Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 5, Winter 2019 (IR-WRR)
۱۰۹-۱۲۴

ارزیابی و مقایسه حساسیت مدل‌های NSFWQI و IRWQISC نسبت به پارامترهای کیفیت آب

علیرضا شکوهی[۱*] و هادی مدبری[۲]

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی و مقایسه حساسیت دو مدل کیفیت آب NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ نسبت به پارامترهای کیفی با استفاده از روشهای مبتنی بر واریانس، روی رودخانه پسیخان با نمونه‌برداری ماهانه در سال ۹۴ در ۱۳ ایستگاه، منتخب انجام شده است. تحلیل حساسیت پارامترهای ۹ و ۱۱گانه‌ی دو مدل فوق‌الذکر می‌تواند از یک‌طرف به افزایش دقت اندازه‌گیری در خصوص حساس‌ترین پارامترها بیانجامد و از طرف دیگر به ارزیابی صحت اوزان مورد استفاده در دو مدل و همچنین صحت‌سنجی مدل کیفی توسعه یافته در ایران منجر گردد. براساس نتایج تحلیل حساسیت فصلی پارامتر BOD بیشترین حساسیت را در هر دو مدل نشان داد. کیفیت آب براساس شاخص NSFWQI در ایستگاه‌های بالادست "متوسط" و در ایستگاه‌های پایین‌دست، "بد" بود در حالی‌که شاخص $IRWQI_{SC}$ کیفیت آب رودخانه در بالادست را "خوب" و در پایین‌دست "نسبتاً بد" گزارش نمود. آنالیز حساسیت مدل NSFWQI به صورت مکانی براساس رویکرد Factor Prioritization پارامتر DO را مؤثرترین عامل بر واریانس خروجی مدل معرفی کرد و برهمین اساس به کمک رویکرد Factor Fixing نشان داده شد که با ثابت کردن پارامتر DO می‌توان واریانس خروجی را تا حد زیادی کنترل و عدم‌قطعیت مدل مزبور را تا حد زیادی کاهش داد. در مدل $IRWQI_{SC}$ در ایستگاه‌های بالادست، پارامتر DO و در ایستگاه‌های پایین‌دست پارامتر BOD بیشترین تأثیر را در واریانس خروجی مدل داشت. بر این اساس در ارزیابی کیفی با شاخص $IRWQI_{SC}$ تعداد دفعات و اندازه‌گیری دقیق دو پارامتر DO و BOD دارای اهمیت زیادی در مقابل ۹ پارامتر دیگر قلمداد گردید. نتیجه مهم دیگر مطالعات آن است که ضرایب وزنی پارامترهای کیفی در مدل $IRWQI_{SC}$ تطابق مناسبی با اثرگذاری آنها درخروجی مدل برای نمایش وضعیت کیفی ندارد و این امر مطالعه بیشتری برای پذیرش آن به عنوان یک استاندارد بومی در ایران گوشزد می‌نماید.

کلمات کلیدی: تحلیل حساسیت، شاخص کیفی آب، NSFWQI، IRWQISC، رودخانه پسیخان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۴/۲۴

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲- عضو هیئت علمی گروه پایش منابع آب، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی،رشت، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Evaluating and Comparing the Sensitivity of NSFWQI and IRWQISC Models to Water Quality Parameters

A. Shokoohi [1] and H. Modaberi [2]*

Abstract

In this paper, by using variance based methods, the sensitivity analysis of the two well recognized water quality indices, namely NSFWQI and $IRWQI_{SC}$, is presented in a comparative approach. The research was conducted by employing monthly sampling in thirteen stations on Pasikhan River during 2015. Sensitivity analysis for the parametres of the two models on one hand led to recognizing the most important parameters for a better measurement and on the other hand helped evaluation of the correctness of the parametr weights used in the model developed in Iran. In seasonal analysis, BOD was determined as the most sensitive parameters for both indices. In spatial analysis, NSFWQI classified the river water quality as “Good” and “Bad” in upstream and downstream of Pasikhan River, respectively. Using Factor prioritization approach, it was found that DO was the most effective parameter in NSFWQI, for which applying the approach minimized the uncertainty of the model output. In $IRWQI_{SC}$, DO at U/S stations and BOD at D/S stations were the most influencing parameters on the model output variance, which emphasized the importance of the frequency and precision of sampling for these two parameters against the others. Another important achievement of the present research was revealing the inconsistency of the weights used in $IRWQI_{SC}$, with respect to the sensitivity of the parameters and their influence on the model output in Pasikhan River.

***Keywords*:** Sensitivity Analysis, Water Quality Index, NSFWQI, IRWQISC, Pasikhan River.

Received: February 4, 2018
Accepted: July 14, 2018

1- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

2- Academic Member, Water Resources Monitoring Department, Environmental Research Center, Jihade Daneshgahi, Rasht, Iran.

*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی مطرح می‌باشند. از طرفی با گذشت زمان و گسترش جوامع انسانی و به تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش یافته است. آلودگی رودخانه‌ها، یکی از مهمترین مشکلات همه مناطقی است که در توسعه شهری به حریم کیفی رودخانه‌ها کم توجهی نموده‌اند. به‌طور کلی رودخانه‌ها ظرفیت پذیرش آلودگی را تا مقدار مشخص دارا می‌باشند که این مقدار بستگی به عوامل و فاکتورهای محیطی همچون دبی، شرایط اولیه، عمق رودخانه و غلظت فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه و غیره دارد (Aminpour et al., 2017). روند افزایش آلودگی‌ها، منابع آبی استان گیلان را از نظر کیفی و کمی تهدید می‌کنند. آلودگی‌های بی‌رویه و بی‌حد و حصر آب‌های سطحی نظیر آب رودخانه‌ها و تالاب‌ها، استفاده از سموم شیمیایی در مزارع کشاورزی، برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها و ریختن زباله‌ها در داخل و حاشیه رودخانه‌ها موجب شده است که منابع آبی استان به شدت آسیب ببینند (Panahandeh et al., 2015). تغییر در کیفیت آب‌های سطحی که بیش از ۷۰ درصد آب شرب استان را تأمین می‌کنند و آلودگی آب‌های زیرزمینی از جمله مشکلاتی هستند که بر نگرانی‌ها افزوده‌اند. به دلیل شرایط خاص نزدیکی آب‌های سطحی استان گیلان با آب‌های زیرزمینی، آلودگی‌ها با سرعت بیشتری انتقال و انتشار می‌یابند. مطالعه شرایط کیفی آب از این جهت مهم است که هر گونه تغییر در پارامترهای کیفی آب باعث تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی و جانوری می‌گردد. کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی بر حسب پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تعیین می‌شود. شاخص کیفی آب معیاری برای طبقه‌بندی آب سطحی بر مبنای استفاده از پارامترهای استاندارد و در واقع ابزاری ریاضی است که تعداد زیادی از داده‌های مورد استفاده برای توصیف ویژگی‌های آب را به یک عدد تبدیل کرده و سطح کیفی آب را بدست می‌دهد. تعیین شاخص کیفی آب نیازمند یک گام نرمال‌سازی است که در آن هر پارامتر در مقیاس صفر تا ۱۰۰ تغییر شکل می‌یابد به نحوی که عدد صفر بدترین کیفیت و عدد ۱۰۰ حداکثر کیفیت را نشان می‌دهد. گام بعدی کاربرد یک فاکتور وزنی مبتنی بر اهمیت پارامتر کیفی در تعیین شاخص کیفیت آب است. بنیاد ملی بهداشت امریکا شاخص NSFWQI[1] را جهت طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی ارائه نموده است که بر اساس دما، pH، کدورت، فسفات، نیترات، DO, TS, BOD و کلیفرم مدفوعی محاسبه می‌گردد. استفاده از این شاخص بسیار متداول بوده و برای طبقه‌بندی کیفی آب‌های سطحی کامل و جامع محسوب می‌گردد (Brown et al., 1970). با بکارگیری این شاخص می‌توان دید مناسبی در مورد کیفیت آب رودخانه‌ها به‌دست آورد (Sohrabi et al., 2015). گزارشهایی در خصوص استفاده از این شاخص در ارزیابی کیفیت منابع آبهای سطحی ایران در سالهای اخیر گزارش شده است. Shokuhi et al. (2012) با استفاده از اندکس NSFWQI به بررسی کیفیت آب سد آیدوغموش در حوالی میانه پرداختند. محققین مزبور با اندازه‌گیری پارامترهای کیفی مورد نیاز در ۸ ایستگاه در دو فصل بهار و تابستان آب سد آیدوغموش را برای شرب مناسب تشخیص دادند. Parastar et al. (2013) با استفاده از دو روش NSFWQI و WILCOX به ارزیابی کیفیت آب رودخانه هیروچایی از منابع اصلی آب خلخال و کوثر پرداختند. محققین مزبور با یکسال نمونه‌برداری ماهانه در ۴ ایستگاه وضعیت کیفی آب رودخانه را از نظر شاخص NSFWQI متوسط و از نظر شاخص WILCOX برای آبیاری مناسب ارزیابی نمودند. Mohseni Bandpay et al. (2014) در بررسی کیفیت رودخانه گل گل ایلام از اندکس NSFWQI استفاده نمودند و با ذکر توانایی‌های اندکس مورد استفاده وضعیت رودخانه مزبور را در همه ایستگاهها و در همه دوره زمانی خوب تا متوسط ارزیابی کردند. نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش در یک دوره ۶ ماهه در سال ۹۲ از خرداد تا آبان و در ۶ ایستگاه اندازه‌گیری شدند. Sharifdini et al. (2014) در بررسی کیفیت آب رودخانه دوهزار در تنکابن با استفاده از داده‌های برداشت شده در ۶ ماه در ۶ ایستگاه بجز کدورت مشکلی از نظر کیفی در این رودخانه ندیدند و اندکس NSFWQI را در بررسی کیفیت آب سطحی روشی مناسب ارزیابی نمودند. در کشور ایران نیز با توجه به شرایط طبیعی و مسایل و مشکلات منابع آب کشور شاخصی به نام شاخص کیفیت آبهای سطحی ایران، $IRWQI_{SC}$[2] تهیه شده است و توسعه‌دهندگان آن معتقدند که این شاخص می‌تواند چشم‌انداز و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب سطحی ایران ارائه نماید. استفاده از این شاخص در مطالعات کیفیت آب روخانه‌های ایران در سالهای اخیر گزارش شده است. Samadi (2016) با استفاده از شاخص IRWQI به بررسی آلودگی تالاب چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری با تحلیل تأثیرات کمی و کیفی پساب‌های اراضی از دو بعد مکانی و زمانی بر کیفیت آب این تالاب پرداخت. در این تحقیق میانگین سالانه شاخص نسبتاً خوب بدست آمد در حالی‌که این وضعیت در ابتدای بهار در وضعیت متوسط، در انتهای بهار و ابتدای تابستان در وضعیت خوب و در انتهای تابستان و ابتدای پاییز در وضعیت نسبتاً خوب و در انتهای پاییز در وضعیت خوب قرار می‌گیرد. در همین زمان در بخش جنوب شرقی تالاب، به علت اضافه شدن رواناب مناطق مسکونی در اثر افزایش بارندگی و عدم تجزیه نیترات به علت کاهش دما، کیفیت آب تالاب متوسط ارزیابی گردید. Sadeghi et al. (2015) با استفاده از دو شاخص NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ به ارزیابی کیفیت آب رودخانه

