Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1233-1245

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۲۴۵-۱۲۳۳

آنالیز حساسیت مدل Qual2kw در مدل‌سازی پارامترهای کیفی سفیدرود

مهدی محمدی قلعه‌نی[1*] و کیومرث ابراهیمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۹

چکیده

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع آب در دسترس می‌باشند که با توجه به ورود انواع آلاینده‌ها، نگرانی‌های زیادی در مورد حفاظت کیفی آنها وجود دارد. مدل‌سازی و ارزیابی عوامل مؤثر از اولین گام‌های مدیریت کیفی آب رودخانه‌ها می‌باشد. هدف مقاله حاضر ارزیابی میزان تغییرات اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود در اثر تغییر پارامترهای مؤثر بر آن می‌باشد. برای دستیابی به هدف مذکور، پس از واسنجی و صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی پارامترهای کیفیت آب سفیدرود با استفاده از مدل Qual2kw، آنالیز حساسیت این مدل با استفاده از نرم‌افزار YASAIw انجام شد. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های هیدرولیکی، عمق، سرعت، دبی و همچنین کیفیت و آلاینده‌های ورودی به رودخانه در بازه‌ای ۱۱۰ کیلومتری پایین‌دست سد سفیدرود تا دریا طی آذر ۱۳۸۶، تیر، مهر و آبان ۱۳۸۷، بهمن ۱۳۸۹، فروردین، خرداد و مرداد ۱۳۹۰ در ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کمترین مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای پارامتر pH به ترتیب برابر ۰/۰۶ و ۰/۰۴، و بیشترین آن برای پارامتر فسفر کل به ترتیب برابر ۱/۰۸ و ۰/۹۶ می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که اکسیژن محلول در رودخانهٔ سفیدرود بیشترین حساسیت را به ترتیب نسبت به ضریب هوادهی، عمق جریان و ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی دارد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، صحت‌سنجی، ضریب هوادهی، واسنجی، Qual2Kw

مقدمه

طی سالیان اخیر حفاظت از رودخانه‌ها و پاک‌سازی آنها مورد توجه سازمان‌های ملی و بین المللی مسئول کنترل کیفیت و حفاظت منابع آب قرار گرفته است. این موضوع در مناطقی که شهرها و صنایع بزرگ در حاشیه رودخانه‌ها قرار دارند و رودخانه‌ها تامین کننده اصلی نیازهای آبی می‌باشند، به منظور حفظ سلامت عمومی اهمیت بیشتری دارد (Tayfur and Singh., 2005). به همین دلیل توانایی تخمین و شبیه سازی جریان، انتقال آلودگی و رسوب در رودخانه‌ها اهمیت زیادی دارد. روند رو به رشد آلودگی آبهای سطحی در سراسر جهان استفاده از فرآیندهای اختلاط و رقیق‌سازی را الزامی نموده است. هم اکنون استفاده از فرآیند پخشیدگی و تقویت خودپالایی رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت زیست محیطی رودخانه‌ها محسوب می‌شود (پورآبادهای، ۱۳۸۶).

برای ارتقاء روش‌های مدل‌سازی کیفیت آب، سعی شده است که از مدل‌ها و روش‌های عددی بهتر و همچنین شبیه‌سازی با روش‌های برتر برای بیان پدیده‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی استفاده شود. در سال ۲۰۰۸ پس از تشخیص محدودیت‌های مدل‌های Qual2E و Qual2EU، مدل Qual2Kw توسعه داده شد. از مزیت‌های این نسخه از مدل، واسنجی خودکار آن به کمک الگوریتم ژنتیک می‌باشد. این الگوریتم ضرایب و نرخ‌های سینتیک و بیولوژیک را بر اساس حداقل خطای بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای بهینه می‌کند (Pelletier and Chapra., 2008). در بررسی پیشینه تحقیقات مرتبط با مدل‌های سری Qual2Kw می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

بوستانی و گوهرگانی (۱۳۹۳) کیفیت آب رود بشار در محدوده‌ی شهر یاسوج را با استفاده از مدل QUAL2K شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده اکسیژن محلول حاکی از میزان بالای آن و مناسب بودن ظرفیت خودپالایی رودخانه بوده است. عاشق‌معلا و همکاران (۱۳۹۳) نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها را در تعیین حدود مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها با استفاده از مدل QUAL2Kw بررسی کردند. ایشان با اعمال دو سناریو شاملِ کاهش اکسیژن محلول و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی به ترتیب برابر ۲ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و بررسی توان خودپالایی رودخانه و منابع آلاینده با حفظ اکسیژن محلول و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی به ترتیب حداقل برابر ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، آلاینده‌های قابل تخلیه به رودخانه قشلاق

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک
۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: M-MohammadiGhalenei@Araku.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

کردستان را بررسی کردند. نتایج مقایسهٔ اقتصادی این دو سناریو حاکی از برتری سناریوی دوم با اختلاف هزینهٔ اقتصادی ده میلیارد ریالی بود. خدام محمدی و بوستانی (۱۳۹۵) توان خودپالایی و نقش اکسیژن محلول را در کیفیت آب رودخانه کر با استفاده از نرم‌افزار Qual2k در بازه پایین دست سد درودزن تا دریاچه طشک- بختگان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین و کمترین اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده در ماه اسفند به ترتیب برابر ۵/۵۹ و ۸/۲۵ میلی‌گرم در لیتر در پل خان و پل شهیدغنی‌زاده بوده است. خوب و همکاران (۱۳۹۶) به تعیین سهم رودخانه‌های ورودی بر افزایش شوری رودخانه قزل اوزن در محدوده استان زنجان با استفاده از مدل Qual2k پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که شاخه گورانی با ۲۸/۶ درصد و سرشاخه چسب با ۰/۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین سهم بار آلودگی را در میان سرشاخه‌های فرعی رودخانه قزل اوزن دارا می‌باشند. حسینی و حسینی (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات توان خودپالایی بازه‌ای ۴۲ کیلومتری از رودخانه کارون طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ با استفاده از مدل Qual2kw پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بهترین شبیه‌سازی مدل به ترتیب برای پارامترهای pH، BOD و EC بوده است. مقیمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی تغییرات فصلی توان خودپالایی در بازه‌ای ۱۱۳ کیلومتری رودخانه کارون با استفاده از مدل Qual2kw پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که کاهش ۳۰ درصدی جریان ورودی آلاینده‌ها به رودخانه کارون شامل پاتوژن‌ها باعث بهبود کیفیت آب این رودخانه می‌شود. نوروزی و همکاران (۱۳۹۷) با شبیه‌سازی بازه‌ای از رودخانه دز با استفاده از مدل Qual2k، به بهینه‌سازی جریان زیست‌محیطی خروجی از سد دز پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که جریان رهاسازی بهینه از سد تحت سه سناریوی وزن‌های نسبی برای اهداف مهم کمی و کیفی به ترتیب برابر ۶۶، ۵۷ و ۷۴ مترمکعب در ثانیه و متوسط غلظت برای این سناریوها به ترتیب برابر ۲/۹، ۳/۲ و ۲/۷ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

سانتوز و همکاران (۲۰۱۳) از مدل Qual2Kw برای پیش‌بینی اثرات شرایط جریان، دبی و شاخه‌های ورودی روی کیفیت آب رودخانه مینهو در اسپانیا استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که از مدل Qual2Kw می‌توان برای مدیریت و برنامه‌ریزی در حوضه رودخانه مینهو استفاده کرد (Santos et al., 2013). ویرا و همکاران (۲۰۱۳) کیفیت آب رودخانه لیس را در پرتغال با استفاده از مدل Qual2Kw مدل‌سازی کردند. نتایج مدل‌سازی ایشان طی سناریوهای مختلف حاکی از تأثیر شاخه‌های ورودی روی کیفیت آب رودخانه بود. به طوری‌که با حذف شاخه‌های ورودی مقادیر اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، آمونیوم و کلیفرم ۴۵، ۱۳ و ۴۴ درصد در زمستان و ۲۳، ۳۳ و ۳۶ درصد در تابستان افزایش یافت (Vieira et al., 2013). شارما و همکاران (۲۰۱۷) بازه‌ای شهری از رودخانه یامونا در هند را با استفاده از مدل Qual2kw برای ۱۰ سال آمار (سالهای ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹) مدل‌سازی کردند. آنها از داده‌های ۴۵ ماه (اکتبر ۱۹۹۹ تا ژوئن ۲۰۰۴) برای واسنجی و از داده‌های ۴۵ ماه دیگر (اکتبر ۲۰۰۵ تا ژوئن ۲۰۰۹) برای اعتبارسنجی مدل استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ضریب همبستگی برای اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی و نیتروژن کل به ترتیب دارای حدود ۰/۷۵- ۰/۵۳ و ۰/۸۳- ۰/۶۸ می‌باشد (Sharma et al., 2017).

