نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره سه، بهار ۱۴۰۰

ISSN 2251-7480

بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های NSFWQI و IRWQISC در ارزیابی کیفی رودخانه‌ها

علیرضا شکوهی[1*]، امیدبهمنی[2]

۱*) استاد گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

ایمیل نویسنده مسئول مکاتبات: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

۲) مدیر گروه منابع طبیعی شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰

چکیده:

این مطالعه با هدف ارزیابی و مقایسه دو شاخص کیفیت آب NSFWQI و IRWQISC بر روی رودخانه‌های حوضه‌های پنجگانه خوزستان یعنی کارون، کرخه، دز، مارون- جراحی و زهره – هندیجان با استفاده از داده‌های ثبت شده در سال‌های ۹۰-۹۶ انجام شده است. این تحقیق نشان‌دهنده تفاوت دو روش و همچنین صحت سنجی شاخص توسعه یافته در ایران می‌باشد. در حالیکه بر اساس شاخص NSFWQI رودخانه‌های منطقه از نظر کیفیت در حالت متوسط هستند و بجز نقاطی بر روی رودخانه کارون مشکل خاصی وجود ندارد، شاخص IRWQIsc وضعیت کیفیت آبهای سطحی در سطح استان را متوسط تا بد ارزیابی می‌نماید. شاخص NSFWQI در شناسایی مراکز آلودگی در حوالی اهواز موفق عمل نموده حال آنکه شاخص IRWQIsc نسبت به شناسایی کانون‌های شوری بر روی رودخانه‌های زهره و جراحی درست عمل کرده است. در تعیین توزیع مکانی شاخص‌ها از سه روش زمین‌آمار اسپلاین، کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله استفاده به عمل آمد که با ارزیابی به عمل آمده روش وزنی معکوس فاصله انتخاب شد.

کلید واژه‌ها: شاخص کیفیت آب‌های سطحی؛ NSFWQI ؛ IRWQISC؛ توزیع مکانی شاخص؛ رودخانه‌های استان خوزستان

مقدمه

آلودگی رودخانه‌ها یکی از مهمترین مشکلات همه مناطقی است که در توسعه شهری به حریم کیفیت رودخانه‌ها کم‌توجهی نموده‌اند. به‌طور کلی رودخانه‌ها ظرفیت پذیرش آلودگی تا مقداری مشخص را دارند. این مقدار مشخص تابع عوامل و فاکتورهای محیطی همچون دبی، شرایط اولیه، عمق رودخانه و غلظت فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه و غیره می‌باشد(Aminpour et al., 2017). روند افزایش آلودگی‌ها، منابع آبی استان خوزستان را از نظر کیفیت و کمی تهدید می‌کند. تغییر در کیفیت آب‌های سطحی که قسمت اعظم آب کشاورزی و شرب استان را تأمین می‌کنند، از جمله مشکلاتی هستند که بر نگرانی‌ها افزوده‌اند. به‌دلیل شرایط خاص گستره پهنه آبی استان و اهمیتی که آب دارای کیفیت مناسب در توزیع جمعیت ساکنین این استان پهناور دارد، مطالعه آلودگی آب‌های سطحی به عنوان یکی از پارمترهای اثرگذار در تخصیص منابع آب و آمایش سرزمین که در این نوع مطالعات تا کنون مغفول مانده، از اهمیت زیادی برخوردار

است. مطالعه شرایط کیفی آب از این جهت مهم است که هر گونه تغییر در پارامترهای کیفی آن، باعث تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی و جانوری می‌شود. کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی بر حسب پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تعیین می‌شود. شاخص کیفیت 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 کیفیت آب را بدست می دهد. تعیین شاخص کیفیت آب نیازمند یک گام نرمال‌سازی است که در آن هر پارامتر در مقیاس صفر تا ۱۰۰ تغییر شکل یافته به نحوی که عدد صفر بدترین کیفیت و عدد ۱۰۰ حداکثر کیفیت را نشان می‌دهد (شکوهی و مدبری، ۱۳۹۷). گام بعدی کاربرد یک فاکتور وزنی مبتنی بر اهمیت پارامترکیفیت در تعیین شاخص کیفیت آب است. در خصوص ارزیابی کلی بدنه آبی بدون توجه به نوع مصرف، دو روش مرسوم NSFWQI[1] که توسط US National Sanitation Foundation توسعه یافته است و روش IRWQIsc[2] که توسط جمعی از محققین ایرانی توسعه یافته است، مورد استفاده قرار می‌گیرند (بی‌نام، ۱۳۹۹). شایان ذکر است که استفاده از هر دو روش در ادبیات مربوط به این موضوع در سطح کشور گزارش شده و در سطح وسیعی از بدنه‌های آبی سطحی از رودخانه تا دریاچه و تالاب از آنها استفاده شده است. بنیاد ملی بهداشت آمریکا شاخص NSFWQI 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 کیفیت 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 (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۳). گزارش‌هایی در خصوص استفاده از این شاخص در ارزیابی کیفیت منابع آب‌های سطحی ایران در سال‌های اخیر گزارش شده است. شاخصبررسی کیفیت آب سد آیدوغموش در حوالی میانه از شاخص NSFWQI در استفاده شد و با اندازه گیری پارامترهای کیفیت مورد نیاز در ۸ ایستگاه در دو فصل بهار و تابستان آب سد آیدوغموش را برای شرب مناسب تشخیص داده شد (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۰). در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از دو روش NSFWQI و WILCOX کیفیت آب رودخانه هیروچایی از منابع اصلی آب خلخال و کوثر ارزیابی شد. در این تحقیق که با یکسال نمونه برداری ماهانه در ٤ ایستگاه انجام شد، وضعیت کیفیت آب رودخانه از نظر شاخص NSFWQI متوسط و از نظر شاخص WILCOX برای آبیاری مناسب ارزیابی گردید (Parastar *et al.*, 2013). همچنین محسنی بندپی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی کیفیت رودخانه گل گل ایلام از شاخص NSFWQI استفاده نمودند و با ذکر تواناییهای شاخص مورد استفاده وضعیت رودخانه مزبور را در همه ایستگاه‌ها و در همه دوره زمانی خوب تا متوسط ارزیابی کردند. نمونه های مورد استفاده در این پژوهش در یک دوره ٦ ماهه در سال ۹۲ از خرداد تا آبان و در ٦ ایستگاه اندازه گیری شدند. در بررسی کیفیت آب رودخانه دوهزار در تنکابن شریف دینی و همکاران (۱۳۹۳)با استفاده از داده‌های برداشت شده در ٦ ماه در ٦ ایستگاه بجز کدورت مشکلی از نظر کیفیت در این رودخانه ندیدند و شاخص NSFWQI را در بررسی کیفیت آب سطحی روشی مناسب ارزیابی نمودند. همانطور که گفته شد در کشور ایران با توجه به شرایط طبیعی و مسایل و مشکلات منابع آب کشور شاخصی به نام شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران ($IRWQI_{SC}$) تهیه شده است و توسعه دهندگان آن معتقدند که این

[1] National Sanitation Foundation Water Quality
[2] Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters

شاخص می‌تواند چشم انداز و درک مناسبی از وضعیت کیفیت منابع آب سطحی ایران ارائه نماید (بی‌نام، ۱۳۹۹). استفاده از این شاخص در مطالعات کیفیت آب روخانه‌های ایران در سال‌های اخیر گزارش شده است. صادقی و همکاران (۱۳۹٤) با استفاده از دو شاخص NSFWQI و IRWQISC به ارزیابی کیفیت آب رودخانه زرین‌گل در استان گلستان در دو فصل تابستان و پاییز با آماربرداری در ۹ ایستگاه پرداختند. شاخص 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. در بررسی آلودگی تالاب چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری صمدی (۱۳۹۵) با استفاده از شاخص IRWQIsc به تحلیل تأثیرات کمی و کیفیت 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، 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 شد. علیزاده و همکاران (۱۳۹٦) با استفاده از شاخص NSFWQI، $IRWQI_{SC}$ و WQI به بررسی کیفیت آب رودخانه‌های کرج و کن با نمونه برداری از ۲۰ ایستگاه از مهر ۹۱ تا خرداد ۹۲ پرداختند. شاخص NSFWQI کیفیت آب رودخانه‌های تحت مطالعه را بد تا متوسط، شاخص $IRWQI_{SC}$ آنها را دارای کیفیت بسیار بد تا نسبتا خوب و بالاخره شاخص WQI کیفیت رودخانه‌های مزبور را خوب تشخیص دادند. براساس برآورد محققین مزبور از نتایج حاصله، آب این دو رودخانه برای شرب و کشاورزی مناسب می‌باشد. شکوهی و مدبری (۱۳۹۷) در حساسیت سنجی دو شاخص NSFWQI و IRWQIsc در رودخانه پسیخان به این نتیجه رسیدند که ضرایب وزنی دو مدل باعث بروز نتایج مختلف در یک رودخانه می‌شود ولی در نهایت تفاوت چندانی را بین نتایج دو مدل قائل نشدند ولی درارزیابی نهایی شاخص NSFWQI را محافظه‌کارتر قلمداد کردند و به این نتیجه رسیدند که این شاخص وضعیت کیفیت رودخانه را بدتر از شاخص IRWQIsc نشان می‌دهد. توکلی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از دو NSFWQI و IRWQIsc به بررسی کیفیت آب رودخانه الیگودرز پرداختند. در این مطالعه هم ایستگاه دارای بدترین کیفیت و هم زمان رخداد وضعیت کیفیت در رودخانه در دو روش متفاوت بود. در این مطالعه محققین نتیجه گرفتند که روش IRWQI بهتر از روش NSFWQI عمل نموده است. خلیفه و خوش‌نظر (۲۰۱۸) برای ارزیابی وضعیت کیفیت رودخانه زرینه‌رود از روش IRWQI استفاده نمودند و بیان نمودند که که این روش به علت استفاده از پارامتر EC و همچنین بهبود وزن‌دهی پارامترهای مربوط به فاضلاب خانگی از شاخص‌های دیگر بهتر می‌باشند. کیا و همکاران (۱۳۹۸) در ارزیابی کیفیت آب آبخوان‌های استان گلستان برای یک دوره ۲۱ ساله از شاخص WQI استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که بجز بخش کوچکی در شرق دریای مازندران بقیه سفره از قابلیت شرب برخوردار می‌باشند. در این مطالعه براساس نتایج ارزیابی تقاطعی، عملکرد روش درونیابی کریجینگ بیزین برای توزیع مکانی شاخص بهتر از روشهای IDW ، اسپلاین و چندجمله‌ای سراسری بود. Naderi *et al*. (2020) با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI کیفیت رودخانه زیارت در استان گلستان را با استفاده از داده‌های ثبت شده در دو فصل زمستان ۱۳۹۵ و بهار ۱۳۹٦ ارزیابی نمودند و با توجه به نتایج حاصله این شاخص را برای مدیریت کیفی رودخانه‌ها

مناسب تشخیص دادند. یکی از آخرین تحقیقات انجام شده بر روی کیفیت رودخانه‌ها با استفاده از شاخص IRWQIsc بر روی رودخانه چهل‌چای در استان گلستان بود که براساس استفاده از این شاخص رودخانه مزبور از نظر کیفی در رده خوب قرار گرفت و محققین بین این شاخص و دبی رودخانه رابطه مستقیمی را بدست آوردند (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹).