www.SID.ir

Archive of SID

زرین گل در استان گلستان در دو فصل تابستان و پاییز با آماربرداری در ۹ ایستگاه پرداختند. اندکس NSFWQI کیفیت آب رودخانه را متوسط ولی شاخص $IRWQI_{SC}$ کیفیت همین رودخانه را متوسط تا نسبتاً خوب تشخیص داد. براساس نتایج حاصله محققین آب رودخانه را برای کشاورزی مناسب ولی برای شرب نیازمند تصفیه تشخیص دادند. Mirzaei et al. (2017) با استفاده از شاخص NSFWQI، $IRWQI_{SC}$ و WQI به بررسی کیفیت آب رودخانه‌های کرج و کن با نمونه‌برداری از ۲۰ ایستگاه از مهر ۹۱ تا خرداد ۹۲ پرداختند. شاخص NSFWQI کیفیت آب رودخانه‌های تحت مطالعه را بد تا متوسط، اندکس $IRWQI_{SC}$ آنها را دارای کیفیت بسیار بد تا نسبتاً خوب و بالاخره اندکس WQI کیفیت رودخانه‌های مزبور را خوب تشخیص دادند. براساس برآورد محققین مزبور از نتایج حاصل، آب این دو رودخانه برای شرب و کشاورزی مناسب می‌باشد. در شاخص‌های NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ که چندین پارامتر روی خروجی آن‌ها تأثیرگذار می‌باشد، لازم است دامنه حساسیت پارامترهای کیفی موجود در آنها مشخص و تأثیر دقت اندازه‌گیری‌ها بر کاهش یا افزایش عدد به دست آمده در خروجی مشخص گردد. آنالیز حساسیت که عملاً همراه تحلیل عدم‌قطعیت صورت می‌پذیرد روشی است که به وسیله آن آثار تغییرات ضرایب موجود در مدل‌ها را بر خروجی مدل می‌توان بررسی نمود (Herman et al., 2013). نتایج این بررسی‌ها را می‌توان در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار داد به گونه‌ای که موجب کاهش در وقت و هزینه گردد. همچنین استفاده از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تأثیر پارامترها بر خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطمئناً با آگاهی از روابط داخلی پارامترهای هر مدل، بهتر می‌توان ارتباط پارامترها را با یکدیگر و اندرکنش آنها با یکدیگر را درک نمود و حساسیت مدل را در نقاط مختلف مشخص کرد و بدین ترتیب محدوده کاربرد مناسب مدل را به منظور کارایی هر چه بیشتر آن ارائه نمود. روش‌های متنوع و گوناگونی برای آنالیز حساسیت ارائه شده است که موجب طبقه‌بندی این روش‌ها از جهات مختلف شده است. روش‌های آنالیز حساسیت و عدم‌قطعیت را می‌توان به ۲ روش LSA^3 و GSA^4 طبقه‌بندی نمود (Saltelli et al., 2004). در روش LSA در واقع از مفهوم مشتق نقطه تماس بر منحنی تغییرات تابع استفاده می‌شود. این روش در معادلات خطی کاربرد دارد و در معادلات غیرخطی دچار مشکلات اساسی می‌گردد. مهمترین مدل از این روش SRC^5 می‌باشد. روش GSA میزان پراکنش و واریانس داده‌ها را در نظر می‌گیرد و ضعف روش SRC در ندیدن اثر کل پارامترها بر خروجی مدل را تا حد امکان پوشش می‌دهد. روش GSA برای مدل‌های غیرخطی نیز کاربرد دارد. مهمترین مدل از این روش $FAST^6$ می‌باشد (Song et al., 2015). از دیگر روشهای پرکاربرد غیرخطی و گلوبال می‌توان به روش‌های sobol و morris اشاره نمود. مطالعات زیادی در خصوص آنالیز حساسیت مدل‌ها توسط روشهای local و global صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان بـه مطالعات زیر اشاره نمود. در مطالعه‌ای Zhan et al. (2013) حساسیت پارامترهای مدل SWAT را بر پایه روش Sobol برای چهار تابع هدف مختلف بررسی کردند. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که روش Sobol توانایی تحلیل حساسیت مدل‌های هیدرولوژیکی پیچیده با ۱۰ الی ۱۰۰ پارامتر را دارد. Pappenberger et al. (2008) پنج روش تحلیل حساسیت مختلف شامل روش‌های Morris، Sobol، آنتروپی، رگرسیون و تحلیل حساسیت منطقه‌ای را برای بررسی حساسیت پارامترهای مدل یک‌بعدی سامانه تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژیکی (HEC-RAS) در رودخانه Alzette به‌کار بردند. آن‌ها دریافتند که روش‌های مختلف منجر به رتبه‌بندی کاملاً متفاوت از نظر اهمیت پارامترها می‌شوند و نتیجه‌گیری قطعی در مورد حساسیت نسبی پارامترهای مختلف ممکن نبود. Massmann and Holzmann (2012) سه روش تحلیل حساسیت شامل Sobol، رگرسیون و آنتروپی دوطرفه را در سه مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه برای یک مدل بارش- رواناب به‌کار بردند. نتایج نشان داد روش‌های تحلیل حساسیت بر پایه آنتروپی و RSA به‌علت تغییرپذیری بالاتر در حساسیت پارامترهای محاسبه شده توسط داده‌های مختلف قوی‌تر از روش Sobol هستند.

هدف اصلی این تحقیق، شناسایی و ارزیابی مقایسه‌ای مکانی و زمانی حساسیت پارامترهای مدل NSFWQI و IRWQI در یک رودخانه دائمی به منظور آگاهی از تأثیر هر پارامتر بر روی کیفیت آب رودخانه می‌باشد. برای رسیدن به این هدف لازم است به این سؤالات پاسخ داد: در یک رودخانه مشخص تغییرات مکانی (به صورت درنظر گرفتن ایستگاه‌های مختلف) چه تأثیری بر روی حساسیت پارامترهای مدل‌های NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ دارد؟ تأثیر طول دوره‌های زمانی مختلف مانند فصل بر روی حساسیت پارامترهای مدل‌های NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ و شناسایی پارامترهای حساس‌تر چقدر است؟ برای پاسخ به این سؤالات تحلیل حساسیت پارامترهای مدل‌های NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ برای رودخانه پسیخان در ۱۳ ایستگاه مختلف در طول مسیر رودخانه به صورت مکانی و همه فصول سال تحلیل به صورت چهار دوره زمانی بررسی گردید. با توجه به کاربرد گسترده این دو شاخص در ارزیابی کیفی بدنه‌های آبی و پرهزینه و زمان‌بر بودن تعیین پارامترهای کیفی، نتایج این پژوهش که برای اولین بار صورت می‌گیرد، می‌تواند به کاهش تعداد نمونه‌برداری‌ها از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و یا حداقل افزایش دقت بر

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری مهمترین پارامترهای کیفی مؤثر بر شاخص‌های کیفی بیانجامد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- شاخص NSFWQI

این شاخص معیاری برای طبقه‌بندی آبهای سطحی بر اساس پارامترهای کیفی استاندارد شده در دسترس قرار می‌دهد. در سال ۱۹۷۰ میلادی سازمان بهداشت جهانی طرحی را به مرحله اجرا درآورد که بر اساس این طرح ۳۴۲ نفر از محققین در سراسر دنیا و از ملیت‌های مختلف انتخاب شده و بر روی ۳۵ پارامتر برای تعیین شاخص کیفیت آب آزمایشات متعددی انجام دادند و در نهایت ۹ پارامتر را به عنوان پارامترهای اساسی برای تعیین شاخص کیفیت آب معرفی کردند (Brown et al., 1970). این ۹ پارامتر شامل اکسیژن محلول (DO)، تغییرات دما (T)، کلیفرم مدفوعی (CF)، کدورت (TUR)، فسفات کل (P)، نیترات (N)، کل مواد جامد (TS)، pH و میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) است. براساس اهمیت پارامترها مطابق جدول ۱ به هرکدام وزنی داده می‌شود. شاخص کیفیت آب با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید (Brown et al., 1970):

$$\mathrm{NSFWQI} = \sum_{i=1}^{n} I_i W_i \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، I_i مقدار مربوط به پارامتر کیفی و W_i ضریب وزنی مربوط به آن پارامتر است. در نهایت با داشتن مقدار شاخص و با استفاده از جدول ۲ کیفیت رودخانه به صورت محدوده عالی، خوب، متوسط، بد و خیلی بد طبقه‌بندی می‌شود.

۲-۲- شاخص $IRWQI_{SC}$

این شاخص به عنوان یک شاخص کیفی برای آبهای سطحی کشور ایران به کار می‌رود. مراحل انجام کار همانند روش NSFWQI می‌باشد با این تفاوت که معادله و مقادیر وزن مربوط به پارامترهای کیفی متفاوت می‌باشد. پارامترهای اساسی برای تعیین شاخص کیفیت $IRWQI_{SC}$ شامل اکسیژن محلول (DO)، کلیفرم مدفوعی (CF)، کدورت (TUR)، فسفات کل (P)، نیترات (N)، هدایت الکتریکی (EC)، pH، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)، میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، آمونیوم (NH_4) و سختی کل (H) است. مقادیر وزن شاخص $IRWQI_{SC}$ در جدول ۳ آمده است. رابطه ۲ معادله مربوط به شاخص کیفیت $IRWQI_{SC}$ و جدول ۴ تفسیر آلودگی آب رودخانه را براساس مقدار عددی شاخص آسیب‌پذیری $IRWQI_{SC}$ را نشان می‌دهند (Hashemi et al., 2012):

$$\mathrm{IRWQI_{SC}} = \left(\prod_{i=1}^{n} {I_i}^{W_i}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \qquad (۲)$$

در معادله فوق I_i مقدار شاخص از پارامتر iام، W_i وزن پارامتر iام، n تعداد پارامترها و γ مجموع وزنها ($\sum_{i=1}^{n} W_i$) می‌باشد.

