پایش کیفی و تعیین سهم رودخانه‌های واریزی بر افزایش شوری رودخانه قزل‌اوزن در محدوده‌ی استان زنجان با استفاده از نرم‌افزار عددی QUAL2K

نازنین خوب*[۱]، بابک امین نژاد[۲]، امین امیدی[۳]

تاریخ دریافت:۹۴/۷/۱۴ صص:۴۴-۳۳ تاریخ پذیرش:۹۵/۸/۲۳

چکیده

غلظت مواد موجود در آب، نقش بسزایی را در موارد گوناگون مصارف از جمله: شرب، کشاورزی و صنعت و ... دارد. قزل‌اوزن دارای توان عظیمی در زمینه‌های مختلف اقتصادی چون انتقال آب، کشت و صنعت، توسعه باغهای کشتازی، جاذبه‌های گردشگری و... می‌باشد. این رودخانه از ۸ استان کشور گذشته و در نهایت به پشت سد سفیدرود وارد می شود. با توجه به روند افزاینده‌ی شوری قزل‌اوزن، تصمیم به بررسی بیشتر در مورد کیفیت آب ورودی از هرکدام از سرشاخه‌های فرعی گرفته شد. برای این منظور، در کنار جمع‌آوری داده‌های میدانی، از نرم‌افزار ریاضی QUAL2K به منظور تعیین سهم رودخانه‌های واریزی و همچنین بازه هایی از قزل‌اوزن که شوری در آنها دارای افزایش چشگمیری گردیده، بهره گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از این است که چهار بازه از مسیر رودخانه قزل‌اوزن در محدوده‌ی طرح در استان زنجان سبب افزایش چشمگیر شوری گردیده اند. همچنین، براساس نتایج نمونه‌برداری در سه دوره، گورانی با ۲۸/۶ درصد بار آلودگی بیشترین سهم را در میان رودخانه‌های فرعی دارا می‌باشد؛ چسب با ۰/۳ درصد بار آلودگی کمترین سهم را داراست.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی کیفی، قزل‌اوزن ، نرم‌افزار عددی QUAL2K ، کیفیت آب

[۱]* کارشناس ارشد مهندسی عمران- رودخانه، دانش آموخته دانشگاه شهید چمران اهواز. ایمیل:N_khoob@yahoo.com. همراه:۰۹۱۶۳۱۳۸۹۵۶

[۲] استادیار گروه مهندسی عمران، واحد رودهن،دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ایمیل:Aminnejad@riau.ac.ir

[۳] کارشناس حفاظت و بهره برداری رودخانه ها و سواحل شرکت مدیریت منابع آب ایران. ایمیل:Aminomidis@ gmail.com

مقدمه

امروزه با توجه به توسعه‌ی فعالیت‌های اقتصادی و روند رو به افزایش جمعیت کشور، منابع آب قابل دسترس را با محدودیت‌های جدی از نظر کمی مواجه کرده است. علاوه بر مشکلات کمبود آب، کیفیت آب نیز بسیار پر اهمیت می‌باشد، که اخیراً توجه ویژه‌ای به آن شده است. آب تالاب‌ها و رودها تحت تاثیر فعالیت انسان، با ورود رسوب، افزایش فاضلاب‌ها و پساب‌های مختلف دچار آلودگی شده، به طوری که به علت استفاده‌های مختلف از آب، در مسیرشان به انواع آلاینده‌ها آلوده می‌شوند.

غلظت مواد موجود در آب، هر چند هم کم باشد، نقش بسزایی در کاربردهای مختلف از آن برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت دارد. توسعه‌ی کشاورزی در استان زنجان از سال ۱۳۷۵ به بعد، موجب افزایش برداشت از آب شده است، به منظور افزایش بازده بهره‌وری از آب قزل‌اوزن در توسعه‌ی کشاورزی استان، بررسی میزان شوری این رودخانه با استفاده از شبیه‌سازی فراسنج TDS در نرم‌افزار QUAL2K در محدوده استان زنجان مورد بررسی قرار گرفته است. وضعیت شوری در قزل‌اوزن با داده‌های تاریخی کیفی ثبت شده ایستگاه‌های آبسنجی موجود در محدوده‌ی طرح، که دارای دوره آماری مناسبی می‌باشند، تحلیل شده است. نتایج حاکی از آنند که شوری قزل‌اوزن از سال‌های ۱۳۷۵ به بعد (ایستگاه‌های یساول، قره‌گونی) دارای روندی افزایشی بوده که این مسأله می‌تواند در آینده سبب اثرات نامناسبی در وضعیت آب شرب، کشاورزی، و حتی زندگی در این منطقه شود. بررسی آمارها نشانگر آن است که، در دو ایستگاه آبسنجی نصب شده بر روی رودخانه‌های فرعی واریزی به قزل‌اوزن(ایستگاه اولی بیگ و ایستگاه مهرآباد)، دارای روند افزایش شوری می‌باشند. از آنجا که در ایستگاه اولی بیگ، آمار و اطلاعات کیفی از سال ۱۳۷۸ ثبت شده است، اظهار نظر در خصوص تغییرات شوری پیش از سال ۱۳۷۵ مهیا نیست. همچنین، در مورد ایستگاه مهرآباد، همزمان با ساخت سد تالوار و آبگیری آن، آمار ایستگاه‌های سلامت‌آباد و مهرآباد به دلیل جابه جایی ایستگاه در حین ساخت سد، با هم تلفیق شده‌اند. افزایش شوری در ایستگاه سلامت‌آباد- مهرآباد از سال ۱۳۴۶ تا سال ۱۳۸۶ دارای روند افزایشی با شیب ملایم می‌باشد. لیکن از سال ۱۳۸۸ به بعد جهشی در این روند رخ داده است که می‌توان آن را ، ناشی از تاثیر آبگیری سد تالوار بر کیفیت آب پایین‌دست قلمداد کرد.

جهت انتخاب پارامترهای اندازه‌گیری و تعیین عناصر موثر بر کل جامدات محلول در آب، علاوه بر بررسی اطلاعات ثبت شده در ایستگاه‌های آبسنجی، که عموما به‌صورت ماهانه مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند، پس از بازدیدهای مکرر صورت گرفته در ماه‌های اسفند ۱۳۹۱، فروردین، اردیبهشت و خرداد ۱۳۹۲، از سه محل با اهمیت در محدوده‌ی مطالعاتی نمونه‌برداری صورت گرفت. تحلیل‌های انجام شده از این محل‌ها مشخص نمودند که بیش از ۹۵٪ میزان کل جامدات محلول نمونه‌های شاخص از مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کلراید ناشی می‌شود. همچنین، پارامترهای کیفی فوق برای نمونه‌های برداشت شده در طول دوره‌ی آماری اطلاعات ثبت شده در ایستگاه‌های آبسنجی موجود در محدوده‌ی طرح شامل یساول، اولی‌بیگ، چسب، قره‌گونی، گوجه‌کند و سلامت‌آباد-مهرآباد بر اساس حداقل، حداکثر و متوسط آبدهی مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج حاصل از اطلاعات ماهانه مربوط به محاسبه‌ی کل جامدات محلول در آب در ایستگاه‌های آبسنجی نیز، تحلیل‌های انجام شده از سه محل با اهمیت را تایید می‌نمایند. برای بررسی کیفیت آب، شبیه‌سازی‌های متعددی صورت گرفته است، که از آن جمله می توان به مطالعات محققین مختلف اشاره کرد، از آن جمله: کارآموز و همکاران در سال ۱۳۸۳، در تحقیقی با عنوان "تحلیل آماری روند تغییرات کیفی رودخانه کارون و تعیین متغیرهای کیفی شاخص برای سیستم پایش کیفی کارون" در خصوص آلاینده‌های کارون مطالعه کردند و سهم هر بخش از آلاینده‌ها را مشخص کرده، و ساختار نرم‌افزار کیفی کارون را برای دو ماه تیر و دی شبیه‌سازی و کالیبره کرده، و پروژه‌هایی پیشنهادی برای کنترل و کاهش میزان آلاینده‌ها ارائه نمودند.