هدف اصلی این تحقیق، شناسایی و ارزیابی مقایسه‌ای مکانی و زمانی مدل‌های NSFWQI و IRWQI در رودخانه‌های دائمی استان خوزستان است. منطقه مورد مطالعه دراین پژوهش شامل حوضه‌های آبریز ۵ گانه واقع در مرزهای سیاسی استان خوزستان شامل کارون، دز، کرخه، مارون – جراحی و زهره است که از طیف وسیعی از مسائل کیفیت – زیست محیطی برخوردار می‌باشند و می‌توان از آنها بخوبی برای آزمون و مقایسه دو شاخص ارزیابی کیفیت مورد نظر استفاده نمود. در بخش‌های بعد علاوه بر ارزیابی شاخص‌ها به انتخاب روش میانیابی برای دستیابی به توزیع مکانی شاخص و ارائه علل اختلاف دو شاخص در ارزیابی کیفیت رودخانه‌ها پرداخته خواهد شد و در نهایت شاخص مناسب با توجه به نوع کاربرد آن معرفی می‌شود.

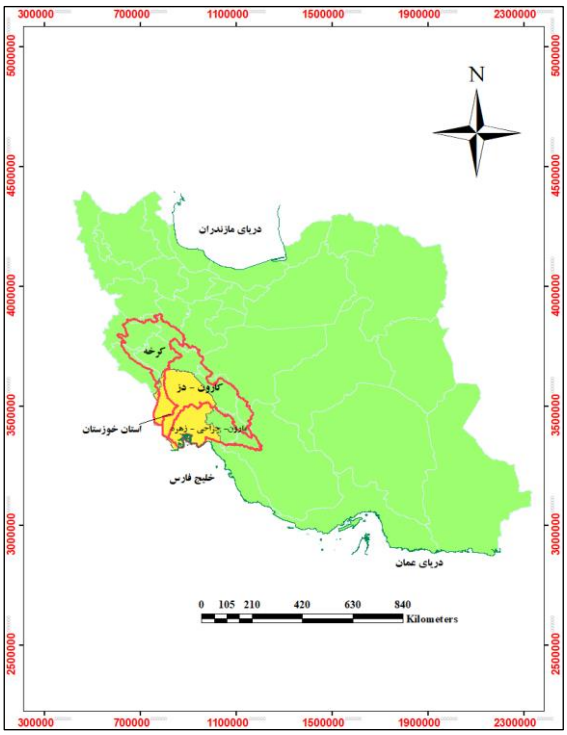
تحقیقات پیش از این در خصوص مقایسه این شاخص مورد بحث بسیار محدود بوده و در موارد موجود نیز به نتیجه واحدی نرسیده و مضافا در یک رودخانه مشخص با تنوع کم کیفیت به ارزیابی شاخص‌ها مبادرت ورزیده‌اند. به غیر از یک مورد که در آن سعی شده است تا با استفاده از روشهای تحلیل حساسیت به ارزیابی اوزان مورد استفاده در دو شاخص پرداخته شود، عملاً در تحقیقات پیشین تنها به ذکر مشاهدات بسنده شده و ریشه این اختلاف و دلایل برتری یا صحت نتایج یک شاخص در مقابل شاخص دیگر مورد توجه قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

داده‌های کیفیت و آلودگی

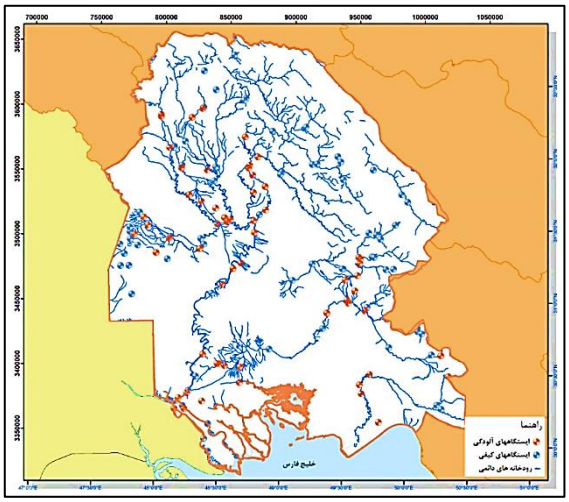
داده‌های مورد استفاده در این مطالعه برای تعیین مقدار شاخص، داده‌های کیفیت و آلودگی است. نوع داده کیفیت و آلودگی بسته به نوع شاخص (در ادامه همین بخش خواهد آمد) متفاوت می‌باشد. برخی از این داده‌ها نظیر EC، pH و عناصر شیمیایی در ایستگاه‌های کیفیت و برخی دیگر نظیر BOD_5، DO و E.Coli در ایستگاههای آلودگی اندازه‌گیری می‌شوند. شکل شماره ۲ توزیع مکانی این ایستگاه‌های کیفیت و آلودگی را نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل ملاحظه می‌شود، پراکندگی ایستگاه‌های اندازه‌گیری در سطح حوضه ها یکسان نبوده، به نحوی که حوضه کارون بیشترین حوضه جراحی– زهره پراکنده‌ترین توزیع را داراست.



شکل ۱- موقعیت استان خوزستان در کشور و حوضه‌های آبریز ۵ گانه در محدوده مرزهای سیاسی استان

با توجه به عدم تطابق زمانی میان دوره آماری ایستگاه‌های آلودگی و کیفیت و به منظور انجام تحلیل در

دوره زمانی مشترک، دوره آماری ۹۰-۹۶ برای تحلیل انتخاب شد. انتخاب این دوره یک مزیت مهم دیگر نیز دارد و آن این است که استفاده از متوسط بلندمدت داده‌های کیفیت و آلودگی نمی‌تواند معرف واقعیات و شرایط کنونی استان خوزستان از نظر شرایط کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی باشد. براین اساس از ۱۶۸ ایستگاه آماربرداری کیفیت، تعداد ٤١ ایستگاه و از ٦٨ ایستگاه آماربرداری کیفیت تعداد ۷ ایستگاه به دلیل کوتاه بودن دوره آماری و یا عدم تطابق دوره آماربرداری با دوره آماری منتخب، مورد استفاده قرار نگرفتند.



شکل ۲- توزیع ایستگاههای کیفیت و آلودگی در حوضه‌های پنجگانه استان خوزستان

نوع داده‌هایی که هم اکنون در ایستگاههای کیفیت و آلودگی آب‌های سطحی در سطح استان خوزستان (جداول ۷ و ۸) توسط سازمان آب و برق خوزستان اندازه گیری می‌شوند با هم متفاوت بوده و به شرح جدول ۱ می‌باشد.

شاخص NSFWQI

در سال ۱۹۷۰ میلادی، سازمان بهداشت جهانی طرحی را به مرحله اجرا درآورد که بر اساس این طرح تعداد کثیری از محققین در سراسر دنیا 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). منابع مربوط به این روش را می‌توان به سهولت در مراجع متعدد یافت. یکی از مراجع مناسب که در آن محاسبه آنلاین شاخص مربوط به این روش را می‌توان یافت، سایت http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm می‌باشد. شاخص مزبور بر این مبنا شکل گرفته است که ٤ پارامتر مهم آلودگی شامل درصد اکسیژن محلول، BOD_5 بر حسب میلی گرم در لیتر، کلیفرم مدفوعی (E.Coli) بر حسب MPN، درجه حرارت بر حسب درجه سانتی‌گراد و ۵ پارامتر مهم کیفیت شامل pH، فسفات و نیترات بر حسب میلی‌گرم در لیتر، کدورت بر حسب NTU و کل ذرات معلق برحسب میلی‌گرم در لیتر با وزن‌هایی که معرف اهمیت آنها در مقابل همدیگر برای حفظ یک محیط آبی سالم از نظر اکولوژیکی می‌باشد، می‌توانند معرف مناسبی برای کیفیت آب باشند. در این روش ابتدا با توجه به مقدار گزارش شده برای هر پارامتر (Ii در رابطه ۱)، ارزشی بین یک حداقل مثلا صفر برای pH، ۱ برای نیترات، ۲ برای کلیفرم، BOD، درصد DO و فسفات کل، ۵ برای کدورت، ۱۰ برای درجه حرارت و۲۰ برای کل مواد معلق و حداکثری معادل ۱۰۰ بدست می دهد. معادله مورد استفاده برای تعیین شاخص در رابطه ۱ ارائه شده است.

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

در رابطه ۱، Ii مقدار مربوط به پارامتر کیفیت و Wi ضریب وزنی مربوط به آن پارامتر است که از جدول ۲ بدست می‌آید(Brown *et al.*, 1970).

