فصلنامه علوم‌محیطی، دوره دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳

۱۰۳-۱۱٤

تعیین ویژگی و شاخص کیفیت آب رودخانهٔ کُر

وحیده شیخی[۱*]، فرید مُر[۲] و عطا شاکری[۳]

[۱]محقق پسادکتری زیست‌محیطی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز
[۲]استاد بخش علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز
[۳] استادیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۳

چکیده

رودخانه کُر مهم‌ترین رودخانهٔ دائمی استان فارس در جنوب غرب ایران می‌باشد. این رودخانهٔ نقشی کلیدی در عرضهٔ آب برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری در استان فارس ایفا می‌کند. در چند دههٔ اخیر توسعهٔ فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در اطراف این رودخانه موجب افزایش بار آلودگی آن شده است. این مقاله به بررسی کیفیت آب رودخانهٔ کُر و عمده‌ترین استفادهٔ آن، آبیاری، می‌پردازد. برای این منظور پنج پارامتر مؤثر کیفیت آب در آبیاری شامل؛ رسانایی الکتریکی (EC)، محتوای سدیم (Na) و کلر (Cl)، نسبت جذب سدیم (SAR)، بی‌کربنات (HCO_3) و غلظت هشت فلز سنگین؛ آرسنیک (As)، کادمیم (Cd)، کرُم (Cr)، مس (Cu)، مولیبدن (Mo)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و روی (Zn) در ۲۵ ایستگاه مختلف در طول رودخانهٔ کُر در اردیبهشت ۱۳۹۰ اندازه‌گیری و بررسی شد. تکنیک شاخص کیفیت آب (WQI) مقدار واحدی از چند پارامتر کیفیت آب در یک موقعیت و زمان مشخص را محاسبه می‌کند. هدف این تکنیک بیان مختصر و جامع تعداد زیاد پارامترهای کیفیت آب می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از پارامترهای کیفیت آب، شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI) در طول رودخانه محاسبه و روند تغییرات آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد وضعیت آلودگی در بخش‌هایی از رودخانهٔ کُر از دیدگاه زیست‌محیطی نگران‌کننده است و برای جلوگیری از فروکاهی بیشتر کیفیت رودخانهٔ کُر پایش پیوسته بر ورودی‌های مختلف رودخانهٔ کُر ضرورت دارد.

کلمات‌کلیدی: پارامتر کیفیت آب، شاخص کیفیت آب، آبیاری، رودخانهٔ کُر، ایران.

Characterization and Quality Index of Kor River Water

Vahideh Sheykhi,[1*] Farid Moore[2] & Atta Sakeri[3]
[1]Post Doc Researcher of Environmental Geology, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz
[2]Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz
[3]Assistant, Faculty of Sciences, Kharazmi University, Tehran

Abstract

The Kor River is a major riverine basin in the Fars Province, Southwest of Iran. This river supplies water for municipal, industry, and agricultural purposes, hence, it displays varying and different characteristics influenced by anthropogenic activities. An attempt has been made to evaluate Irrigation Water Quality Index (IWQI), by using five water quality parameters including electrical conductivity (EC), sodium (Na), chlorine (Cl), specific absorption rate (SAR), bicarbonate (HCO_3^-), and heavy metal concentration (As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, and Zn) which measured at 25 different stations along the Kor River on April, 2010. A water quality index technique provides a single number that expresses overall water quality at a certain station and time based on several water quality parameters. The objective of this index is to turn complex water quality data into information that is understandable and useable by public peopole. The results of this study provide information on water quality trends and developing better pollution control strategies for the Kor River.

Keywords: Water quality parameter, Water quality index, Irrigation, Kor River, Iran.

* Corresponding author. *E-mail Address*: vahideh_sheykhi@yahoo.com

۱- مقدمه

رودخانه، جریان طبیعی آب است که در نهایت به اقیانوس، دریاچه، یا دیگر توده‌های آب می‌پیوندد. اگرچه آب رودخانه‌ها تنها حدود ۰/۰۰۰۱ درصد از آبهای جهان را تشکیل می‌دهد [۱]. اما دربردارندهٔ حیات آب‌زی و مواد غذایی در نقاط مختلف زمین است. کیفیت آب رودخانه موضوع مهمی برای هر بوم‌سامانه است چراکه علاوه بر مصارف مختلف بشر از آن، بر حیات گیاهی و جانوران نیز تأثیر می‌گذارد. کیفیت آب رودخانه‌ها، موضوع بسیاری از طرحهای زیست‌محیطی می‌باشد و نشاندهندهٔ نگرانی جوامع از این مطلب است و پیوسته توسط گسترهٔ وسیعی از متخصصین شامل زمین‌شناسان زیست محیطی، آب‌شناسان، مهندسان و بوم‌شناسان مطالعه شده است. آبِ رودخانه‌ها معمولاً از راه بارش و رواناب سطحی، تخلیهٔ آب زیرسطحی و آزادشدن آب انبارشده در منابع طبیعی، مانند یخ‌سارها وارد رودخانه می‌شود. صرف‌نظر از این‌که رودخانه‌ها منبع گران‌بهایی برای صید ماهی هستند، به طور غیرمستقیم نیز با فراهم آوردن آب برای آبیاری، به کشاورزی کمک می‌کنند. این منابع ارزشمند توسط فرآیندهای طبیعی (هوازدگی و فرسایش خاک و سنگ، نفوذ آب شور) و هم‌چنین اثرهای انسان‌زاد (پساب‌های صنعتی، خانگی، شهری و کشاورزیِ تخلیه شده در آب رودخانه‌ها، استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها) دچار افت کیفیت شده و این امر بر کاربردهای مختلف آن‌ها شامل مصارف آشامیدنی، صنعتی، کشاورزی و تفریحی آسیب وارد می‌کند [۲].

