توسط جان نش در سال ۱۹۴۴ توسعه داده شد.

نش مجموعه مشخصی از شرایطی را که جواب‌ها باید آن‌ها را ارضا کنند ارائه نمود و ثابت کرد که تنها یک جواب می‌تواند شرایط مسئله را ارضا کند که آن جواب به‌عنوان پاسخ مسئله حل اختلاف درنظر گرفته می‌شود. شرایطی که در نظریه نش وجود دارند عبارتند از: (۱) امکان تخصیص بیش از منابع در دسترس برای تصمیم‌گیران وجود ندارد، (۲) هیچ تصمیم‌گیرنده‌ای توافقی که در آن تابع مطلوبیت کم‌تر از کمینه سطح مطلوبیت آن تصمیم‌گیرنده باشد را نمی‌پذیرد، (۳) جواب بهتری برای تصمیم‌گیران وجود ندارد (۱۵).

نظریه حل اختلاف نش برای حل اختلاف بین دو شخص ارائه شد. هرسانی (۱۲) این نظریه را برای حل اختلاف بین چند شخص توسعه داد که به‌صورت یک مدل بهینه‌سازی در رابطه (۲) ارائه شده است. از این مدل به خاطر وجود ضرب بین نتایج به‌دست آمده برای هر شخص، به عنوان نش ضربی نیز یاد می‌شود.

$$max: \prod_{i=1}^{N} (f_i - d_i)^{w_i} , f_i \geq d_i \qquad (۲)$$

که در این رابطه، i: شمارنده تصمیم‌گیران، N: تعداد تمام تصمیم‌گیران، f_i: تابع مطلوبیت تصمیم‌گیرنده i، d_i: کمینه سطح مطلوبیت قابل قبول برای تصمیم‌گیرنده i و w_i = وزن نسبی تصمیم‌گیرنده i هستند (۳).

بنابراین برای رفع اختلاف موجود میان دو یا چند بازیکن با استفاده از نظریه نش، ابتدا باید تصمیم‌گیران مشخص شوند و بعد از آن، کمینه سطح مطلوبیت و وزن‌های نسبی تعیین شوند. سپس با به‌کارگیری رابطه (۱) می‌توان بهترین راه‌حل را برای اختلاف موجود، پیدا نمود. منظور از بازی در این کار اهدافی است که باید در تعیین جریان رهاسازی بهینه در نظرگرفته شوند شامل: (۱) متوسط غلظت، (۲) طول تماس، (۳) تأمین جریان زیست‌محیطی، (۴) اطمینان‌پذیری ذخیره و (۵) تأمین نیاز پایین‌دست هستند. در میزان بهره‌برداری از آب رودخانه برای اهداف ذکر شده در بخش قبلی، اختلاف وجود دارد، به این صورت که برای اهداف ول ماس و اطمینان‌پذیری ذخیره، کمینه جریان رهاسازی از سد مطلوب است، اما برای اهداف متوسط غلظت، تأمین جریان زیست‌محیطی و تأمین نیاز پایین‌دست، رهاسازی جریان با بیشینه مقدار ممکن از سد مطلوب است.

روش کار

روش کار به این صورت است که بعد از تعیین بازه جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش تنانت، شبیه‌سازی رودخانه دز با مدل Qual-2K در بازه مورد نظر و فواصل یک واحدی انجام گرفت. به دنبال پیدا کردن جریان بهینه زیست محیطی در این بازه، با استفاده از نظریه بازی‌ها و در نظر گرفتن اهداف مختلف کمی و کیفی سد دز، مسأله در سناریوهای مختلف حل، سپس مقدار جریان بهینه زیست محیطی برآورد گردید.

1- Game Theory

نتایج و بحث

نتایج حاصل از روش تنانت

از مجموعه روش‌های هیدرولوژیکی، روش تنانت به عنوان یکی از روش‌های پرکاربرد در جهان، مورد استفاده در این تحقیق است. برای استفاده از روش تنانت به میانگین سالانه جریان طبیعی رودخانه پیش از احداث سد نیاز است.

میانگین سالانه جریان طبیعی رودخانه دز، در سال‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. تنانت جریان زیست‌محیطی را به‌صورت یک بازه ۱۰ تا ۶۰ درصدی از جریان میانگین جریان رودخانه پیشنهاد کرده است. لذا مقدار جریان زیست‌محیطی بر اساس درصدهای معرفی شده و با توجه به مقادیر جدول ۳ تقریباً بین ۱۰ تا ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه خواهد بود. جریان ۱۰ مترمکعب بر ثانیه کم‌ترین مقدار ممکن برای جریان زیست‌محیطی بوده و برای مقادیر کمتر از آن، زیست‌بوم‌های رودخانه دچار بحران شدیدی خواهند شد. جریان ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه نیز بیش‌ترین مقدار مناسب جریان زیست‌محیطی است که برای جریان‌های بیش‌تر از این مقدار، حیات زیست‌بوم با مخاطراتی از قبیل به‌وجود آمدن شرایط نامناسب با تخم‌ریزی آبزیان، مواجه می‌شود.