جدول ۱- لیست داده‌های برداشت شده در ایستگاه‌های کیفیت و آلودگی (مرجع: سازمان آب و برق خوزستان)

آلودگی	BOD_5	COD	DO	PO_4	T.Coli	Ca	E. Coli	SS	NO_2	NH_4	NO_3	Turbidity	T
کیفیت	SO_4	Cl	HCO_3	Mg	Na	TDS	EC	TH	pH	NO_3	Turbidity	T	SAR

جدول ۲- وزن بکارگرفته شده در شاخص NSFWQI (Brown et al., 1970)

فاکتور	DO	کلیفرم مدفوعی	pH	BOD	تغییر درجه حرارت	فسفات کل	نیترات	کدورت	کل جامدات
وزن	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۷

بطور خلاصه مقدار یا ارزش عددی پارامتر با ضرب در وزنی که از جدول شماره ۲ بدست می آید مقدار نهایی شاخص مربوط به هر یک از پارامترهای ۹ گانه را بدست می‌دهد. مجموع شاخص مربوط به ۹ پارامتر (معادله ۱) عدد نهایی ارزش کیفیت منبع آبی را تعیین می‌کند که با استفاده از جدول ۳، کلاس مربوط به منبع آبی را بدست می‌دهد.

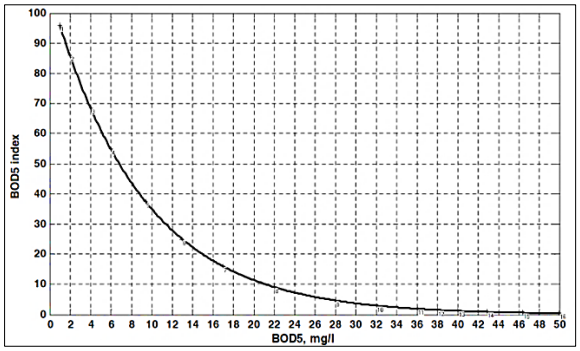
جدول ۳- تفسیر آلودگی براساس مقدار عددی شاخص (Brown et al., 1970) NSFWQI

مقدار شاخص	۱۰۰-۹۰	۹۰-۷۰	۷۰-۵۰	۵۰-۲۵	۲۵-۰
معادل توصیفی	عالی	خوب	متوسط	بد	خیلی بد

شاخص IRWQISC

شاخص IRWQIsc، شاخصی تلفیقی از NSFWQI و BCEQI[1] می‌باشد که بر اساس نظریات کارشناسی سازمان حفاظت محیط زیست ایران طراحی شده است. شاخص مزبور یک شاخص عمومی و کاربردی در بیان کیفیت آب رودخانه می‌باشد و در آن به کمک یک رابطه ریاضی با استفاده از داده‌های کیفیت آب، میزان سلامت آب محاسبه می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۹).

شاخص $IRWQI_{SC}$ از ۱۱ پارامتر استفاده می‌کند که ۷ پارامتر آن همانند روش NSFWQI است (نیترات، فسفات، کدورت، pH، کلیفرم مدفوعی، اکسیژن محلول، BOD). از تغییرات درجه حرارت و کل جامدات محلول در این شاخص استفاده نشده است ولی در عوض پارامترهای آمونیوم (NH4)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی[2]، سختی کل[3] و هدایت الکتریکی[4] را دارا است. در این شاخص نیز هر پارامتر وزن خاصی دارد و مقدار هر شاخص برای هر پارامتر با استفاده از منحنی رتبه بندی‌اش که نمونه‌ای از آن در شکل ۳ برای پارامتر BOD آورده شده است، بدست می‌آید.



شکل ۳- دیاگرم مورد استفاده برای ارزش‌گذاری پارامتر BOD_5 در روش IRWQIsc (بی‌نام، ۱۳۹۹)

این شاخص مطابق رابطه ۲ بدست آمده و در واقع میانگین وزنی هندسی پارامترهای معرف آلودگی است.

$$IRWQI_{SC} = [\prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}]^{1/\gamma} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق n تعداد پارامترها، Ii مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی ارزش‌گذاری (شکل ۳)، Wi وزن پارامتر i ام می‌باشد که از جدول ٤ قرائت می‌شود و γ نیز از رابطه ۳ بدست می‌آید.

[1] British Columbia Water Quality Index

[2] Chemical Oxygen Demand
[3] Total Hardness
[4] Electric Conductivity

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} W_i \qquad (۳)$$

جدول ٤- ضرایب وزنی مربوط به پارامترهای کیفیت روش IRWQIsc (بی‌نام، ۱۳۹۹)

ردیف	پارامتر	وزن	واحد اندازه‌گیری
۱	کلیفرم مدفوعی	۰/۱٤	MPN/100ml
۲	BOD_5	۰/۱۱۷	میلی‌گرم در لیتر
۳	نیترات	۰/۱۰۸	میلی‌گرم در لیتر
٤	اکسیژن محلول	۰/۰۹۷	درصد اشباع
٥	هدایت الکتریکی	۰/۰۹٦	میکروزیمنس بر سانتی‌متر
٦	COD	۰/۰۹۳	میلی‌گرم در لیتر
۷	آمونیم	۰/۰۹	مجموع آمونیم
۸	فسفات	۰/۰۸۷	میلی‌گرم در لیتر
۹	کدورت	۰/۰٦۲	NTU
۱۰	سختی کل	۰/۰٥۹	میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم
۱۱	پ هاش	۰/۰٥۱	واحد استاندارد

در صورتی که تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده کمتر از یازده پارامتر مندرج در جدول٤ باشد، رابطه ۲ همچنان قابل استفاده بوده و نیازی به هیچ‌گونه تصحیح نیست.

در این روش ابتدا با توجه به مقدار گزارش شده برای هر پارامتر، ارزش عددی آن از گرافی همانند شکل ۳ حاصل می‌شود. سپس با ضرب مقدار یا ارزش عددی پارامتر در وزنی که از جدول ٤ تعیین می‌شود، مقدار نهایی شاخص مربوط به هر یک از پارامترهای ۱۱ گانه بدست می‌آید. در نهایت شاخص مربوط به ۱۱ پارامتر حاصل از معادله ۲، عدد نهایی ارزش کیفیت منبع آبی را تعیین نموده که با استفاده از جدول ٥، کلاس مربوط به منبع آبی را بدست می‌دهد.

روش‌های میانیابی

برای ارزیابی و مقایسه دو شاخص کیفیت مورد بحث، نیاز به توزیع مکانی آنها در گستره محدوده مطالعاتی می‌باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات مکانی دارند، وجود دارد. معمول‌ترین این روشها سه روش کریجینگ[1]، اسپیلاین (TPSS[2]) و IDW[3] می‌باشند. تفاوت عمدهٔ این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبهٔ وزنی است که به نقاط مشاهده شدهٔ اطراف نقطهٔ مجهول داده می‌شود.

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات مکانی دارند، وجود دارد.

معمول‌ترین این روش‌ها سه روش کریجینگ[4]، اسپیلاین (TPSS[5]) و IDW[6] می‌باشند. تفاوت عمدهٔ این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبهٔ وزنی است که به نقاط مشاهده شدهٔ اطراف نقطهٔ مجهول داده می‌شود.

روش وزنی معکوس فاصله (IDW)

در روش IDW، به هر یک از ایستگاه‌ها وزنی براساس فاصله بین هر ایستگاه تا موقعیت نقطه مجهول تخصیص می‌یابد. این اوزان توسط "توان وزن‌دهی" کنترل می‌شوند، به‌طوری‌که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. شکل عمومی این تابع درونیابی برای یافتن مقدار متغیر u در نقطه‌ای مانند x براساس داده‌های $u_i=u(x_i)$ برای i=1, 2, 3, …, N به صورت معادله ٤ است:

$$u(x) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i(x) u_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i(x)} & if\ d(x,x_i) \neq 0\ for\ all\ i, \\ u_i & if\ d(x,x_i) = 0\ for\ some\ i, \end{cases} \qquad (٤)$$

$$w_i(x) = \frac{1}{d(x,x_i)^p} \qquad (٥)$$

در رابطه فوق p توان وزن‌دهی است (Lukaszyk, 2004).

روش کریجینگ

روش کریجینگ نیز همانند روش میانگین متحرک

[1] Kriging
[2] Thin Plate Smoothing Splines
[3] Inverse Distance Weighting
[4] Kriging
[5] Thin Plate Smoothing Splines
[6] Inverse Distance Weighting

جدول ۵- طبقه‌بندی منبع آبی بر اساس شاخص IRWQIsc (بی‌نام، ۱۳۹۹)

مقدار شاخص	کمتر از ۱۵	۱۵ - ۲۹/۹	۳۰ - ٤٤/۹	٤٥ - ٥٥	٥٥/۱ - ۷۰	۷۰/۱ - ۸۵	بیشتر از ۸۵
معادل توصیفی	خیلی بد	بد	نسبتاً بد	متوسط	نسبتاً خوب	خوب	بسیار خوب

وزنی، برای برآورد ارزش نقطهٔ نامعلوم، به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی (λi) را نسبت می‌دهد:

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (۶)$$

که در آن: Z*: مقدار متغیر مکانی برآورد شده، Z(x_i): مقدار متغیر مکانی مشاهده شده که در نقطهٔ xi نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطهٔ iام در برآورد است. شرط استفاده از این تخمین‌گر این است که، متغیر z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر اینصورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا اینکه به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل کرد (Olea, 1999).