جعفرزاده و همکاران در سال ۱۳۸۴ تغییرات کیفیت آب کارون را با استفاده از نرم‌افزار ریاضی QUAL2E مورد بررسی قرار دادند، بدین منظور از داده های یک سال نمونه‌برداری

انجام شده از رودخانه و فاضلاب‌های تخلیه شده به آن بهره گرفتند.در پایان، در سه سناریو، شبیه‌سازی کیفی را انجام دادند، که این سناریوها عبارت بودند از: وضعیت موجود، ادامه‌ی تخلیه‌ی پساب‌های تصفیه نشده، و همچنین شبیه-سازی در صورت تصفیه پساب‌ها. نتایج نشان‌دهنده‌ی وضعیت آلوده‌ی رودخانه در شرایط موجود و آتی در صورت ادامه تخلیه پساب‌های تصفیه نشده می‌باشد.

راج کانل و همکاران در سال ۲۰۰۷، با بکارگیری نرم‌افزارQUAL2KW برای شبیه‌سازی کیفی و مدیریت آب رودخانه باگماتی در نپال به این نتیجه دست یافتند که اکسیژن‌دهی محلی بر بهبود غلظت اکسیژن محلول درآب (DO) مؤثر بوده است. همچنین، اختلاط فاضلاب تصفیه شده، برای افزایش جریان و اکسیژن دهی محلی به‌منظور دستیابی به سطوح قابل قبول کیفیت آب، ضروری است.

خدادادی و همکاران در سال ۱۳۸۶ با توجه به تغییرات دبی کارون در فصول مختلف سال و وجود منابع آلاینده‌ی مختلف در آن، حداقل و حداکثر مجاز بیولوژیکی میزان اکسیژن مورد نیاز در رودخانه را برآورد کردند. شبیه‌سازی در این تحقیق توسط دو نرم‌افزار QUAL2K و WASP7 صورت گرفته و نتایج حاصل از این دو مدل مقایسه شده‌اند. ارزیابی مدل در سه حالت فصول پرآبی، کم‌آبی و سال کم‌آبی صورت پذیرفته که در حال حاضر کیفیت آب، در فصل کم‌آبی و سال کم‌آبی در حالت بحرانی قرار گرفته است[۲].

کارآموز و همکاران در سال ۱۳۸۶ پروژه انتقال آب از سر شاخه‌های کارون را از طریق تونل سولگان به رفسنجان در تحقیقی جامع مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، جهت ارزیابی زیست‌محیطی از نرم‌افزار QUAL2K استفاده شد و در پایان نتایج نشان‌دهنده‌ی ناچیز بودن اثرات زیست‌محیطی اجرا شدن این طرح بر کارون بوده است.

فان و همکاران در سال ۲۰۰۹ از ترکیب دو نرم‌افزار HEC-RAS و QUAL2K به منظور شبیه‌سازی اثرات جریان‌های جزر و مدی بر کیفیت آب رودخانه‌های شمال تایوان تحقیقاتی را انجام دادند. نتایج آنها حاکی از این است که ترکیب این دو نرم‌افزار برای رودخانه‌های جزر و مدی، که داده‌های کیفی آن‌ها به طور مداوم ثبت نمی‌گردد، دارای کارایی مناسب‌تری است.

رازدار در سال ۱۳۸۸، به بررسی تغییرات دو پارامتر نیترات و فسفات با استفاده از نرم‌افزار عددی دو بعدی CE-QUAL-W2 به منظور شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه پسیخان، استفاده کرده است. نتایج حاصل از صحت‌یابی نرم‌افزار فوق در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای، و همچنین مقایسه‌ی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار MIKE11، دقت بالای مدل دو بعدی CE-QUAL-W2 برای شبیه‌سازی به صورت یک بعدی را نشان داده است[۳].

میری در سال ۲۰۱۰ به بررسی توان پذیرش بار آلودگی رودخانه قره‌آقاج با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K پرداخت. در این تحقیق به منظور تعیین ظرفیت خودپالایی، و تعیین میزان تغییرات BOD،DO آب رودخانه مذکور، از نرم‌افزار QUAL2Kاستفاده شده است. نمونه‌برداری در ماههای خرداد، شهریور، آذر و اسفند انجام شده و دو فصل پر آبی (اسفند) و فصل کم آبی (شهریور) به عنوان ورودی‌های نرم‌افزار QUAL2KW مورد استفاده قرار گرفت. پس از تحلیل و بررسی شبیه‌سازی مشخص شد میزان اکسیژن محلول در اسفند بیشتر از شهریور بوده، و به طور کلی میزان اکسیژن محلول با توجه به شبیه‌سازی و نتایج واقعی در حد استاندارد است، که این موضوع نشان‌دهنده‌ی توان مناسب خود پالایی می‌باشد. از طرف دیگر، به علت نفوذ فاضلابهای شهری و روستایی، و ورود آب مازاد کشاورزی به رودخانه، میزان BOD دارای نوسانهایی بین ۰/۵ تا ۳/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد؛ میزان BOD در اسفند به علت افزایش بده کاهش یافته، که این موضوع نیز دلیل دیگری بر توان خودپالایی رودخانه است.

هاشمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ به منظور بررسی سهم بار آلودگی ورودی از هریک از زیرحوضه های مخزن سد کرج، ابتدا بار آلودگی خروجی از هر یک از زیرحوضه‌ها و پارامترهای کیفی از قبیل: کل جامدات محلول، مواد آلی تجزیه شونده زیستی، آمونیوم، نیترات و فسفات را برای هریک از زیرحوضه‌ها تعیین نموده و با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K بار ورودی به مخزن را شبیه‌سازی کردند.

بررسی‌ها نشان دادند که سهم بار آلودگی رودخانه های فرعی بیش از رودخانه اصلی بوده، به ویژه زیر حوضه های ولایت‌رود، شهرستانک و سیرا، در مجموع بیش از یک سوم

بار آلودگی ورودی به مخزن را به خود اختصاص داده‌اند. در نتیجه برنامه‌ریزی برای مهارکردن و کاهش بار آلودگی شاخه‌های فرعی باید در اولویت قرار گیرد.