مؤلفین مقاله حاضر طی تحقیق گسترده‌ای، اثرات ضرایب پخش طولی، زوال و هوادهی بر غلظت اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود را با استفاده از مدل Qual2Kw 6 و آنالیز حساسیت آن نسبت به ضرایب مذکور را بررسی کردند. به این منظور از نسخهٔ مدل QUAL2Kw 6 برای مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه سفیدرود استفاده شد. مرحلهٔ واسنجی خودکار مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام و در ادامه صحت‌سنجی مدل بررسی شد. یکی از نوآوری‌های مهم در این مقاله، استفاده از مدل QUAL2Kw 6 در آنالیز حساسیت ضرایب پخش طولی، هوادهی و زوال و استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو با استفاده از نرم‌افزار YASAIw می‌باشد. همچنین حساسیت تغییرات غلظت اکسیژن محلول نسبت به دبی، سرعت جریان، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی ارزیابی و گزارش شده است.

مواد و روش‌ها

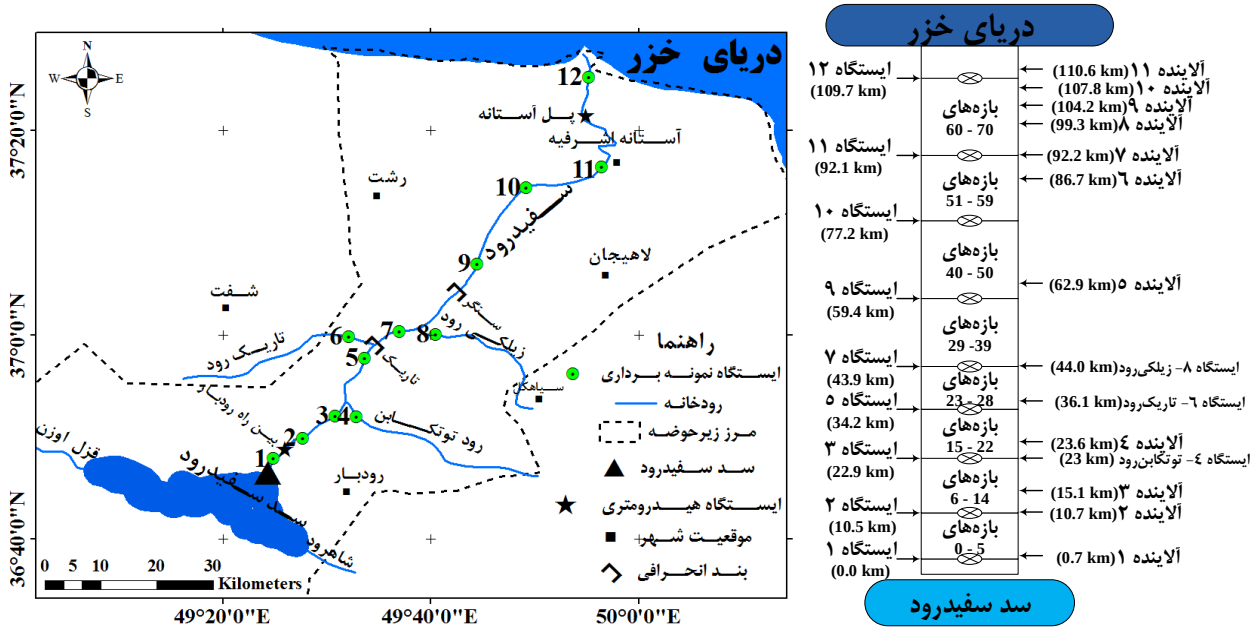
منطقه مورد مطالعه

بازه‌ی مورد مطالعه در این مقاله طول ۱۱۰ کیلومتری از رودخانه سفیدرود می‌باشد که از پایین‌دست سد سفیدرود شروع و تا دریای خزر ادامه دارد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این طول رودخانه شامل ۹ ایستگاه سفیدرود و ۳ ایستگاه بر روی شاخه‌های فرعی ورودی به سفیدرود شامل، زیلکی‌رود، تاریک‌رود و رود توتکابن می‌باشد. شکل ۱ موقعیت سد سفیدرود، ایستگاه‌های هیدرومتری و نمونه‌برداری و موقعیت نقاط ورودی آلاینده‌ها و همچنین بازه‌بندی رودخانه را نشان می‌دهد.

بازه‌بندی رودخانه سفیدرود بر اساس ایستگاه‌های نمونه‌برداری و نقاط ورود آلاینده‌ها به این رودخانه انجام شده است. طول برابر ۱۱۰ کیلومتری مورد بررسی در رودخانه سفیدرود به ۷۰ بازه مطابق مشخصات ارائه شده در جدول ۱ تقسیم شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌ها و مشخصات بازه‌بندی رودخانه سفیدرود

جدول ۱- مشخصات بازه‌های در نظر گرفته شده در رودخانه سفیدرود

شماره ایستگاه	رودخانه	فاصله از پایین‌دست(کیلومتر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	شمارهٔ بازه‌ها	طول متوسط بازه(کیلومتر)
۱	سفیدرود	۱۰۹/۶۷	۳۶,۷۷	۴۹,۳۹	۲۰۵	۰	–
۲	سفیدرود	۹۹,۱۸	۳۶,۸۳	۴۹,۴۴	۱۸۰	۵-۰	۱,۷۵
۳	سفیدرود	۸۶,۷۳	۳۶,۸۹	۴۹,۵۱	۱۴۶	۱۴-۶	۱,۳۸
۴	توتکابن	۸۶,۷۱	۳۶,۸۹	۴۹,۵۲	۱۵۲	–	–
۵	سفیدرود	۷۵,۵۱	۳۶,۹۸	۴۹,۵۵	۱۱۸	۲۲-۱۵	۱,۴۰
۶	تاریک رود	۷۳,۶۱	۳۶,۹۹	۴۹,۵۶	۱۱۰	–	–
۷	سفیدرود	۶۵,۷۴	۳۷,۰۲	۴۹,۶۳	۹۶	۲۸-۲۳	۱,۶۳
۸	زیلکی رود	۶۵,۷۱	۳۷,۰۲	۴۹,۶۴	۹۱	–	–
۹	سفیدرود	۵۰,۲۴	۳۷,۱۲	۴۹,۷۴	۵۳	۳۹-۲۹	۱,۴۱
۱۰	سفیدرود	۳۲,۴۹	۳۷,۲۵	۴۹,۸۱	۹	۵۰-۴۰	۱,۶۱
۱۱	سفیدرود	۱۷,۵۹	۳۷,۲۸	۴۹,۹۳	۱۰-	۵۹-۵۱	۱,۶۶
۱۲	سفیدرود	۰,۰۰	۳۷,۴۲	۴۹,۹۱	۲۰-	۷۰-۶۰	۱,۷۶