۲-۳- روش‌های تحلیل عدم‌قطعیت و آنالیز حساسیت مبتنی بر واریانس

روش‌های مبتنی بر واریانس از یک نسبت واریانس برای برآورد پارامترهای مهم بر اساس تحلیل واریانس استفاده می‌کنند (Saltelli et al., 1999; Sobol, 1993) و مبتنی بر تحلیل عدم‌قطعیت خروجی به ازای ورودی معین هستند. هدف آن‌ها تعیین تأثیر هر پارامتر بر واریانس کلی خروجی مدل است. در این روش دو نوع اندازه‌گیری حساسیت شامل تأثیر مرتبه اول و تأثیر کل (مجموع اثرات) وجود دارد. تأثیرات مرتبه اول، اثرات اصلی را برای واریانس خروجی با توجه به ورودی‌های مدل بررسی می‌کند، حال آنکه مجموع اثرات، کل واریانس خروجی را محاسبه می‌کند که در واقع شامل تأثیرات مرتبه اول و مراتب بالاتر (ناشی از اندرکنش متقابل بین ورودی‌ها) است.

Table 1- Weights of parameters in NSFWQI index (Brown et al., 1970)

جدول ۱- وزن بکارگرفته شده در شاخص NSFWQA (Brown et al., 1970)

Parameter	DO	T	CF	TUR	P	N	TS	pH	BOD
Weight	0.17	0.1	0.16	0.08	0.1	0.1	0.07	0.11	0.11

Table 2- Classes of numerical values of NSFWQI index (Brown et al., 1970)

جدول ۲- تفسیر آلودگی براساس مقدار عددی شاخص NSFWQA (Brown et al., 1970)

Color	Class	Numerical value
Red	Very bad	0-25
Orange	Bad	25-50
Yellow	Medium	50-70
Green	Good	70-90
Blue	Very good	90-100

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3- Weights emplyed in IRWQIsc index (Hashemi et al., 2012)

جدول ۳- وزن به‌کارگرفته شده در شاخص IRWQISC (Hashemi et al., 2012)

Parameter	DO	COD	EC	TUR	P	N	سختی کل	pH	BOD	Coliform	Amonium
Weight	0.097	0.093	0.096	0.062	0.087	0.108	0.059	0.051	0.117	0.14	0.09

Table 4- Classes of numerical values of IRWQIsc index (Hashemi et al., 2012)

جدول ۴- تفسیر آلودگی براساس مقدار عددی شاخص IRWQISC (Hashemi et al., 2012)

Color	Class	Numerical value
Red	Bad	15-29.9
Orange	Fairly bad	30-44.9
Yellow	Medium	45-55
Green	Fairly Good	55.1-70
Indigo	Good	70.1-85
Blue	Very good	>85

بنابراین، تفاوت اثرات مرتبه اول و کل، تأثیر روابط متقابل بین متغیرها بر خروجی مدل را نشان می‌دهد. در تحلیل حساسیت درصورتی‌که هدف، ثابت نگه داشتن پارامترهای غیرمهم باشد تحلیل حساسیت کل محاسبه می‌شود (Tian, 2013). روش‌های مبتنی بر واریانس شامل دو تکنیک FAST و Sobol می‌باشند (Saltelli, 2012). در روش FAST اثر اندرکنش پارامترها بر واریانس خروجی دیده نمی‌شود ولی در روش Sobol این اثرات مشاهده می‌شود. تجزیه واریانس کل خروجی به پارامترهای تشکیل‌دهنده و اثرات متقابل آن‌ها را می‌توان به‌صورت رابطه ۳ نشان داد (Saltelli et al., 2008):

$$D(f) = \sum_{i} D_i + \sum_{i<j} D_{ij} + \sum_{i<j<k} D_{ijk} + D_{12\dots P,} \quad (۳)$$

که در آن $D(f)$ نشان‌دهنده واریانس کل خروجی، D_i سهم واریانس مرتبه اول از پارامتر iام. D_{ij} و $Dijk$ به ترتیب سهم واریانس مرتبه دوم و سوم از اثرات متقابل بین پارامترهای i و j و $D_{12\dots P,}$ شامل همه برهم‌کنش‌های بالاتر از مرتبه سوم است. شاخص‌های حساسیت مرتبه اول و کل، به‌ترتیب، به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$S_i = \frac{D_i}{D} \quad (۴)$$

$$S_{Ti} = 1 - \frac{D_{\sim i}}{D} \quad (۵)$$

شاخص مرتبه اول بخشی از کل واریانس خروجی تشکیل شده به‌وسیله پارامتر i است. شاخص مرتبه کل، یک منهای بخشی از واریانس کل منسوب به $D_{\sim i}$ که نشان‌دهنده تمام پارامترها به‌جز i است. به‌دلیل افزایش اثرات متقابل با افزایش تعداد پارامترها و همچنین دامنه تغییرات آن‌ها، روش تجزیه واریانس برای مدل‌هایی که تعداد پارامترهای آنها زیاد است، روش مناسبی است هرچند کاربرد این روش در مدل‌های پیچیده با تعداد بسیار زیاد پارامتر به‌علت افزایش تعداد ارزیابی‌های مدل دشوار به‌نظر می‌رسد (Song et al., 2015). در این مطالعه از شاخص حساسیت کل هر پارامتر، یعنی اثر جداگانه هر پارامتر به اضافه برآوردی از برهم‌کنش‌های آن با همه پارامترهای دیگر، استفاده شده است.

۲-۳-۱- تحلیل عدم‌قطعیت و آنالیز حساسیت معادلات NSFWQI و $IRWQI_{SC}$

جهت تعیین عدم‌قطعیت و آنالیز حساسیت معادلات، ابتدا داده‌های نمونه‌برداری شده نرمال‌سازی شد و با استفاده از نرم‌افزار Easy-Fit بهترین توزیع داده‌ها انتخاب گردید و مقادیر میانگین و انحراف معیار و سایر داده‌های آماری مورد استفاده در انواع توزیع‌ها به دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Sim-Lab و تکنیک مونت‌کارلو نمونه‌های تصادفی به مقدار مورد نیاز شبیه‌سازی گردید. از آنجا که مدل NSFWQI یک مدل خطی و monotonic بود، می‌توان هم از روش نمونه‌گیری تصادفی تکنیک SRC استفاده نمود و هم می‌توان از روش نمونه‌گیری Fast و تکنیک total-order استفاده نمود. نکته قابل ذکر این است که در معادلات خطی، روش SRC دقت بیشتری نسبت به روش Fast(total-order) دارد (Song et al., 2014). به همین دلیل از روش SRC برای تعیین آنالیز حساسیت مدل NSFWQI استفاده شد. مدل $IRWQI_{SC}$ یک مدل غیرخطی و non-monotonic بود. برای تحلیل عدم‌قطعیت و آنالیز حساسیت این مدل از روش‌های Fast و Sobol استفاده گردید. در انتها با استفاده از رویکرد Factor-Priorization حساس‌ترین پارامتر مدل در هر یک از ایستگاه‌های مورد نظر در رودخانه پسیخان تعیین شد.

۲-۳-۲- تکنیک مونت‌کارلو

این تکنیک در واقع یک نوع روش شبیه‌سازی می‌باشد. شبیه‌سازی مونت‌کارلو در واقع ایجاد یک محیط ساختگی و استفاده از یک مدل نظری است. برای تخمین رفتار یک سیستم موجود، محیط ساختگی یا مصنوعی، فضایی است که در آن تحلیلگر تلاش می‌کند تا سیستم در جهان حقیقی الگویابی گردد. در این مطالعه ابتدا توزیع هر کدام از پارامترهای مدل بررسی شده و با استفاده از مقادیر آماری مربوط به

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگی آنها شامل میانگین، واریانس و غیره، داده‌های جدید تولید گردید. در نهایت با انتخاب نوع روش نمونه‌گیری و وارد کردن پارامترها برای توزیع منتخب، آنالیز حساسیت هرکدام از پارامترها با در نظرگرفتن اثرشان روی مدل، براساس روشهای variance-based (گلوبال) انجام شد (Zeng et al., 2012).

۲-۴- منطقه مورد مطالعه

رودخانه پسیخان با طول تقریبی ۶۶ کیلومتر و حوضه آبریز به مساحت ۸۴۰ کیلومتر مربع یکی از رودخانه‌های مهم استان گیلان است که پس از عبور از مناطق مسکونی شهری (شهرستان شفت) و روستایی در نزدیکی نوخاله به تالاب انزلی منتهی می‌شود. رودخانه پسیخان به دلیل سهم بالای آن در آبیاری مزارع غرب گیلان دارای اهمیت زیادی بوده و به دلیل همجواری با مناطق مسکونی، استخرهای پرورش ماهی و اراضی شالیزاری و نیز تخلیه زهکش‌های این مزارع به آن، از نظر آلودگی در معرض تهدید است (Mohammadi et al., 2006). شکل ۱ نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه و شکل ۲ محل قرارگیری ایستگاه‌ها و زیرشاخه‌های رودخانه پسیخان را نشان می‌دهد.

۲-۵- پایش میدانی

پس از بازدید میدانی، باتوجه به موقعیت آب‌های ورودی به رودخانه، منابع تولید آلاینده‌های منطقه، مکان ورود آلاینده‌ها و نیز امکان نمونه‌برداری، تعداد ۱۳ ایستگاه منتخب به صورت هفت ایستگاه بالادست و شش ایستگاه پایین‌دست در طول رودخانه تعیین شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. نمونه‌برداری‌ها در سال ۹۴ به صورت ماهانه (اواسط هر ماه) انجام گرفت. برداشت، نگهداری و سنجش پارامترهای مورد نظر طبق روش استاندارد SMEWW[7] (APHA, 2005) در آزمایشگاه کنترل کیفی آب پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی (آزمایشگاه معتمد) صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

به منظور تشریح بهتر وضعیت کیفی آب رودخانه پسیخان، مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کیفی NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ در فصول مختلف سال ۹۴ با هم مقایسه گردید. از این پس در سرتاسر متن منظور از نتایج کیفی آب در فصول مختلف سال اعم از بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال ۹۴ می‌باشد.