میرزایی و همکاران در سال ۱۳۹۰ شبیه‌سازی پارامترهای کیفی pH, BOD, DO، و همچنین بده بابل‌رود را با استفاده از نرم‌افزار کیفی QUAL2K مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تا حد زیادی به شرایط واقعی رودخانه نزدیک بوده، که این امر نشان‌دهنده‌ی توانمندی نرم‌افزار QUAL2K در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی است، لذا، آنها با در نظر گرفتن این که نمونه‌برداری کیفی آب معمولاً بسیار پرهزینه می‌باشد، برای کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری، استفاده از نرم‌افزار QUAL2K را در پیش بینی پارامترهای کیفی توصیه نمودند. نتایج حاصل از بررسی‌های آنها نشان دادند که آلودگی بابل‌رود نه از واحدهای صنعتی، بلکه از فاضلابهای شهری می‌باشد، که مستقیما توسط ساکنین کنار رودخانه به آن وارد می‌گردد، و یا به وسیله کانال‌های شهری جمع آوری گشته، سپس در یک نقطه وارد می‌شود.

شجاعی و همکاران در سال ۱۳۹۱ با استفاده از الگوهای نوین به ارزیابی همزمان عدم قطعیت‌ها در توسعه‌ی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی کیفی رودخانه پرداختند، که بدین منظور از دو رویکرد استفاده کردند. در رویکرد اول، برای تحلیل عدم قطعیت، ترکیبی از متغیرهای کمی و کیفی جریان و مستقل از وضعیت جریان در بالادست آن را در نظر گرفته و از روش احتمالاتی کاپولا استفاده کردند. در رویکرد دوم، به منظور در نظر گرفتن اندرکنش میان متغیرهای ورودی و پارامترها، به بررسی همزمان عدم قطعیت پارامترها و متغیرهای کمی و کیفی در شبیه‌سازی کیفیت آب با استفاده از الگوریتم DREAM پرداختند. بدین منظور، ابتدا به بررسی نرم‌افزار QUAL2K به منظور شبیه‌سازی کیفی آب پرداخته، سپس عملکرد برنامه‌ی DREAM و چگونگی ارتباط آن را با نرم‌افزار QUAL2K برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت‌ها شرح دادند. این الگوریتم‌ها به عنوان مطالعه‌ی موردی در بخشی از جاجرود، و همچنین رود کارون مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اهمیت این تحقیق در مقایسه با سایر مطالعات صورت گرفته، در نظر گرفتن همزمان عدم قطعیت پارامترها و متغیرهای ورودی در بررسی سیستم می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق به تصمیم‌گیری کارشناسان در برنامه‌ریزی مفید و مدیریت ریسک در رودخانه کمک می‌کند.

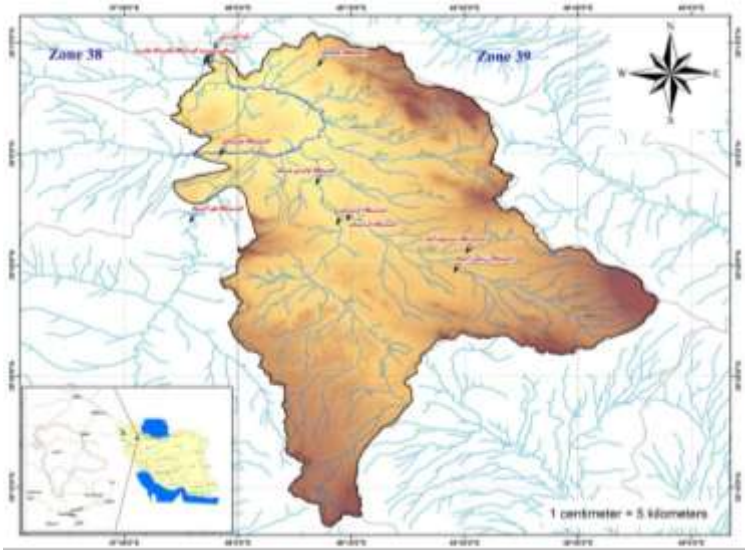
ترابی میبدی و بوداقپور در سال ۱۳۹۱ با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K جهت بررسی منابع آلاینده، و همچنین شبیه‌سازی روند تغییرات آلودگی برای رودخانه قره‌سو که یکی از زیرشاخه های کرخه می باشد، به انجام تحقیقاتی پرداختند که نتایج آنها حاکی از این است که میزان اکسیژن محلول در پایین دست قره‌سو به شدت کاهش یافته و حتی به کمتر از 5mg/l رسیده است. همچنین، میزان نیتروژن و فسفر، به علت ورود فاضلاب شهری و آلاینده‌های گسترده مراتع به شدت افزایش یافته است.

موسوی مغانجوقی و همکاران در سال ۱۳۹۲ به تحقیق در زمینه‌ی خود پالایی و کیفیت شهرچای ارومیه با نرم‌افزار شبیه‌سازی QUAL2K در تابستان سال ۱۳۹۱ پرداختند. در این تحقیق از نرم‌افزار کیفی QUAL2K جهت شبیه‌سازی اکسیژن محلول و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و نیترات استفاده کرده و از مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه و سایر اطلاعات بدست آمده از مطالعات صحرایی جهت واسنجی و پیش‌بینی نرم‌افزار استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان دادند که بعد از پل سه چشمه (خروجی شهر ارومیه)، به دلیل برداشت های زیاد آب برای کشاورزی، و ورود پساب های صنعتی و انسانی، قادر به خودپالایی نمی‌باشد، اما کیفیت آب از وضعیت مناسبی برای کشاورزی برخوردار بوده و از شرایط بحرانی فاصله دارد. لذا، .با توجه به روند افزاینده‌ی شوری قزل‌اوزن، در این مقاله، تصمیم بر بررسی بیشتر بر کیفیت آب ورودی از هرکدام از سرشاخه‌های فرعی گرفته شد. برای این منظور، در کنار جمع آوری داده ها، به منظور تعیین سهم هر کدام از شاخه‌های فرعی، و همچنین بازه‌هایی از قزل‌اوزن، که شوری در این بازه‌ها دارای افزایش چشمگیری است از نرم‌افزار عددی QUAL2K برای شبیه‌سازی این پدیده استفاده شده است.

مواد و روشها

در این تحقیق، به منظور تعیین سهم هر یک از شاخه‌های فرعی، و همچنین بازه‌هایی از قزل‌اوزن، که شوری در آنها دارای افزایش چشمگیری است، به بررسی و شبیه سازی

کیفی آب در محدوده ای از قزل‌اوزن با وسعت حوضه‌ی آبخیز معادل ۵۴۳۷ کیلومترمربع پرداخته شده است. قسمت اعظم محدوده‌ی مورد مطالعه در استان‌های زنجان و همدان، و بخش کوچکی از آن در استان‌های کردستان و قزوین واقع شده‌است. محدوده‌ی مورد مطالعه بین طول‌های شرقی ۴۷ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه و ۴۱ ثانیه، و بین عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۹ دقیقه و ۳۲ ثانیه و ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه و ۱۷ ثانیه واقع شده‌است. محدوده‌ی مورد مطالعه بخشی از قزل‌اوزن در بازه‌ی ایستگاه آبسنجی یساول تا ایستگاه آبسنجی قره‌گونی می‌باشد. این بازه، که از محل تقریبی ورود قزل‌اوزن به استان زنجان آغاز و تا قبل از پیوستن سجاس‌رود آن، ادامه می‌یابد؛ به شکل نعل اسبی بوده و طولی در حدود ۸۰/۳ کیلومتر از رودخانه شبیه‌سازی می شود. در طول این بازه تعداد ۷ رودخانه فرعی به قزل‌اوزن واریز شده، که این به ترتیب از بالادست تا پایین‌دست عبارتند از: تالوار، آبی‌چای (تلفیق شورهمدان و بزینه‌رود)، شور، قره‌قوش، قوقورچای، چسب و گورانی. عمده‌ی حوضه‌ی آبخیز تالوار و گورانی خارج از محدوده‌ی مطالعاتی قرار دارد و دیگر حوضه‌های آبخیز درون محدوده‌ی مطالعاتی می‌باشد. در شکل ۱ رودخانه‌ها، ایستگاه‌های هیدرومتری و موقعیت محدوده‌ی مطالعاتی نمایش داده شده اند.