روش TPSS

هدف این است که تابع معینی مانند *g(x)* را بر نقاط به گونه‌ای برازش داد تا تقریب مناسبی از *f(x)* باشد. روش‌های عددی مختلفی برای این کار همچون درون‌یابی خطی، تفاضل پس رونده نیوتن و اسپیلاین‌ها وجود دارد. TPSS یک روش عددی میان‌یابی از نوع اسپیلاین‌ها می‌باشد. تقریب اسپیلاین، یک تقریب چند جمله‌ای تکه‌ای می‌باشد. بدین معنا که برای تقریب*f(x)* ، به ازای هر یک از فاصله‌های $[x_{n-1}, x_n], \dots, [x_2, x_3], [x_2, x_1]$ یک تابع *g(x)* به صورت چند جمله‌ای برازش داده شده به طوری‌که در نقاط انتهایی آنها مشتق‌پذیر باشد. از این رو به جای تقریب زدن *f(x)* با یک چند جمله‌ای در تمام فاصله‌ها، آن را می‌توان با n چند جمله‌ای تقریب زد. توابع *g(x)* که بدین طریق به دست می‌آیند، اسپیلاین نامیده می‌شود. TPSS یک نوع Laplacian Spline است که تابع آن یعنی F(x,y) از حداقل کردن رابطه ۷ محاسبه می‌گردد (Wahba, 1990):

$$\frac{\sum_{i=1}^{n}[z_i - F(x_i, y_i)]^2}{n} + \lambda \iint \left[\left[\frac{\partial^2 F}{\partial^2 x}\right]^2 + 2\left[\frac{\partial^2 F}{\partial x.\partial y}\right] + \left[\frac{\partial^2 F}{\partial^2 y}\right]^2\right] dx, dy \qquad (۷)$$

که در آن Z_i: مقادیر مشاهده شده متغیر مورد نظر در نقطه (x_i, y_i)، F (x_i, y_i)= مقادیر تابع در نقطه مشاهده شده (x_i, y_i)، و λ= پارامتری مثبت و برای نرم کردن تابع می‌باشد. در این معادله عبارت اول تفاوت بین نقاط مشاهده‌ای و نقاط حاصل از تابع حاصل از تابع در همان نقاط را نشان می‌دهد که باید کمترین مقدار باشد و عبارت دوم بیانگر پیرایش و میزان حذف تضاریس ناشی از تقریب انجام شده بوده و سرعت تغییرات شیب را محاسبه می‌کند. λ ارتباط بین سطح پیرایش و نقاط واقعی را نشان می‌دهد. برای محاسبه آن از روش ارزیابی تقاطعی تعمیم یافته استفاده می‌شود.

روش ارزیابی

برای انتخاب روش مناسب میانیابی از تکنیک ارزیابی متقابل[1] استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، ارزش آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارآیی روش‌های میان‌یابی وجود دارد که می‌توان به میانگین خطای اریب یا انحراف[2](MBE)، میانگین خطای مطلق[3](MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا[4](RMSE) و ضریب تعیین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی(R^2) اشاره کرد.

[1] Cross Validation
[2] Mean Bias Error
[3] Mean Absolute Error
[4] Root Mean Squared Error

بررسی وجود داده‌های پرت

وجود داده‌های استثنایی می‌تواند در نتیجه حاصل برای ارزیابی شاخص مؤثر باشد. بر این اساس لازم است که کنترل شود که آیا چنین داده‌ای در آمار برداری ایستگاه‌های آلودگی و کیفیت وجود دارد یا خیر. البته وجود داده پرت به مفهوم خطا در اندازه‌گیری نیست و فقط نشان می‌دهد که در ایستگاه مورد نظر و برای پارامتر مورد مطالعه ارقامی خارج از محدوده، دیده شده است. در این حالت با بررسی تعداد و تواتر رخداد این پارامتر می‌توان به درستی و نادرستی رقم گزارش شده پی برد. برای انجام آزمون وجود داده پرت، یکی از بهترین روش‌ها، آزمون گرابز می‌باشد (McBane, 2006). در آزمون دو طرفه در این روش داریم:

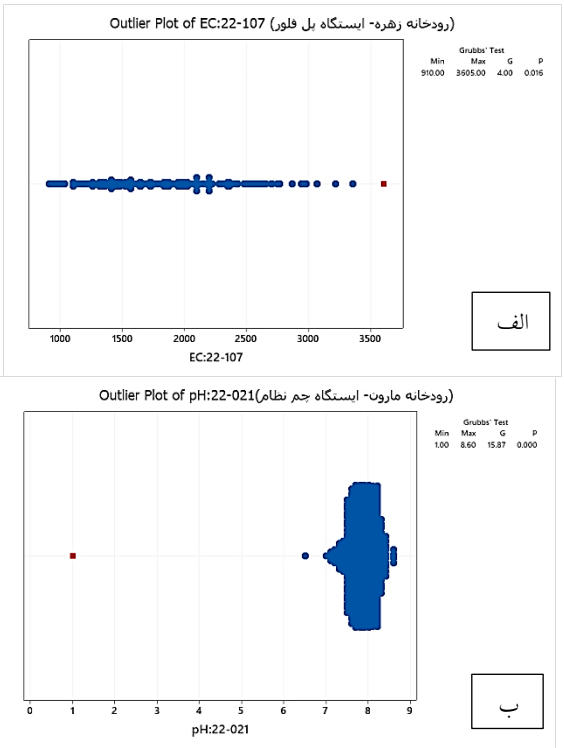
$$G = MAX\left(\frac{\bar{y}-y_1}{s}, \frac{y_n-\bar{y}}{s}\right) \qquad (۸)$$

که در آن $\bar{y}$ میانگین نمونه، y_n نمونه شماره nام و s انحراف از معیار نمونه می‌باشد. در این آزمون فرض مورد استفاده آن است که داده پرتی در مجموعه داده‌های مورد آزمون در سطح ۵٪ دیده نمی‌شود و لذا هر چه P value از عدد ۰/۰۵ بزرگ‌تر باشد احتمال یک دست بودن داده‌ها بیشتر است و برعکس هرچه این عدد از ۰/۰۵ کوچک‌تر باشد، با قوت بیشتری می‌توان داده مورد نظررا پرت و حتی اشتباه قلمداد کرد.

نتایج و بحث

ارزیابی داده‌های آلودگی و کیفیت آب

آزمون گرابز روی همه داده‌های کیفیت و آلودگی ایستگاه‌های منتخب در استان صورت گرفت. بجز EC و pH، در مورد بقیه پارامترها داده پرت مشاهده نشد. در حالتهایی که عدد پرت با داشتن مقدار آماره G و فاصله زیاد نسبت به جامعه اصلی قرار گیرد و Pvalue نزدیک به صفر بدست آورده شود، عدد مزبور از مجموعه داده‌ها حذف و در غیر این‌صورت به‌عنوان مقداری حدی در تعیین مقادیر شاخص مورد استفاده قرار گرفت. شکل‌های ٤- الف مربوط به EC در ایستگاه پل فلور واقع بر رودخانه زهره و شکل ٤- ب نتیجه آزمون گرابز برای pH بر روی ایستگاه چم نظام واقع بر رودخانه‌های مارون می‌باشند. در هر دو مورد برای ایستگاه واقع بر رودخانه زهره، داده‌ها به عنوان داده حدی حفظ شدند و برای رودخانه‌های مارون و جراحی از مجموعه محاسبات کنار گذاشته شدند.



شکل ٤- نتیجه آزمون داده‌های پرت در داده‌های کیفیت – آلودگی برایدو ایستگاه نمونه

ارزیابی کیفیت آب با استفاده از شاخص NSFWQI

نمونه‌ای از داده‌های کیفی و آلودگی مورد استفاده در تحلیل شاخص‌ها در جدول ٦ ارائه شده است. تقریباً برای همه ایستگاه‌ها که دارای آماری قابل‌قبول برای کمیتهای مورد استفاده در روش NSFWQI بودند، برای دوره آماری ۹۶-۹۰ محاسبات لازم صورت گرفت که نتیجه آن در جدول ۷ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، به‌جز دو ایستگاه زرگان روی رودخانه کارون (در اهواز شمالی) و آب‌شیرین روی رودخانه دز (قبل از

تلاقی با رودخانه کارون) که به علت اثر توأمان مقادیر زیاد BOD5، NO3 و Po4 و مقادیر کم اکسیژن محلول در زمره ایستگاه‌های بد از نظر کیفیت قلمداد شده‌اند، بقیه ایستگاهها بر اساس روش NSFWQI در رده متوسط از نظر کیفیت آب و آلودگی قرار می‌گیرند.

ارزیابی کیفیت آب با استفاده از شاخص RIWQIsc

تقریبا برای همه ایستگاه‌های کیفیت و آلودگی که دارای آمار قابل‌قبول از کمیت‌های مورد استفاده در روش IRWQIsc بودند، برای دوره آماری ۹۶-۹۰ محاسبات لازم صورت گرفت که نتیجه آن در جدول ۸ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با توجه به اینکه بسیاری از ایستگاه‌هایی که کیفیت آب در آن‌ها با استفاده از شاخص NSFWQI متوسط قلمداد گردید با استفاده از شاخص IRWQIsc نسبتاً بد شناسایی شده‌اند. بر این اساس می‌توان نتایج روش IRWQIsc را محافظه‌کارانه‌تر از روش NSFWQI دانست. اکثر ایستگاه‌هایی که بر اساس روش NSFWQI در رده متوسط از نظر سلامت محیط اکولوژیکی قرار می‌گیرند، در این روش متوسط تا نسبتا بد به حساب آمده‌اند.

جدول ٦- مقادیر پارامترهای مورد استفاده برای تعیین شاخص در برخی از ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

کد ایستگاه	نام ایستگاه	BOD5	COD	DO%	EC	E-COLI	Nh	NO3	Po4	TH	Turbidity	pH
21-191	پای پل	2.884	9.006	80.000	1968	3556.841	0.404	3.876	0.016	570.5	3.547	7.75
21-193	عبدالخان	2.77	12.32	73.00	1797	5157.500	0.431	5.04	0.023	579	60.84	7.68
21-197	پل شاوور	2.792	13.058	64.000	2370	42846.533	0.495	11.014	0.037	647.5	34.134	7.78
21-199	حمیدیه	2.81	15.66	72.00	3394	7811.343	0.494	5.45	0.030	836.5	16.46	7.73
21-243	گتوند	3.020	11.593	87.000	2480	6612.794	0.347	5.400	0.841	505.5	7.100	7.66
21-251	شوشتر-گرگر	3.28	11.89	78.50	3616	40538.776	0.417	5.78	0.026	1086.5	18.59	7.57
21-253	درخزینه	3.386	19.428	69.000	5200	22969.630	0.531	6.530	0.026	755	40.813	7.6
21-299	دزفول	2.67	10.14	86.00	800	3430.303	0.354	4.61	0.038	267	9.16	7.52
21-305	بامدژ	3.271	16.175	67.000	2440	18820.952	0.491	8.465	0.027	852	75.352	7.63
21-307	ملاثانی	3.06	17.02	70.70	3130	15547.857	0.484	6.34	0.029	1079.5	84.04	7.64
21-309	اهواز	3.199	19.886	66.800	3130	65180.303	0.517	6.474	0.045	1079.5	70.219	7.64
21-311	دارخوین	3.10	16.38	72.20	4040	7701.290	0.501	6.92	0.035	930	42.65	7.62
21-326	ایستگاه ۱۱ آبادان	3.056	19.995	72.700	6230	15961.017	0.490	6.673	0.042	1017	36.530	7.50
21-441	دشت بزرگ	3.76	36.04	78.70	43600	3502.865	0.524	6.05	0.045	2594	418.97	7.47
21-443	عرب اسد	2.987	14.387	74.700	2670	12713.962	0.418	6.062	0.026	613	342.535	7.67
21-445	بندقیر	3.88	22.88	72.80	1772	12813.867	0.496	6.64	0.041	616	153.15	7.57
21-489	نیسان - سوسنگرد	2.925	16.622	69.900	27000	9635.172	0.531	5.143	0.025	1043	8.947	7.76
21-603	دیریغارم	2.90	22.22	79.00	27600	7698.750	0.502	7.13	0.043	3219	49.67	7.55
21-672	بند میزان	3.202	14.413	78.500	3616	21905.152	0.424	5.303	0.412	1086.5	19.143	7.57