جدول ۳- میانگین سالانه جریان ورودی به سد دز در دوره آماری مورد نظر(مترمکعب بر ثانیه)

Table 3. The annual average inlet flow to the Dez dam in the intended time period (CMS)

	سال ۸۶	سال ۸۷	سال ۸۸	سال ۸۹	سال ۹۰	سال ۹۱	سال ۹۲	سال ۹۳
میانگین سالانه	۱۸۹/۱۱	۹۱/۳	۱۴۸/۲۱	۱۶۲/۴۲	۱۲۳/۸۳	۱۴۲/۴۳	۱۴۰/۱۵	۱۶۰/۱۷
تنانت (۱۰٪)	۱۸/۹۱	۹/۱۳	۱۴/۸۲	۱۶/۲۴	۱۲/۳۸	۱۴/۲۴	۱۴/۰۲	۱۶/۰۲
تنانت (۶۰٪)	۱۱۳/۴۷	۵۴/۷۸	۸۸/۹۳	۹۷/۴۵	۷۴/۲۹	۸۵/۴۶	۸۴/۰۹	۹۶/۱۰

شبیه‌سازی پارامتر BOD

برای انجام شبیه‌سازی‌های مورد نیاز، ابتدا باید زمان لازم برای هر شبیه‌سازی را تعیین نمود. با توجه به دائمی بودن ورود آلاینده‌ها از طرف منابع آلاینده به رودخانه، لازم است هر شبیه‌سازی، تا زمانی که مقدار غلظت آلودگی در رودخانه به تعادل برسد، ادامه یابد. لذا مدت زمان لازم برای حرکت جریان آب از مکان اولین منبع آلاینده تا پایان مسیر شبیه‌سازی، کمینه زمان لازم برای انجام یک دوره‌ی شبیه‌سازی است. این زمان، با داشتن سرعت جریان و با استفاده از رابطه مانینگ توسط QUAL-2K، ۲/۷ روز به دست آمد.

بنابراین برای اطمینان از به تعادل رسیدن غلظت‌های آلودگی در رودخانه، طول مدت زمان هر شبیه‌سازی، ۳ روز درنظر گرفته شد.

برای شبیه‌سازی شاخص BOD برای جریان‌های رهاسازی از سد، مدل QUAL-2K به کار گرفته شد. در جدول ۴ خلاصه‌ای از اطلاعات کیفی آلاینده‌های وارد شده به رودخانه آورده شده است. همچنین مکان دقیق ورود همه آنها محاسبه شده و فاصله آن‌ها نسبت به نقطه ابتدای مسیر در جدول ۵ نمایش داده شده است. با ورود اطلاعات کیفی و آلاینده‌های وارد شده به رودخانه، واسنجی برای ۸ ماه (تیرماه تا بهمن ماه ۹۲) و صحت‌سنجی برای ۵ ماه (خردادماه تا مهر ماه ۹۳) انجام شد (جدول ۶).

به منظور واسنجی مدل از داده‌های ۸ ماه ایستگاه اندازه‌گیری کیفی آب شیرین که در مسیر رودخانه مورد نظر قرار دارد، استفاده شد، این کار بوسیله تغییر ضرایب زوال و نرخ پارامترهای کیفی بوسیله نرم‌افزار شبیه‌سازی مورد استفاده انجام شد. در ادامه، شبیه‌سازی برای جریان‌های بین بازه ۱۰ تا ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه، با فواصل یک واحدی برای جریان رهاسازی، انجام شد. با شبیه‌سازی در دو حالت بیشینه و کمینه جریان رهاسازی از سد، می‌توان بازه تغییرات غلظت شاخص BOD رودخانه را محاسبه نمود. لذا شبیه‌سازی شاخص BOD رودخانه تحت این مقادیر جریان انجام شده و نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده‌اند.