شکل ۱-رودخانه‌ها و ایستگاه‌های آبسنجی و موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه.

در این تحقیق از نرم‌افزار QUAL2K که جدیدترین نرم‌افزار از گروه نرم‌افزارهای QUAL می‌باشد جهت شبیه‌سازی کیفی قزل‌اوزن استفاده گردید. نرم‌افزار QUAL2K در سال ۲۰۰۰ توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) ارائه شده و قابلیت انجام تجزیه و تحلیل عدم قطعیت را دارا می‌باشد. این نرم‌افزار می‌تواند معادلات مربوط به رودخانه را در شرایط دائمی و شبه دینامیکی حل کند (منظور این است که نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی متغیرهای کیفی در طول رودخانه، در شرایط دینامیکی عمل می‌کند، اما بده رودخانه، منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در طول شبیه‌سازی تغییری نکرده و ثابت در نظر گرفته می‌شوند). برنامه‌ی مذکور قادر است پارامترهایی نظیر اکسیژن محلول نیاز اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، دما، اسیدیته، مواد معلق، فسفر کل، فسفر آلی، نیتروژن کل، نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن نیتراتی، نیتروژن نیتریتی، نیتروژن آلی و جلبک‌ها را در شبکه رودخانه شبیه-سازی کند. همچنین، مدل مذکور پخش طولی مواد، اکسیژن مورد نیاز رسوبات، ته‌نشینی مواد کربنی، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون را در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب بحساب می‌آورد.

برای هر المان موازنه جریان در حالت جریان پایدار، طبق روابط زیر صورت می‌گیرد:

$$Qi = Q_{i-1} + Q_{in.i} - Q_{out.i} \qquad (۱)$$

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \qquad (۲)$$

$$Q_{\text{out},i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \qquad (۳)$$

که در معادلات فوق Q_i = میزان جریان خروجی از المان i به المان i+1، Q_{i-1} = میزان جریان خروجی از المان i-1، $Q_{in.i}$ = کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به المان i و $Q_{out,i}$ = کل جریان خروجی از المان i به صورت نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای.

معادله‌ی یک بعدی انتقال جرم، جابه‌جایی- انتشار به عنوان معادله‌ی اساسی و حاکم بر نرم‌افزار QUAL2K می‌باشد، که به صورت عددی نسبت به زمان و مکان برای پارامترهای کیفی آب به جز جلبک کف برای هر المان حل می‌شود. برای هر پارامتر کیفی (c) این معادله به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,1}}{V_i} c_i + \frac{E'_i}{V_i}(c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \qquad (۴)$$

که میزان دبی جرمی ورودی به سیستم از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} c_{npsi,j} \qquad (۵)$$

که در آن ci: غلظت پارامتر کیفی در المان i، V_i: حجم المان i، Qi:شدت جریان المان i، Wi: بارگذاری خارجی پارامتر کیفی به المان i، Ei: ضریب انتشار بین المان i و i+1، t:زمان و Si:تولید و مصرف پارامتر کیفی بر اثر واکنش‌ها و سازوکارهای انتقال جرم در المان i می‌باشد. همچنین، در این برنامه، پارامتر TDS یک پارامتر پایستار بوده، به عبارت دیگر، در محیط آبی اضمحلال آن صورت نمی‌گیرد. به طور خلاصه، طبق تعریف در راهنمای نرم‌افزار، ماده‌ی پایدار ماده‌ای است که در واکنش‌ها شرکت نمی‌کند، یعنی $Si = 0$.

لذا برای هرگونه تغییری در پایانه خروجی باید موانع شوری در شاخه های فرعی واریزی به رودخانه مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که رفتار پارامتر TDS از بقیه پارامترهای کیفی مجزا بوده، لذا تنها معادله‌ی پیوستگی و معادله بقای جرم برای واسنجی آن مورد استفاده قرار می‌گیرند، درحالی‌که نرخ هریک از ضرایب پارامترهای کیفی از قبیل اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن‌خواهی، نیتروژن نیتریتی، نیتروژن آلی و جلبک‌ها، فسفر آلی، نیتروژن کل، نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن نیتراتی در یک کاربرگ به‌نام Rate برای واسنجی نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس با استفاده از ضریب نش-ساتکلیف کارایی مدل در امر شبیه‌سازی پارامترها مورد بررسی واقع می‌شود. به منظور تعیین گام های مکانی، و شبیه‌سازی پدیده شوری رودخانه قزل‌اوزن، کل بازه اصلی رودخانه به ۱۵ بازه کوچک‌تر (Reach) تقسیم شده است که در مجموع ۳۴۴ المان (زیربازه) برای شبیه‌سازی پدیده‌ی شوری در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که بر اساس سعی و خطاهای متعدد انجام شده، حداکثر طول لازم برای اختلاط برای شبیه سازی ۲۳۵ متر بوده است. لذا تعداد المان‌ها بر این اساس تعیین شده است. مشخصات هیدرولیکی، به همراه اطلاعات و مشخصات کمی و کیفی ورودی‌های نقطه‌ای یا برداشت‌ها، جریان‌های ورودی و خروجی در طول مسیر و اطلاعات کیفی سراب، که بایستی مورد شبیه‌سازی قرار گیرند، به همراه طول رودخانه به مدل معرفی می‌شود. بده و میزان پارامتر کیفی کل جامدات محلول اندازه گیری شده در سراب رودخانه قزل‌اوزن در جدول ۱ ارائه شده است. در این مدل حداکثر گام های زمانی برای حل معادلات رانج کوتا ۰/۰۳ ساعت در مدت زمانی ۳ روز است. لازم به ذکر است که مدت زمان ۳ روز برای شبیه سازی انتخاب شد که با توجه به زمان تمرکز حوضه مسافت شبیه سازی شده حتماً به ۸۰/۳کیلومتر برسد و (همچنین زمان نهایی مطابق توصیه‌ی نرم افزار باید به‌صورت عدد صحیح بزرگتر از ۲روز انتخاب گردد) توصیه می‌شود و این زمان حداقل دو برابر زمان تمرکز حوضه تعیین شود. بنا بر راهنمای نرم‌افزار، به طور کلی میزان بده و پارامترهایی نظیر دما و میزان کل جامدات محلول تمامی جریان‌های ورودی و خروجی به رودخانه، به نرم افزار معرفی می‌شوند، منابع آلاینده به دو صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای بر روی رودخانه در نرم‌افزار QUAL2K امکان تعریف وجود دارد. با توجه به این‌که تنها شبیه‌سازی قزل‌اوزن مد نظرند، لذا منظور از منابع آلاینده نقطه‌ای ورود سرشاخه‌ها و رودخانه‌های فرعی به قزل‌اوزن می‌باشد، و بر اساس تحقیقات صحرایی و آزمایش‌های صورت گرفته برای نمونه‌های آب در مطالعات نمونه‌برداری، منابع آلاینده نقطه‌ای دیگری در محدوده‌ی طرح که بر شوری تاثیرگذار باشند، موجود نبوده است.