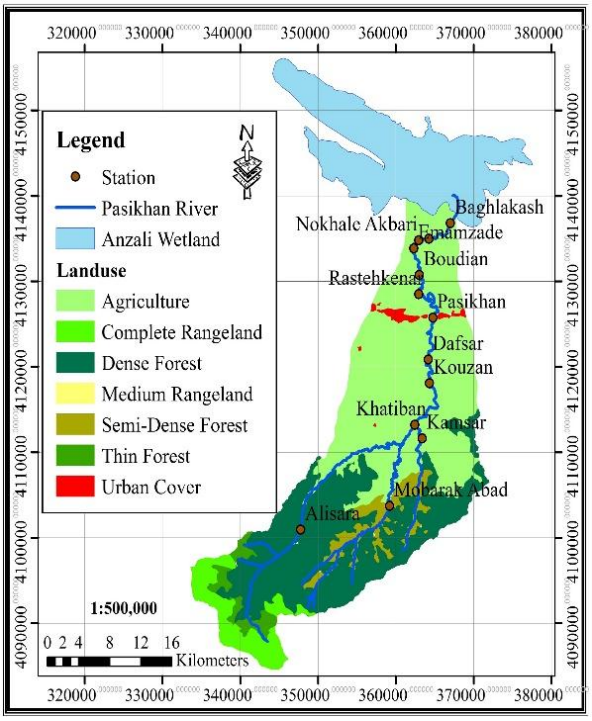

Fig. 1- Land use map of Pashikhan River watershed
شکل ۱- نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز رودخانه پسیخان

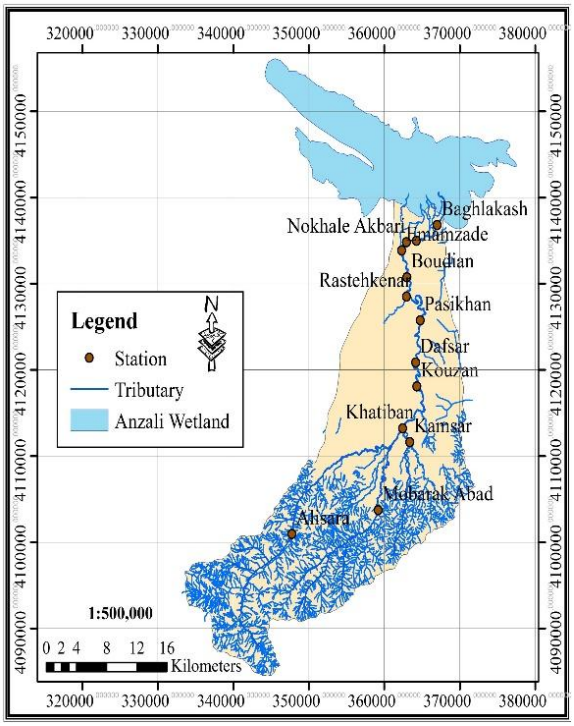

Fig. 2- Map of Pasikhan River and its tributaries and gauge stations
شکل ۲- نقشه موقعیت ایستگاه‌ها و زیرشاخه‌های رودخانه پسیخان

www.SID.ir

Archive of SID

Table 5- Location of U/S stations on Pasikhan River
جدول ۵- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های بالادست رودخانه پسیخان

Name	Alisara	Mobarakabad	Kamsar	Khatiban	Kouzan	Dafsar	Pasikhan
No.	1	2	3	4	5	6	7
Longitude	49º 17’ 20’’	49º 24’ 17’’	49º 27’ 66’’	49º 27’ 33’’	49º 28’ 13’’	49º 28’ 04’’	49º 28’ 46’’
Latitude	37º 02’ 32’’	37º 04’ 16.6’’	37º 08’ 98’’	37º 09’ 10’’	37º 11’ 98’’	37º 13’ 50’’	37º 16’ 09’’
Mean Sea Level (m)	250	85	35	23	17	8	-13

Table 6- Location of D/S stations on Pasikhan River
جدول ۶- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه پسیخان

Name	Rastehkenar	Boudian	Emamzadek Nowkhaleh	Nowkhaleh Akbari	Nowkhaleh Jafari	Baghlakesh
No.	8	9	10	11	12	13
Longitude	49º 27’ 19’’	49º 27’ 21’’	49º 26’ 24’’	49º 27’ 15’’	49º 28’ 04’’	49º 27’ 88’’
Latitude	37º 17’ 54’’	37º 19’ 71’’	37º 20’ 27’’	37º 20’ 98’’	37º 21’ 37’’	37º 22’ 00’’
Mean Sea Level (m)	-4	-5	-8	-8	-7	-9

سپس تحلیل عدم‌قطعیت و آنالیز حساسیت مدل‌ها در هریک از ایستگاه‌های رودخانه انجام گرفت. از آنجا که طول رودخانه پسیخان حدود ۶۶ کیلومتر می‌باشد و ایستگاه‌های نمونه‌برداری منتخب در سرتاسر مسیر از کوهستان تا تالاب گسترش پیدا کرده بودند، لذا از ایستگاه‌های شماره ۱ تا ۷ که شروع منطقه مناطق مسکونی و توسعه شهری می‌باشد به عنوان ایستگاه‌های بالادست و از ایستگاه‌های ۸ تا ۱۳ به عنوان ایستگاه‌های پایین‌دست استفاده شد.

۳-۱- مقایسه شاخص‌های کیفی آب در فصل بهار

شکل ۳، مقادیر شاخص‌های کیفی و جدول ۷، تفسیر آلودگی‌ها را براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ نشان می‌دهد. بـــررسی بارش‌های سال ۹۴ در ایستگاه باران‌سنجی (ایستگاه باران‌سنجی قلعه رودخان در مرکز حوضه آبریز پسیخان) نشان داد که رودخانه در ماه بهار، به علت باران‌های فراوان و درنتیجه وجود دبی زیاد، در وضعیت کیفی متوسط تا خوب قرار دارد. اما مقادیر زیاد کلیفرم و فسفات موجود در کل رودخانه در این فصل سال از کیفیت آب رودخانه کاسته است. مقادیر افزایش BOD و فسفات در ایستگاه‌های پایین‌دست سبب شده است تا کیفیت آب رودخانه از حد بسیار خوب تا حد متوسط تغییر یابد. مقادیر شاخص NSFWQI از ایستگاه ۱ (علیسرا) تا ایستگاه ۶ (دافسار) دارای کیفیت خوب ولی از ایستگاه ۷ (پسیخان) تا آخرین ایستگاه در پایین‌دست دارای کیفیت متوسط بود. ایستگاه ۳ (کمسار) اگرچه از سرشاخه‌های رودخانه پسیخان می‌باشد اما به مانند ایستگاه‌های پایین‌دست دارای کیفیت متوسط بود که دلیل آن می‌تواند وجود شهرک صنعتی شهرستان شفت و فضولات حیوانی دامداری‌های موجود در منطقه باشد. مقادیر شاخص $IRWQI_{SC}$ در فصل بهار از ایستگاه ۲ (مبارک آباد) با کیفیت بسیار خوب تا ایستگاه ۱۳ (باقلاکش) که در حد متوسط می‌باشد، متغیر بود. همچنین شاخص $IRWQI_{SC}$ توانست در این فصل تفاوت بین ایستگاه‌ها را از نظر کیفی بهتر متمایز نماید.

۳-۲- مقایسه شاخص‌های کیفی آب در فصل تابستان

شکل ۴، مقادیر شاخص‌های کیفی و جدول ۸، تفسیر آلودگی‌ها را براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در فصل تابستان به علت دمای بالا و کاهش دبی رودخانه، مقادیر DO کاهش و BOD افزایش یافته است. از طرفی افزایش غلظت کلیفرم مدفوعی و مقادیر جامدات معلق در آب کیفیت آب رودخانه را کاهش داده است. میزان فسفات و نیترات بر روی شاخص NSFWQI تأثیر چندانی نداشت ولی برروی شاخص $IRWQI_{SC}$ تأثیر زیادی داشته به طوری‌که یکی از علل کاهش این شاخص در طول رودخانه در این فصل بود. کیفیت آب رودخانه پسیخان براساس شاخص NSFWQI در ایستگاه‌های بالادست متوسط و در ایستگاه‌های پایین‌دست، بد می‌باشد. این مقادیر بین ۶۸-۴۰ متغیر بود. تقسیم‌بندی کیفی آب در رودخانه براساس شاخص $IRWQI_{SC}$ نشان داد که مقادیر DO کم، COD زیاد، کلیفرم بالا، سختی کل بالا و BOD زیاد، تأثیر زیادی روی مقادیر شاخص دارد به طوری‌که از کیفیت خوب تا نسبتاً بد متغیر است. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد عامل اصلی نزول کیفیت آب رودخانه پسیخان در ایستگاه‌های مورد مطالعه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های

www.SID.ir

Archive of SID

خانگی روستایی و شهری بود. برداشت‌های بی‌رویه آب به‌وسیله ایستگاه‌های پمپاژ احداث شده در رودخانه تا حد زیادی از مقدار دبی جریان رودخانه در فصل تابستان کاسته بود که این امر نیز به نوبه خود باعث افزایش غلظت مواد آلاینده در رودخانه شده است.

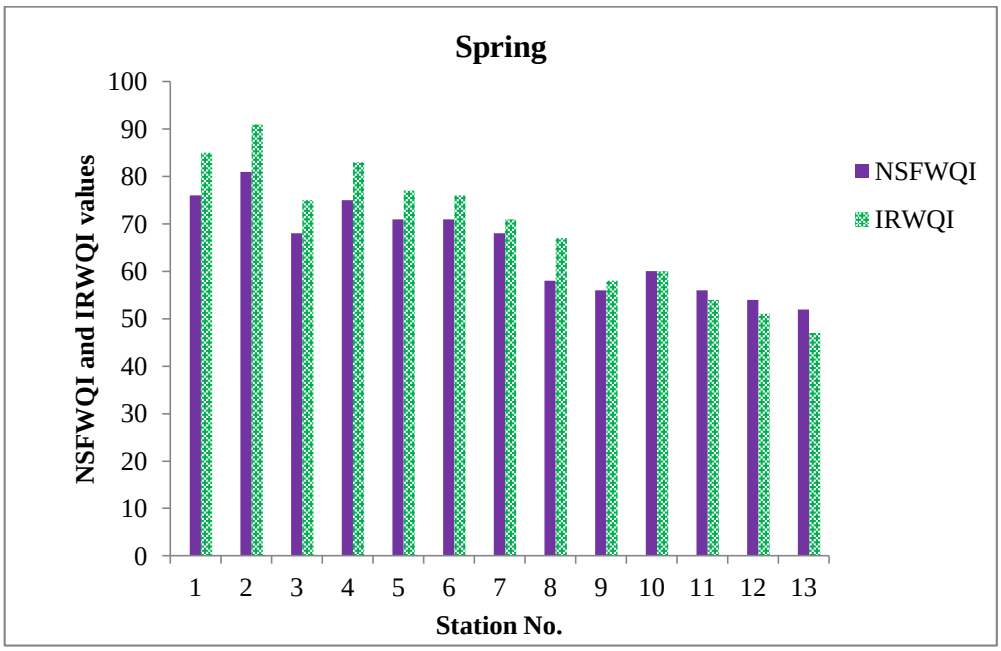

Fig. 3- NSFWQI and IRWQI$_{SC}$ values at stations on Pasikhan River in Spring

شکل ۳- مقادیر شاخص‌های کیفی NSFWQI و IRWQISC در ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان در فصل بهار

Table 7- Pasikhan River quality class in Spring based on NSFWQI and IRWQI$_{SC}$ indices

جدول ۷- کلاس کیفیت آب رودخانه در فصل بهار براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و IRWQI$_{SC}$