رودخانه کُر از شریان‌های حیاتی دارای آب دائم در استان فارس است که از شمال غرب استان و از بلندی‌های رشته‌کوه زاگرس سرچشمه و به‌طرف جنوب شرق جریان می‌یابد. آب این رود؛ شیرین، پهنای آن ۴۰ متر و عمق ۶ تا ۱۰ متر است و نهایتاً به دریاچه بختگان می‌ریزد. طول رودخانه از سرچشمه تا دریاچه حدود ۲۸۰کیلومتر است. در سالهای اخیر گسترش صنایع مختلف در حاشیهٔ این رودخانه و تخلیه پساب این واحدهای صنعتی در رودخانه از یک سو و تخلیهٔ زهاب کشاورزی و هدایت فاضلاب خانگی شهرها و روستاهای مجاور رودخانه، از سوی دیگر، به افزایش بار آلودگی رودخانه منجر شده، که ضایعات آبزیان و تغییر کیفیت آب رودخانه را در پی داشته است. ادامهٔ این وضعیت در چند دههٔ اخیر به شور شدن خاک و کاهش حاصلخیزی و قدرت خاکهای زراعی گردیده و کاشت بعضی از محصولات در مناطقی که از آب رودخانه کُر برای آبیاری استفاده می‌کنند، محدود شده است. تردیدی نیست که ادامهٔ آلودگی این رودخانه عواقب زیست‌محیطی شدیدی را در پی خواهد داشت. لذا جای دارد که، عوامل آلاینده این رودخانه پیوسته بررسی و پایش گردند. اصطلاح "شاخص کیفیت آب" (WQI[1]) نخستین بار در دههٔ هفتاد توسط هورتن[2] به‌کار گرفته شد. بعد از هورتن، تعدادی پژوهش در سراسر جهان براساس WQI برای رده‌بندی پارامترهای مختلف آب توسعه یافتند. این روش ریاضیاتی مقدار واحدی از چند پارامتر اندازه-گیری شده را محاسبه می‌کند. هدف این روش بیان مختصر و جامع تعداد زیاد پارامترهای کیفیت آب در چارچوب اصطلاح‌های ساده و قابل درک (برای مثال خوب) و تعیین تأثیر ترکیبی آلاینده‌ها می‌باشد [۳]. هدف اصلی مطالعهٔ حاضر بررسی هیدروشیمی آب سطحی رودخانهٔ کُر در فصل تر با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی (pH، Eh، EC، Na، Cl، HCO_3، SAR) و غلظت فلزات‌سنگین (As، Cd، Cr، Cu، Mo، Ni، Pb، Zn) و تعیین کیفیت آب رودخانه با استفاده از شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI) می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند دید جامعی از چگونگی کیفیت آب در بخش‌های مختلف رودخانهٔ کُر فراهم سازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ناحیهٔ مورد بررسی

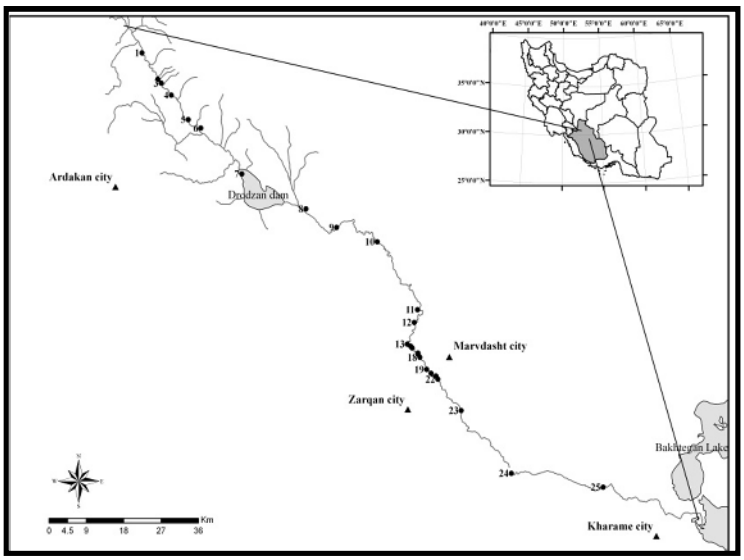
رودخانهٔ کُر بین ´۴۴ °۵۰ و ´۳۰ °۵۳ طول شرقی و ´۱۵ °۲۹ و ´۱۵ °۳۰ عرض شمالی در جنوب‌غرب ایران و در شمال‌شرق شهر شیراز در استان فارس قرار گرفته است. این رودخانه از شمال‌غرب استان و از بلندی‌های رشته‌کوه زاگرس سرچشمه گرفته و به‌طرف جنوب‌شرق جریان می‌یابد (شکل ۱). مساحت حوضه رودخانه ۱۰۸۰۰ کیلومتر مربع و متوسط بارندگی سالیانه حوضه حدود ۳۴۴ میلی‌متر است. شمال و شمال‌غرب حوضه از سرچشمه رودخانه تا محل سد درودزن منطقه‌ای کاملاً کوهستانی است، اما در بخش‌های جنوبی و جنوب شرق حوضه، از محل سد درودزن تا دریاچه بختگان دشت‌های هموار قرار

گرفته‌اند. جنوب‌شرقی حوضه دارای اقلیم بیابانی گرم، نواحی جنوبی و جنوب‌غرب و مرکزی دارای اقلیم معتدل، شمال شرق حوضه دارای اقلیم خشک سرد، شمال حوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد تا نیمه‌مرطوب سرد و نواحی شمال‌غرب و غرب حوضه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد. بیشتر واحدهای سنگ‌شناختی منطقه از سنگ آهک و دولومیت، همراه با مارن، ماسه‌سنگ و ژیپس تشکیل شده است. کاربری عمدهٔ حوضهٔ رودخانهٔ کُر، کشاورزی می‌باشد و محصول زراعی غالب شامل گندم، ذرت، برنج و جو می‌شود. منطقهٔ اطراف رودخانه کُر علاوه بر رشد کشاورزی از رشد صنعتی نسبتاً بالایی نیز برخوردار است. درحال حاضر مهم‌ترین پساب‌های صنعتی و فاضلابهای شهری که به طور مستقیم یا از طریق زهکش در رودخانه کُر تخلیه می‌گردند عبارتنداز: پساب‌های مجتمع صنعتی گوشت، کارخانه چرمینه، مجتمع پتروشیمی شیراز، کارخانه قند و شکر، کارخانه آزمایش، پالایشگاه شیراز، شهرک صنعتی آب باریک، کارخانه‌های موادشیمیایی، فاضلاب شهر مرودشت و فاضلاب شهر زرقان.

۲-۲- جمع‌آوری و تجزیهٔ نمونه‌ها

در ارزیابی‌های زیست‌محیطی، نمونه‌برداری بهینه و آماده‌سازی صحیح نمونه‌ها اساس ارزیابی را تشکیل می‌دهد. به منظور دستیابی به اهداف این مطالعه، نمونهٔ آب سطحی از ۲۵ نقطهٔ واقع در طول رودخانهٔ کُر در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰ برداشته شد. انتخاب ایستگاه‌ها براساس نتایج مطالعات و بررسیهای صحرایی منطقه، امکان نمونه‌برداری از آب سطحی، الگوی کاربری زمین و آلودگی بالقوهٔ مشاهده شده از پسماندها و پساب‌های شهری و صنعتی آن‌جام شد. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است.