در حالت کمینه جریان همان‌طور که مشاهده می‌شود نوسانات BOD دارای تغییرات کمتری نسبت به حالت بیشینه است. همچنین همان‌گونه که در شکل مشخص است، در ابتدای بازه رودخانه غلظت BOD به علت ورود آلاینده‌ها افزایش می‌یابد.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای کیفی آلاینده‌های زهکش‌های وارده به دز (سازمان آب و برق خوزستان ۱۳۹۲)
Table 4. Valuse for qualitative parameters of drained pollutants entered to the Dez (Khuzestan water utility company 2013)

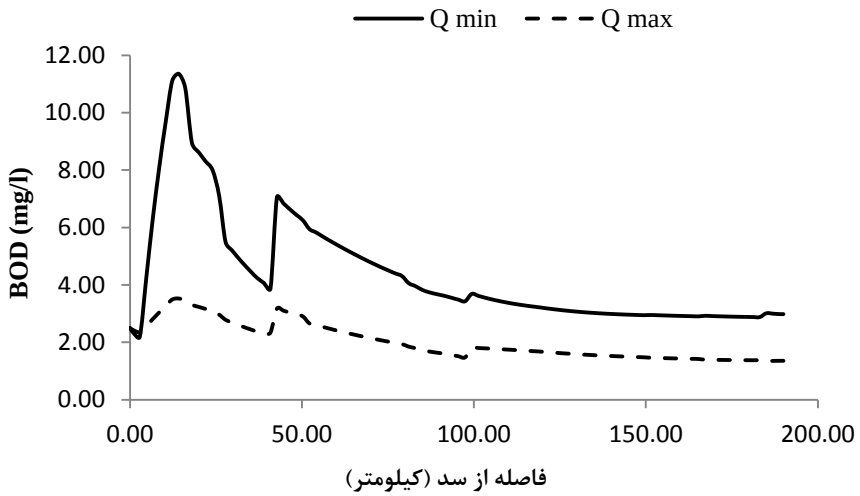
COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	DO (mg/l)	دبی (m^3/s)	زهکش
۲۵/۲	۴/۶۴	۴۰	۷/۶۵	۳	زهکش سبز آب
۳۲/۴	۳/۴۸	۵۰	۸/۱۴	۱/۳	زهکش بنه حسن
۲۵/۸	۳/۹۷	۴۰	۷/۰۵	۵/۵	زهکش ساغری
۲۷	۳/۴۳	۳۰	۸/۰۷	۱/۳	{زهکش و پساب نیشکر هفت تپه}
۲۰/۶	۲/۸۱	۳۰	۸/۰۷	۲/۲۵	عتیج
۲۹/۸	۲/۴۴	۳۰	۷/۱۵	۱/۵	زهکش (۸) هفت تپه
۲۵	۲/۶۸	۴۰	۶/۷۳	۱۴/۷	سلیمه و عجیروب
۳۰/۳	۳/۲	۴۰	۵/۵۶	۱۲	زورآباد
۲۲/۴	۳/۹	۶۰	۷/۷	۱۰	زهکشK
۳۶	۷/۵	۴۰	۵/۵	۴/۸۲	میان آب
۱۴/۷	۳/۳۴	۱۸۰	۸/۶۶	۲/۵	خارور
۱۵/۶	۲/۶	۴۰	۶/۶۴	۸	شاوور
۳۱	۵/۸	۵۰	۸/۱۳	۱۱	شعیبیه

جدول ۵- فاصله مکان‌های آلودگی از سد
Table 5. The distance of contamination location from the dam

فاصله (km)	مکان ورود آلاینده
۱۸/۳۲۹	زهکش سبزآب
۲۵/۹۳۷	زهکش بنه حسن
۲۸/۰۰۵	زهکش ساغری
۴۰/۴۹۶	زهکش (۶) هفت تپه (زهکش و پساب نیشکر هفت تپه)
۴۰/۵۹۷	عتیج
۴۱/۹۸۵	زهکش (۸) هفت تپه
۴۳/۶۳۵	سلیمه و عجیروب
۸۰/۵۵۸	زور آباد
۸۵/۲۴۳	زهکش K
۹۹/۴۹۶	میان آب
۱۵۱/۹۳	خارور
۱۶۸/۰۴	شاوور
۱۸۴/۲۴	شعیبیه

جدول ۶- نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل Qual-2K
Table 6. The results of calibration and verification from Qual2k model

معیار	R^1	RMSE	MAE
واسنجی	۰/۹۱۴	۰/۴۲	۰/۳۴
صحت سنجی	۰/۸۲۱	۰/۵۶	۰/۴۸



شکل ۲- شبیه‌سازی کیفی رودخانه در مقادیر مرزهای بالا و پایین رهاسازی از سد.
Figure 2. River qualitative simulation at upper and lower bounds values of dam water release

نظریه نش

همان‌طور که در قسمت‌های قبل بیان گردید تعادل نش مفهومی در نظریه بازی‌ها است که امروزه کاربرد فراوانی در علوم مختلف از جمله محیط‌زیست و منابع آب پیدا کرده و نام آن از جان فوربز نش گرفته شده است. در این مطالعه با توجه به اهداف متوسط غلظت، طول تماس، جریان زیست محیطی، نیاز پایین‌دست و اطمینان‌پذیری ذخیره سد دز مسأله در ۳ سناریو مدیریتی حل شد. برای ورود متغییرها به تابع نش، ابتدا باید آن‌ها را نرمال نمود. برای نرمال‌سازی هرکدام از اهداف، از رابطه (۳) استفاده شد.

$$q_{n\,i,j} = \frac{q_{i,j} - Min_j}{Max_j - Min_j} \qquad (۳)$$

که در این رابطه، j: شمارنده اهداف، i: شمارنده داده‌های هر هدف j ، $q_{i,j}$: داده iهدف j، $q_{n\,i,j}$: نرمال شده داده $q_{i,j}$ هدف j، Min_j: کوچک‌ترین داده موجود در هدف j و Max_j: بزرگ‌ترین داده موجود در هدف j هستند.