Sta. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
NSFWQI	76 Good	81 Good	68 Medium	75 Good	71 Good	71 Good	68 Medium	58 Medium	56 Medium	60 Medium	56 Medium	54 Medium	52 Medium	Grade Class
IRWQI$_{SC}$	85 Good	91 Very good	75 Good	83 Good	77 Good	76 Good	71 Good	67 Fairly good	58 Fairly good	60 Fairly good	54 Medium	51 Medium	47 Medium	Grade Class

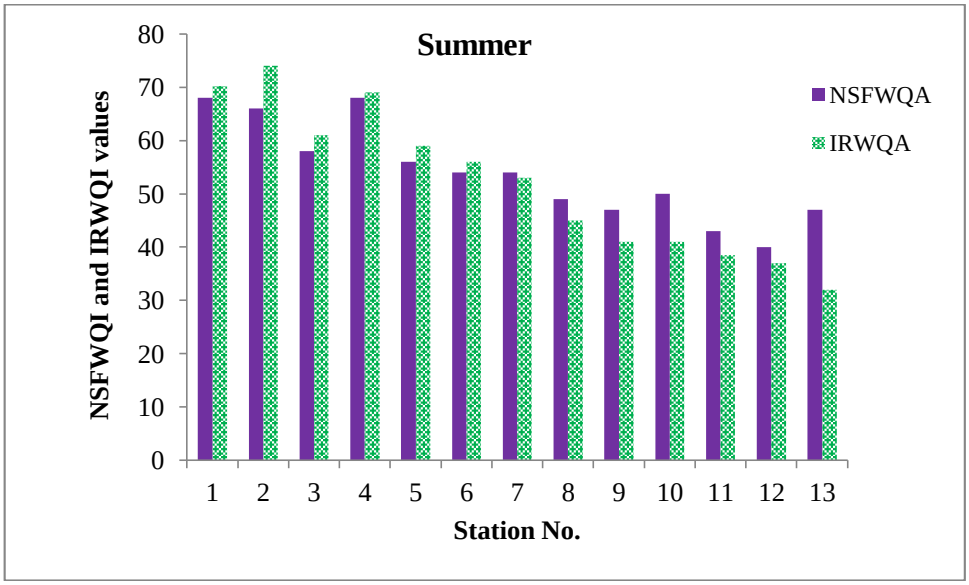

Fig. 4- NSFWQI and IRWQI$_{SC}$ values for Pasikhan River in Summer

شکل ۴- مقادیر شاخص‌های کیفی NSFWQI و IRWQI$_{SC}$ در ایستگاه‌های مختلف در رودخانه پسیخان فصل تابستان

www.SID.ir

Archive of SID

Table 8- Pasikhan River quality class in Summer based on NSFWQI and IRWQI$_{SC}$ indices

جدول ۸- کلاس کیفیت آب رودخانه پسیخان در فصل تابستان براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و IRWQI$_{SC}$

Sta. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NSFWQI	68	66	58	68	56	54	54	49	47	50	43	40	47
Class	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad
IRWQI$_{SC}$	70.2	74	61	69	59	56	53	45	41	41	38.5	37	32
Class	Good	Good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Medium	Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad

۳-۳- مقایسه شاخص‌های کیفی آب در فصل پاییز

شکل ۵، مقادیر شاخص‌های کیفی و جدول ۹، تفسیر آلودگی‌ها را براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و IRWQI$_{SC}$ نشان می‌دهد. نتایج هردو شاخص نشان داد ایستگاه‌های ۱ تا ۴ دارای کیفیت آب خوب می‌باشند و بقیه ایستگاه‌ها دارای کیفیت متوسط بودند.

شاخص IRWQI$_{SC}$، ایستگاه‌های نوخاله و باقلاکش را نسبت به شاخص NSFWQI با وضعیت کیفی نامطلوب‌تری نشان داد. با استفاده از شاخص NSFWQI، رودخانه پسیخان در فصل پاییز از ۶۹ در ایستگاه خطیبان تا ۵۵ در ایستگاه باقلاکش دارای تفسیر کیفی متوسط بود که این گستردگی می‌تواند یک نقطه ضعف برای این شاخص باشد. درحالی‌که شاخص IRWQI$_{SC}$، همین بازه را به صورت متمایزتری از خوب تا نسبتاً بد مشخص نمود. فاضلاب شهری و روستایی و صنعتی یکی از دلایل مهم کاهش کیفیت رودخانه در این فصل بود. اگرچه میزان فسفات و نیترات استفاده شده در استخر پرورش ماهی و دامداری‌ها نیز عامل دیگری جهت کاهش کیفیت آب بودند.

۴-۳- مقایسه شاخص‌های کیفی آب در فصل زمستان

شکل ۶ مقادیر شاخص‌های کیفی و جدول ۱۰، تفسیر آلودگی‌ها را براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و IRWQI$_{SC}$ نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در فصل زمستان ایستگاه‌های بالادست به دلیل اکسیژن محلول بالا، شفافیت آب، pH مناسب و مقادیر بسیارکم فسفات و نیترات دارای کیفیت خوب و بسیار خوبی بودند.

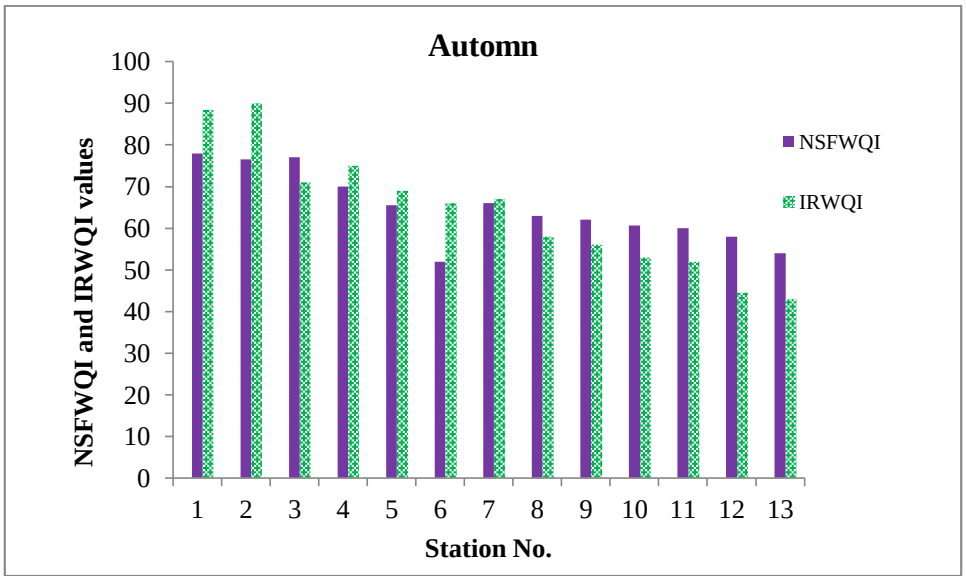

Fig. 5- NSFWQI and IRWQI$_{SC}$ values at stations on Pasikhan River in Summer

شکل ۵- مقادیر شاخص‌های کیفی NSFWQI و IRWQI$_{SC}$ در ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان در فصل پاییز

Table 9- Pasikhan River quality class in Automn based on NSFWQI and IRWQI$_{SC}$ indices

جدول ۹- کلاس کیفیت آب رودخانه در فصل پاییز براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و IRWQI

Sta. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NSFWQI	78	76.5	77	69	65.5	52	66	63	62	60.2	60	58	55
Class	Good	Good	Good	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
IRWQI$_{SC}$	88.5	90	71	75	69	66	67	58	56	53	52	44.5	43
Class	Very Good	Very Good	Good	Good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Medium	Medium	Fairly bad	Fairly bad

www.SID.ir

Archive of SID

این مقادیر در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه نیز به همین شکل ادامه یافته اما به تدریج بالارفتن مقدار BOD و کلیفرم سبب شده است که مقادیر شاخص کیفیت آب کاهش یافته و تا حد ۶۰ در ایستگاه باقلاکش برسد. دلیل این امر می‌تواند بی‌توجهی به ورود فاضلاب‌های انسانی به داخل رودخانه باشد. روستاهای همجوار رودخانه بدون هیچ‌گونه ممانعت قانونی انواع زباله و فاضلاب‌ها را به داخل رودخانه می‌ریزند.

۳-۵- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم‌قطعیت مدل خطی NSFWQI به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه

نتایج تحلیل عدم‌قطعیت و آنالیز حساسیت مدل NSFWQI به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه در جدول ۱۱ آمده است. در ایستگاه شماره ۱ پارامتر BOD بیشترین تأثیر را برروی خروجی مدل نشان داد و بعد از آن پارامترهای درجه حرارت و کلیفرم در رده‌های بعدی قرار داشتند. در ایستگاه شماره ۲ پارامتر DO و کلیفرم توانستند عمده خروجی واریانس را به خود اختصاص دهند. در ایستگاه ۳ پارامتر DO بیشترین تأثیر را داشته و در ایستگاه ۴ با وجود اینکه پارامتر DO بیشتری تأثیرگذاری را روی واریانس خروجی دارد اما نقش پارامتر BOD را نیز نمی‌توان نادیده گرفت. از ایستگاه‌های شماره ۵ تا ایستگاه آخر پارامتر DO بیشترین تأثیر را برروی واریانس خروجی مدل دارد. در چنین مواردی که یک پارامتر مانند DO توانسته به تنهایی بیشترین واریانس خروجی (در حدود ۷۰ درصد) را به خود اختصاص دهد می‌توان از رویکرد Factor-Fixing استفاده نمود. این رویکرد کمک می‌کند تا با استفاده از یک سری کارهای آماری و نظرات کارشناسی و تجربی دیگر پارامترهای کمتر مؤثر را حول یک عدد خاص ثابت کرد بدون آنکه واریانس خروجی دچار تغییرات زیادی شود. با این رویکرد می‌توان با توجه به اینکه پراکنش پارامترهای pH، N، TSS و کدورت حول مقدار میانگین شان ناچیز بوده و میزان تغییرات آنها قابل اغماض است، از میانگین سالانه یا ماهانه این پارامترها در تعیین شاخص کیفیت استفاده نمود.

۳-۶- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم‌قطعیت مدل غیرخطی $IRWQI_{SC}$ به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه

نتایج تحلیل عدم‌قطعیت و آنالیز حساسیت مدل $IRWQI_{SC}$ به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه درجدول ۱۲ آمده است.