برای نمونه‌برداری آب از ظروف پلی‌اتیلنی یک لیتری (برای آنیون‌های اصلی) و ۱۲۰ میلی‌لیتری تیره (برای کاتیون‌ها) استفاده شد. پیش از نمونه‌برداری، ظروف با استفاده از روش اسیدشویی استریل و پیش از برداشتن نمونه نیز سه بار با آب مورد نظر شستشو داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب مانند pH، Eh و EC در محل نمونه‌برداری و با استفاده از دستگاه قابل حمل PCD650 با دقت یک میکروزیمنس بر سانتی‌متر برای EC و با دقت ۰/۰۱ برای pH اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های آب بعد از جمع‌آوری تا زمان رسیدن به آزمایشگاه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بلافاصله پس از رسیدن به آزمایشگاه نمونه‌های آب، از فیلترهای ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد و برای تجزیه کاتیون‌ها، pH نمونه‌های مورد نظر با استفاده از اسیدنیتریک مِرک، به حدود ۲ رسانده شد [۴]. غلظت کاتیون‌های اصلی (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم) توسط



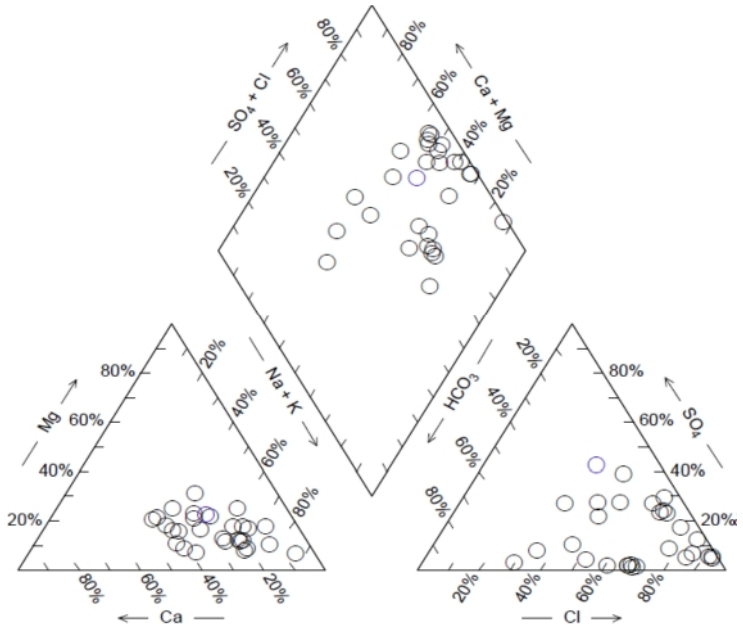
شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانهٔ کُر

دستگاه طیف سنجی جذب اتمی (Shimadzu AA680) تعیین شد. غلظت آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات توسط روش تیتراسیون به وسیلهٔ اسیدسولفوریک ۱/۴۰ نرمال و شناساگر متیل اورانژ اندازه‌گیری شد. غلظت کلر نیز با استفاده از روش تیتراسیون با نیترات نقره ۱/۴۰ نرمال و شناساگر بی‌کرومات پتاسیم تعیین شد. اندازه‌گیری غلظت فلزات‌سنگین (As، Cd، Cr، Cu، Mo، Ni، Pb و Zn)، به روش طیف سنجی جرمی پلاسمای جفتیدهٔ القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه معتبر آکمه کانادا انجام شد. صحت و دقت اندازه‌گیری‌ها توسط استانداردهای SPEX Certi Prep و نمونه‌های تکراری مناسب کنترل شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصات شیمیایی آب رودخانهٔ کُر

شناخت کیفیت آب سطحی عاملی مهم در تعیین مناسب بودن آن برای کاربردهای مختلف شهری، کشاورزی و صنعتی است. مهم‌ترین پارامترهای فیزیکوشیمیایی (pH، Eh، Na، Cl و HCO_3) و غلظت فلزات‌سنگین (As، Cd، Cr، Cu، Mo، Ni، Pb و Zn) آب سطحی رودخانهٔ کُر همراه با خلاصهٔ آماری توصیفی آن در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود میانگین غلظت تمام متغیرها با صدک ۵۰ام آن‌ها متفاوت و مقدار انحراف معیار اغلب متغیرها (به‌خصوص EC، Cl، Na، Cr، Mo، Ni و Zn) بالا می‌باشد که این امر دلیلی بر تغییرپذیری مکانی متغیرها در طول رودخانهٔ کُر در اثر فرآیندهای مختلف طبیعی و انسان‌زاد دارد [۵]. pH عامل مهمی در تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب است؛ چراکه بر شکل شیمیایی آلاینده‌ها، اثرات زیست‌محیطی بیشتر مواد شیمیایی موجود در آب، درجهٔ یونیزاسیون، تبخیر و هم‌چنین سمناکی مواد برای موجودات آب‌زی اثر می‌گذارد [۶]. گسترهٔ pH در آب سطحی رودخانهٔ کُر بین ۶/۰۱ (ایستگاه ۱۸) تا ۷/۶ (ایستگاه ۲۵) تغییر می‌کند که دلالت بر شرایط کمی اسیدی تا کمی قلیایی دارد. میانگین پتانسیل اکسایش-کاهش اندازه‌گیری شده در آب سطحی رودخانهٔ کُر ۱۷۴+ با گسترهٔ ۱۱۶/۷ (ایستگاه ۱۷) تا ۲۴۴/۶ میلی‌ولت (ایستگاه ۷) می‌باشد که دلالت بر محیط هیدروشیمیایی اکسنده دارد. تحول آب شیمیایی آب‌های سطحی و زیرسطحی، با پلات‌کردن کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در نمودار سه خطی پایپر مشخص می‌شود. تجزیهٔ شیمیایی آب از رودخانهٔ کُر و پلات آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار AqQA در نمودار پایپر، نشان می‌دهد که سدیم و کلر، کاتیون و آنیون غالب آب رودخانه می‌باشند و رخسارهٔ غالب آب رودخانه NaKCl است (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار پایپر نمونه های آب سطحی رودخانهٔ کُر

۳-۲- کیفیت آب رودخانه براساس فلزات‌سنگین

الگوی توزیع میانگین غلظت فلزات‌سنگین در آب رودخانه روند کاهشی Zn>Cr>Mo>Ni>Cu>As>Pb>Cd را نشان می‌دهد (جدول ۱). در آب رودخانهٔ کُر عناصر روی، کرُم و مولیبدن غالبترین فلزات را تشکیل می‌دهند. نیکل، مس، آرسنیک، سرب و کادمیم در غلظت‌های کم‌تر در آب رودخانه حضور دارند.