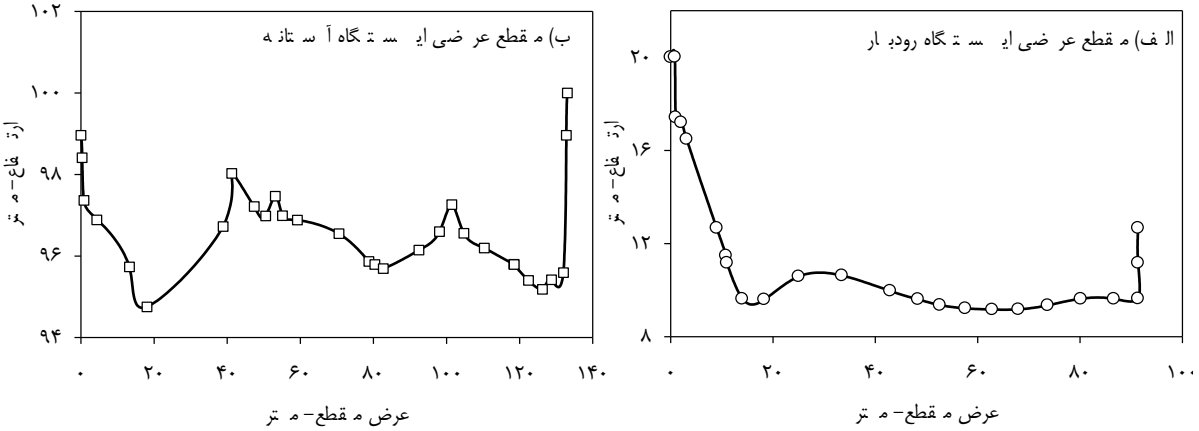
مشخصات هیدرولیکی رودخانه

توسعه مدل هیدرودینامیکی رودخانه سفیدرود به منظور برآورد سرعت، عمق و عرض جریان رودخانه با توجه به دبی رودخانه انجام شد. در این راستا داده‌های دبی روزانه در دو ایستگاه هیدرومتری منجیل و آستانه، سرعت و عمق جریان و مقاطع عرضی رودخانه در ۹ ایستگاه نمونه‌برداری برای مدل هیدرودینامیکی استفاده شد. در شکل ۲ مقاطع عرضی رودخانه سفیدرود در دو ایستگاه رودبار و آستانه در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ ارائه شده است.

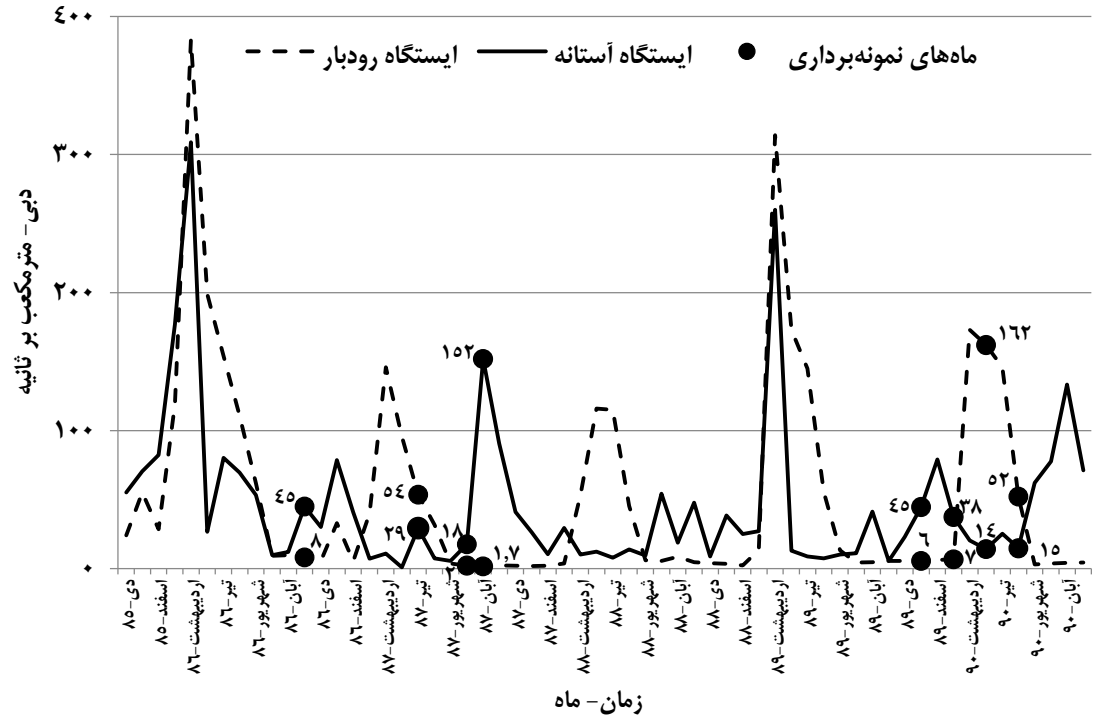
همانطور که شکل ۲ نشان می‌دهد رودخانه سفیدرود دارای عرضی برابر ۹۰ و ۱۳۰ متر به ترتیب در محل ایستگاه‌های رودبار و آستانه می‌باشد. مقادیر میانگین دبی ماهانه در رودخانه سفیدرود در طی ماه‌های نمونه‌برداری در دو ایستگاه هیدرومتری رودبار و آستانه در شکل ۳ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقاطع عرضی رودخانه سفیدرود در دو ایستگاه هیدرومتری رودبار و آستانه (شرکت آب منطقه‌ای گیلان، ۹۲-۱۳۹۱)



شکل ۳- دبی ماهانه رودخانه سفیدرود در ایستگاه‌های رودبار و آستانه طی ماه‌های نمونه‌برداری

همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد در آبان ۱۳۸۷ در ایستگاه رودبار دبی حداقل برابر ۱/۷ مترمکعب در ثانیه و در همین ماه دبی حداکثر در ایستگاه آستانه برابر ۱۵۲ مترمکعب در ثانیه ثبت شده است. همچنین در خرداد ۱۳۹۰ دبی در ایستگاه رودبار حداکثر و در ایستگاه آستانه حداقل و به ترتیب برابر ۱۶۲ و ۱۴ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری و ثبت شده است. به منظور توسعهٔ مدل هیدرودینامیکی روابط توانی مطابق معادلات (۱) تا (۳) استفاده شد(Leopold and Maddock., 1953).

$$U = aQ^b \quad (۱)$$

$$H = cQ^d \quad (۲)$$

$$B = eQ^f \quad (۳)$$

در روابط فوق Q دبی جریان بر حسب مترمکعب در ثانیه، U سرعت متوسط بر حسب متر در ثانیه، H عمق متوسط بر حسب متر، B عرض بالایی جریان بر حسب متر و a، b، c، d، e و f ضرایب تجربی هستند که بر اساس داده‌های هیدرومتری جریان رودخانه تعیین می‌شوند. با محاسبه ضرایب تجربی a، b، c، d، e و f در دو ایستگاه هیدرومتری رودبار، پل آستانه و ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری رودخانه، عمق متوسط روزانه و میانگین سرعت روزانه جریان در

www.SID.ir

Archive of SID

رودخانه سفیدرود برآورد شد. جدول ۲ مقادیر بدست آمده ضرایب a، b، c، d، e و f را طی تحقیق حاضر و در بازه‌های مختلف رودخانه سفیدرود نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر برآورد شده ضرایب تجربی مدل هیدرولیکی در بازه‌های رودخانه سفیدرود

شماره بازه‌ها	a	b	c	d	e	f
۰ – ۵	**۰/۹۳**	**۰/۰۸**	**۰/۹۹**	**۰/۲۱**	**۱/۰۹**	**۰/۷۱**
۶ – ۱۴	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۹۸	۰/۲۰	۴/۴۴	۰/۵۰
۱۵ – ۲۲	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۳۱	۱۳/۷۸	۰/۴۲
۲۳ – ۲۸	۰/۴۸	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۴۵	۱۷/۴۹	۰/۳۷
۲۹ – ۳۹	۰/۲۱	۰/۳۰	۱/۱۹	۰/۰۵	۴/۰۷	۰/۶۵
۴۰ – ۵۰	۰/۹۸	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۵۲	۱۲/۰۰	۰/۴۲
۵۱ – ۵۹	۰/۸۸	۰/۰۴	۲/۱۹	۰/۰۲	۰/۵۲	۰/۹۴
۶۰ – ۷۰	۰/۹۱	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۱۱	۱/۱۲	۰/۸۷

داده‌های کیفی

در مقاله حاضر از داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ پارامترهای کیفی شامل؛ دما، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، قلیائیت، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل و فسفر کل در هشت نوبت نمونه‌برداری شامل آذر ۱۳۸۶، تیر، مهر و آبان ۱۳۸۷، بهمن ۱۳۸۹، فروردین، خرداد و مرداد ۱۳۹۰ در ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری استفاده شده است. همچنین این پارامترها در ۱۱ محل ورودی آلاینده‌های نقطه‌ای به رودخانه سفیدرود شامل مرغداری منجیل، فاضلاب رودبار، کارخانه روغن کشی گنجه رودبار، فاضلاب رستم آباد، مرغداری سیاهکل، مرغداری کیسم، فاضلاب شهر آستانه، کارخانه لبنیات گلسار، کارخانه لبنیات سعدآباد، کارخانه کیاتن و مرغداری گیلان در یک ماه اندازه‌گیری و مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۳ مشخصات آماری داده‌های کیفی مورد استفاده در مقاله حاضر را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۳، حداقل و حداکثر مقدار اکسیژن محلول برابر با ۳/۴ و ۱۲/۷ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در مهرماه ۱۳۸۷ و خردادماه ۱۳۹۰ در ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۲ و ۴ اندازه‌گیری شده است. همچنین حداقل اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی[1] برابر با ۱/۶ میلی‌گرم بر لیتر در فروردین‌ماه ۱۳۹۰ در ایستگاه ۱ و حداکثر آن در مهرماه ۱۳۸۷ و برابر با ۹۸ میلی گرم بر لیتر در ایستگاه ۱۱ اندازه‌گیری شده است.