جدول ۷- نتایج مطالعه حاصل از روش NSF برای ایستگاه‌های آلودگی شبکه رودخانه‌های استان خوزستان

کد ایستگاه	نام ایستگاه	NSFWQI	تیپ	کد ایستگاه	نام ایستگاه	NSFWQI	تیپ
۲۱-۱۹۱	پای پل	٦۳	متوسط	۲۱-٦۸۸	اعلا قبل از تلاقی با رودز	٥٦	متوسط
۲۱-۱۹۳	عبدالخان	٥٥	متوسط	۲۱-٦۸۹	سید حسن گرگر	٥۲	متوسط
۲۱-۱۹۷	پل شاوور	٥۱	متوسط	۲۱-۷۱۱	پل بستان - ام ۱۲	٥٦	متوسط
۲۱-۱۹۹	حمیدیه	٥۷	متوسط	۲۱-۷۱۷	پل رفیع - ام ٦	٥٦	متوسط
۲۱-۲٤۳	گتوند	٥٦	متوسط	۲۱-۷٤۱	کوت امیر	٥۲	متوسط
۲۱-۲٥۱	شوشتر-گرگر	٥۷	متوسط	۲۱-۷٤۲	ابتدای کانال مارد(پمپاژ مارد	٥٦	متوسط
۲۱-۲٥۳	درخزینه	٥٤	متوسط	۲۱-۷٤٤	پل شناور خرمشهر	٥۱	متوسط
۲۱-۲۹۹	دزفول	٦٥	متوسط	۲۱-۷٤٥	زرگان	٤۸	بد
۲۱-۳۰٥	بامدژ	٥۱	متوسط	۲۱-۷٤۸	آبشیرین	٤٦	بد
۲۱-۳۰۷	ملاثانی	٥۳	متوسط	۲۱-۷٤۹	اعلا قبل از تلاقی با مارو	٥٤	متوسط

تیپ	NSFWQI	نام ایستگاه	کد ایستگاه	تیپ	NSFWQI	نام ایستگاه	کد ایستگاه
متوسط	۵۳	الهایی	۷۶۰-۲۱	متوسط	۵۱	اهواز	۳۰۹-۲۱
متوسط	۵۸	تالاب شادگان روستای صراخی	۷۶۱-۲۱	متوسط	۵۵	دارخوین	۳۱۱-۲۱
متوسط	۵۲	تالاب شادگان روستای رگبه	۷۶۲-۲۱	متوسط	۵۵	ایستگاه ۱۱ آبادان	۳۲۶-۲۱
متوسط	۵۳	تالاب شادگان مجاورت شادگان	۷۶۳-۲۱	متوسط	۵۳	دشت بزرگ	٤٤۱-۲۱
متوسط	۵۶	تالاب شادگان جاده آبادان	۷۶٤-۲۱	متوسط	۵۲	عرب اسد	٤٤۳-۲۱
متوسط	۵۵	تالاب شادگان نیروگاه گازی	۷۶۷-۲۱	متوسط	۵۱	بندقیر	٤٤۵-۲۱
متوسط	۵۶	چم کنار	۷۶۸-۲۱	متوسط	۵۷	نیسان - سوسنگرد	٤۸۹-۲۱
متوسط	۵۲	رستم آباد	۷۶۹-۲۱	متوسط	۵۶	دیریفارم	۶۰۳-۲۱
متوسط	۵۶	مارون قبل از تلاقی اعلا	۷۸۰-۲۱	متوسط	۵٤	بند میزان	۶۷۲-۲۱
متوسط	۵۵	پل سابله ام -۹	۸۲۶-۲۱	متوسط	۶۵	گلال کوپیته	۶۷۳-۲۱
متوسط	۵۵	هویزه	۹٤۰-۲۱	متوسط	۵۶	حاشیه تالاب بامدژ	۶۷٤-۲۱
متوسط	۶۱	ماشین	۰۱۱-۲۲	متوسط	۵۳	زهکش طبیعی تالاب بامدژ	۶۷۵-۲۱
متوسط	۵۶	جوکنک	۰۱۳-۲۲	متوسط	۵۱	تالاب بامدژ کعب عمیر	۶۷۷-۲۱
متوسط	۵۵	ایدنک	۰۱۷-۲۲	متوسط	۶۲	سد تنظیمی کرخه اندیمشک	۶۷۸-۲۱
متوسط	۵۳	بهبهان - تنگ تکاب	۰۲۱-۲۲	متوسط	۶۰	پل شهید ناجیان	۶۷۹-۲۱
متوسط	۵۳	چم نظام	۰۲۳-۲۲	متوسط	۵٤	ابوالفارس	۶۸۱-۲۱
متوسط	۵۶	خیرآباد	۰۲۹-۲۲	متوسط	۵٤	پل ۷۲۰ متری سویره	۶۸۲-۲۱
متوسط	۵۳	دهملا	۰٤۹-۲۲	متوسط	۵۳	فیروزآباد	۶۸۳-۲۱
متوسط	۵۱	شادگان	۰۵۲-۲۲	متوسط	۵۱	ایستگاه خارور	۶۸٤-۲۱
متوسط	۵۱	هندیجان	۰۵۸-۲۲	متوسط	۵٤	سد شاوور	۶۸۵-۲۱

جدول ۸- نتایج مطالعه حاصل از روش IRWQIsc برای ایستگاه‌های آلودگی و کیفیت شبکه رودخانه‌های استان خوزستان

type	IRWQIsc	نام ایستگاه	کد ایستگاه	type	IRWQIsc	نام ایستگاه	کد ایستگاه
بد	۲۷	فیروزآباد	۶۸۳-۲۱	متوسط	۵۳	پای پل	۱۹۱-۲۱
نسبتاً بد	۳۹	ایستگاه خارور	۶۸٤-۲۱	متوسط	٤۶	عبدالخان	۱۹۳-۲۱
نسبتاً بد	٤۰	سد شاوور	۶۸۵-۲۱	نسبتاً بد	۳٤	پل شاوور	۱۹۷-۲۱
نسبتاً بد	٤۲	سد انحرافی رامهرمز	21-687	نسبتاً بد	٤۲	حمیدیه	۱۹۹-۲۱
نسبتاً بد	٤۱	اعلا قبل از تلاقی با رودز	21-688	نسبتاً بد	٤۳	گتوند	۲٤۳-۲۱
نسبتاً بد	۳۳	سید حسن گرگر	21-689	نسبتاً بد	٤۰	شوشتر-گرگر	۲۵۱-۲۱
نسبتاً بد	٤۰	پل بستان - ام ۱۲	21-711	نسبتاً بد	۳۷	درخزینه	۲۵۳-۲۱
نسبتاً بد	۳۹	پل رفیع - ام ۶	21-717	متوسط	۵۵	دزفول	۲۹۹-۲۱
نسبتاً بد	۳٤	کوت امیر	۷٤۱-۲۱	نسبتاً بد	۳۶	بامدژ	۳۰۵-۲۱
نسبتاً بد	۳۶	ابتدای کانال مارد(پمپاژ مارد	۷٤۲-۲۱	نسبتاً بد	۳۸	ملاثانی	۳۰۷-۲۱
نسبتاً بد	۳۳	پل شناور خرمشهر	۷٤٤-۲۱	نسبتاً بد	۳۵	اهواز	۳۰۹-۲۱
نسبتاً بد	۳٤	زرگان	۷٤۵-۲۱	نسبتاً بد	۳۹	دارخوین	۳۱۱-۲۱
بد	۱۹	آبشیرین	۷٤۸-۲۱	نسبتاً بد	۳۵	ایستگاه ۱۱ آبادان	۳۲۶-۲۱
نسبتاً بد	۳۳	اعلا قبل از تلاقی با مارو	۷٤۹-۲۱	نسبتاً بد	۱۶	دشت بزرگ	٤٤۱-۲۱
نسبتاً بد	۳۶	الهایی	۷۶۰-۲۱	نسبتاً بد	۳۹	عرب اسد	٤٤۳-۲۱
نسبتاً بد	٤٤	تالاب شادگان روستای صراخی	۷۶۱-۲۱	نسبتاً بد	۳۸	بندقیر	٤٤۵-۲۱
نسبتاً بد	٤۰	تالاب شادگان روستای رگبه	۷۶۲-۲۱	نسبتاً بد	۳۰	نیسان - سوسنگرد	٤۸۹-۲۱
نسبتاً بد	۳۶	تالاب شادگان مجاورت شادگا	۷۶۳-۲۱	بد	۲۶	دیریفارم	۶۰۳-۲۱
نسبتاً بد	٤۱	تالاب شادگان جاده آبادان	۷۶٤-۲۱	نسبتاً بد	۳۹	بند میزان	۶۷۲-۲۱