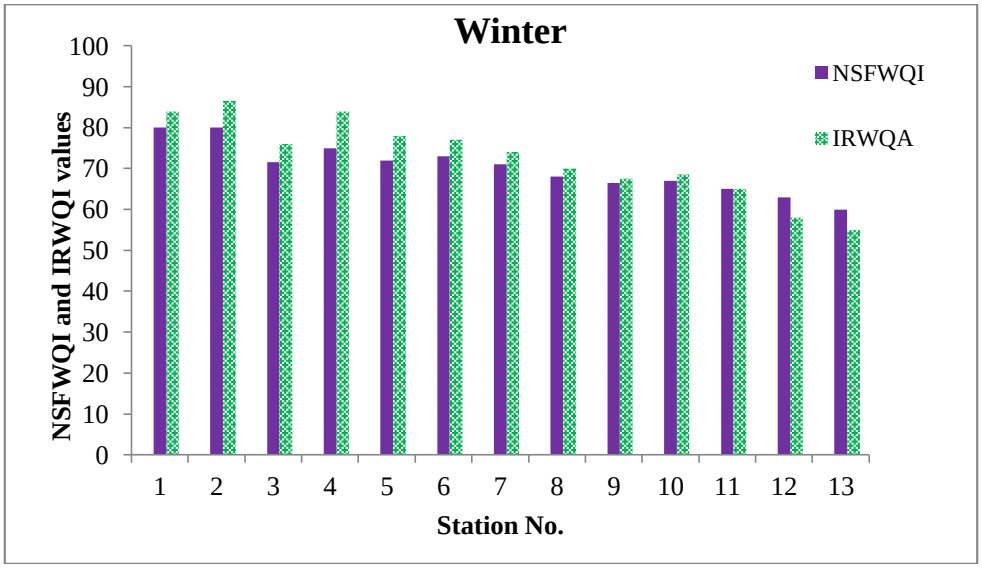

Fig. 6- NSFWQI and $IRWQI_{SC}$ values at Pasikhan river's stations in Summer

شکل ۶- مقادیر شاخص‌های کیفی NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ در ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان در فصل زمستان

Table 10- Pasikhan River quality class in Winter based on NSFWQI and $IRWQI_{SC}$ indices

جدول ۱۰- نوع کیفیت آب رودخانه پسیخان در فصل زمستان براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFWQI و $IRWQI_{SC}$

Sta. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
NSFWQI	80 Good	80 Good	71.5 Good	75 Medium	72 Medium	73 Medium	71 Medium	68 Medium	66.5 Medium	67 Medium	65 Medium	63 Medium	60 Medium	Grade Class
$IRWQI_{SC}$	84 Very good	86.5 Very good	76 Good	84 Good	78 Fairly good	77 Fairly good	74 Fairly good	70 Fairly good	67.5 Fairly good	68.5 Medium	65 Medium	58 Fairly bad	55 Fairly bad	Grade Class

www.SID.ir

Archive of SID

Table 11- Sensitivity analysis for NSFWQI at stations on Pasikhan River (SRC method)

جدول ۱۱- نتایج آنالیز حساسیت و عدم‌قطعیت مدل NSFWQI در رودخانه پسیخان در ایستگاه‌های مختلف (روش SRC)

No.	Parameter / Station	Sensitivity- Percent of Model output variance									Uncertainty	
		DO	**T**	**Coliform**	**P**	**N**	**pH**	**TSS**	**BOD**	**TUR**	**MEAN**	**S.D**
1	Alisara	0.1	**0.18**	**0.14**	0.09	0.05	0.04	0.03	**0. 29**	0.02	75	1.9
2	Mobarakabad	**0.45**	0.04	**0.42**	0.02	0.005	0.02	0.02	0.02	0.002	77.3	3.6
3	Kamsar	**0.75**	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.06	0.005	66.2	3.5
4	Khatiban	**0.4**	**0.12**	0.09	0.02	0.03	0.05	0.03	**0.24**	0.008	70.6	2.1
5	Kouzan	**0.76**	0.06	0.07	0.02	0.01	0.03	0.01	0.07	---	64.7Q	3
6	Dafsar	**0.77**	0.03	0.04	0.02	0.005	0.04	0.01	0.06	0.004	64.9	3.9
7	Pasikhan	**0.7**	0.05	0.03	0.04	0.006	0.02	0.01	0.1	0.006	62.6	3.4
8	Rastehkenar	**0.67**	0.06	0.02	0.07	0.008	0.04	0.006	0.08	0.02	61.7	3.4
9	Boudian	**0.83**	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.003	0.04	0.01	58.3	4
10	Emamzadek Nowkhaleh	**0.67**	0.06	0.02	0.04	0.02	0.06	0.01	0.07	0.02	58.6	3.1
11	Nowkhaleh	**0.81**	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	0.008	57.5	3.8
12	Nowkhaleh Bazar	**0.76**	0.04	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.06	0.008	54.8	4
13	Baghlakesh	**0.72**	0.06	0.02	0.02	0.002	0.04	0.04	0.05	0.02	52.9	3.7

تحلیل عدم‌قطعیت مدل $IRWQI_{SC}$ برای ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان نشان داد که ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ دارای کیفیت خوب و بقیه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های شماره ۱۲ و ۱۳دارای کیفیت متوسط می‌باشند. در دو ایستگاه آخر کیفیت آب رودخانه در طول سال به دو صورت متوسط و نسبتاً بد بود که دلیل این امر می‌تواند تفاوت در مقدار دبی جریان و فصول مختلف سال و نوع آلودگی موجود در رودخانه باشد. نتایج آنالیز حساسیت مدل $IRWQI_{SC}$ براساس رویکرد Factor Priorization نشان داد که پارامتر DO بیشترین تأثیر را برروی واریانس خروجی مدل در ایستگاه‌های بالادست دارد. بعد از پارامتر DO می‌توان از پارامترهای BOD و نیتروژن به عنوان پارامترهای دارای حساسیت بالا نام برد. تکنیک Fast در ایستگاه‌های شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۳ نتوانست جواب مشخصی را ارائه نماید لذا از تکنیک sobol جهت تحلیل حساسیت مدل استفاده شد. نتایج حاصل از روش sobol در جدول ۱۳ آمده است. تحلیل عدم‌قطعیت مدل $IRWQI_{SC}$ در روش sobol برای ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان با روش Fast مطابقت دارد. اما نتایج آنالیز حساسیت حاصل از این دو روش با یکدیگر تفاوت داشت. در ایستگاه شماره ۱ نیتروژن بیشترین تأثیر را در واریانس خروجی مدل داشت. از ایستگاه ۲ تا ایستگاه ۷ پارامتر DO بیشترین حساسیت را نشان داد. در ایستگاه شماره ۸ تأثیر پارامترهای DO و BOD برروی واریانس خروجی مدل تقریبا با هم برابر بود. اما از ایستگاه شماره ۹ تا ایستگاه آخر، BOD بالاترین حساسیت را نسبت به سایر پارامترها از خود نشان داد.

Table 12- Sensitivity and uncertainty analysis for $IRWQI_{SC}$ at stations on Pasikhan River (FAST method)

جدول ۱۲- نتایج آنالیز حساسیت و عدم‌قطعیت مدل $IRWQI_{SC}$ در رودخانه پسیخان در ایستگاههای مختلف (روش FAST)

No.	Parameter / Station	Sensetivity- Percent of Model output variance										Uncertainty	
		DO	**Coliform**	**P**	**N**	**pH**	**BOD**	**TUR**	**EC**	**Hardness**	**COD**	**MEAN**	**S.D**
1	Alisara	0.37	0.06	0.1	0.37	0.1	0.15	0.01	0.004	0.006	0.008	79.35	2.8
2	Mobarakabad	0.4	0.07	0.07	0.27	0.05	0.02	0.007	--	0.002	0.004	83	3.9
3	Kamsar	0.45	0.04	0.1	0.16	0.01	0.1	0.005	--	0.01	0.002	70.25	3.65
4	Khatiban	0.35	0.07	0.07	0.1	0.03	0.18	0.006	0.1	0.01	0.006	74.9	3.4
5	Kouzan	0.37	0.08	0.06	0.05	0.01	0.1	0.004	0.1	0.01	0.02	68	4
6	Dafsar	0.43	0.1	0.05	0.05	0.01	0.15	0.004	0.07	0.007	0.03	67.3	4
7	Pasikhan	0.54	0.17	0.04	0.02	0.17	0.17	0.002	0.002	0.002	0.02	62.4	4.4
8	Rastehkenar	0.28	0.11	0.07	0.05	0.01	0.23	0.002	0.09	0.008	0.02	57.8	4
9	Boudian	0.35	0.33	0.04	0.02	0.02	0.3	0.003	0.13	0.005	0.03	54.6	3.7
10	Emamzadeh NOwkhaleh	**FAIL**											
11	Nowkhaleh	0.48	0.33	0.04	0.02	0.05	0.18	0.003	0.002	0.002	0.01	53.2	4.2
12	Nowkhaleh Bazar	**FAIL**											
13	Baghlakesh	**FAIL**											

www.SID.ir

Archive of SID

Table 13- Sensitivity and uncertainty analysis results for $IRWQI_{SC}$ at stations on Pasikhan River (Sobol method)

جدول ۱۳- نتایج آنالیز حساسیت و عدم‌قطعیت مدل $IRWQI_{SC}$ در رودخانه پسیخان در ایستگاه‌های مختلف (روش SOBOL)

No.	Parameter / Station	Sensetivity- Percent of Model output variance										Uncertainty	
		DO	Coliform	P	N	pH	BOD	TUR	EC	Hardness	COD	MEAN	S.D
1	Alisara	0.09	0.06	0.1	0.52	0.09	0.2	0.007	0.002	0.007	0.01	79.35	2.4
2	Mobarakabad	0.47	0.09	0.08	0.37	0.005	0.03	0.003	--	0.005	--	83	3.5
3	Kamsar	0.55	0.05	0.13	0.23	--	0.1	0.004	0.005	0.02	--	70	3.3
4	Khatiban	0.38	0.07	0.08	0.14	--	0.23	--	0.1	0.02	0.004	74.9	3.1
5	Kouzan	0.52	0.1	0.1	0.08	--	0.13	--	0.11	0.01	0.01	68	3.6
6	Dafsar	0.52	0.12	0.06	0.08	--	0.17	--	0.07	۰/۰۱	0.01	67.3	3.6
7	Pasikhan	0.43	0.05	0.06	0.09	--	0.29	--	0.09	0.008	0.02	62.4	4
8	Rastehkenar	0.3	0.14	0.1	0.08	--	0.32	--	0.1	0.01	0.02	57.8	3.7
9	Boudian	0.14	0.14	0.05	0.04	0.008	0.55	--	0.1	0.002	0.02	54.6	3.32
10	Emamzadeh NOwkhaleh	0.08	0.13	0.04	0.04	0.03	0.65	--	0.08	--	0.02	52	3.2
11	Nowkhaleh	0.29	0.19	0.04	0.05	0.01	0.33	--	0.08	0.03	0.02	53.2	4,2
12	Nowkhaleh Bazar	0.11	0.14	0.02	0.03	0.01	0.66	--	0.05	0.01	0.01	46.5	3.8
13	Baghlakesh	0.08	0.08	0.02	0.04	0.02	0.7	--	0.08	0.01	0.02	44.6	3.4