مدل Qual2Kw 6

مدل Qual2Kw 6 مدلی یک بعدی و با فرض جریان دائمی[2] می‌باشد. رودخانه می‌تواند به عنوان مجموعه‌ای از بازه‌ها (با طول‌های مساوی یا نامساوی) و شاخه‌های ورودی به عنوان منابع نقطه‌ای شبیه‌سازی شود. داده‌های ورودی موردنیاز این مدل شامل مشخصات هندسی مقاطع[3] رودخانه، مشخصات هیدرولیکی جریان، پارامترهای کیفی مورد بررسی و داده‌های هواشناسی می‌باشد(Pelletier and Chapra., 2008). واسنجی مدل Qual2Kw 6 با استفاده از الگوریتم ژنتیک موجود در مدل برای ماه‌های مهر ۱۳۸۷ و خرداد ۱۳۹۰ به ترتیب دارای کمترین و بیشترین میانگین دبی و دو ماه آذر ۱۳۸۶ و تیر ۱۳۸۷ با توجه به کامل‌تر بودن داده‌ها انجام شد. مدل برای ۴ ماه دیگر شامل آبان ۱۳۸۷، بهمن ۱۳۸۹، فروردین و مرداد ۱۳۹۰ صحت‌سنجی شد. به عبارتی صحت‌سنجی مدل برای ماه‌های تمام فصول شامل بهار (فروردین ۱۳۹۰)، تابستان (مرداد ۱۳۹۰)، پاییز (آبان ۱۳۸۷) و زمستان (بهمن ۱۳۸۹) انجام شد تا شبیه‌سازی مدل در فصول مختلف سال بررسی شود. پس از انجام مراحل واسنجی و صحت‌سنجی، نتایج اکسیژن محلول شبیه‌سازی شده توسط مدل Qual2Kw 6 مورد آنالیز حساسیت قرار گرفت. به منظور آنالیز حساسیت مدل Qual2Kw از نرم‌افزار YASAIw[4] که به صورت زیربرنامه‌ای به این مدل اضافه می‌شود، استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به اهمیت چهار پارامتر اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی، نیتروژن کل و فسفر کل نسبت به سایر پارامترهای کیفیت آب مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شدهٔ این پارامترها در بخش نتایج این مقاله بررسی شد. شکل ۴، نتایج شبیه‌سازی پارامترهای نیتروژن کل و فسفر کل را در مرحله صحت‌سنجی نشان می‌دهد.

1- Biochemical oxygen Demand (BOD)
2- Steady state flow
3- hydraulic geometry
4- Yet Another Simulation Add-In

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مشخصات آماری داده‌های کیفی رودخانه سفیدرود (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۹ و میرمشتاقی و همکاران، ۱۳۹۰)

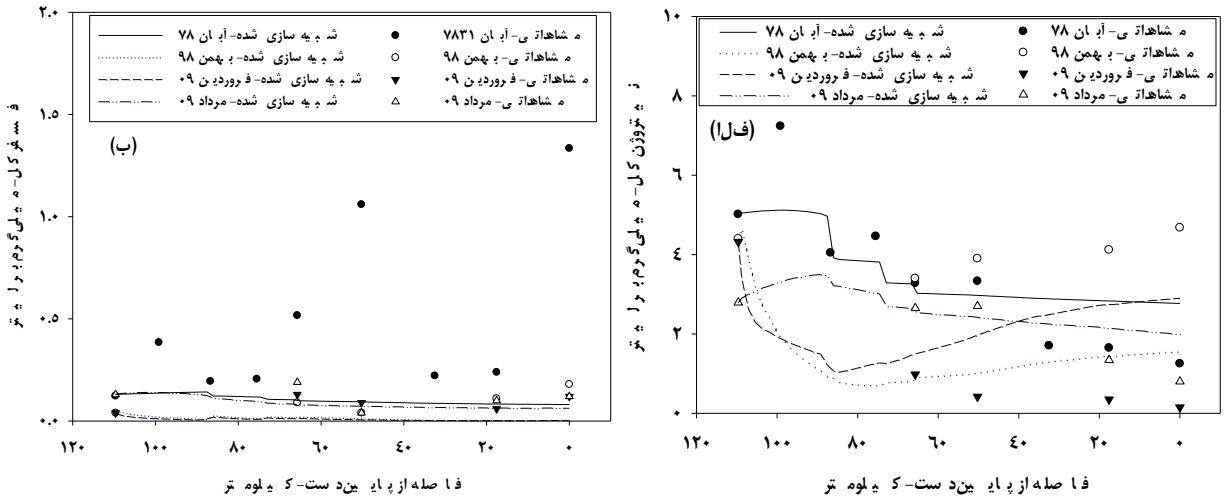
تاریخ	آماره	Q (m^3/s)	T (^0C)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	pH	EC (mmho/cm)	TS (mg/l)	TP (mg/l)	TN (mg/l)
آذر ۱۳۸۶	مینیمم	۸	۱۰/۰	۷/۶	۹/۰	۸/۲	۱/۹۶	۳۷۲	۰/۰۳	۰/۲
	ماکزیمم	۴۵	۱۲/۰	۹/۲	۱۶/۰	۸/۵	۵/۸۴	۲۹۸۹	۰/۰۵	۲/۳
	میانگین	۲۷	۱۰/۸	۸/۳	۱۳/۳	۸/۴	۳/۰۵	۹۴۷	۰/۰۴	۱/۲
	انحراف معیار	۲۶	۰/۶	۰/۵	۲/۲	۰/۱	۱/۳۷	۸۳۶	۰/۰۱	۰/۶
تیر ۱۳۸۷	مینیمم	۲۹	۲۶/۰	۸/۳	۱۰/۰	۸/۲	۰/۲۸	۱۵۷۷	۰/۰۴	۱/۰
	ماکزیمم	۵۴	۳۳/۰	۹/۶	۱۴/۰	۸/۵	۳/۰۱	۳۳۶۶	۰/۰۷	۵/۵
	میانگین	۴۲	۲۹/۶	۸/۹	۱۱/۴	۸/۳	۰/۶۴	۲۱۷۹	۰/۰۶	۲/۶
	انحراف معیار	۱۸	۲/۱	۰/۴	۱/۳	۰/۱	۰/۸۹	۵۰۰	۰/۰۱	۱/۴
مهر ۱۳۸۷	مینیمم	۲	۱۷/۰	۳/۴	۳۴/۰	۷/۶	۱/۴۷	۲۵	۰/۰۲	۰/۵
	ماکزیمم	۱۸	۲۱/۰	۵/۱	۹۸/۰	۸/۵	۴/۲۰	۱۶۰	۰/۰۵	۱/۸
	میانگین	۱۰	۱۸/۵	۴/۱	۵۴/۰	۸/۳	۲/۷۱	۵۷	۰/۰۴	۱/۱
	انحراف معیار	۱۱	۱/۳	۰/۵	۱۸/۴	۰/۳	۱/۰۴	۴۷	۰/۰۱	۰/۵
آبان ۱۳۸۷	مینیمم	۲	۲۲/۰	۷/۳	۹/۰	۷/۱	۱/۱۰	۸۲۹	۰/۱۲	۰/۵
	ماکزیمم	۱۵۲	۲۹/۰	۸/۲	۱۲/۰	۸/۲	۳/۰۰	۲۵۱۷	۱/۳۴	۷/۲
	میانگین	۷۷	۲۵/۰	۷/۹	۱۰/۹	۷/۷	۱/۵۰	۱۱۱۸	۰/۴۸	۳/۵
	انحراف معیار	۱۰۶	۲/۲	۰/۳	۱/۲	۰/۳	۰/۵۸	۵۳۰	۰/۴۳	۲/۰
بهمن ۱۳۸۹	مینیمم	۶	۶/۸	۷/۸	۲/۷	۷/۸	۰/۴۲	۲۶۹	۰/۰۴	۳/۴
	ماکزیمم	۴۵	۹/۱	۹/۰	۳۳/۳	۸/۹	۱/۲۷	۸۱۲	۰/۱۸	۴/۷
	میانگین	۲۶	۷/۹	۸/۴	۱۸/۱	۸/۳	۰/۷۹	۵۰۶	۰/۰۹	۴/۱
	انحراف معیار	۲۸	۱/۰	۰/۵	۱۴/۳	۰/۴	۰/۴۱	۲۶۵	۰/۰۶	۰/۵
فروردین ۱۳۹۰	مینیمم	۷	۱۲/۹	۸/۷	۱/۶	۷/۵	۰/۷۶	۴۹۰	۰/۰۴	۰/۲
	ماکزیمم	۳۸	۱۸/۰	۱۱/۸	۲۰/۹	۸/۴	۱/۷۵	۱۱۲۳	۰/۱۳	۴/۳
	میانگین	۲۳	۱۶/۳	۱۰/۳	۱۱/۶	۸/۲	۱/۱۴	۷۲۹	۰/۰۹	۱/۲
	انحراف معیار	۲۲	۲/۱	۱/۱	۹/۰	۰/۴	۰/۴۷	۳۰۲	۰/۰۴	۱/۷
خرداد ۱۳۹۰	مینیمم	۱۴	۲۱/۹	۸/۶	۷/۴	۸/۰	۱/۴۹	۹۵۱	۰/۰۴	۰/۳
	ماکزیمم	۱۶۲	۳۰/۰	۱۲/۷	۵۴/۱	۸/۳	۱/۵۶	۹۹۷	۰/۱۱	۴/۷
	میانگین	۸۸	۲۴/۷	۱۰/۲	۲۷/۸	۸/۲	۱/۵۴	۹۸۳	۰/۰۷	۲/۱
	انحراف معیار	۱۰۵	۳/۳	۱/۶	۲۰/۳	۰/۱	۰/۰۳	۱۹	۰/۰۳	۱/۷
مرداد ۱۳۹۰	مینیمم	۱۵	۲۴/۰	۷/۱	۲۳/۸	۷/۸	۱/۵۵	۹۹۵	۰/۰۴	۰/۸
	ماکزیمم	۵۲	۲۷/۰	۹/۱	۴۶/۴	۸/۲	۲/۰۳	۱۲۹۹	۰/۱۹	۲/۸
	میانگین	۳۴	۲۵/۴	۸/۱	۳۳/۶	۸/۰	۱/۷۱	۱۰۹۳	۰/۱۲	۲/۱
	انحراف معیار	۲۶	۱/۱	۰/۹	۸/۲	۰/۲	۰/۱۹	۱۲۲	۰/۰۵	۰/۹