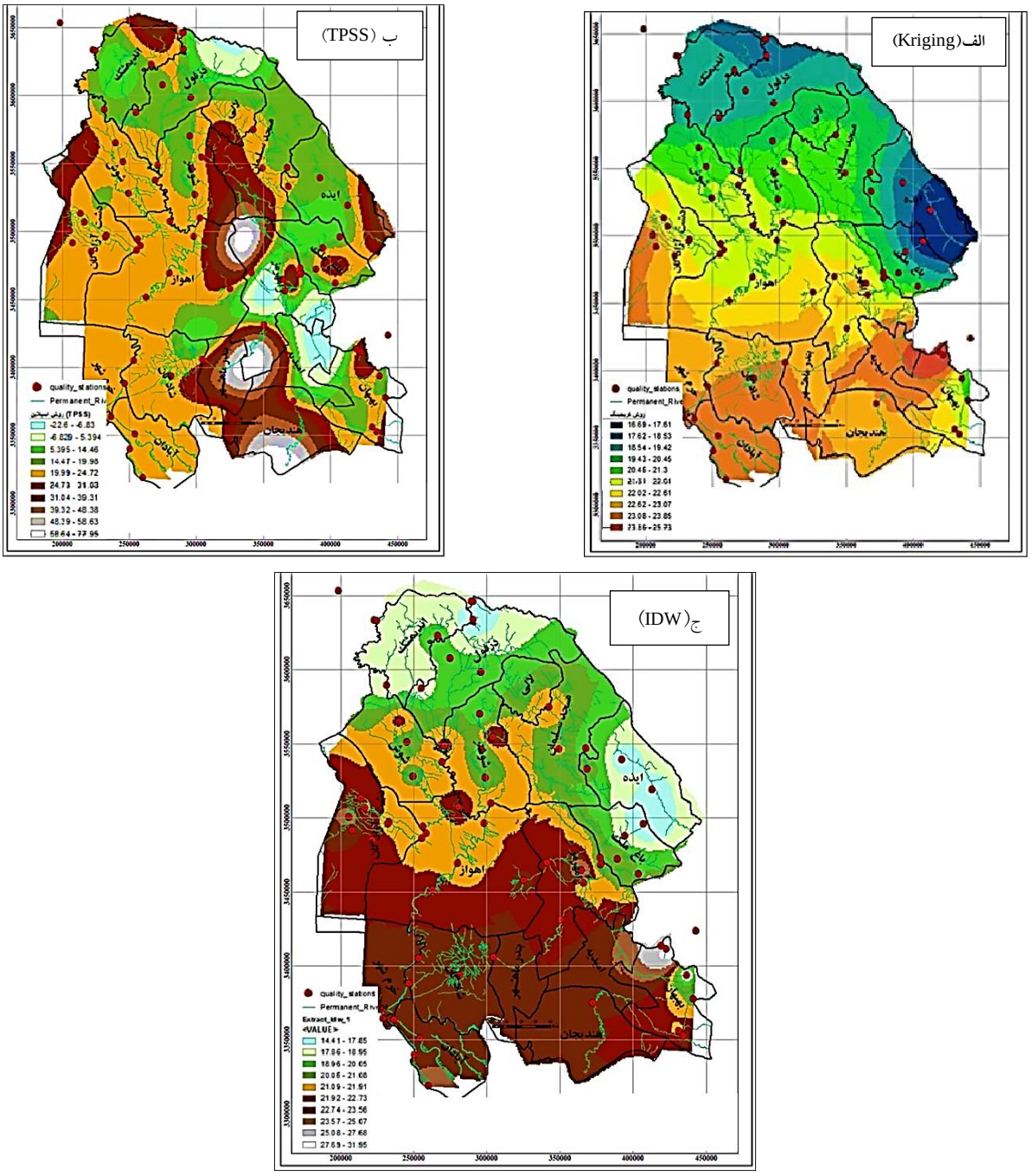
type	IRWQIsc	نام ایستگاه	کد ایستگاه	type	IRWQIsc	نام ایستگاه	کد ایستگاه
متوسط	٤٧	تالاب شادگان نیروگاه گازی	٢١-٧٦٧	متوسط	٥٨	گلال کوپیته	٢١-٦٧٣
نسبتاً بد	٣٩	چم کنار	٢١-٧٦٨	نسبتاً بد	٤٣	حاشیه تالاب بامدژ	٢١-٦٧٤
بد	٢٩	رستم آباد	٢١-٧٦٩	نسبتاً بد	٤٠	زهکش طبیعی تالاب بامدژ	٢١-٦٧٥
نسبتاً بد	٣٦	مارون قبل از تلاقی اعلا	٢١-٧٨٠	نسبتاً بد	٤١	تالاب بامدژ کعب عمیر	٢١-٦٧٧
نسبتاً بد	٣٩	پل سابله ام -٩	٢١-٨٢٦	متوسط	٥٢	سد تنظیمی کرخه اندیمشک	٢١-٦٧٨
نسبتاً بد	٣٨	هویزه	٢١-٩٤٠	متوسط	٤٨	پل شهید ناجیان	٢١-٦٧٩
نسبتاً بد	٤٣	ماشین	٢٢-٠١١	نسبتاً بد	٤٢	ابوالفارس	٢١-٦٨١
نسبتاً بد	39	جوکنک	٢٢-٠١٣	بد	٢٩	پل ۷۲۰ متری سویره	٢١-٦٨٢

انتخاب روش میانیابی

روش مورد استفاده برای پژوهش حاضر با توجه به اینکه به توزیع مکانی پارامترهای کیفیت- آلودگی می‌پردازد، باید روشی باشد که حتی‌الامکان از اثرات نقاط دوردست برای نرم کردن داده‌ها بین دو نقطه تأثیر نپذیرد یا کمتر تأثیر بپذیرد. نکته مهم دیگر این است که با توجه به هندسه یا فضای مورد توجه که رودخانه است با جریان از بالا به پایین، انتظار می‌رود که هر نقطه (ایستگاه) بیشتر با نزدیکترین نقاط بالادست و پایین دست خود در ارتباط باشد و لزوماً نیازی به ایستگاه‌های دیگر برای تعیین توزیع مکانی مابین دو ایستگاه وجود ندارد و بالاخره با توجه به کوچک بودن محدوده پذیرش یا رد پارامترهای کیفیت و آلودگی، روشی ارجح می‌باشد که حتی‌الامکان مقادیر مشاهده شده و ثبت شده در هر ایستگاه را تا حد ممکن حفظ نموده و از نرم کردن داده‌ها (برازش صفحه بر مجموعه داده ها با توجه به شعاع همسایگی منتخب) خودداری نماید. با توجه به مطالب گفته شده انتظار می‌رود که برازش صفحه بر مجموعه داده‌ها، حتی منجر به اعداد غیر قابل قبول از نظر فیزیکی و شیمیایی بشود. به منظور بررسی بیشتر، با استفاده از کلیه داده‌های مربوط به

همه ایستگاه‌های کیفیت- آلودگی، اقدام به توزیع مکانی (پهنه‌بندی) شد. پارامتر منتخب برای ارائه، پارامتر درجه حرارت می‌باشد که دارای تغییرات زیادی در سطح استان می‌باشد. شکل‌های ۵- الف ، ب و ج به‌ترتیب پهنه‌بندی پارامتر حرارت را با روش‌های کریجینگ، اسپیلاین (TPSS) و IDW با تنشن ۲ (ضریب وزنی برای نرم کردن داده‌ها) نشان می‌دهند. شایان ذکر است که در تولید نقشه‌های توزیع مکانی، از بافر محدوده کیفی رودخانه‌ها که به‌طور معمول ۱۵۰متر می‌باشد استفاده نشده است و برای خوانایی نقشه و با تمرکز بر کاربرد این مطالعه کیفی زون‌های کیفی در محدوده شهرستان‌های استان گسترش داده شده‌اند.

همانطوری که در شکل ملاحظه می‌شود، روش TPSS با درون‌یابی و برون‌یابی، ارقامی منفی برای حرارت متوسط سالانه گزارش نموده است که به هیچ‌وجه در منطقه دیده نشده و گزارش نیز نشده است. از میان دو روش کریجینگ و IDW که نسبتا نتایجی قابل‌قبول و در برخی نقاط نزدیک به هم بدست داده‌اند، روش IDW از نرمش کمتری برخوردار بوده و نتایج ثبت شده در ایستگاه‌ها را بهتر حفظ نموده است. تنشن و به عبارتی توان مورد استفاده برای فاصله در IDW نیز با همان استدلالهای به عمل آمده، کمترین مقدار ممکن در نظر گرفته شد؛ هر چند که اعمال تنشن‌های بالاتر (توان وزن دهی در معادله ۵) تفاوت محسوسی ایجاد نکردند. به‌منظور ارزیابی صحت عملکرد روش کریجینگ ارزیابی متقاطع (Cross Validation) روی لایه تولید شده صورت گرفت. برای انجام این مهم لازم بود که مجدداً تحلیل روی پارامتر حرارت متوسط، به‌عمل آمده و این بار به‌جای لایه‌های رستری، لایه‌های ژئواستاتیستیکی تهیه شود.



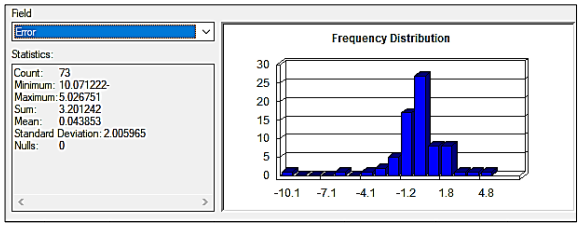
شکل ۵- توزیع مکانی پارامتر حرارت با استفاده از روش‌های کریجینگ، TPSS و IDW

در شکل ٦ خلاصه تحلیل آماری مربوط به خطاها برای روش صفحه‌پرداز کریجینگ نشان داده شده است. این فیلد ماحصل تفاضل مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی‌شده توسط روش مورد نظر است. میانگین خطاها و انحراف از معیار روش کریجینگ بسیار کم و قابل‌قبول می‌باشد؛ اما دو نکته در نمودار، معرف خلاصه اطلاعات آماری قابل توجه است.