لازم به ذکر است که رودخانه "چسب"، در محل اتصال آن به قزل‌اوزن خشک می‌باشد، لذا در مرحله‌ی اول نمونه‌برداری در تاریخ‌های ۱۱ و ۱۲ خرداد سال ۱۳۹۲ این رودخانه از منابع آلودگی نقطه‌ای کنار گذاشته شده است. در جدول ۲ داده‌های اندازه‌گیری و داده‌های شبیه‌سازی شده برای پارامتر کیفی TDS

در دوره‌های نمونه‌برداری در تحقیق حاضر، نشان داده شده اند.

جدول ۱- داده های هیدرولیکی مربوط به سراب رودخانه در دوره های نمونه‌برداری.

ردیف	دوره نمونه‌برداری	دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)	کل جامدات محلول میلی‌گرم بر لیتر	ارتفاع (متر)
۱	دوره‌ی نرمال	۲/۱۱	۱۴۵۰/۰۰	۱۴۸۵/۷۰
۲	دوره‌ی تر	۲۴/۰۵	۲۹۰/۰۰	۱۵۰۹/۰۰

جدول ۲- داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای پارامتر کیفی TDS در دوره‌های نمونه‌برداری.

ردیف	دوره‌ی نمونه‌برداری	مکان	داده های شبیه‌سازیTDS	داده های اندازه گیری TDS
		کیلومتراژ	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر
۱	۱۱ و ۱۲ خرداد۱۳۹۲ (دوره‌ی نرمال)	۷۱/۰۶	۱۴۵۲۰/۰۰	۱۴۵۰/۰۰
۲		۶۱/۶۲	۲۹۲۴/۴۴	۳۲۲۰/۰۰
۳		۵۲/۴۶	۳۲۰۲/۰۰	۳۳۵۰/۰۰
۴		۴۳/۲۱	۳۲۵۰/۰۰	۳۲۹۰/۰۰
۵		۳۲/۵۶	۳۱۵۰/۰۰	۳۱۵۰/۰۰
۶		۰/۰۰	۴۴۸۲/۲۰	۴۵۵۰/۰۰
۷	۲۳ و ۲۴ فروردین ۱۳۹۳ (دوره‌ی تر)	۸۰/۲۶	۲۹۰/۰۰	۲۹۰/۰۰
۸		۷۸/۸۵	۲۹۵/۰۰	۲۹۰/۰۰
۹		۷۶/۸۴	۲۹۵/۰۰	۲۹۰/۰۰
۱۰		۷۴/۵۰	۳۱۰/۰۰	۲۹۲/۷۵
۱۱		۷۱/۰۶	۴۰۵/۰۰	۴۰۲/۲۴
۱۲		۶۴/۳۴	۵۷۰/۰۰	۵۸۶/۶۲
۱۳		۶۱/۶۲	۷۱۵/۰۰	۶۴۴/۳۳
۱۴		۵۲/۷۷	۷۲۰/۰۰	۷۰۰/۶۰
۱۵		۴۹/۴۶	۸۶۰/۰۰	۷۹۹/۶۱
۱۶		۴۳/۲۱	۸۶۰/۰۰	۸۱۰/۲۷
۱۷		۳۷/۴۰	۸۱۰/۰۰	۸۱۱/۰۹
۱۸		۲۵/۵۶	۸۴۰/۰۰	۸۳۴/۰۷
۱۹		۱۶/۶۹	۹۰۰/۰۰	۸۹۲/۱۱
۲۰		۰/۰۰	۹۲۰/۰۰	۹۱۰/۰۱

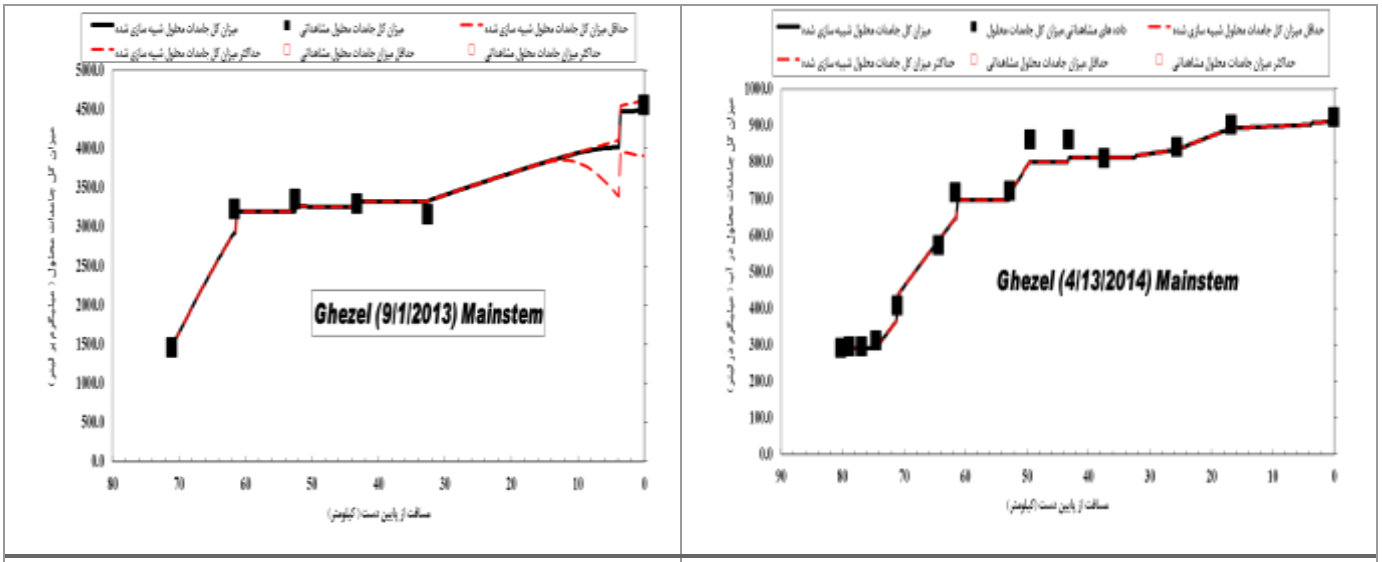
نتایج و بحث

در این بخش، پس از وارد کردن داده‌های شرایط مرزی سرآب در حوضه‌ی آبریز، و پارامترهای کیفی و هیدرولیکی نقاط اندازه‌گیری و مشخصات مربوط به مقاطع، شبیه‌سازی پدیده‌ی شوری قزل‌اوزن اجرا شد. نخست به بررسی و شبیه‌سازی پارامتر شوری رودخانه قزل‌اوزن در خرداد سال ۱۳۹۲ (دوره‌ی نرمال) و فروردین سال ۱۳۹۳ (دوره تر) پرداخته می‌شود. در مهر سال ۱۳۹۲ (دوره‌ی خشک) به‌دلیل خشک بودن قزل‌اوزن در برخی از بازه‌ها، و خشک بودن اغلب شاخه های فرعی مهم، و به‌دلیل عدم ارضای معادلات دبی جرمی ورودی و معادله پیوستگی، نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی این دوره نبوده است. شکل ۲ روند برای ارزیابی نرم‌افزارها در شبیه‌سازی، از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2)، ضریب کارایی نش- ساتکلیف (N_{SE}) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده شده است. کم بودن میزان خطا (RMSE, MAE) و بالا بودن ضریب تعیین (R^2) و ضریب کارایی نش- ساتکلیف (N_{SE}) بیانگر بالابودن کارایی نرم‌افزار در امر شبیه‌سازی می‌باشد، در معادله زیر به روش محاسبه ضریب کارایی نش- ساتکلیف اشاره می‌شود:

$$N_{SE}=1-\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\left(Y_i^{obs}-Y_i^{sim}\right)^2}{\left(Y_i^{obs}-Y_i^{mean}\right)^2}\right] \qquad (۶)$$