کیفیت آب رودخانه از نظر غلظت فلزات‌سنگین اندازه‌گیری شده (آرسنیک، کرُم، مس، کادمیم، مولیبدن، نیکل و روی) ارزیابی و با غلظت رایج فلزات در رودخانه‌های جهان [۷] و استانداردهای آب آشامیدنی [۸] و آب آبیاری [۹] مقایسه شد. همان‌گونه که در جدول ۱ و شکل ۳ ملاحظه می‌شود گستره و میانگین غلظت عناصر آرسنیک و سرب در گسترهٔ غلظت عناصر در سامانه‌های رودخانه‌های می‌باشند. درهرحال، غلظت کرُم در آب رودخانهٔ کُر از ۱ تا ۲۶۸ میکروگرم درلیتر (ایستگاه ۱۶) با میانگین ۲۴ میکروگرم در لیتر، بالاتر از گسترهٔ رایج کرُم در سامانه‌های رودخانه‌های می‌باشد (جدول ۱ و شکل۳). غلظت‌های بالای کرُم مشاهده شده در بخش‌های میانی رودخانه (شکل ۳) را می‌توان با پسابهای خروجی پتروشیمی، چرم‌سازی و آب‌کاری که از این واحدهای صنعتی وارد رودخانه می‌شود مرتبط دانست. میانگین غلظت مس در آب رودخانه کُر ۲/۴ میکروگرم در لیتر، با گسترهٔ ۰/۰۵ تا ۵/۸ میکروگرم در لیتر (ایستگاه ۲۵) تغییر می‌کند. گسترهٔ رایج مس در آب رودخانه ۰/۲۷ تا ۳/۵۳ میکروگرم در لیتر می‌باشد. غلظت‌های بالای مس در برخی ایستگاه‌ها احتمالاً از دفع پسماند در حاشیهٔ رودخانه، پساب شهری و زهاب کشاورزی ناشی می‌شود [۱۰]. غلظت مولیبدن در آب رودخانهٔ کُر از ۰/۶ تا ۸۱/۱ میکروگرم در لیتر (ایستگاه ۱۱)، بالاتر از گسترهٔ رایج مولیبدن در آب رودخانهٔ است (جدول ۱ و شکل ۳). غلظت بالای مولیبدن در بخش میانی رودخانه احتمالاً با پساب خروجی از واحدهای مختلف صنعتی (پرورش ماهی، مجتمع صنعتی گوشت و پتروشیمی) در ارتباط می‌باشد. میانگین غلظت نیکل در رودخانهٔ کُر، ۶/۴ میکروگرم در لیتر با گسترهٔ ۱/۱ (ایستگاه ۸) تا ۲۴/۱ میکروگرم در لیتر (ایستگاه ۱۶) تغییر می‌کند (جدول ۱ و شکل ۳). گسترهٔ رایج نیکل در آب رودخانه ۰/۱۵تا ۱۰/۳۹ میکروگرم در لیتر می‌باشد. ایستگاه‌های ۱۶، ۱۸ و ۲۵ غلظت‌های بالای نیکل را ثبت کرده‌اند (شکل ۳)، که می‌تواند نتیجهٔ تخلیهٔ پساب‌های

جدول ۱- خلاصهٔ آماری پارامترهای مختلف آب رودخانهٔ کُر

Parameter	C	B	A	Percentiles			S.D	Max	Min	Mean
				۷۵	۵۰	۲۵				
Eh	-	-	-	۱۴۲/۱	۱۷۹/۸	۱۴۲/۱	۳۷/۰۷	۲۴۴/۶	۱۱۶/۷	۱۷۳/۷۱
pH	۷-۸/۵	۶/۵-۸/۴	-	۶/۲	۶/۳	۶/۲	۰/۳۶	۷/۶	۶/۰۱	۶/۳۸
SAR	-	۶	-	۴/۶	۶/۳	۴/۶	۹/۶۵	۴۹/۷۶۷	۱/۵۶۷	۹/۱۸
EC	۷۵۰	۱۵۰۰	-	۱۱۸۸/۵	۳۲۲۷	۱۱۸۸/۵	۵۱۵۶/۷۲	۲۱۵۱۰	۶۵۲/۲	۴۸۲۱/۷۱
Cl	۲۰۰	۲۵۰	-	۲۷۴/۵	۴۴۳	۲۷۴/۵	۱۶۹۴/۴۹	۷۱۶۱	۷۶	۱۲۷۴/۴۰
Na+	-	۱۴۰	-	۱۷۰/۲	۴۵۹/۱	۱۷۰/۲	۹۳۰/۰۶	۴۲۴۴/۴	۵۴/۰۵	۷۰۵/۰۷
HCO_3	۳۰۰	۳۰۰	-	۲۱۳/۶	۲۷۴/۶	۲۱۳/۶	۱۴۱/۹۲	۶۴۰/۷۱	۱۰۹/۸۴	۳۰۱/۶۸
As	۱۰	۱۰۰	۰/۱۱-۹/۴	۰/۵	۱/۳	۰/۵	۰/۷۸	۲/۶	۰/۲۵	۱/۲۹
Cd	۳	۱۰	۰/۰۳-۰/۰۵	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۰۲۵	۰/۰۴
Cr	۵۰	۱۰۰	۰/۳-۲/۱	۲	۵	۲	۶۰/۳۵	۲۶۸	۱	۲۴/۳۶
Cu	۲۰۰۰	۲۰۰	۰/۲۷-۳/۵۳	۰/۵	۲/۶	۰/۵	۱/۸۱	۵/۸	۰/۰۵	۲/۴۴
Mo	۷۰	۱۰	۰/۰۴-۱/۳	۱/۴	۱۰/۴	۱/۴	۲۳/۸۴	۸۱/۶	۰/۶	۲۰/۵۵
Ni	۷۰	۲۰۰	۰/۱۵-۱۰/۳۹	۱/۷	۳/۷	۱/۷	۶/۲۱	۲۴/۱	۱/۱	۶/۴۱
Pb	۱۰	۵۰۰۰	۰/۰۴-۳/۸	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۳۹	۱/۹	۰/۳	۰/۸۱
Zn	۵۰۰۰	۲۰۰۰	۳/۳-۱۰/۳	۲۱/۸	۲۸/۱	۲۱/۸	۴۹/۴۴	۲۶۹/۴	۷/۲	۴۰/۰۷

A: غلظت عناصر جزئی در رودخانه‌های جهانی [۷]