شکل ۴ نشان می‌دهد که نیتروژن کل مشاهداتی در ماه‌های مورد بررسی در طول رودخانه سفیدرود روندی کاهشی داشته‌اند. مخصوصاً در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۰ که مقدار نیتروژن کل از ۴/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر در بالادست رودخانه به ۰/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافته است. بیشترین مقادیر نیتروژن کل اندازه‌گیری شده در رودخانه سفیدرود مربوط به ماه‌های آبان ۱۳۸۷ و بهمن ۱۳۹۰ و به ترتیب برابر ۷/۲۴ و ۴/۶۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. بیشترین مقادیر فسفر کل در رودخانه سفیدرود در آبان ۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده است. همچنین مقادیر فسفر کل در سه ماه بهمن ۱۳۸۹ و فروردین و مرداد ۱۳۹۰ کمتر از ۰/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شده است. شکل ۵، مقادیر اکسیژن محلول و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی[1] مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی مدل را نشان می‌دهد.

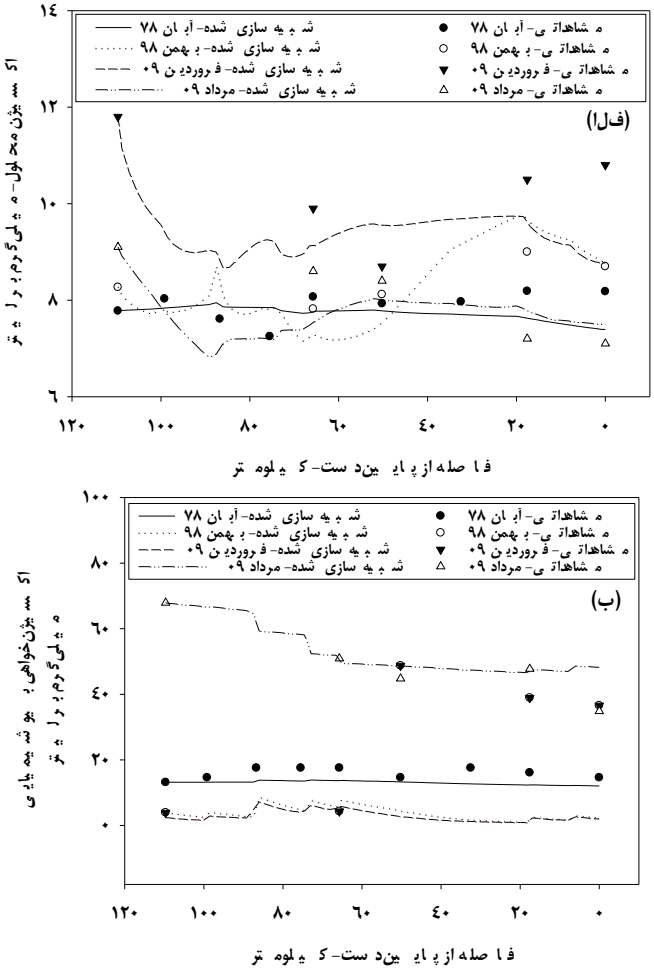
1-Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand (CBOD)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- نیتروژن کل (الف) و فسفر کل (ب) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سفیدرود در مرحله صحت‌سنجی مدل



شکل ٥- اکسیژن محلول (الف) و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (ب) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سفیدرود در مرحله صحت‌سنجی مدل

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های اندازه‌گیری شده از اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی در طول رودخانه سفیدرود روندی صعودی را از خود نشان می‌دهند که حاکی از نامطلوبتر شدن وضعیت کیفیت آب رودخانه سفیدرود از بالادست به سمت پایین دست رودخانه دارد. البته در مرداد ۱۳۹۰ غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی از بالادست به پایین دست رودخانه کاهش داشته است(به شکل ۵ نگاه شود). نکته قابل توجه در شبیه‌سازی اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود این می‌باشد که دقت مناسب شبیه‌سازی مدل برای پارامتر اکسیژن محلول می‌باشد. در جدول ۴، مقادیر پارامترهای آماری شامل میانگین، انحراف معیار، ضریب همبستگی (R) و مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) برای پارامترهای شبیه‌سازی شده در دو مرحلهٔ واسنجی و صحت‌سنجی ارائه شده است.