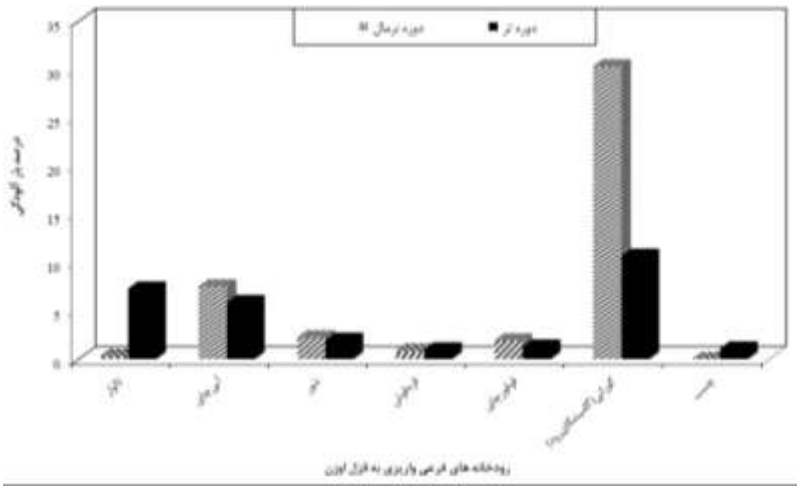
که در آن Y_i^{obs} و Y_i^{sim} به ترتیب i امین داده‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بوده، Y_i^{mean} میانگین، و n تعداد کل داده‌های مشاهده‌ای می‌باشند. برای ارزیابی برازش نتایج مدل، ضریب R^2 و ضریب N_{SE} انتخاب شدند. ضریب R^2 بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند، که "یک" بهترین حالت می‌باشد. برای ضریب N_{SE} مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده‌ی اعتبار بیشتر و خطای کمتر، و مقادیر بین ۰ تا ۱ قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر منفی نیز به این معنی می‌باشند که استفاده از میانگین به جای مقادیر شبیه‌سازی شده، خطای کمتری را به دنبال دارد. ضریب نش- ساتکلیف برآورد شده برای نمونه‌برداری دوره‌ی نرمال ۰/۹۸و در دوره‌ی تر ۰/۹۹ می‌باشد، که با توجه به مقدار آنها، کارایی نرم‌افزار در شبیه‌سازی شوری، قابل قبول برآورد می‌گردد.

سهم بار آلودگی هریک از رودخانه‌های فرعی واریزی به قزل‌اوزن با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی پارامتر کیفی TDS در شکل ۳ نمایش داده شده است. در جدول‌های ۳ و ۴، درصد و بار آلودگی هریک از سرشاخه‌های فرعی و بازه‌های شبیه‌سازی شده رودخانه



الف: دوره‌ی تر | **ب: دوره‌ی نرمال**

شکل ۲- روند شبیه‌سازی پارامتر کیفی TDS در طول رودخانه قزل‌اوزن در دوره های نمونه‌برداری.



شکل ۳- درصد بار آلودگی رودخانه‌های واریزی به قزل‌اوزن.

قزل‌اوزن در دوره‌های نرمال و تر ارائه شده‌اند. نقاط اندازه‌گیری (observation data)، رودخانه‌های واریزی به قزل‌اوزن (point source) و منابع آلودگی غیرنقطه‌ای موجود در مسیر رودخانه (diffuse source) تعیین شده اند.

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در دوره‌ی نرمال، بازه‌های آلوده‌کننده منابع نقطه‌ای به ترتیب اهمیت، رودخانه گورانی با ۳۰/۸ درصد از کل بار آلودگی ورودی به قزل‌اوزن، بیشترین سهم در آلوده‌کنندگی آن را دارا است. رودخانه آبی‌چای با ۷/۶ درصد از بار کل آلودگی دومین منبع آلوده‌کننده واریزی می‌باشد. رودخانه شور با ۲/۳ درصد از کل بار آلودگی، سومین منبع آلاینده نقطه‌ای قزل‌اوزن به‌شمار می‌آید. رودخانه‌های قوقورچای، قره‌قوش و تالوار به ترتیب ۱/۹، ۰/۹ و ۰/۳۳ درصد از بارآلودگی کل را به خود اختصاص داده‌اند و در دوره‌ی تر نمونه‌برداری رودخانه گورانی با ۱۰/۷ درصد از کل بار آلودگی ورودی به قزل‌اوزن بیشترین سهم را در آلوده‌کنندگی داراست. رودخانه تالوار با ۷/۳ درصد از بارکل آلودگی دومین منبع آلوده‌کننده واریزی می‌باشد. آبی‌چای با ۵/۹ درصد از کل بار آلودگی، سومین منبع آلاینده نقطه‌ای رودخانه قزل‌اوزن به‌شمار می‌آید. رودخانه‌های شور، قوقورچای، قره‌قوش و چسب به ترتیب ۲، ۱/۳، ۱/۱ و ۱/۰ درصد از بارآلودگی کل را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهند که چهار بازه از مسیر رودخانه قزل‌اوزن در محدوده‌ی طرح حاضر به عنوان بازه‌های آلوده کننده شناسایی شده و در جدول ۵ عنوان گردیده‌اند.

همان‌گونه که در قبل نیز عنوان شد، به ترتیب از بالادست محدوده‌ی طرح ، هفت رودخانه تالوار، آبی‌چای، شور، قره‌قوش، قوقورچای، چسب و گورانی (گامیشگای رود) به قزل‌اوزن وارد می‌شوند. در جدول۶ میزان تاثیر هر یک از رودخانه‌ها در سه دوره‌ی نرمال، خشک و تر، برای یک سال نمونه‌برداری ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، گورانی با ۲۸/۶ درصد بار آلودگی بیشترین سهم را در میان رودخانه های فرعی دارا بوده، و چسب با ۰/۳ درصد بار آلودگی کمترین سهم را داراست.