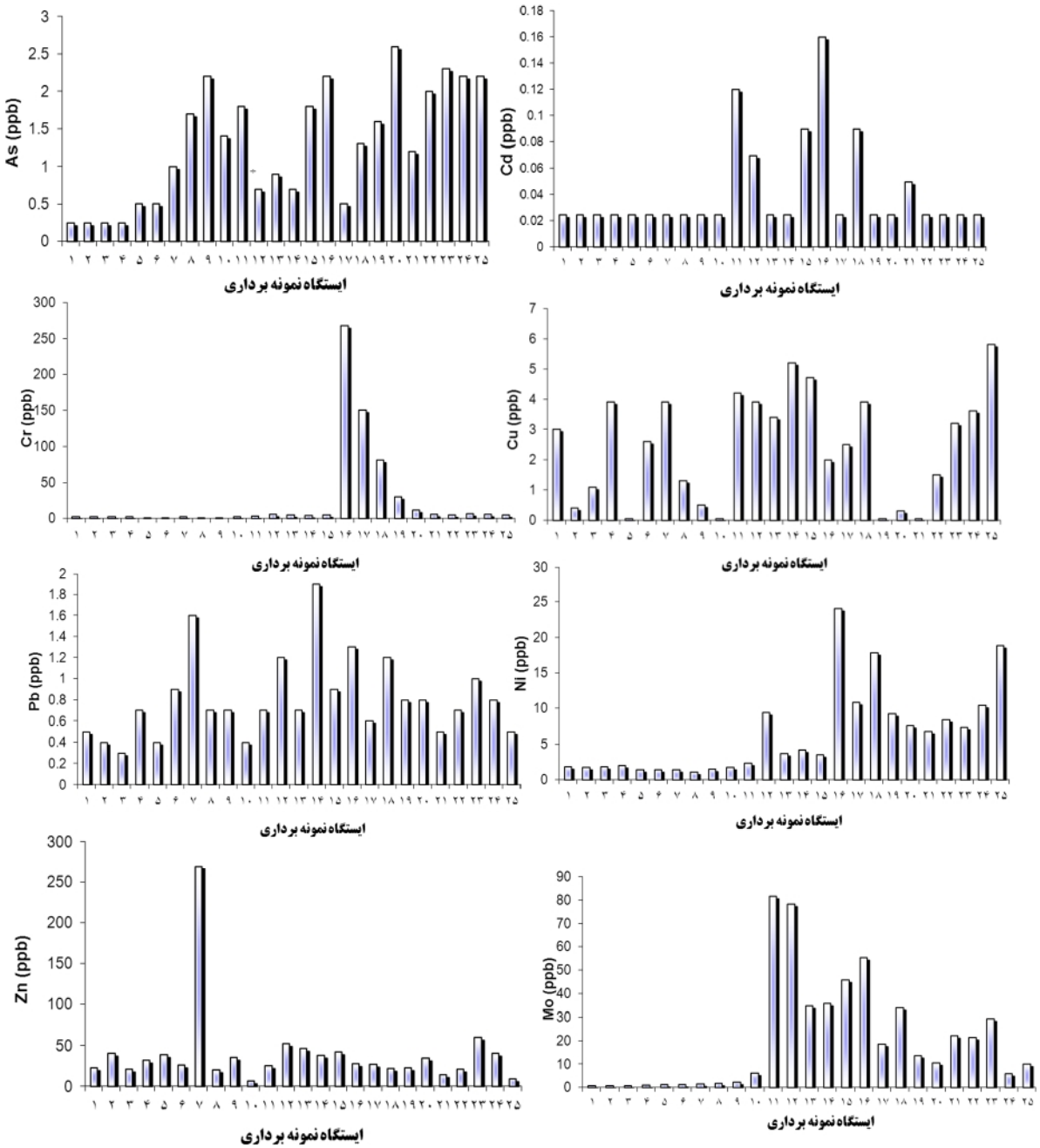
B: دستورالعمل کیفیت آب برای آبیاری [۹]

C: غلظت پارامترها براساس دستورالعمل سازمان جهانی بهداشت [۸]

(واحد Cl، Na، HCO_3: میلی‌گرم در لیتر واحد EC: میکروزیمنس در سانتی‌متر، Eh: میلی‌ولت، pH: بدون واحد، فلزات‌سنگین: میکروگرم در لیتر)

صنعتی (ایستگاه‌های ۱۶ و ۱۸) و پساب شهری (ایستگاه ۲۵) به درون رودخانهٔ کُر باشد. میانگین غلظت روی در ناحیهٔ مورد بررسی ۴۰ میکروگرم در لیتر، با گسترهٔ ۷/۲ (ایستگاه ۱۰) تا ۲۶۹/۴ میکروگرم در لیتر (ایستگاه ۷) می‌باشد (جدول ۱). غلظت رایج روی در آب رودخانه ۳/۳ تا ۱۰/۳ میکروگرم در لیتر است. میانگین غلظت کادمیم در آب رودخانهٔ کُر ۰/۰۴ میکروگرم در لیتر با گسترهٔ ۰/۰۲۵ تا ۰/۱۶ میکروگرم در لیتر (ایستگاه ۱۶) می‌باشد.

غلظت رایج کادمیم در آب رودخانه ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ میکروگرم در لیتر می‌باشد. از آن‌جاکه کادمیم و روی به‌صورت ناخالصی در اجزای تشکیل‌دهندهٔ کودشیمیایی، حیوانی و آفت‌کش‌ها است [۱۱]، پساب شهری و صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی حاشیهٔ رودخانهٔ کُر احتمالاً در غلظت‌های مشاهده شدهٔ این عناصر نقش داشته است.



شکل ۳- توزیع عناصر آرسنیک، کادمیم، کرُم، مس، مولیبدن، نیکل، سرب و روی در نقاط مختلف آب سطحی رودخانهٔ کُر

غلظت فلزات‌سنگین نمونه‌برداری شده از آب رودخانهٔ کُر نسبت به استاندارد آب آشامیدن [۸] و آب آبیاری [۹] نیز مقایسه شدند. به جزء دو عنصر کرُم و مولیبدن بقیهٔ عناصر در مقدار مجاز استانداردهای آب آشامیدن و آبیاری قرار داشتند. کرُم در ایستگاه‌های ۱۶، ۱۷، ۱۸ و مولیبدن در ایستگاه‌های ۱۱ و ۱۲ غلظت‌های بالاتری نسبت به استاندارد آب آشامیدنی نشان دادند. هم‌چنین، کرُم در ایستگاه‌های ۱۶، ۱۷ و مولیبدن در ایستگاه‌های ۱۱ و ۲۵ غلظت‌های بالاتری نسبت به استاندارد آب آبیاری آشکار ساختند.