یکی نرمال نبودن باقی‌مانده ها و چوله به چپ بودن هیستوگرام فراوانی باقیمانده‌ها که با اصول مورد استفاده برای این روش زمین آماری تناقض داشته و دیگر آنکه روش کریجینگ به‌دلیل همین چوله به چپ بودن هیستوگرام باقیمانده‌ها، اکثر نقاط را کم برآورد[1] نموده است. چنین

[1] Under estimation

مواردی بخاطر اینکه در روش IDW داده‌های پایه حفظ می‌شوند، دیده نمی‌شود. بر این اساس کلیه نقشه های کیفیت و آلودگی طرح حاضر با استفاده از روش IDW با تنشن ۲ و درمحیط ArcGis و با استفاده از اکستنش‌های موجود در همین سیستم اطلاعات جغرافیایی تولید، بریده شده و بافر زده شدند.



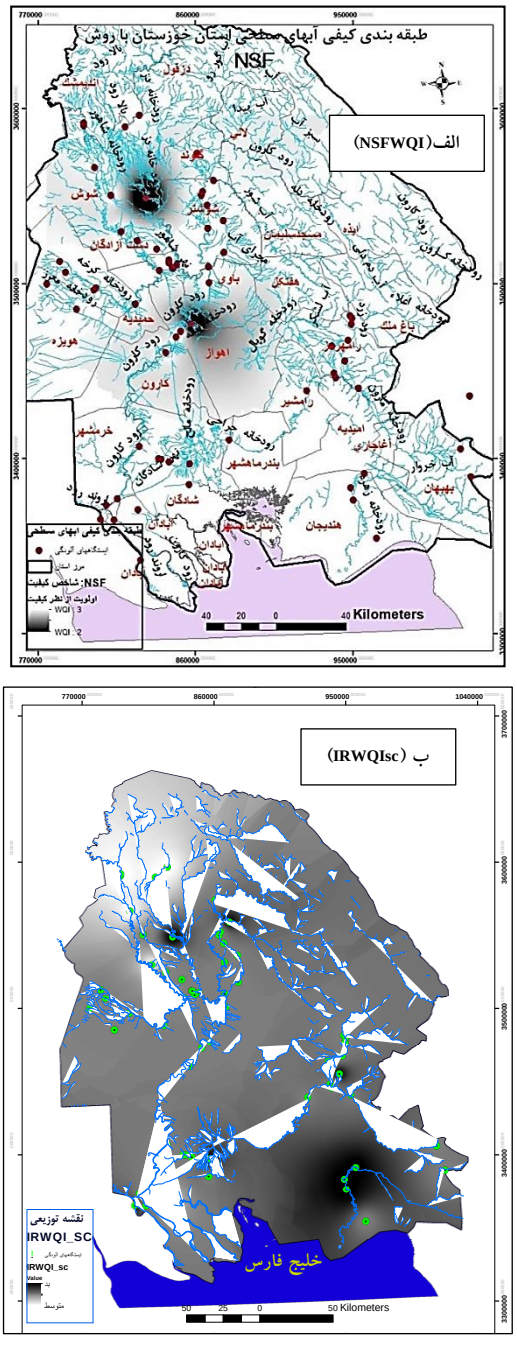
شکل ٦- ارزیابی تقاطعی باقیمانده‌های روش کریجینگ

توزیع مکانی شاخص‌ها

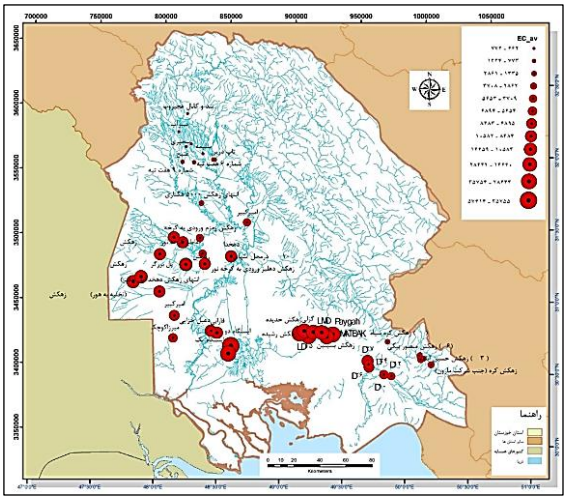
به منظور نمایش تغییرات مکانی آلودگی در طول رودخانه‌های استان، شکل ۷ تهیه شده است. در شکل ۷-الف توزیع مکانی شاخص NSFWQI و در شکل ۷-ب توزیع مکانی شاخص IRWQIsc نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در حالیکه قسمت اعظم منابع آبی استان از نظر شاخص NSFWQI در طبقه متوسط قرار دارند، از نظر شاخص IRWQIsc در کلاس متوسط تا نسبتاً بد قرار می‌گیرند.

تفاوت آشکار میان دو روش NSFWQI و IRWQIsc در ارزیابی کیفیت رودخانه‌های استان، در رودخانه زهره و دو نقطه دیگر بر روی رودخانه‌های الله و جراحی در اطراف تالاب شادگان قابل مشاهده می‌باشد. جستجو در مبانی دو روش علت این اختلاف را آشکار می‌سازد. به نظر می‌رسد علت اصلی این اختلاف یعنی عدم شناسایی مناطق فوق در روش NSFWQI، عدم احتساب EC در روش مذکور به‌عنوان پارامتر آلودگی بوده که در نقاط یاد شده از ارقام بالایی برخوردار است. برای تدقیق این استدلال، زهکش‌های شبکه‌های آبیاری و زهکشی موجود در منطقه شناسایی شده و میزان EC زه‌آب آنها تهیه شد.

شکل ۸ محل تخلیه زه‌آب و میزان EC زه‌آب تخلیه شده را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود بیشترین میزان تخلیه شوری به رودخانه‌ها در همان نواحی قرار دارد که در شکل ۷-ب برای روش IRWQIsc بد قلمداد شده و برعکس در شکل ۷-الف برای روش NSFWQI بدون مشکل تفسیر شده‌اند.



شکل ۷- نقشه تغییرات کیفیت رودخانه های استان خوزستان با استفاده از روش‌های NSFWQI و IRWQIsc

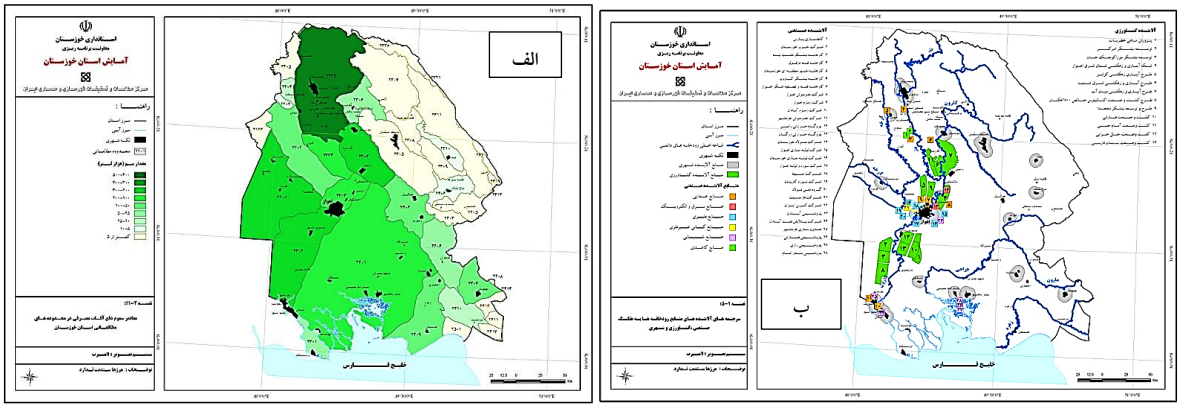


شکل ۸- موقعیت زهکش‌ها و میزان EC در زه‌آب

برای راستی‌آزمایی نتایج حاصل از دو شاخص کیفی از اطلاعات تهیه شده در آمایش سرزمین استان خوزستان در مورد محل صنایع آلاینده استان و همچنین میزان مصرف سموم در سطح استان خوزستان استفاده به عمل آمد (بی‌نام، ۱۳۹۱). در شکل (۹- الف) موقعیت صنایع آلاینده‌ای که آلودگی خود را به‌صورت پساب به رودخانه‌ها تخلیه می‌نمایند، ملاحظه می‌شود. محل تخلیه آلودگی همان نقاطی هستند که هر دو شاخص به عنوان نقاط مشکل‌دار شناسایی نموده‌اند. در شکل ۹-ب نیز حجم سموم مصرفی در منطقه، ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین مصرف در حوضه کارون بزرگ است که در نهایت از طریق پساب کشاورزی به رودخانه کارون وارد می‌شود. بدین ترتیب از مقایسه دو شکل ۵ و ۹ مشخص است که مقدار شاخص NSFWQI برای شناسایی کانون آلودگی حوالی شهر اهواز، به درستی معنی‌دار شده است، هر چند که شاخص IRWQIsc نیز این منطقه و مناطق مجاور آن را در دسته مناطق مشکل‌دار قرار داده است.