جدول ٤- نتایج آماری مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل Qual2Kw

مرحله مدل‌سازی	آماره	پارامترهای مدل‌سازی شده								
		U	H	Q	T	pH	EC	TN	$CBOD_u$	DO
مرحله واسنجی	میانگین	۱/۱۸	۲/۰۰	۲۳۹/۱۴	۲۰/۰۳	۸/۳۰	۱۹۸۵/۲۰	۱/۷۴	۳۸/۹۸	۷/۸۵
	انحراف معیار	۰/۲۰	۰/۷۴	۷۶/۶۴	۱/۷۷	۰/۱۶	۸۳۱/۳۸	۱/۰۴	۱۵/۴۸	۰/۷۳
	nRMSE	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۱۲	*۰/۰۶*	۰/۵۱	۰/۸۱	۱/۰۸	۰/۱۵
	ضریب همبستگی	۰/۵۷	*۰/۷۷*	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۵۸	۰/۵۲	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۲۹
مرحله صحت‌سنجی	میانگین	۰/۹۹	۱/۱۶	۷۱/۹۷	۱۷/۸۰	۸/۰۴	۱۲۸۳/۹۰	۲/۷۴	۲۹/۵۴	۸/۶۷
	انحراف معیار	۰/۲۱	۰/۳۷	۱۲/۹۷	۱/۳۵	۰/۳۴	۴۱۵/۳۲	۱/۲۷	۱۳/۹۱	۰/۷۰
	nRMSE	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۳	*۰/۰۴*	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۰۶
	ضریب همبستگی	۰/۴۷	۰/۳۶	۰/۶۸	۰/۳۸	۰/۵۴	۰/۷۵	*۰/۷۸*	۰/۵۹	۰/۷۲

مطابق با جدول ۴، کمترین مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای پارامتر pH به ترتیب برابر ۰/۰۶ و ۰/۰۴، و بیشترین آن برای پارامتر فسفر کل به ترتیب برابر ۱/۰۸ و ۰/۹۶ می‌باشد، این نشان می‌دهد که مدل در شبیه‌سازی پارامترهایی مانند قلیائیت، دما و اکسیژن محلول از دقت بالاتری نسبت به پارامترهایی مانند فسفر کل، نیتروژن کل و شوری برخوردار می‌باشد. جدول ۵، نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر بر تغییرات اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود را برای سه ماه آذر ۱۳۸۶، مهر ۱۳۸۷ و فروردین ۱۳۹۰ نشان می‌دهد.

جدول ۵- نتایج آنالیز حساسیت ضرایب و پارامترهای مؤثر بر اکسیژن محلول سفیدرود

زمان نمونه‌برداری	تغییرات اکسیژن محلول (درصد)									
	آذر ۱۳۸٦			مهر ۱۳۸۷			فروردین ۱۳۹۰			
تغییرات پارامتر (درصد)	-۵۰٪	-۲۵٪	+۲۵٪	+۵۰٪	-۵۰٪	-۲۵٪	+۲۵٪	+۵۰٪	-۵۰٪	-۲۵٪	+۲۵٪	+۵۰٪
ضریب هوادهی (K_a)	-۱۳/۸	-۵/۹۹	۴/۶۶	۸/۳۴	*-۲۸/۲۰*	-۱۳/۳۴	۱۱/۴۵	۲۱/۱۳	*-۲۷/۵۱*	-۱۰/۶۸	۷/۲۵	*۱۲/۴۲*
ضریب توان سرعت (B)	-۱/۵۳	-۰/۷۸	۰/۸۰	۱/۵۸	-۷/۰۵	-۳/۶۷	۳/۶۸	۷/۵۶	-۱/۰۶	-۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۹۵
ضریب توان عمق (C)	۶/۵۵	۳/۱۷	-۲/۹۲	-۵/۶۵	*۳۳/۳۰*	۱۵/۸۸	-۱۳/۴۸	-۲۴/۳۳	۳/۴۱	۱/۷۴	-۱/۸۵	-۳/۶۶
ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (K_c)	۰/۴۵	۰/۲۳	-۰/۰۵	-۰/۴۴	*۲۵/۰۰*	۱۱/۵۴	-۹/۷۱	*-۱۷/۷۶*	۶/۷۲	۲/۳۷	-۱/۳۵	-۲/۳۰
دبی بالادست (Q)	۵/۴۱	۲/۳۱	-۱/۷۹	-۳/۱۸	-۳/۶۷	-۱/۵۳	۱/۱۵	۱/۹۴	۱/۶۱	۰/۷۶	-۰/۴۷	-۰/۸۲
اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)	۵/۱۱	۲/۵۵	-۲/۶۳	-۵/۲۷	۱/۹۱	۱/۰۰	-۰/۸۸	-۱/۷۹	۰/۴۶	۰/۲۴	-۰/۱۷	-۰/۳۸

نکتهٔ قابل توجه در مورد نتایج جدول ۵ این می‌باشد که، مقادیر درصد تغییرات پارامترها در جدول ۵، در نوبت زمانی مشخص شده و برای طول کل بازهٔ مورد مطالعه در رودخانه محاسبه شده است. همانطور که جدول ۵ نشان می‌دهد از بین ۶ پارامتر در نظر گرفته شده برای آنالیز حساسیت، اکسیژن محلول در رودخانهٔ سفیدرود بیشترین حساسیت را نسبت به ضریب هوادهی (K_a) دارد. به عنوان مثال با ۵۰ درصد کاهش ضریب هوادهی در مهر ۱۳۸۷، مقدار اکسیژن محلول رودخانه ۲۸/۲۰ درصد کاهش داشته است. همچنین اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود نسبت به کاهش ضریب هوادهی در مقایسه با افزایش آن حساسیت بیشتری از خود نشان داده است. به

www.SID.ir

Archive of SID

طوری که در فروردین ۱۳۹۰، اکسیژن محلول با ۵۰ درصد کاهش ضریب هوادهی ۲۷/۵۱ درصد کاهش داشته است در حالی‌که با ۵۰ درصد افزایش ضریب هوادهی کمتر از نصف این مقدار و برابر ۱۲/۴۲ درصد افزایش نشان داده است. پس از ضریب هوادهی، اکسیژن محلول نسبت به ضریب توان عمق (C) در رابطه هوادهی حساسیت بیشتری از خود نشان داده است. به طوری‌که بیشترین درصد تغییرات در مقدار اکسیژن محلول رودخانه در جدول ۵، از کاهش ۵۰ درصدی ضریب توان عمق جریان در رابطه هوادهی و برابر ۳۳/۳۰ درصد افزایش بدست آمده است.

اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود نسبت به ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (K_c) نیز حساسیت زیادی از خود نشان داده به طوری‌که، اکسیژن محلول مهر ۱۳۸۷ با کاهش ۵۰ درصدی ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، ۲۵/۰۰ درصد افزایش، و با افزایش ۵۰ درصدی این ضریب ۱۷/۷۶ درصد کاهش داشته است.

نکتهٔ مهمی که در آنالیز حساسیت اکسیژن محلول نسبت به تغییرات دبی وجود دارد، آن است که همواره اکسیژن محلول رابطه‌ای مشخص با تغییرات دبی بالادست نداشته و ممکن است با افزایش دبی، اکسیژن محلول کاهش یا افزایش پیدا کند. جدول ۵ نشان می‌دهد که ۵۰ درصد افزایش دبی بالادست رودخانه سفیدرود در دو ماه آذر ۱۳۸۶ و فروردین ۱۳۹۰ باعث کاهش اکسیژن محلول به مقدار ۳/۱۸ و ۰/۸۲ درصد و در مهر ۱۳۸۷ افزایش دبی بالادست، باعث افزایش ۱/۹۴ درصدی اکسیژن محلول شده است.

دلیل این موضوع آن است که دو عامل، یکی مقدار تغییر در غلظت آلاینده در اثر تغییر دبی جریان و دومی مقدار تغییرات در پارامترهای هیدرولیکی جریان (سرعت و عمق جریان) در اثر تغییرات دبی جریان اثر مستقیم یا معکوس مقدار جریان بر اکسیژن محلول مؤثر است. اگر تغییرات غلظت آلاینده در اثر تغییرات دبی زیاد باشد مانند مهر ۱۳۸۷ که هم مقدار جریان زیاد (۲۰۸/۳۰ متر مکعب بر ثانیه) و هم غلظت آلاینده زیاد (غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی برابر ۶۲/۹ میلی‌گرم در لیتر) داشته است، تغییرات دبی اثر مستقیمی بر اکسیژن محلول داشته است. امّا در صورتی‌که تغییرات غلظت آلاینده در اثر تغییرات دبی زیاد نباشد (مانند دو ماه آذر ۱۳۸۶ و فروردین ۱۳۹۰ که مقدار جریان و غلظت اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی در این ماه‌ها به ترتیب برابر ۱۰۶/۱ و ۶/۷۵ مترمکعب بر ثانیه و ۱۹ و ۳/۹۱ میلی‌گرم در لیتر بوده است) اثر معکوس یا مستقیم مقدار جریان به مقدار تغییرات دبی روی عمق و سرعت جریان در رودخانه باز می‌گردد. با توجه به رابطهٔ عکس و حساسیت زیاد اکسیژن محلول با عمق جریان رودخانه، اگر افزایش دبی باعث افزایش زیاد عمق جریان رودخانه شود، اکسیژن محلول در رودخانه مانند دو ماه آذر ۱۳۸۶ و فروردین ۱۳۹۰ با افزایش دبی کاهش خواهد یافت. شکل ۶ تغییرات اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود را در مهر ۱۳۸۷ که دارای شرایط بحرانی می‌باشد در اثر تغییرات پارامترهای مؤثر بر آن شامل ضریب هوادهی و ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی نشان می‌دهد.