۳-۷- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم‌قطعیت مدل خطی NSFWQI به صورت زمانی به تفکیک هرفصل

تغییرپذیری زمانی پارامترهای مدل NSFWQI در جدول ۱۴ آمده است. در تمام ایام سال به ترتیب پارامترهای BOD، COLIFORM و DO حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهند. BOD به عنوان حساس‌ترین پارامتر در تمام فصول سال در حوزه رودخانه پسیخان بود که دلیل این امر می‌تواند تجزیه بیوشیمیائی مواد آلی در آب رودخانه در اثر ورود انواع فاضلاب‌های صنعتی، خانگی و کشاورزی می‌باشد. حساسیت پارامترهای DO در فصول پاییز و زمستان به دلیل بارش باران و برف در حوزه رودخانه پسیخان کاهش می‌یابد. فعالیت‌های آبزی‌پروری و شهرک صنعتی شفت سبب افزایش حساسیت COLIFORM شده به طوری‌که حساسیت آن از ۰/۱۶ در تابستان به ۰/۴ در زمستان می‌رسد. پارامترهای نیتروژن و فسفر اگرچه نقش مهمی در فعل و انفعالات شیمیایی در آب دارد اما پراکندگی ناچیزی در طول فصول مختلف سال نشان داده‌اند که به همین دلیل می‌توان از متوسط یا میانگین آن‌ها استفاده نمود. نقش پارامترهای TUR، TSS و درجه حرارت نیز به همین منوال بوده به طوری‌که براساس نظرات کارشناسی و یک سری تمهیدات می‌توان از متوسط داده‌های دراز مدت آنها جهت اندازه‌گیری کیفیت آب براساس مدل استفاده نمود. شکل کلی اصلاح شده مدل NSFWQI در رودخانه پسیخان به صورت رابطه ۱ پیشنهاد گردید که در آن، Ii مقدار مربوط به پارامترهای BOD، COLIFORM و DO و Ij مقدار مربوط به متوسط دراز مدت پارامترهای P، N، TUR، TSS، T و pH است. Wi و Wj نیز ضریب وزنی مربوط به هر پارامتر می‌باشد:

$$\mathrm{NSFWQI} = \sum_{i=1}^{n} I_i W_i + \sum_{j=1}^{n} I_j W_j \qquad (۶)$$

۳-۸- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم‌قطعیت مدل غیرخطی $IRWQI_{SC}$ به صورت زمانی به تفکیک هر فصل

تغییرپذیری زمانی پارامترهای مدل $IRWQI_{SC}$ در جدول ۱۵ آمده است. BOD به عنوان حساسترین پارامتر در تمام فصول سال در حوزه رودخانه پسیخان بود. پس از این پارامتر، COLIFORM در رتبه‌بندی بعدی قرار دارد که دلیل آن می‌تواند شکل غیرخطی معادله و ضریب وزنی بالای این پارامتر باشد. در سایر پارامترهای مدل پراکندگی در طول سال دیده نمی‌شود به طوری‌که می‌توان مانند مدل NSFWQI از متوسط داده‌های دراز مدت آنها جهت اندازه‌گیری کیفیت آب براساس نظرات کارشناسی و یک سری تمهیدات خاص استفاده نمود.

Table 14- Sensitivity and uncertainty analysis for $IRWQI_{SC}$ in different seasons (SRC method)

جدول ۱۴- نتایج آنالیز حساسیت و عدم‌قطعیت مدل NSFWQI در رودخانه پسیخان در فصول مختلف (روش SRC)

Sensetivity- Percent of Model output variance									Uncertainty		Season
DO	T	Coliform	P	N	pH	TSS	BOD	TUR	MEAN	S.D	
0.32	0.02	0.3	0.01	-	0.01	0.02	0.36	0.04	59	4.4	Spring
0.36	0.01	0.16	0.03	0.01	0.01	0.01	0.36	0.04	55.6	4.7	Summer
0.15	0.01	0.32	0.03	-	0.02	0.02	0.4	0.04	60	4	Automn
0.07	0.04	0.4	0.01	-	0.03	0.01	0.4	0.03	69	4	Winter

www.SID.ir

Archive of SID

Table 15- Sensitivity and uncertainty analysis for $IRWQI_{SC}$ in different seasons
جدول ۱۵- نتایج آنالیز حساسیت و عدم‌قطعیت مدل $IRWQI_{SC}$ در رودخانه پسیخان در فصول مختلف سال

Sensetivity- Percent of Model output variance										Uncertainty		Season
DO	Coliform	P	N	pH	BOD	TUR	EC	Hardness	COD	MEAN	S.D	
0.03	0.26	0.04	0.04	0.02	0.51	--	0.12	0.02	0.08	63	4	Spring
0.08	0.28	0.05	0.01	0.01	0.56	--	0.04	0.01	0.06	54	4.25	Summer
0.12	0.5	0.04	0.01	0.01	0.37	--	--	--	0.03	64	4.2	Automn
0.06	0.42	0.07	--	0.03	0.5	--	--	--	0.03	68	3.6	Winter

شکل کلی اصلاح شده مدل $IRWQI_{SC}$ در رودخانه پسیخان به صورت رابطه ۷ پیشنهاد گردید که در آن، Ii مقدار مربوط به پارامترهای BOD، COLIFORM و Ij مقدار مربوط به متوسط دراز مدت سایر پارمترهای مدل می‌باشد. Wi و Wj نیز ضریب وزنی مربوط به هر پارامتر می‌باشد.

$$IRWQI_{SC} = \left(\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}\right)^{\frac{1}{0.257}} + \left(\prod_{j=1}^{n} I_j^{W_j}\right)^{\frac{1}{0.653}} \quad (۷)$$

۴- نتیجه‌گیری

براساس مطالعه انجام شده کیفیت آب رودخانه پسیخان به جز ماه‌های گرم تابستان در طی ماه‌های مختلف تغییرات چندانی نداشت. در بررسی مکانی تغییرات آلودگی رودخانه از ایستگاه‌های بالادست به طرف پایین‌دست ازکیفیت آب به نحو چشمگیری کاسته می‌شود. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج Aminpour et al. (2017) مبنی بر افزایش میزان آلودگی کاهش کیفیت آب رودخانه گازرودبار، از ایستگاه‌های بالادست به سمت‌پایین دست به علت ورود انواع آلاینده‌های خانگی، روستایی، شهری و کشاورزی، مطابقت دارد. در فصل تابستان به علت دمای بالا و کاهش دبی رودخانه، مقادیر DO کاهش و BOD افزایش یافته و در عین حال افزایش غلظت کلیفرم مدفوعی و مقادیر جامدات معلق در آب، کیفیت آب رودخانه را کاهش داده است. برای ارائه سیمای کیفی رودخانه در یک نگاه اجمالی می‌توان گفت که هر دو مدل، با تفاوت‌هایی در حد یک "کلاس کیفی"، ایستگاه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ را که برروی سرشاخه‌های رودخانه پسیخان قرار دارند دارای کیفیتی خوب معرفی می‌نمایند. کیفیت آب در ایستگاه ۴ که محل برخورد سرشاخه و تشکیل رودخانه اصلی پسیخان می‌باشد، در بهترین حالت "خوب" و در بدترین حالت دارای کیفیت "متوسط" می‌باشد. از پل کوزان تا ایستگاه باقلاکش در محل ورود به تالاب انزلی کیفیت آب در حد "متوسط" بدست آمد. شایان ذکر است که در ایستگاه باقلاکش در بعضی از اوقات سال کیفیت آب رودخانه در کلاس "بد" نیز قرار می‌گیرد. بطور کلی می‌توان گفت که نتایج حاصل از مدل NSFWQI در مقابل مدل $IRWQI_{SC}$ محافظه‌کارانه بوده و شرایط کیفی را یک کلاس پایین‌تر به‌دست می‌دهد. نتایج مطالعات Sadeghi et al. (2015) و Mirzaei et al. (2017) بر روی رودخانه‌های به ترتیب زری‌گل در استان گلستان و رودخانه‌های کن و کرج بر این نتیجه‌گیری صحه می‌گذارند. در این مطالعه به طور خاص از بررسی نتایج دو مدل مورد نظر در ارزیابی کیفیت آب رودخانه در تمام فصول سال مشخص گردید که در ایستگاه‌های بالادست مقدار شاخص کیفی آب ایران ($IRWQI_{SC}$) بیشتر از شاخص کیفی بین‌المللی (NSFWQI) است و در ایستگاه‌های پایین‌دست این موضوع برعکس می‌گردد. علت اصلی این امر می‌تواند اولا کمتر بودن حساسیت مدل $IRWQI_{SC}$ به DO و بعد کمتر بودن حساسیت مدل NSFWQI به غلظت فسفات و نیتروژن باشد که برخلاف اکسیژن محلول به سمت پایین دست افزایش می‌یابند. نتایج آنالیز حساسیت مدل NSFWQI در ایستگاههای مختلف (در تحلیل مکانی) براساس رویکرد Factor Prioritization نشان داد که پارامتر DO بیشترین تأثیر را برروی واریانس خروجی مدل دارد اما در سرشاخه های رودخانه که کیفیت آب مناسب است، سایر پارامترها مانند BOD، کلیفرم و درجه حرارت تأثیر بیشتری برروی واریانس خروجی دارند. نتایج آنالیز حساسیت براساس رویکرد Factor Fixing نشان داد که با ثابت کردن پارامتر DO می‌توان واریانس خروجی را تا حد زیادی کنترل نمود و عدم‌قطعیت مدل را به صورتی معنی‌دار کاهش داد. این امر نشان دهنده اهمیت فوق‌العاده زیاد این پارامتر در نتایج ارزیابی کیفی با شاخص NSFWQI بوده و نشان می‌دهد که صرف هزینه تخصیص داده شده در هر پروژه برای افزایش تعداد دفعات و دقت اندازه‌گیری DO و در مقابل استفاده از متوسط برخی دیگر از پارامترها تا حد زیادی می‌تواند دقت تعیین کیفیت با این روش را بهبود بخشد. تحلیل حساسیت و عدم‌قطعیت هر دو مدل در این تحقیق با استفاده از تکنیک مونت‌کارلو صورت گرفته است. در این راستا، در تحلیل عدم‌قطعیت و ارزیابی حساسیت مدل NSFWQI به عنوان یک مدل خطی از روش نمونه‌گیری تصادفی و متدولوژی SRC و برای مدل $IRWQI_{SC}$ به عنوان یک مدل غیر خطی از دو روش نمونه‌گیری و متدولوژی FAST و SOBOL استفاده شد. در تحلیل عدم‌قطعیت، نتایج حاصل از بکارگیری متدولوژی SOBOL برای ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان با روش FAST مطابقت داشت اما نتایج آنالیز حساسیت