کمینه سطح قابل قبول اهداف

براساس نظریه نش، پیش از اجرای مدل بهینه‌سازی، لازم است برای هر کدام از اهداف، کمینه سطح قابل قبول آن‌ها تعیین شود تا بتوان مطلوبیت به‌دست آمده برای هر هدف را برای هر مقدار جریان رهاسازی مشخص نمود. بیش‌ترین مقدار ممکن برای اهداف متوسط غلظت و طول تماس موجب وارد آمدن بیش‌ترین خسارات به زیست‌بوم‌ها می‌شود، لذا کمینه سطح قابل قبول برای این اهداف، رسیدن مقدار آن‌ها به بیش‌ترین مقدار ممکن است. برای تعیین مقدار کمینه سطح مناسب این اهداف، لازم است یک عدد متناسب با بیشینه مقدار رخ داده این اهداف در نظر گرفته شود. لذا برای آنکه مقدار انتخاب شده یک مبنای آماری مناسب داشته باشد، از جمع بزرگ‌ترین داده موجود در اهداف متوسط غلظت و طول تماس با مقداری به اندازه یک واحد از انحراف معیار داده‌های هر یک از این اهداف، به‌عنوان کمینه سطح قابل قبول استفاده می‌شود. بدین ترتیب، به اندازه یک واحد انحراف معیار به بزرگ‌ترین داده هر کدام از اهداف متوسط غلظت و طول تماس اضافه می‌شوند تا کمینه سطح قابل قبول این اهداف به‌دست آیند. کمینه سطح قابل قبول برای هدف جریان زیست‌محیطی، کمینه جریانی است که در قسمت‌های قبل توسط روش تنانت محاسبه شد و برابر ۱۲ مترمکعب تعیین شد. برای هدف اطمینان‌پذیری ذخیره، کمینه سطح قابل قبول را می‌توان مقدار میانگین جریان ورودی به سد که ۱۴۰ مترمکعب بر ثانیه است، در نظر گرفت. در این مقدار، هیچ ذخیره‌ای در سد صورت نگرفته و تمامی آب ورودی به سد، از آن خارج می‌شود و در نتیجه هیچ یک از اهداف سد تأمین نمی‌شود. برای هدف تأمین نیاز پایین‌دست، با توجه به حجم و کیفیت مناسب آب مورد نیاز، کمینه سطح قابل قبول را می‌توان کمینه جریان رهاسازی از سد در نظر گرفت. با توجه به اینکه یکی از علل اصلی کاهش کیفیت آب شهرهای پایین‌دست، کاهش جریان رودخانه است، افزایش جریان رودخانه می‌تواند علاوه بر افزایش کیفیت آب رودخانه، حجم مورد نیاز برای مصارف پایین‌دست را نیز تأمین نماید. لذا با انتخاب کمینه جریان رهاسازی به عنوان کمینه سطح قابل قبول برای این هدف، هیچ کدام از نیازهای پایین‌دست نیز تأمین نخواهند شد.

سناریو وزن‌های نسبی اهداف

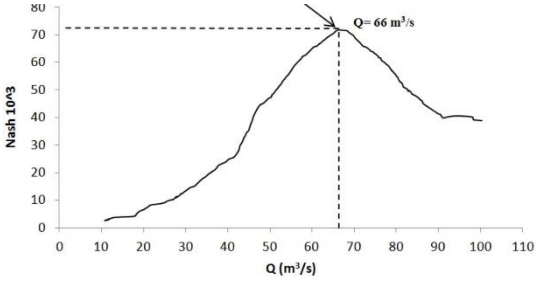
با توجه به اینکه وزن‌های نسبی به شرایط زیادی ازجمله شرایط اقتصادی، اجتماعی، اقلیمی و غیره بستگی دارند، بدون انجام مطالعات جامع در زمینه‌های فوق نمی‌توان مقادیر دقیقی برای وزن‌های نسبی اهداف تعیین نمود. لذا در ادامه، ۳ سناریوی مختلف که در آن‌ها وزن‌های نسبی با توجه به مسائل کمی و کیفی و توجه به اهداف مهم تغییر می‌کنند، تعریف می‌شوند تا بتوان حالت‌های مختلفی را بررسی نمود. این سه سناریو عبارتند از:

الف- سناریو اول: وزن‌های یکسان برای تمامی اهداف

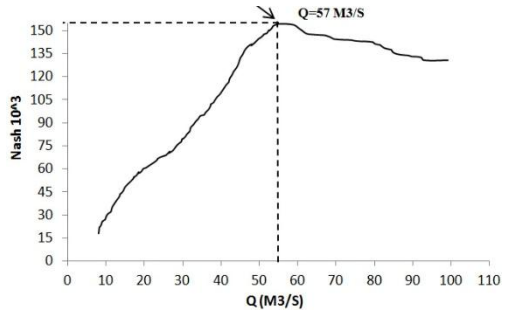
ب- سناریو دوم: افزایش وزن اهداف کمی

ج- سناریوی سوم: افزایش وزن اهداف کیفی.

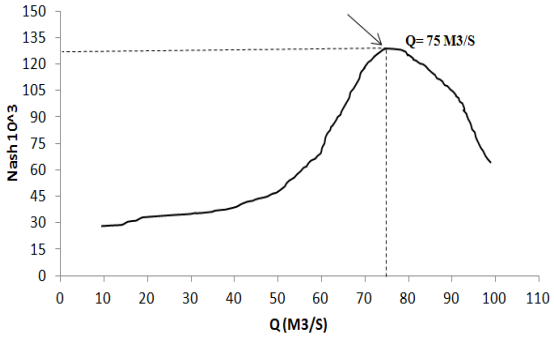
از میان اهداف در نظر گرفته شده، دو هدف متوسط غلظت و طول تماس به‌عنوان اهداف کیفی و سه هدف تأمین نیاز جریان زیست‌محیطی، تأمین نیاز پایین‌دست و اطمینان‌پذیری ذخیره به‌عنوان اهداف کمی در نظر گرفته می‌شوند. بدین ترتیب، با تعیین وزن‌های نسبی اهداف، نتایج تابع نش در هر سناریو به‌دست می‌آیند که با توجه به شرایط موجود می‌توان در مورد انتخاب یکی از آن‌ها تصمیم‌گیری نمود. با محاسبه تابع ضربی نش، به ازای مقادیر مختلف جریان رهاسازی، مقدار این تابع به‌دست می‌آید که تغییرات آن به ازای جریان‌های رهاسازی در اشکال ۳ تا ۵ آمده است.نتایج حاصل از برآورد جریان بهینه زیست محیطی در جدول ۷ آمده است. برای سناریو اول مقدار این جریان برابر ۶۶ مترمکعب برثانیه است. اهداف متوسط غلظت و طول تماس نیز به ازای این مقدار رهاسازی به ترتیب برابر ۲/۹۲۶ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۵۶/۳۸۶ کیلومتر خواهند بود و این ارقام باید برای برداشت آب از رودخانه و دیگر مصارف مورد توجه قرار گرفته شوند. در سناریو دوم به اهداف کمی، وزنی نسبی معادل دو برابر وزن اهداف کیفی داده می‌شود. مقدار این جریان رهاسازی بهینه بر اساس تابع نش به‌دست آمده برای این سناریو، برابر ۵۷ مترمکعب برثانیه است.در سناریو سوم وزن نسبی اهداف کیفی، معادل دو برابر وزن اهداف کمی در نظر گرفته می‌شود. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، برای این سناریو مقدار جریان رهاسازی بهینه بر اساس تابع نش، برابر ۷۴ مترمکعب برثانیه به دست آمده است. اهداف متوسط غلظت و طول تماس نیز به ازای این مقدار رهاسازی به ترتیب برابر ۲/۷۲۷ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۵۷/۵۶۱ کیلومتر هستند که متوسط غلظت و طول تماس به‌ترتیب کاهش و افزایش یافته‌اند.



شکل ۳- تغییرات مقدار تابع نش در سناریو اول
Figure 3. Nash function variations in the first scenario



شکل ۴- تغییرات مقدار تابع نش در سناریو دوم
Figure 4. Nash function variations in the second scenario



شکل ۵- تغییرات مقدار تابع نش در سناریو سوم
Figure 5. Nash function variations in the Third scenario

جدول ۷- مقایسه مقادیر اهداف در سناریوهای مختلف
Table 7. Comparison among targets value in different scenarios

	دبی انتخاب شده (m^3/s)	متوسط غلظت (mg/l)	طول تماس (km)	وضعیت نیاز زیست محیطی
سناریو اول	۶۶	۲/۹۲۶	۱۵۶/۳۸	خوب تا عالی
سناریو دوم	۵۷	۳/۲۳۷	۱۵۴/۵۷	قابل قبول تا خوب
سناریو سوم	۷۴	۲/۷۲۷	۱۵۷/۵۶	عالی

همچنین می‌توان بیان نمود که شیوه انجام این مطالعه با شیوه انجام مطالعه فرهادیان (۹) برای سد گتوند بر روی رودخانه کارون مشابه می‌باشد. همچنین نتایج این مطالعه با نتایج باقریان مرزونی (۴) مبنی بر اینکه مدل QUAL-2K توانایی خوبی در شبیه‌سازی رودخانه دارد، منطبق می‌باشد.