شکل ۶ (الف) نشان می‌دهد که در اثر کاهش ۵۰ و ۲۵ درصدی مقدار ضریب هوادهی، مقدار اکسیژن محلول در مهر ۱۳۸۷، از حدود ۸۰ کیلومتری نسبت به پایین دست رودخانه سفیدرود روند نزولی داشته و در ایستگاه پایین‌دست به ترتیب به حدود ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که در صورت افزایش ۲۵ درصدی در مقدار ضریب هوادهی مقدار اکسیژن محلول در تمام طول رودخانه سفیدرود به جز ایستگاه آخر از مقدار ۴ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر می‌شود و در صورت افزایش ۵۰ درصدی ضریب هوادهی، مقدار اکسیژن محلول به جز در دو ایستگاه اول و ایستگاه آخر، در سایر ایستگاه‌های میانی رودخانه سفیدرود از ۵ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر می‌شود. همچنین شکل ۶ (ب) نشان می‌دهد که با کاهش ۵۰ درصدی ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی مقادیر اکسیژن محلول در تمام ایستگاه‌های پایین دست رودخانه به جز دو ایستگاه اول از مقدار ۵ میلی‌گرم بر لیتر فراتر می‌رود. همچنین افزایش ۵۰ درصدی مقدار ضریب زوال باعث می‌شود که مقدار اکسیژن محلول روندی نزولی پیدا کرده و در ایستگاه آخر رودخانه مقدار آن از ۲ میلی‌گرم بر لیتر هم کمتر شود. شکل ۷ تغییرات اکسیژن محلول را نسبت به تغییرات دبی در بالادست و مقدار اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی رودخانه سفیدرود نشان می‌دهد.

شکل ۷ (الف) می‌دهد که کاهش یا افزایش دبی اثری عکس در ۴ ایستگاه بالادست رودخانه نسبت به ۵ ایستگاه پایین‌دست رودخانه سفیدرود داشته است. به عبارتی در ۴ ایستگاه ابتدای رودخانه نمودار با کاهش ۵۰ درصدی دبی دارای بیشترین اکسیژن محلول می‌باشد در حالی‌که در ۵ ایستگاه پایین‌دست رودخانه بیشترین اکسیژن محلول مربوط به نمودار با افزایش ۵۰ درصدی دبی می‌باشد. به بیان دیگر تغییرات دبی در ۴ ایستگاه ابتدایی رودخانه اثری معکوس و در ۵ ایستگاه انتهایی اثری مستقیم روی اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود داشته است.

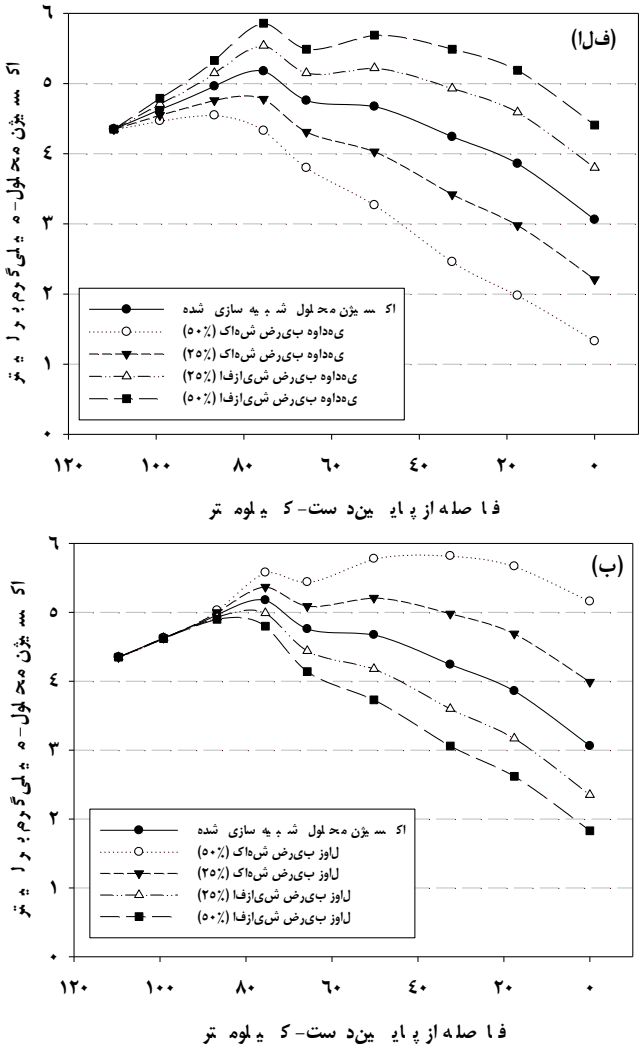
علت این تغییرات عریض‌تر شدن رودخانه سفیدرود در جهت حرکت جریان از بالادست به سمت پایین‌دست می‌باشد. هر چه رودخانه عریض‌تر شود با افزایش دبی عمق آب نسبت به حالت رودخانه با عرض کم، افزایش کمتری پیدا می‌کند. به عبارتی در ۴ ایستگاه اول چون عرض رودخانه کم می‌باشد با افزایش دبی، عمق جریان به سرعت زیاد شده و اکسیژن محلول در این ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین در ۵ ایستگاه انتهایی رودخانه سفیدرود به علت عرض بیشتر رودخانه نسبت به بالادست، با افزایش دبی عمق جریان افزایش چندانی پیدا نمی‌کند و در عوض با افزایش سرعت جریان، اکسیژن محلول رودخانه افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

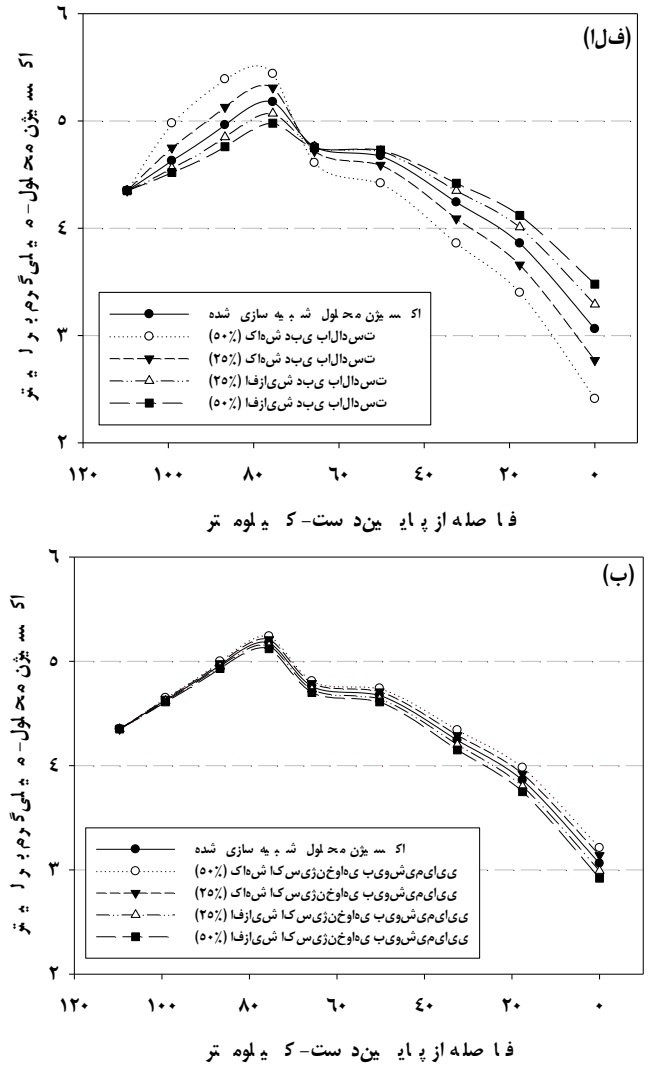
نتایج تحقیق حاضر نشان داد که نیتروژن کل مشاهداتی در ماه‌های مورد بررسی در طول رودخانه سفیدرود روندی کاهشی داشته‌اند. مخصوصاً در فروردین ۱۳۹۰ که مقدار نیتروژن کل از ۴/۳۲ میلی‌گرم در لیتر در بالادست رودخانه به ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. بیشترین مقادیر نیتروژن کل اندازه‌گیری شده در سفیدرود مربوط به ماههای آبان ۱۳۸۷ و بهمن ۱۳۹۰ بوده است. بیشترین مقادیر فسفر کل در رودخانه سفیدرود در آبان ۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده از اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربنی در طول رودخانه سفیدرود روندی صعودی را از خود نشان داد که حاکی از نزول وضعیت کیفی آب رودخانه سفیدرود از بالادست به سمت پایین دست رودخانه دارد. کمترین مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای پارامتر pH و بیشترین آن برای پارامتر فسفر کل می‌باشد که نشان می‌دهد مدل در شبیه‌سازی پارامترهایی مانند قلیائیت، دما و اکسیژن محلول از دقت بالاتری نسبت به پارامترهایی مانند فسفر کل، نیتروژن کل و شوری برخوردار می‌باشد. اکسیژن محلول در رودخانهٔ سفیدرود بیشترین حساسیت را نسبت به ضریب هوادهی (K_a) از خود نشان داده است به طوری که، با ۵۰ درصد کاهش ضریب هوادهی در مهر ۱۳۸۷، مقدار اکسیژن محلول رودخانه ۲۸/۲۰ درصد کاهش داشته است. همچنین اکسیژن محلول رودخانه سفیدرود نسبت به ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (K_c) نیز حساسیت زیادی از خود نشان داده به طوری‌که، اکسیژن محلول مهر ۱۳۸۷ با کاهش ۵۰ درصدی ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، ۲۵/۰۰ درصد افزایش، و با افزایش ۵۰ درصدی این ضریب ۱۷/۷۶ درصد کاهش داشته است.