www.SID.ir

Archive of SID

حاصل از این دو روش با یکدیگر متفاوت بودند. با توجه به نتایج حاصله و علیرغم نزدیکی نتایج حاصل از دو روش، می‌توان گفت متدولوژی SOBOL با توجه به همگرایی بدون قید و شرط در این مطالعه موفق‌تر از متدولوژی FAST عمل نموده است. این ارزیابی با نتایج تحقیق Zhan et al. (2013) مطابقت دارد. در ایستگاه شماره ۱ نیتروژن بیشترین تأثیر را در واریانس خروجی مدل داشت ولی از ایستگاه ۲ تا ایستگاه ۷ پارامتر DO بیشترین حساسیت را نشان داد. به همین منوال در ایستگاه شماره ۸ تأثیر پارامترهای DO و BOD برروی واریانس خروجی مدل تقریب با هم برابر بود، اما از ایستگاه شماره ۹ تا ایستگاه آخر، BOD بالاترین حساسیت را نسبت به سایر پارامترها از خود نشان داد. نتایج آنالیز حساسیت زمانی به صورت فصلی در هر دو مدل نشان داد که پارامتر BOD درطول فصول مختلف سال حساسیت زیادی را از خود نشان می‌دهد. از مجموعه نتایج تحلیل زمانی و مکانی به عمل آمده اهمیت فوق‌العاده زیاد دو پارامتر DO و BOD در نتایج ارزیابی کیفی با شاخص $IRWQI_{SC}$ در مقابل اهمیت DO در مدل NSFWQI را نشان داده و بر اهمیت تعداد دفعات و اندازه‌گیری دقیق این دو پارامتر در استفاده از مدل $IRWQI_{SC}$ تأکید می‌نماید. نکته بسیار مهمی که در این مطالعه و برای رودخانه مطالعاتی بدست آمد این است که به نظر می‌رسد ضرایب وزنی پارامترهای کیفی تعریف شده برای تعیین شاخص $IRWQI_{SC}$ تطابق مناسبی با اهمیت آنها در خروجی مدل و حساسیت مدل به پارامترهای کیفی مورد استفاده برای نمایش وضعیت کیفی رودخانه پسیخان ندارند. این امر قابل بحث است که چون ارزش هر پارامتر در تعیین شاخص، از حاصل‌ضرب وزن پارامتر در ارزش عددی پارامتر بدست می‌آید و لذا نمی‌توان به طور مستقیم از نتایج بدست آمده در این مطالعه که حساسیت DO را در مقیاس مکانی و زمانی در مقابل بقیه پارامترها معنی‌دار توصیف می‌کند روی صحت و سقم نتایج و یا به عبارتی شایسته‌تر دقت نتایج روش $IRWQI_{SC}$ قضاوت نمود، اما اگر به ضرایب وزنی به صورت نوعی ضریب اهمیت و در واقع ضریب حساسیت بنگریم، ملاحظه می‌شود که روش یاد شده در مطالعه حاضر از این نظر چندان موفق نبوده است. توجه به بزرگ بودن ضریب وزنی DO در روش NSFWQI در مقابل وزن نسبتاً کم این پارامتر در روش بومی $IRWQI_{SC}$، در کنار نتایج حاصل از این تحقیق لزوم مطالعه بیشتر در خصوص ساختار مدل $IRWQI_{SC}$ را گوشزد می‌نماید.

بر این اساس به عنوان جمع‌بندی از نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- دو شاخص NSFWQI و $IRWQI_{SC}$ در ارزیابی کیفیت آب رودخانه پسیخان در دو بعد زمان و مکان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نمی‌دهند. این نتیجه‌گیری که در واقع مؤثر بودن روش دوم در ایران و لزوم استفاده از آن را با سؤال مواجه می‌نماید، برای تأیید شدن نیازمند مطالعات بیشتر می‌باشد.

۲- از میان ۹ پارامتر مورد استفاده در شاخص NSFWQI حساس‌ترین و در عین حال مؤثرترین پارامتر بر عدم‌قطعیت نتایج ارزیابی کیفیت رودخانه پسیخان، پارامتر DO می‌باشد. این امر که مؤید نظرات کارشناسی در تعیین ضریب وزنی این پارامتر در شاخص مزبور می‌باشد، دال بر اهمیت دقت اندازه‌گیری این پارامتر در مقابل ۸ پارامتر دیگر است.

۳- از میان ۱۱ پارامتر مورد استفاده در شاخص $IRWQI_{SC}$ اثر دو پارامتر DO و BOD بر نتایج حاصل از بکارگیری این شاخص در ارزیابی کیفیت رودخانه پسیخان در مقایسه با دیگر پارامترها از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد.

۴- با توجه به نتایج مذکور در بندهای ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که ضریب وزنی DO در شاخص $NSFWQI_{SC}$ می‌تواند مقدار بزرگتری باشد. تأیید این نتیجه‌گیری نیازمند مطالعات بیشتر و پژوهشی خاص می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1- National Sanitation Foundation Water Quality
2- Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters
3- Local Sensitivity Analysis
4- Global Sensitivity Analysis
5- Standardised Regression Coefficients
6- Fourier Amplitude Sensitivity Test
7- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

۵- مراجع

Alizadeh M, Mirzaei R, Kia SH (2017) Determining the spatial trend of water quality indices across Kan and Karaj River Basins. Journal of Environmental Health Engineering 4(3):243-256 (In persian)

Aminpour S, Mohammadi M, Khaledian M, Mir Roshandel A (2017) Water quality assessment of the Ghazrodbar River using the NSFWQI qualitative index and Liou Pollution Index. Journal of Wetland Ecobiology 22:31-40 (In persian)

APHA (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater, 23th edition. American Public Health Association, Washington, DC. USA, 541p

Brown RM, McLelland NJ, Deininger RA, Tozer RG (1970) A water quality index do we dare? Water and Sewage Works 339-343

www.SID.ir

Archive of SID

Saltelli A, Ratto M, Andres T, Campolongo F, Cariboni J, Gatelli D, Saisana M, Tarantola S (2008) Global sensitivity analysis: the primer. John Wiley & Sons, 305p

Saltelli A, Ratto M, Tarantola S, Campolongo F (2012) Update 1 of: Sensitivity analysis for chemical models. Chemical Reviews 112:PR1-PR21

Saltelli A, Tarantola S, Campolongo F, Ratto M (2004) Sensitivity analysis in practice: A guide to assessing scientific models. John Wiley & Sons, Ltd. 232p

Samadi J (2015) Survey of spatial-temporal impact of quantitative and qualitative of land use wastewaters on Choghakhor Wetland pollution using IRWQI Index and statistical methods. Iranian Water Resources Research 11(3):159–171 (In persian)

Sánchez E, Colmenarejo M, Vicente J, Rubio A, García M, Travieso L, Borja R (2007) Use of the water indicators of watersheds pollution. Journal of Ecological Indicators 7(2):315-28

Sharifdini NG, Amirnezhad R, Saeb K (2014) Qualification zoning of the Dohezar River according to NSFWQI and using GIS. J Mazandaran Univ Med Sci. 24(118):29-39 (In persian)

Shokuhi R, Hosinzadeh E, Roshanaei G, Alipour M, Hoseinzadeh S (2012) Evaluation of Aydughmush Dam reservoir water quality by National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. Journal of Health and Environ 4:439-450 (In persian)

Sobol IM (2001) Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates. Mathematics and Computers in Simulation 55:271-280

Sohrabi N, Alizade A, Hasoonizade H , Hosseinzade S (2015) Qualitative zoning of the Surgical River based on the NSFWQI index and using the GIS. Journal of Wetland Ecobiology 22:31-40

Song X, Zhan C, Xia J, Zhang Y (2014) Methodology and application of parameter uncertainty quantification in watershed hydrological models. China Water Power Press, Beijing, China, 432p

Song X, Zhang J, Zhan C, Xuan Y, Ye M, Xu C (2015) Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications. Journal of hydrology 523:739-757

Tian W (2013) A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews 20:411-419

Zeng X, Wang D, Wu J (2012) Sensitivity analysis of the probability distribution of groundwater level

Fabiano DS, Altair BM, Marcia CB, Sonia MNG, Maria JSY (2008) Water quality index as a simple indicator of aquaculture efects on aquatic bodies. Ecological indicators 8:476-484

Hashemi S, Farzampour T, Ramzani S, Khoshroo Gh (2012) Guidelines for calculating Iran Water Quality Index. Department of Environment, 42 p (In persian)

Herman J, Reed P, Wagener T (2013) Time-varying sensitivity analysis clarifies the effects of watershed model formulation on model behavior. Water Resources Research 49:1400-1414

Massmann C, Holzmann H (2012) Analysis of the behavior of a rainfall–runoff model using three global sensitivity analysis methods evaluated at different temporal scales. Journal of Hydrology 475:97-110

Mohammadi K, Razdar B, Samani J (2006) Investigation of the quality of water of the Pasikhan River using CE-QUAl-W2 Model, Nitrate and Phosphate parameters and comparing the results of simulation with WASP software. In Proc. of Fourth National Congress of Civil Engineering, May 2008, Tehran, Iran,1-8 (In persian)

Mohseni-Bandpey A, Majlesi M, Kazempour A (2014) Evaluation of Golgol river water quality in Ilam province based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). Journal of Health in the Field 1(4):1-7 (In persian)

Panahande M, Rahbar Hashemi M, Ashournia M, Modaberi H (2016) Investigation on the effects of toxicity and potential ecological risks of lead and cadmium in sediments of Anzali Wetland usingTUI and Haksnson models. In Proc. of First International Conference on Environmental Engineering, Feb. 2014, Tehran, Iran, 1-9 (In persian)

Pappenberger F, Beven KJ, Ratto M, Matgen P (2008) Multi-method global sensitivity analysis of flood inundation models. Advances in Water Resources 31:1-14

Parastar S, Poureshgh B, Dargahhi A, Poreshgh Y, Vosoughi M (2013) Quality assessment of Hiroo River by NSFWQI and WILCOX indices in Khalkhal. Health Journal 4(3):273-283 (In persian)

Sadeghi M, Bay A, Bay N, Soflaie N, Mehdinejad MH, Mallah M (2015) The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. Journal of Health in the Field 3(3):27-33 (In persian)

Saltelli A (1999) Sensitivity analysis: Could better methods be used? Journal of Geophysical Research: Atmospheres 104:3789-3793

www.SID.ir

Archive of SID

Zhan C-S, Song X-M, Xia J, Tong C (2013) An efficient integrated approach for global sensitivity analysis of hydrological model parameters. Environmental Modelling and Software 41:39-52

series based on information entropy. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 26:345-356

www.SID.ir