نتایج و بحث

افزایش روزافزون در تقاضای آب و تعداد ذی‌نفعان موجب بروز اختلافات در بهره‌برداری از منابع آبی مشترک شده است. با بروز اختلافات، معمولاً ذی‌نفعان به علت‌های مختلفی از قبیل نداشتن اعتماد به دیگر ذی‌نفعان و نداشتن بینش کافی در مسئله بهره‌برداری از منابع آبی مشترک، ترجیح می‌دهند، منافع کوتاه‌مدت خویش را با بهره‌برداری بیش‌تر از منابع آب، افزایش دهند. بدین ترتیب علاوه بر اینکه به محیط‌زیست آسیب وارد می‌شود، در بلندمدت موجب زیان خود ذی‌نفعان نیز خواهد شد. در چنین شرایطی، تصمیمات سازمان‌های ذی‌ربط که به‌عنوان تصمیم‌گیرنده ارشد در اختلاف حضور دارند، نقش مهمی در ایجاد یک تعادل بین ذی‌نفعان دارد.

در نظرگرفتن سلامت محیط زیست به عنوان یک ذی‌نفع

در برنامه‌ریزی‌های منابع آب موجب افزایش سود کلی برای تمامی ذی‌نفعان در بلندمدت خواهد شد، در حالی‌که شاید به نظر برسد که تخصیص کم‌تراب به سایر ذی‌نفعان موجب کاهش سود آن‌ها می‌شود. تنها عامل مقرون به صرفه‌ای که پس از ورود آلاینده به رودخانه و اختلاط کامل آلودگی با آب در عمل می‌تواند از غلظت آلودگی بکاهد، رهاسازی جریان در رودخانه است. در رهاسازی جریان از سد علاوه بر موضوع کاهش مقدار غلظت آلودگی، طول تماس آلودگ ی نیز در نظر گرفته شود، از اینرو مهم است که در بازه جریان زیست‌محیطی تعیین شده، مقدار جریان به‌گونه‌ای تنظیم گردد که این اهداف به مقدار مطلوب خود رسیده و تعادل مناسبی با هم داشته باشند. براین اساس، در بخشی که در بالا ارائه شد، به تعیین یک جریان رهاسازی بهینه برای رودخانه دز در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد، که در آن سعی شد تمامی اهداف کلان بهره‌برداری از منابع آب منطقه گنجانده شود. مجموع اهدافی که در تعیین جریان رهاسازی بهینه در نظرگرفته شد شامل: (۱) متوسط غلظت، (۲) طول تماس، (۳) تأمین جریان زیست‌محیطی، (۴) اطمینان‌پذیری ذخیره و (۵) تأمین نیاز پایین‌دست هستند.

برای این منظور، ابتدا جریان زیست‌محیطی منطقه تعیین شد، سپس در بازه جریان رهاسازی از سد به شبیه‌سازی کیفی رودخانه برای شاخص BOD پرداخته شد. پس از آن، اهداف مهم کمی و کیفی تعیین و تعریف شدند. در نهایت نیز، با استفاده از نظریه حل اختلاف نش، جریان بهینه رهاسازی از سد تحت سه سناریوی مختلف برای وزن‌های نسبی اهداف، تعیین شد. در این ۳ سناریو میزان جریان زیست‌محیطی رودخانه به ترتیب ۶۶، ۵۷، ۷۴ مترمکعب بر ثانیه محاسبه گردید. هر کدام از این مقادیر می‌تواند درصدهای متفاوتی از نیازهای کمی و کیفی را برآورده کند و اولویت‌بندی این اهداف به تصمیم‌گیران واگذار می‌شود. برای سناریو اول که وزن تمام اهداف یکسان در نظر گرفته شد با جریان رهاسازی ۶۶ مترمکعب برثانیه، هدف اطمینان‌پذیری ذخیره مقدار مطلوبی است، اما برای هدف تأمین نیازهای پایین‌دست، چندان مناسب نیست. در سناریو دوم براساس تابع نش مقدار جریان رهاسازی بهینه ۵۷ مترمکعب برثانیه بدست آمد. اهداف متوسط غلظت و طول تماس نیز به ازای این مقدار رهاسازی به ترتیب برابر ۳/۲۳۷ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۵۴/۵۷ کیلومتر هستند که مطابق انتظار، متوسط غلظت و طول تماس به‌ترتیب اندکی افزایش وکاهش یافته‌اند. در این سناریو هدف اطمینان پذیری ذخیره نسبت به سناریو اول بهتر شده است اما هدف تأمین نیازهای پایین‌دست در وضعیت حادتری نسبت به سناریوی اول قرار خواهد گرفت. در سناریو سوم، جریان رهاسازی ۷۴ مترمکعب برثانیه موجب کاهش مطلوبیت هدف اطمینان‌پذیری ذخیره و افزایش هدف تأمین نیازهای پایین‌دست نسبت به دو سناریوی قبلی می‌شود.