شکل ٦- تغییرات اکسیژن محلول سفیدرود در اثر تغییرات ضریب هوادهی (الف) و ضریب زوال اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (ب)- مهر ۱۳۸۷

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- تغییرات اکسیژن محلول سفیدرود در اثر تغییرات دبی بالادست (الف) و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (ب)- مهر ۱۳۸۷

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه تهران و سازمان حفاظت محیط زیست کشور به خاطر تأمین امکانات لازم، اطلاعات و داده‌های این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

انصاری‌پور، ا. ح.، ابراهیمی، ک.، امید، م. ح. ۱۳۹۲. بررسی خودپالایی جریان‌های رودخانه‌ای با توسعه و کاربرد مدل‌های ریاضی مطالعه موردی: رودخانه پسیخان-گیلان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۴. ۲۱: ۴۲-۳۱.

بوستانی، ف.، گوهرگانی، ا. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی کیفیت آب رود بشار در محدوده‌ی شهر یاسوج با استفاده از شبیه‌سازی QUAL2K. مجله مهندسی منابع آب. سال هفتم. زمستان ۱۳۹۳. صفحات ۹۸-۸۵.

پورآباده‌ای، م. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر زبری موضعی بر ضریب اختلاط عرضی آلودگی در یک کانال مستطیلی. پایان نامه کارشناسی ارشد. سازه های آبی. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی. دانشگاه تهران.

حسینی، پ.، حسینی، ی. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات توان خودپالایی رودخانه کارون در سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ با استفاده از مدل QUAL2KW در محدوده شهر اهواز. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. دوره ۴۹. شماره ۱. ۴۵-۳۵.

خدام محمدی، م. م.، بوستانی، ف. ۱۳۹۵. ارزیابی توان خودپالایی و نقش اکسیژن محلول در کیفیت آب رودخانه کر (مطالعه موردی:

www.SID.ir

Archive of SID

پایین دست سد درودزن تا دریاچه طشک- بختگان. مجله مهندسی منابع آب. سال نهم. شماره ۳۰. ۱۰۲-۸۷.

خوب، ن.، امین‌نژاد، ب.، امیدی، ا. ۱۳۹۶. پایش کیفی و تعیین سهم رودخانه‌های واریزی بر افزایش شوری رودخانه قزل اوزن در محدوده استان زنجان با استفاده از نرم افزار عددی Qual2k. مجله مهندسی منابع آب. سال دهم. شماره ۳۲. ۴۴-۳۳.

عاشق‌معلا، م.، محمدی فاضل، ا.، حمامی، م. ۱۳۹۳. نقش توان خودپالایی رودخانه‌ها در تعیین حدود مجاز پارامترهای کیفی پساب‌ها. مجله علوم و مهندسی محیط زیست. سال اول. شماره ۴. ۴۹-۳۷.

مقیمی‌نژاد، س.، ابراهیمی، ک.، کراچیان، ر. ۱۳۹۶. مطالعه تغییرات فصلی خودپالایی رودخانه کارون. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹ ، شماره ۴. ۶۳۴-۶۲۱.

میرمشتاقی، س. م.، امیرنژاد، ر.، خالدیان، م. ر. ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب رودخانه سفیدرود و پهنه‌بندی آن با استفاده از شاخص‌های کیفی NSFWQI و OWQI. فصلنامه علمی- پژوهشی تالاب. سال سوم. شماره ۹. ۳۴- ۲۳.

نوروزی، ح.، رادمنش، ف.، پورحقی، ا.، سلگی، ا. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی چندهدفه در تعیین جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. سال نهم. شماره ۱۷. ۲۵-۱۴.

Chapra, S.C. and Pelletier, G.J. 2003. QUAL2 K: a modeling frame- work for simulating river and stream water quality (beta version): documentation and users manual. Civil and Environmental Engineering Department. Medford: Tufts University.

Leopold, L.B. and Maddock, T.J. 1953. The hydraulic geometry channels and some physiographic implications. Geological survey professionals. paper 252, United States Goverment Printing Office, Washington, 57p.

Pelletier, G.J. and Chapra, S.C. 2008. QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1), a modeling framework for simulating river and stream water quality. Washington: Department of ecology.

Santos, S., Vilar, V. J., Alves, P., Boaventura, R. A. and Botelho, C. 2013. Water quality in Minho/Miño River (Portugal/Spain). Environmental monitoring and assessment, 185.4: 3269-3281.

Sharma, D., Kansal, A. and Pelletier, G. 2017. Water quality modeling for urban reach of Yamuna river, India (1999–2009), using QUAL2Kw. Applied Water Science. 7:1535–1559.

Tayfur, G. and Singh, V. 2005. Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by artificial neural network. Journal of Hydraulic Engineering, 131. 11: 991-1000.

Vieira, J., Fonseca, A., Vilar, V.J., Boaventura, R.A. and Botelho, C.M. 2013. Water quality modelling of Lis River, Portugal. Environmental Science and Pollution Research. 20.1: 508-524.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1233-1245

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۲۴۵-۱۲۳۳

Sensitivity Analysis of Qual2kw Model in the Modeling of Water Quality Parameters of Sefidrud

M. M. Ghaleni[*1] **and K. Ebrahimi**[2]

Recived: Apr.14, 2019 Accepted: Jul.10, 2019

Abstract

Rivers are always one of the most important sources of water. In recent years, due to droughts and the entry of various pollutants, there have been many concerns about river quality conservation. Evaluation of the effective factors on the quality of river water quality management component is the first step of the rivers modeling. The aim of this paper is to evaluate the amount of Dissolved oxygen changes in the Sefidrud River by changing the parameters affecting it. To achieve this goal, after calibration and verification the results of simulation of water quality parameters using the Qual2kw model, the sensitivity analysis of this model was performed using YASAIw software. The data used in the present paper consists of the hydraulic data (depth, Velocity, Discharge), quality and pollutants input to a range of 110 kilometers in Sefidrud River during December 2007, July, October and November 2008 and February, April, June and August 2011 at 12 sampling stations. The results showed that the minimum and maximum of normalized root mean square error (nRMSE) for calibration and validation phases for the pH parameter was 0.06 and 0.04 respectively, and for the total phosphorus parameter was 1.08 and 0.96, respectively. Also, the results of the sensitivity analysis of the model showed that the Dissolved oxygen in the Sefidrud River showed the highest sensitivity to the reaeration coefficient, the flow depth power and the decay rate of biochemical oxygen demand, respectively.

Keywords: Calibration, Qual2Kw Model, Rearearation Coefficient, Sensitivity Analysis, Validation

1- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Arak University
2- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: M-MohammadiGhalenei@Araku.ac.ir)

www.SID.ir