بحث و نتیجه‌گیری

براساس مطالعه انجام شده در بکارگیری دو شاخص ارزیابی کیفیت آب یعنی شاخص‌های NSFWQI و IRWQIsc، برای رودخانه‌های واقع در حوضه‌های آبریز پنجگانه استان خوزستان مشخص شد که هر دو شاخص از توانایی مناسبی برای تعیین وضعیت کیفی آبهای سطحی برخوردار می‌باشند. در حالیکه روش NSFWQI به‌جز محل تقاطع کارون و دز و حوالی اهواز که محل تجمع منابع آلوده‌کننده به علت تخلیه پساب صنایع، تخلیه زه‌آب کشت و صنعت هفت‌تپه و بسیاری از مزارع پرورش ماهی می‌باشند، بقیه رودخانه‌های استان را در شرایط متوسط ارزیابی نمود، شاخص IRWQIsc علاوه بر نقاط مزبور، رودخانه‌های زهره و هندیجان و جراحی در مجاورت تالاب شادگان را نیز نامناسب و بطور کلی آبهای سطحی استان را در وضعیت متوسط تا بد شناسایی نمود. این نتیجه منطبق بر نتایجی است که علی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقات خود بر روی رودخانه‌های کن و کرج بدان دست یافته‌اند و مخالف نتایجی است که



شکل ۹- الف – موقعیت نقاط آلوده‌کننده ب- مقدار سموم مصرفی در پهنه استان خوزستان (به نقل از مطالعات آمایش سرزمین استان خوزستان)

شکوهی و مدبری (۱۳۹۷) بر روی رودخانه پسیخان و صادقی و همکاران (۱۳۹٤) بر روی رودخانه زرین‌گل در استان گلستان بدست آوردند. در بررسی علت تفاوت شاخص در ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های استان خوزستان، این نتیجه حاصل شد که به دلیل وجود پارامتر EC در شاخص IRWQIsc، در نقاطی که شوری آب بالا باشد، شاخص مذکور به سمت هشدار و اعلام وضعیت نامناسب تا بد از نظر کیفیت سوق پیدا می‌کند. مطابق تحقیقات شکوهی و مدبری (۱۳۹۷) حساسیت مدل $IRWQI_{SC}$ به DO کمتر از شاخصNSFWQI بوده و در مقابل حساسیت شاخص NSFWQI به غلظت فسفات و نیتروژن کمتر از شاخص IRWQIsc می‌باشد. با توجه به اینکه شاخص NSFWQI فقط به شرایط بد کیفیت در محل تلاقی رودخانه‌های دز و کارون که محل تجمع و ریزش زه‌آب کشت و صنعت‌های متعددی می‌باشد، واکنش نشان داده است، می‌توان مدعای این دو محقق را مورد تأیید قرار داد.

مقاله حاضر به ارائه نتایج تحقیقی اختصاص یافته است که برای اولین بار به ارزیابی مقایسه‌ای نتایج حاصل از بکارگیری شاخص ایرانی IRWQIsc با یکی از پرکاربردترین شاخص‌های کیفیت آب در سطح بین الملل یعنی NSFWQI در گستره‌ای وسیع از رودخانه‌های استان خوزستان با طیفی از انواع مسائل کیفی از شوری تا آلودگی‌های صنعتی، خانگی و کشاورزی پرداخته است. در نتیجه‌گیری نهایی از این تحقیق می‌توان گفت که شاخص NSFWQI در ارزیابی عمومی کیفیت مناطق ۵ گانه و شناسایی کانون‌های آلودگی موفق‌تر از IRWQIsc عمل کرده است. در مقابل با توجه به آنکه در ساختار شاخص IRWQIsc از پارامتر هدایت الکتریکی آب استفاده شده است می‌توان گفت که نتایج حاصل از این شاخص برای رودخانه‌های شور که دارای انواع دیگر آلودگی می‌باشند تنها گزینه قابل استفاده می‌باشد و در این رودخانه‌ها استفاده از آن توصیه می‌شود.

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق و ملاحظه نقاط قوت و ضعف شاخص IRWQIsc، توصیه می‌شود که برای اصلاح شاخص مزبور و افزودن مزیت یاد شده برای شاخص NSFWQI به آن، در ساختار شاخص از وزن هدایت الکتریکی کاسته شده و به همان نسبت به وزن اکسیژن محلول اضافه شود.

منابع مورد استفاده

آقایی، م.، حشمت‌پور، ع.، قره محمودلو، م. و سیدیان، س.م. ۱۳۹۹. بررسی کیفیت آب رودخانه چهل‌چای با استفاده از شاخص IRWQIsc. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۵): ۱۵۵-۱٦٦.

امین پور شیانی، س.، محمدی، م.، خالدیان، م و میرروشندل، الف. ۱۳۹۵. ارزیابی رودخانه گازرودبار با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI و شاخص آلودگی Liou. مجله اکوبیولوژی تالاب، ۸ (۱): ٦۳-۷٤.

بی‌نام. راهنمای محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست. ٤۲ صفحه (استانداردها/https://wsm.doe.ir/portal/home/?141560 آخرین دسترسی ۱۳۹۹).

بی‌نام. ۱۳۹۱. آمایش استان خوزستان، جلد نهم، بررسی‌های زیست محیطی استان خوزستان. مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، ۲۵۸ صفحه.

پرستار، س.، پورعشق، ب.، رضایی، م.، درگاهی، ع.، پورعشق، ی. و وثوقی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی کیفی آب رودخانه هیروچایی خلخال بر اساس شاخص‌های کیفی NSFWQI و WILCOX. مجله سلامت و بهداشت، ٤(۳): ۲۷۳-۲۸۳.

توکلی، ف.، محمدی روزبهانی، م. و سبحان اردکانی، س. ۱۳۹۷. بررسی کیفیت آب رودخانه با استفاده از شاخص‌های کیفی آب (مطالعه موردی رودخانه الیگودرز). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست .Doi: 10.22034/jest.2018.15282.2373.

خلیفه، س. و خوش‌نظر، ع. ۱۳۹۷. بررسی کیفیت رودخانه زرینه‌رود با استفاده از شاخص استاندارد کیفیت منابع آب سطحی ایران. نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳(۱): ۲۲-۳٤.

شکوهی، ع. مدبری، ه. ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه حساسیت مدل‌های NSFWQI و IRWQIsc نسبت به پارامترهای کیفیت آب. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ١٤ (٥): ١٠٩-١٢٤.

شکوهی، ر. حسین‌زاده، الف. روشنایی، ق. علیپور، م. حسین‌زاده، س. بررسی کیفیت سد آیدوغموش با استفاده از شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و بیلان مواد غذایی. مجله سلامت و محیط، ٤(٤): ٤٣٩-٤٥٠.

شریف دینی، ن.گ، امیرنژاد، ر. و صائب، ک. ۱۳۹۳. پهنه بندی کیفی آب رودخانه دوهزار تنکابن بر اساس شاخص NSFWQI با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ٢٤ (١١٩): ٢٩-٣٩.

کیا، ف.، قربانی، خ. و سالاری جزی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از WQI طی دو دهه در آبخوان استان گلستان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰ (۱): ۳۹-۵۱.

محسنی بندپی، الف.، مجلسی، م. و کاظم‌پور، علی. ۱۳۹۲. بررسی کیفیت رودخانه گل گل ایلام بر اساس شاخص کیفی آب NSFWQI. فصلنامه بهداشت در عرصه، ۱ (٤): ٤٥-٥٣.

نادری، م.ح.، پورغلام آمیجی، م.، خوش روش، م.، قجقی، الف. و عرب، ن. ۱۳۹۹. ارزیابی مقایسه‌ای مکانی – زمانی پارامترهای کیفی آب و سلامت رودخانه زیارت با استفاده از تحلیل آماری و شاخص کیفی NSFWQI. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (٦): ۱۳۵۳-۱۳۷۲.

صادقی، م.، بای، الف.، بای، ن.، سفلایی، ن.، مهدی‌نژاد، م.ه. و ملاح، ک. ۱۳۹٤. تعیین وضعیت کیفیت آب رودخانه زرین‌گل استان گلستان با کاربرد شاخص کیفی آب (NSFWQI) و شاخص کیفیت آبهای سطحی ایران (IRWQIsc). فصلنامه بهداشت در عرصه، ۳(۳): ۲۷-۳۳.

صمدی، ج. ۱۳۹۵. مدل‌سازی مکانی – زمانی خصوصیات کیفی و وضعیت تغذیه‌گرایی تالاب چغاخور با استفادهاز شاخص‌های آلودگی و تکنیک‌های قطعی و زمین‌آماری GIS. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۱): ۱۲۲-۱۳۲.

علی‌زاده، م.، میرزایی، ر. و کیا، س.ح. ۱۳۹٦. بررسی روند مکانی شاخص‌های کیفی آب در حوضه رودخانه‌های کن و کرج. مجله مهندسی بهداشت محیط، ٤ (۳): ۲٤۳-۲٥٦.

ظهرابی، ن. علیزاده، الف. حسونی‌زاده، ه و حسین‌زاده، س.م. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی رودخانه جراحی بر اساس شاخص NSFWQI و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله اکوبیولوژی تالاب،٦ (٤): ٣١-٤٠.

Brown RM, McLelland NJ, Deininger RA, Tozer RG. A Water Quality Index Do We Dare?. 1970. Water & Sewage Works, 339-343.

Łukaszyk S. 2004. A new concept of probability metric and its applications in the approximation of scattered data sets. Computational Mechanics, 33 (4): 299–304.

McBane C. 2006. Programs to Compute Distribution Functions and Critical Values for Extreme Value Ratios for Outlier Detection. Journal of Statistical Software. 16(3): 1-9.

Olea RA. 1999. Geostatistics for Engineers and Earth Scientists. Kluwer Academic.

Wahba G. 1990. Spline models for observational data, Philadelphia, PA, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).

ISSN 2251-7480

Comparative Evaluation of NSFWQI and IRWQISC Indicators in River Quality Assessment

Alireza Shokoohi[1*] and Omid Bahmani[2]

1*) Professor of Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
*Corresponding author email: shokoohi@eng.ikiu.acir
2) Head of Natural Resources of Jihad Tahghighat Ab&Energy Company, Tehran, Iran

Received: 08-12-2020 Accepted: 28-02-2021

Abstract

This study aimed to evaluate and compare the two water quality indicators NSFWQI and IRWQIsc on the rivers of the five basins of Khuzestan, namely Karun, Karkheh, Dez, Marun-Jarahi, and Zohreh-Hindijan using data recorded in the years of 1390 to 1396. This study shows the differences between the two methods as well as the validation of the water quality index developed in Iran. While according to the NSFWQI index, the rivers of the region are in average condition in terms of quality and there is no particular problem except for points on the Karun River, there is no particular problem; the IRWQIsc index evaluates the status of surface water quality in the province as moderate to poor. Examining the differences between the two indices, it was concluded that the use of the electrical conductivity parameter in the IRWQIsc index has led to the detection of bad areas in terms of quality. The NSFWQI index has been successful in identifying points of high pollution around Ahvaz, while the IRWQIsc index has been successful in identifying points of high salinity on the Zohreh and Jarahi rivers. In determining the spatial distribution of the indicators, three methods were used: spline, kriging, and inverse distance weighting method, which based on the evaluation of the results, the last one was selected.

Keywords: Surface water quality index, NSFWQI, IRWQIsc, Spatial distribution of index, Rivers of Khouzestan province.