نتیجه گیری

تحقیق حاضر با هدف تعیین بازه‌هایی از قزل‌اوزن، که دارای افزایش شوری چشمگیر بوده و برآورد سهم هریک از رودخانه‌های واریزی، برای یک سال نمونه‌برداری در سه دوره‌ی نرمال، خشک و تر صورت گرفت. از نتایج تحقیق حاضر می‌توان چهار بازه را از مسیر قزل‌اوزن در محدوده‌ی طرح در استان زنجان به عنوان بازه‌های آلوده‌کننده‌ی رودخانه مزبور شناسایی کرد که در جدول ۵ عنوان شده‌اند. همچنین براساس نتایج نمونه‌برداری در سه دوره‌ی نرمال، خشک و تر، گورانی با ۲۸/۶ درصد و آبی‌چای (شور همدان) با ۷/۹ درصد بار آلودگی بیشترین سهم را در میان رودخانه‌های فرعی دارا بوده، و چسب با ۰/۳ درصد بار آلودگی کمترین سهم را داراست.

بر اساس سیاست‌های پیش‌گرفته از سوی دولت در دهه‌های اخیر، صنعت کشاورزی (کشت آبی و دیم) به صورت معنی‌داری توسعه پیدا کرده است. بازدیدهای محلی و همچنین استعلام از سازمان جهاد کشاورزی نشان می‌دهد که عمده‌ی کشت منطقه به‌صورت دیم می‌باشد. مطابق دستورالعمل دفتر غلات، نباتات و گیاهان علوفه‌ای سازمان جهاد و کشاورزی منتشره در سال ۱۳۹۲، در مناطق خشک و در فصول خشک سال، بدلیل کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه، حلالیت و قابلیت جذب عناصر تغذیه‌ای از خاک و کودهای شیمیایی کاهش پیدا می‌کند. از طرف دیگر، به‌دلیل کم بودن تواتر آبیاری در کشت دیم در مقایسه با کشت آبی، آبشویی خاک کمتر است. لذا این مواد (عناصر اضافه شده به خاک از طریق کود شیمیایی) پس از هر کشت در خاک تجمع پیدا کرده، باعث افزایش میزان کل جامدات محلول در آب شده، و به تبع آن باعث افزایش شوری می‌شوند. این افزایش شوری در سال های بعد باعث کاهش بازده زمین‌های کشاورزی می شود. لذا، مجدداً برای افزایش بازده زمین‌های کشاورزی، استفاده از کودهای شیمیایی افزایش می‌یابد. این روند استفاده‌ی روزافزون کودهای شیمیایی سبب تشدید هرچه بیشتر این معضل در خاک می‌گردد.

جدول ۳- درصد و بار آلودگی هریک از سرشاخه‌های فرعی و بازه‌های شبیه‌سازی شده قزل‌اوزن در دوره نرمال.

ردیف	نام	بده(m^3/s)	TDS(mg/lit)	بارآلودگی	درصد بار آلودگی
۱	قزل‌اوزن	۲/۱۱	۱۴۵۰/۰۰	۳۰۵۸/۰۵	۲۱/۵۲
۲	تالوار	۰/۰۲	۳۱۵۰/۰۰	۴۷/۲۵	۰/۳۳
۳	قزل‌اوزن	-	-	۲۸۳۴/۸۰	۱۹/۹۴
۴	قزل‌اوزن	۲/۱۲	۲۹۲۴/۴۴	۶۲۱۱/۵۱	۴۳/۷۲
۵	آبی‌چای	۰/۱۶	۶۹۰۰/۰۰	۱۰۶۹/۵۰	۷/۵۳
۶	قزل‌اوزن	۲/۲۴	۳۲۰۲/۰۰	۷۲۹۷/۳۶	۵۱/۳۶
۷	شور	۰/۰۵	۶۰۳۰/۰۰	۳۱۹/۵۹	۲/۲۵
۸	قره‌قوش	۰/۰۵	۲۸۲۰/۰۰	۱۲۶/۹۰	۰/۸۹
۹	قزل‌اوزن	۲/۳۸	۳۲۵۰/۹۵	۷۷۲۷/۵۱	۵۴/۳۹
۱۰	قوقورچای	۰/۰۳	۹۴۶۰/۰۰	۲۷۴/۳۴	۱/۹۳
۱۱	قزل‌اوزن	۲/۴۴	۳۱۵۰/۰۰	۷۶۸۶/۰۰	۵۴/۱۰
۱۲	قزل‌اوزن	-	-	۱۹۱۵/۷۵	۱۳/۴۸
۱۳	گورانی(گامیشگای‌رود)	۰/۷۲	۶۰۰۰/۰۰	۴۳۰۸/۰۰	۳۰/۳۲
۱۴	قزل‌اوزن	-	-	۲۵۰/۰۰	۱/۷۶
۱۵	ایستگاه قره گونی	۳/۱۶	۴۴۹۸/۰۲	۱۴۲۰۶/۹۸	۱۰۰/۰۰

جدول ۴- درصد و بار آلودگی هریک از سرشاخه‌های فرعی و بازه‌های آلوده کننده قزل‌اوزن در دوره تر.

ردیف	نام	بده(m^3/s)	TDS(mg/lit)	بارآلودگی	درصد بار آلودگی
۱	قزل‌اوزن	۲۴/۰۵	۲۹۰/۰۰	۶۹۷۴/۸۰	۲۶/۸۰
۲	قزل‌اوزن	۲۴/۰۵	۲۹۰/۰۰	۶۹۷۴/۸۰	۲۶/۸۰
۳	قزل‌اوزن	۲۴/۰۵	۲۹۰/۰۰	۶۹۷۴/۸۰	۲۶/۸۰
۴	قزل‌اوزن	۲۴/۰۵	۲۹۰/۰۰	۶۹۷۴/۸۰	۲۶/۸۰
۵	قزل‌اوزن	۲۴/۰۵	۲۹۲/۷۵	۷۰۴۰/۹۰	۲۷/۱۰
۶	قزل‌اوزن	-	-	۱۸۳۵/۰۰	۷/۱۰
۷	قزل‌اوزن	۲۴/۰۵	۴۰۲/۲۴	۹۶۷۴/۳۰	۳۷/۲۰
۸	قزل‌اوزن	-	-	۳۷۳۵/۰۰	۱۴/۴۰
۹	تالوار	۰/۶۹	۲۷۵۰/۰۰	۱۸۹۷/۵۰	۷/۳۰
۱۰	قزل‌اوزن	۲۴/۷۴	۵۸۶/۶۲	۱۴۵۱۳/۶۰	۵۵/۸۰
۱۱	قزل‌اوزن	-	-	۱۴۹۲/۶۰	۵/۷۰
۱۲	قزل‌اوزن	۲۴/۷۴	۶۴۴/۳۳	۱۵۹۴۱/۴۰	۶۱/۲۰
۱۳	آبی چای	۰/۳۴	۴۵۱۰/۰۰	۱۵۳۳/۴۰	۵/۹۰
۱۴	قزل‌اوزن	۲۵/۰۸	۷۰۰/۶۰	۱۷۵۷۱/۸۰	۶۷/۵۰
۱۵	قزل‌اوزن	-	-	۲۱۲۵/۰۰	۸/۲۰
۱۶	شور	۰/۲۰	۲۶۰۰/۰۰	۵۲۰/۰۰	۲/۰۰
۱۷	قره قوش	۰/۱۹	۱۳۲۰/۰۰	۲۵۰/۸۰	۱/۰۰