همان‌طورکه انتظار می‌رفت با افزایش وزن اهداف کیفی، وضعیت رودخانه از نظر کیفیت بهبود پیدا می‌کند و در مقابل میزان اطمینان‌پذیری ذخیره کاهش پیدا خواهد کرد. تعیین جریان رهاسازی بهینه در سه سناریوی وزن‌های نسبی، با توجه به بیشینه و کمینه جریان رهاسازی و همچنین کمینه سطح قابل قبول هر یک از اهداف موجود صورت پذیرفت و این سه سناریو برای بررسی گستره‌ای از جواب‌های مختلف تعریف شدند. لذا با توجه به تغییرات تابع مطلوبیت هر یک از اهداف موجود در زمان‌ها و مکان‌های مختلف بهره‌برداری، لازم است جریان رهاسازی بهینه تحت سناریوهای متناسب با زمان و مکان بهره‌برداری، تعیین گردد.

منابع

1. Abdi, R., M. Yasi, R. Sokooti Oskoui and E. Mohamadi. 2014. Environmental requirement assessment in Zarrinehrood River by hydrological methods. Journal of Watershed Engineering and Management, 6(3): 211-223 (In Persian).
2. Ardakani, M.R. 2002. Ecology. Tehran University Press, 2nd edn, Tehran, Iran. 340 pp (In Persian).
3. Asgharpour, M.J. 2003. Group Decision and Game Theory, Operations Research and Attitude. Tehran University Press, 2nd edn, Tehran, Iran, 418 pp (In Persian).
4. Bagherian Marzouni, M. 2013. Evaluation of assess the self-purification power of simulation results with Qual2k model, case study: between Mollasani to Farsiat. Msc.thesis, Faculty of water Sciences Engineering. Shahid Chamran University of Ahvaz (In Persian).
5. Borel, E. 1921. La théorie du jeu et les équations intégrales à noyausymétrique. Comptes Rendus del'Academi des Sciences, 173: 1304-1308.
6. Cavendish, M.G. and M.I. Duncan. 1986. Use of the in stream flow incremental methodology: a tool fornegotiation. Environmental Impact Assessment Review, 6: 347-363.
7. Cho, J.H. and S.R. Ha. 2010. Parameter optimization of the QUAL2K model for a multiple-reach river using an influence coefficient algorithm. Science of the Total Environment, 408: 1985-1991.
8. Farhadi, S., K. Shahedi and M. Nabatpoor. 2012. Investigation of WaterQuality Parameters in Tadjan River using Multivariate Statistical Techniques.Journal of Watershed Management Research, 3(6): 75-92.
9. Farhadian, M. 2015. Multi-objective optimization to determine the environmental flows of the river. Msc. thesis, Department of Irrigation and Reclamation, Faculty of Agriculture, Tehran University, (In Persian).
10. Farhadian, M., O. Bozorg Haddad, S. Seifollahi-Aghmiuni and A. Hugo Loáiciga. 2014. Assimilative Capacity and Flow Dilution for Water QualityProtection in Rivers. J. Hazard. Toxic Radioact.Waste, 04014027-1:8.
11. Gorani, Z. 2011. The zoning and modeling of river water quality Ghare so- Kermanshah province. M.Sc. Thesis. Razi University of Kermanshah (In Persian).