۳-۳- بررسی کیفیت آب رودخانه برای آبیاری

کیفیت آب آبیاری بسته به نوع و مقدار نمک‌های حل‌شده در آن، بسیار متغیر است. این نمک‌ها از منابع مختلف زمین‌زاد (هوازدگی سنگ و خاک وغیره) و انسان‌زاد (تخلیهٔ پساب شهری و صنعتی، دفع پسماندها وغیره) ناشی می‌شود. از آن‌جاکه بخش مهمی از آب رودخانهٔ کُر برای آبیاری استفاده می‌شود، در این بخش به بررسی کیفیت آب آبیاری این رودخانه پرداخته می‌شود. مسائل مربوط به کیفیت آب آبیاری در نوع و شدت به عنوان تابعی از شماری عوامل شامل نوع خاک، نوع محصولات زراعی، اقلیم ناحیه و هم‌چنین کشاورزی که از آب استفاده می‌کند، متفاوت می‌باشد. با این وجود، اکنون درک مشترکی وجود دارد که این مسائل می‌توانند به گروه‌ای اصلی زیر رده‌بندی شوند: ۱) خطر شوری[۳]، ۲) سمناکی یون ویژه[۴]، ۳) خطر نفوذ[۵] و ۴) اثرات متفرقه[۶]. در زیر هر یک از این پارامترها در آب رودخانهٔ کُر بررسی می‌شود.

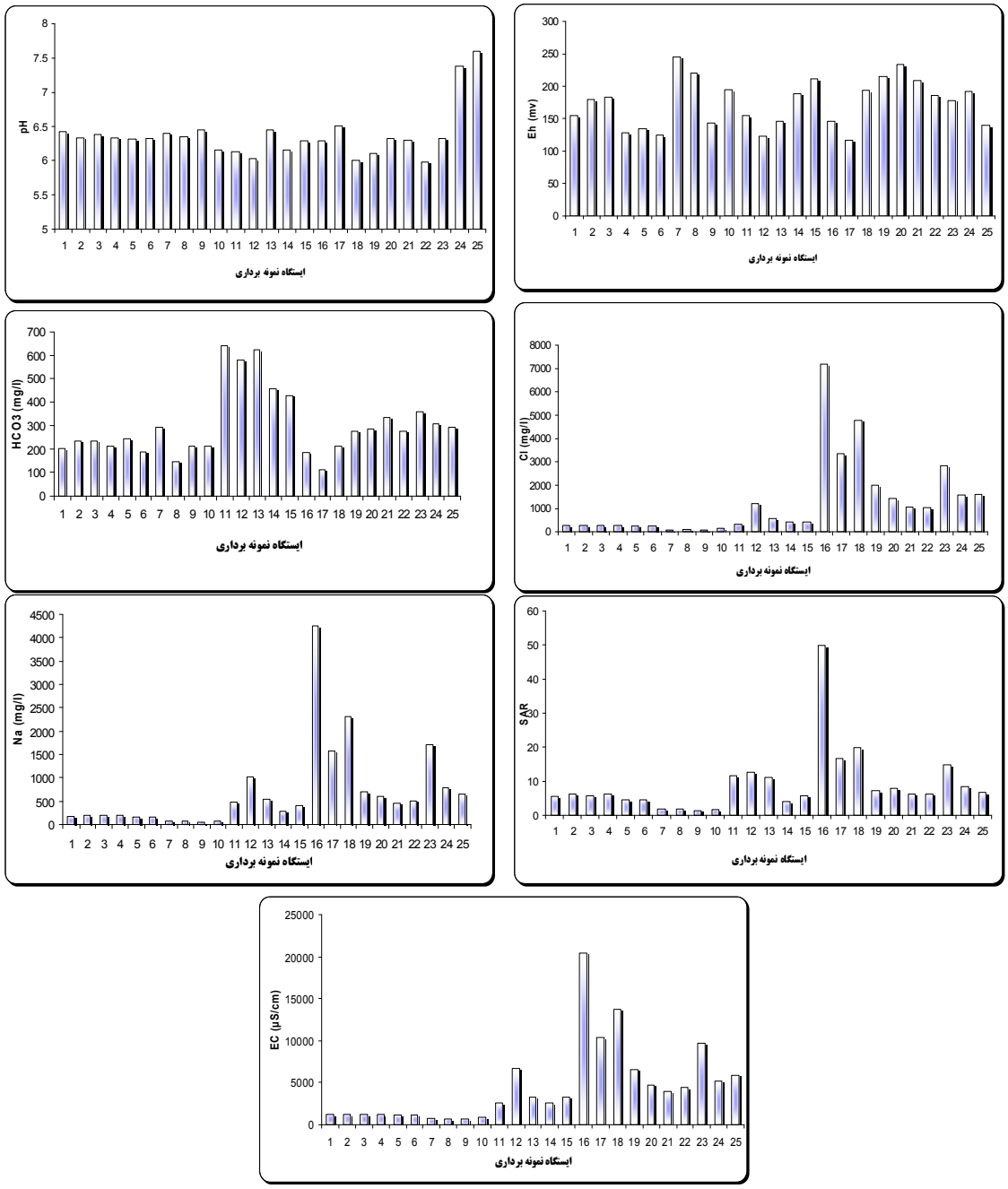
خطر شوری: مؤثرترین راه تعیین کیفیت آب آبیاری بر حاصل‌خیزی محصولات زراعی، براساس گسترهٔ خطر شوری را می‌توان از روی توانایی آب در هدایت جریان الکتریکی (EC) اندازه‌گیری کرد. معمولاً، مقدار دسترس‌پذیری آب به محصولات زراعی هنگامی‌که رسانایی الکتریکی بالا است، کم‌تر می‌شود. آب خالص رسانایی الکتریکی بسیار ناچیزی دارد، به‌طوری‌که می‌توان آن را عایق الکتریسیته دانست، اما با ورود نمک‌های مختلف به آب، رسانایی الکتریکی آن افزایش می‌یابد. بنابراین با اندازه‌گیری این پارامتر می‌توان به مقدار تقریبی نمک‌های موجود در آب پی‌برد. غلظت، صدک و میانگین رسانایی الکتریکی (EC) در نمونه‌های جمع‌آوری شده از ۲۵ ایستگاه رودخانهٔ کُر در جدول ۱ و شکل ۴ ارائه شده است. مقدار EC در گسترهٔ وسیعی از ۶۵۲ (ایستگاه ۸) تا ۲۱۵۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر (ایستگاه ۱۶) تغییر می‌کند. چنان‌چه در شکل ۴ نشان داده شده است EC مشاهده شده در بخش‌های شمال و شمال شرق رودخانه روندی کاهشی و به سمت بخش‌های میانی و پائینی رودخانه روندی افزایشی را نشان می‌دهد. مقدار افزودهٔ EC در ایستگاه‌های ۱۶، ۱۸ و ۲۳، ممکن است به دلیل تأثیر آلودگی از پساب‌های صنعتی (به‌ویژه پتروشیمی) و شهری (مرودشت و زرقان) باشد.