۱۸	قزل‌اوزن	۲۵/۴۷	۷۹۹/۶۱	۲۰۳۶۶/۸۰	۷۸/۳۰
۱۹	قزل‌اوزن	۲۵/۴۷	۸۱۰/۲۷	۲۰۶۳۸/۴۰	۷۹/۳۰
۲۰	قوقورچای	۰/۰۷	۴۹۹۰/۰۰	۳۴۹/۳۰	۱/۳۰
۲۱	قزل‌اوزن	۲۵/۵۴	۸۱۱/۰۹	۲۰۷۱۶/۱۰	۷۹/۶۰
۲۲	چسب	۰/۱۶	۱۷۶۰/۰۰	۲۸۱/۶۰	۱/۱۰
۲۳	قزل‌اوزن	–	–	۴۰۱۸/۰۰	۱/۶۰
۲۴	قزل‌اوزن	۲۵/۷۰	۸۳۴/۰۷	۲۱۴۳۶/۴۰	۸۲/۴۰
۲۵	قزل‌اوزن	–	–	۱۵۲۰/۰۰	۵/۸۰
۲۶	قزل‌اوزن	۲۵/۷۰	۸۹۲/۱۱	۲۲۹۲۸/۱۰	۸۸/۱۰
۲۷	قزل‌اوزن	–	–	۳۱۰/۸۰	۱/۲۰
۲۸	گورانی(گامیشگای	۲/۹۰	۹۶۰/۰۰	۲۷۸۴/۰۰	۱۰/۷۰
۲۹	قزل‌اوزن	۲۸/۶۰	۹۱۰/۰۱	۲۶۰۲۷/۳۰	۱۰۰/۰۰

جدول ۵- بازه‌های تاثیر گذار قزل‌اوزن از بالادست به پایین‌دست.

ردیف	نام بازه	بالادست بازه UTM	پایین دست بازه UTM	طول بازه (کیلومتر)	بار آلودگی (درصد)	توضیحات
۱	گندآب	۲۳۱۹۵۵/۲۲X: ۳۹۸۸۶۱۲/۹۱Y:	۲۳۸۹۰۶/۹۹X: ۳۹۸۸۸۹۳/۸۶Y:	۱۰/۶	۲۷	این بازه از قزل‌اوزن از نزدیکی روستای گندآب تا روستای کملر می‌باشد.
۲	قره‌قوش	۲۴۶۶۷۴/۷۴X: ۳۹۹۳۳۳۹/۵۳Y:	۲۴۸۱۳۸/۹۷X: ۳۹۹۵۲۱۵/۹۹Y:	۳/۰	۱۰	این بازه از تقاطع رودخانه شور با قزل‌اوزن تا تقاطع قره‌قوش با قزل‌اوزن ادامه دارد.
۳	گنبد	۲۳۸۵۷۸/۸۷X: ۴۰۰۲۹۰۹/۳۹Y:	۷۶۸۰۶۸/۵۷X: ۴۰۰۶۳۷۸/۱۱Y:	۷/۰	۳	این بازه از تقاطع چسب و قزل‌اوزن تا روستای گنبد ادامه دارد
۴	قره‌گونی	۷۶۸۰۶۸/۵۷X: ۴۰۰۶۳۷۸/۱۱Y:	۲۳۳۹۰۶/۱۸X: ۴۰۰۷۸۴/۳۴Y:	۸/۷	۵	رودخانه قزل‌اوزن از روستای گنبد تا روستای قره‌گونی

جدول ۶- سهم بار آلودگی رودخانه‌های فرعی.

ردیف	نام	دوره‌ی نرمال	دوره‌ی تر	سالانه
		درصد	درصد	درصد
۱	تالوار	۰/۳۳	۷/۳۰	۲/۰۰
۲	آبی چای	۷/۶۰	۵/۹۰	۷/۹۰
۳	شور (کرسف)	۲/۳۰	۲/۰۰	۱/۷۰
۴	قره قوش	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۷۰
۵	قورقور	۱/۹۰	۱/۳۰	۱/۳۰
۶	چسب	۰/۰۰	۱/۱۰	۰/۳۰
۷	گورانی	۳۰/۸۰	۱۰/۷۰	۲۸/۶۰

منابع

۱) ترابی میبدی، ع. و س. بوداقپور. ۱۳۹۱. مدل شبیه‌سازی روند تغییرات کیفی رودخانه قره سو با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K. اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب،دانشگاه تهران.

۲) خدادادی، ع.۱۳۸۶. مدلسازی اثرات منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه کارون، پایان‌نامه منتشرنشده‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست. دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

۳) رازدار، ب. ۱۳۸۸. بررسی کیفیت آب رودخانه پسیخان با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 در مورد پارامترهای نیترات و فسفات و مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم افزار MIKE11 . دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران. دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

۴) شجاعی، م. ۱۳۹۱. توسعه الگوریتم تحلیل همزمان عدم قطعیت پارامترها و متغیرهای کمی و کیفی در شبیه‌سازی کیفی رودخانه. پایان نامه پایان‌نامه منتشرنشده‌ی مهندسی عمران - محیط زیست. دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

۵) کارآموز، م. ۱۳۸۳. طرح تحقیقاتی تحلیل آماری روند تغییرات کیفی رودخانه کارون و تعیین متغیرهای کیفی شاخص برای سیستم پایش کیفی کارون.اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان.

۶) موسوی مغانجوقی، س، ا. فتائی و ف. ناصحی. ۱۳۹۲. بررسی خودپالایی و کیفیت رودخانه شهرچای ارومیه با مدل شبیه‌سازی QUAL2K. نخستین کنگره بین‌المللی - تخصصی علوم زمین. تهران.

۷) میرزایی، م، ح. امینی راد، ف. گلبابایی و ع. نصراللهی. ۱۳۹۰. مدل‌سازی کیفی پارامترهای pH، BOD و DO رودخانه بابل‌رود توسط نرم‌افزار QUAL2K. پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه علم و صنعت.

۸) هاشمی، ح، ا. قاسمی زیارانی و ی. رنجکش. ۱۳۹۰. سهم بندی بار آلودگی ورودی از زیرخوضه ها به مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل QUAL2K. مجله محیط شناسی. ۳۷(۵۷):۱-۸.

9) Chapra, S.C, and G.J. Pelletier. 2003. Qual2k: A modeling framework for simulating river and stream water quality: documentation and user manual, Civil and Environmental Engineering Dept. Tufts University.

10) Fan, Chun-Han Ko, and Wei-Shen Wang. 2009. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on river water quality simulation", J. Environ. Manage. 90: 1824–1832.

11) Jafarzadeh, N., M. Tavasoli, and A. Barootkoob. 2005. Investigation of Karoon River water quality variations using Qual2E Program, Iran-Water Resour. Res., 1: 85-96.

12) Karamouz, M., S.A. Mojahedi, and A. Ahmadi. 2007. Economic assessment in development of operating policies for inter-basin water transfer, Iran-Water Resour. Res. 3: 10-25.

13) Miri, M. 2010. Ghareh Aghaj River quality simulation using Qual2k model. Master of Science Thesis (unpublished), University of Tehran.

14) Moriasi, D.N., J.G., Arnold, M.W., Van Liew, , R.L., Bingner, R.D., Harmel, T.L. Veith. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), 50: 885−900.

15) Prakash R. K, 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. Ecol. Model, 202: 503–517.