12. Harsanyi, J.C. 1988. Reinhard Selten: A General Theory of Equilibrium selection in Games, the MIT Press, Combridge/Mass.
13. Hirji, R. and T. Panella. 2003. Evolving policy reforms and experiences for addressing downstreamimpacts in World Bank water resources projects. River Research and Applications, 19: 667-681.
14. Hu, W., G. Wang, W. Deng and S.H. Li. 2008. The influence of dams on eco hydrological conditions inthe Huaihe River basin, China. Ecological Engineering, 33: 233-241.
15. Karamouz, M. and R. Kerachian. 2003. Water Quality Planning and Management. Amirkabir University of Technology (AUT), 173(1304-1308), 58.
16. Pang, A., T. Sun and Z. Yang, 2013. Economic compensation standard for irrigation processes to safeguard environmental flows in the Yellow river estuary, China. Journal of Hydrology, 482: 129-138.
17. Park, S.S. and Y.S. Lee. 2002. A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. Ecological Modelling, 152: 65-75.
18. Poff, N., B. Richter, A. Arthington, S. Bunn, R. Naiman, E. Kendy and M. Acreman. 2010. Theecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regionalenvironmental flow standards. Freshwater Biology, 55: 147-170.
19. Prakash, R., S. Lee, Y.S. Lee, S.R. Kanel and G.J. Pelletier. 2007. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. Journal of Ecological Modelling, 202: 503-517.
20. Safariyan, M. 2006. Assessment of the emissions Karun River and pollutants in the range of it, inthe range of Ahvaz, Msc. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, 275 pp (In Persian).
21. Seyed Seraji, M.H., H. Hatami nia, A.H. Dehghani Pour and B. Maleki Pour. 2010. Effects of changing Flow on temperature and dissolved oxygen in the river. Iranian Water Conference, Clean Water, University of Water and Power (Shahid Abbaspoor) (In Persian).
22. Shiau, J.T. and F.C. Wu. 2013. Optimizing environmental flows for multiple reaches affected by a multipurpose reservoir system in Taiwan: Restoring natural flow regimes at multiple temporal scales. Water Resources Research, 49(1): 565-584.
23. Shiau, J.T. and F.C. Wu. 2013. Optimizing environmental flows for multiple reaches affected by a multipurpose reservoir system in Taiwan: Restoring natural flow regimes at multiple temporal scales. Water Resources Research, 49(1): 565-584.
24. Shokoohi, A.R. and Y. Hong. 2011. Determining the Minimum Ecological Water Requirements inPerennial Rivers Using Morphological Parameters, Journal of Environmental Studies, 37(58): 34-36.
25. Sun, T., Z.F. Yang and B. Cui. 2008. Critical environmental flows to supportintegrated ecological objectives for the Yellow river estuary, China. Water ResourcesManagement, 22(8): 973-989.
26. Taghavi Kaljahi, S., B. Reiazi and L. Taghavi. 2014. Determination of environmental water requirement of Miankaleh wetland, Journal of Environmental Science and Technology, 16(2): 101-109(In Persian).
27. Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries, 1(4): 6-10.
28. Tharme, R.E. and J.M. King. 1998. Development of the Building BlockMethodology for instream flow assessments, and supporting research on the effectsof different magnitude flows on riverine ecosystems. Water Research Commission.
29. Wei, S., H. Yang, J. Song, K.C. Abbaspour and Z. Xu. 2012. System dynamics simulation model for assessing socio-economic impacts of different levels of environmental flow allocation in the Weihe river basin, China. European J. of Operational Research, 221(1): 248-262.
30. Yang. N., Y. Mei and C. Zhou. 2012. An optimal reservoir operation model basedon ecological requirement and its effect on electricity generation. Water ResourcesManagement, 26(14): 4028-4019.
31. Zolfaghari, S., M.R. Ghanbarpour, M. Habibnejad and M. Afkhami. 2009. Investigation and Assessment of Environmental Flow by Hydrological Method (Case Study: Shadegan Wetland). Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 3(8): 67-70 (In Persian).

Multi-Objective Optimization in Determine the Environmental Flows of the River

Hamed Noroozi[1], Freidon Radmanesh[2], Amir Pourhaghi[3] and Abazar Solgi[4]

1, 2 and 3- Graduate M.Sc. Student, Associate Professor and Ph.D. Student Shahid Chamran University of Ahvaz
4- Ph.D. Student Shahid Chamran University of Ahvaz (Corresponding Author: abazar_solgi@yahoo.com)
Received: November 15, 2016 Accepted: September 5, 2017

Abstract

Construction of Reservoir dams on the river, in addition to change and decrease the river's regime in downstream, cause environmental problems for ecosystems. This issue can be more severe by dumping pollution into rivers. Therefore, estimating the minimum environmental flow for river systems and other aquatic ecosystems is necessary to keep environment and water resources. In this study, the environmental flow of Dez River was determined using optimization of Dez outlet on upstream. For the purpose, a safe range of environmental flow, with 10 to 100 m^3/s, was firstly defined. Then, simulation of river water quality for mentioned ranged was done by QUAL-2K model. Next, by using Nash's theory of conflict resolution, the optimization of the dam release, under three scenarios of relative weights for quantitative and qualitative aims, was determined that 66, 57, and 74 m^3/s were obtained respectively, the average concentration were 2.926, 3.237, and 2.727 respectively for each scenario. Each of this value can provide different percentages of quantitative and qualitative needs, so the prioritization of these aims was given decision makers.

Keywords: Environmental Flow, Nash Equilibrium Theory, Qual2k, Dez Dam