سمناکی یون ویژه

سدیم: آشکارسازی سمناکی یون سدیم در مقایسه با سمناکی دیگر یون‌ها به نسبت مشکل است. نشانه‌های تیپیک سمناکی سدیم در گیاه؛ سوختگی برگ، بافت مردگی و سوختگی حاشیه‌های بیرونی گیاه می‌باشد [۱۲]. چنانچه پیش از این گفته شد، سدیم کاتیون غالب در آب رودخانهٔ کُر می‌باشد. غلظت سدیم در آب رودخانه از ۵۴ (ایستگاه ۹) تا ۴۲۴۴ میلی‌گرم در لیتر (ایستگاه ۱۶) با میانگین ۷۰۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. همان‌گونه در شکل ۴ ملاحظه می‌شود غلظت سدیم در نقاط مختلف رودخانه متفاوت است و بخش‌های در معرض خطر غلظت بالای این عنصر، عمدتاً در میانهٔ رودخانه مشاهده شده است.

کلر: کلر، پارامتر دیگر تعریف شده سمناکی یون ویژه است، چراکه کلر آنیونی با قابلیت تحرک بالا می‌باشد که به‌سهولت از آب به خاک و سپس به گیاه راه می‌یابد و در برگ گیاهان انباشته شده و وارد زنجیرهٔ غذایی می‌شود [۹]. اثرات سمناکی این عنصر در گیاه فوراً به صورت سوختگی یا بافت مردگی برگ مشاهده می‌شود [۱۲]. کلر آنیون غالب در آب رودخانهٔ کُر است که غلظت آن از ۷۶ (ایستگاه ۷) تا ۷۱۶۱ میلی‌گرم در لیتر (ایستگاه ۱۶) با میانگین ۱۲۷۴ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند (شکل ۴).

خطر نفوذ: اگرچه نرخ نفوذ آب به درون خاک تابع بسیاری از پارامترها، شامل کیفیت آب آبیاری و پارامترهای مرتبط با خاک مانند ساختار، درجهٔ تراکم، مادهٔ آلی و مشخصات شیمیایی می‌باشد، با این حال به‌طور تیپیک،



شکل ۴- توزیع pH، Eh، EC، HCO3، Na، Cl و SAR در نقاط مختلف آب سطحی رودخانهٔ کُر

خطر تراوایی و نفوذ هنگامی رخ می‌دهد که غلظت بالای یون‌های سدیم، آهنگ ورود آب آبیاری به لایهٔ سطحی‌تر خاک را کاهش دهد. آهنگ کاهش یافته نفوذ آب، هنگامی‌که نمی‌تواند به ژرفای مورد نیاز ریشهٔ محصولات زراعی نفوذ کند، محصولات شروع به نشان دادن اثرات منفی می‌کنند. بنابراین، این املاح شروع به انباشته‌شدن در سطح خاک می‌کنند و حفظ بازدهی قابل قبول امکان‌پذیر نبوده و تولید کشاورزی کاهش می‌یابد. بااین‌حال، غلظت سدیم به تنهایی اطلاعات کافی دربارهٔ کیفیت آب و اثر آن بر خاک به‌دست نمی‌دهد، چراکه غلظت‌های بهینهٔ کلسیم و منیزیم اثر سدیم را جبران و به حفظ ویژگی‌های خوب خاک کمک می‌کنند. آب‌هایی با

غلظت سدیم بالا ممکن است کیفیت خوبی با غلظت‌های بهینهٔ کلسیم و منیزیم نشان دهند [۱۳]. بنابراین، نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم که به‌صورت SAR (نسبت جذب سدیم) بیان می‌شود قادر به تعیین خطر نفوذ آب آبیاری است و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$SAR = \frac{Na^{+1}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \qquad (۱)$$

در این معادله، غلظت‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان می‌شوند.

SAR رودخانهٔ کُر، در گسترهٔ وسیعی از ۱/۶ (ایستگاه ۹) تا ۴۹/۸ (ایستگاه ۱۶) تغییر می‌کند. آرایش تغییرات مکانی SAR ثبت شده در ایستگاه‌های رودخانهٔ کُر شبیه تغییرات شوری، سدیم و کلر می‌باشد (شکل ۴). ایستگاه‌های ۷ تا ۱۰، SAR بسیار کم با بیشینهٔ ۱/۹ را نشان می‌دهند. شرایط در بخش‌های میانی رودخانهٔ کُر متفاوت است. در این بخش مقادیر بالای SAR، به احتمال زیاد ناشی از تعداد زیاد زهکش‌های کشاورزی ورود پساب‌های مختلف شهری (مرودشت و زرقان) و صنعتی (پتروشیمی) است.

اثرات متفرقه:

بی‌کربنات: غلظت افزودهٔ کربنات‌ها منجر به تبدیل‌شدن یون‌های کلسیم و منیزیم به شکل کانی‌های انحلال‌پذیر می‌شود و بنابراین سدیم یون غالب در محلول باشد [۱۲]. غلظت بی‌کربنات در رودخانهٔ کُر از ۱۰۹ (ایستگاه ۱۷) تا ۶۴۰ (ایستگاه ۱۱) با میانگین ۳۰۱ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند (شکل ۴). افزایش در غلظت بی‌کربنات در بخش میانی رودخانه مشاهده شده است (ایستگاه‌های ۱۱ تا ۱۵)، که این امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش غلظت سدیم مشاهده شده در این بخش از رودخانه باشد.

۳-۴- مدل شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI)

در این مطالعه از مدل شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI)، که توسط Kumar and Dua., 2009، Meireles et al., 2010 و Muthanna., 2011 توسعه یافته است، استفاده شد. در مرحلهٔ نخست، پارامترهای مرتبط با کیفیت آب آبیاری، شناسایی شدند. این پارامترها براساس نتایج مطالعات مختلف صورت پذیرفته در سامانهٔ رودخانه‌ها (برای مثال؛ [۱۴]، [۱۵]) تعیین شدند. در گام دوم، حدود مقادیر اندازه‌گیری کیفیت (q) و وزن‌های تراکم (w) تعیین شدند. مقادیر qi بر اساس غلظت هر پارامتر، مطابق با پارامترهای کیفیت آب آبیاری بنا شده توسط Rowe and Abdel-Magid., 1995 که در جدول ۲ نشان داده شده است، برآورد شد. در نهایت شاخص کیفیت آب با استفاده از معادلهٔ زیر محاسبه گردید:

$$IWQI = \sum_{i=1}^{n} q_i w_i \qquad (۲)$$

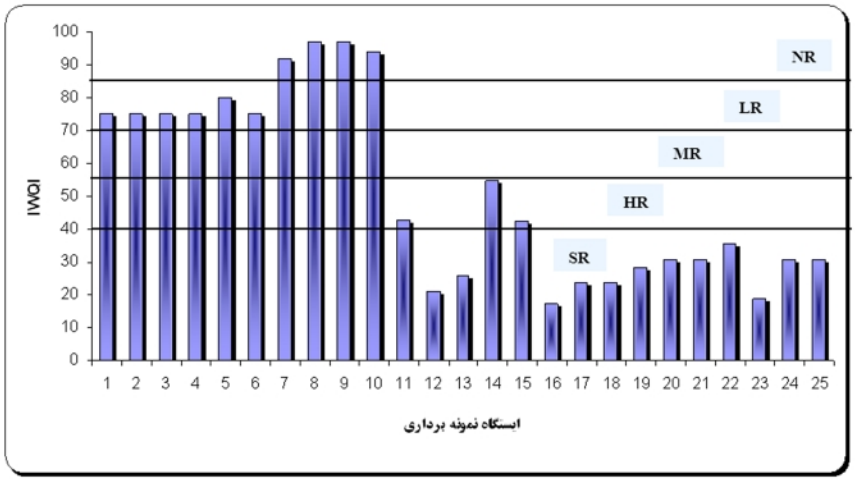
در این معادله IWQI پارامتر بدون بُعدی است که از ۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کند؛ qi کیفیت پارامتر iام؛ wi وزن به هنجار شدهٔ پارامتر iام به‌عنوان تابعی از اهمیت آن در تغییرپذیری کیفیت آب می‌باشد.

رده‌بندی پیشنهادشدهٔ شاخص کیفیت آب بر مبنای شاخص‌های موجود کیفیت آب و رده‌ها با توجه به ریسک مشکلات شوری، کاهش نفوذ آب به خاک و هم‌چنین سمناکی مشاهده شده گیاهان، در رده‌بندی‌های ارائه شده توسط Bernardo (1995) and Holanda and Amorim (1997) تعریف شدند (جدول ۳).

تغییر شاخص IWQIs در طول رودخانه در شکل ۵ و رده‌بندی محدودیت‌های استفاده از آب رودخانهٔ کُر برای آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که ایستگاه‌های ۷ تا ۱۰ در رتبهٔ IWQI ۸۵ تا ۱۰۰ تغییر می‌کنند که نشان‌دهندهٔ این مطلب است که استفاده نامحدود از این آب (NR) فاقد هرگونه ریسک سمناکی برای گیاهان می‌باشد. آب رودخانهٔ کُر در ایستگاه‌های ۱ تا ۶، در ردهٔ IWQI ۷۰ تا ۸۵ با محدودیت کم (LR) برای آبیاری شناسایی شدند. همان‌گونه در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد ایستگاه‌های پائین‌دست رودخانه مقادیر کم‌تر IWQI را نشان دادند که دلیل آن افزایش رسانایی الکتریکی، غلظت سدیم و کلر و SAR ناشی از پساب‌های شهری و صنعتی مرودشت و زرقان و جریان برگشتی آب آبیاری از زمینهای کشاورزی و هم‌چنین افزایش تبخیر و کاهش آبدهی در این بخش از رودخانه است.

جدول ۲- مقادیر محدودهٔ کیفیت (qi) و وزن (Wi) پارامترهای آب رودخانه برای محاسبهٔ مدل IWQI

qi	Na(mg/l)	Cl(mg/l)	HCO3(mg/l)	EC(µs/cm)	SAR	Wi	پارامتر
۸۵–۱۰۰	<۷۰	<۱۴۰	<۹۰	۲۰۰–۷۵۰	<۳	۰/۲۰۴	Na
۶۰–۸۵	۷۰–۱۴۰	۱۴۰–۲۵۰	۹۰–۲۷۵	۷۵۰–۱۵۰۰	۳–۶	۰/۱۹۴	Cl
۳۵–۶۰	۱۴۰–۲۱۰	۲۵۰–۳۶۰	۲۷۵–۵۲۰	۱۵۰۰–۳۰۰۰	۶–۱۲	۰/۲۰۲	HCO3
۰–۳۵	>۲۱۰	>۳۶۰	>۵۲۰	>۳۰۰۰	>۱۲	۰/۲۱۱	EC
						۰/۱۸۹	SAR



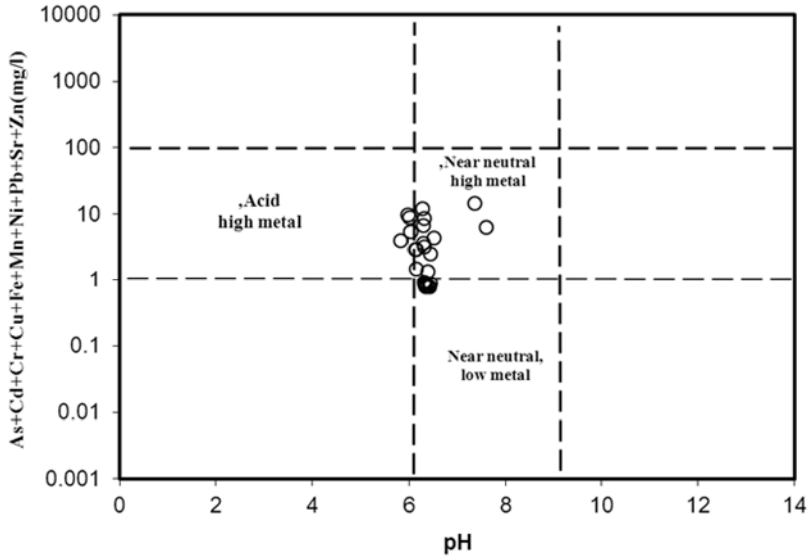
شکل ۵- تغییرات شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI) در طول رودخانهٔ کُر

جدول ۳- نتایج خلاصه شدهٔ IWQI در نمونه‌های آب سطحی رودخانهٔ کُر

IWQI	شمارهٔ ایستگاه‌های نمونه‌برداری	محدودیتهای استفاده آب	پیشنهاد برای رشد گیاه با آب این شاخص
۸۵-۱۰۰	۷-۸-۹-۱۰	بدون محدودیت (NR)	بدون ریسک سمناکی برای اغلب گیاهان
۷۰-۸۵	۱-۲-۳-۴-۵-۶	محدودیت کم (LR)	اجتناب از گیاهان حساس به شوری
۵۵-۷۰	-	محدودیت متوسط (MR)	گیاهانی با شکیبایی متوسط ممکن است نمو کنند
۴۰-۵۵	۱۱-۱۴-۱۵	محدودیت بالا (HR)	برای آبیاری گیاهانی با شکیبایی متوسط تا بالا به شوری با عملیات ویژهٔ کنترلی شوری باید استفاده شود
۰-۴۰	-۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴-۲۵ ۱۲-۱۳-۱۶-۱۷-۱۸	محدودیت شدید (SR)	تنها گیاهانی با شکیبایی شوری بالا

۳-۵- شاخص کیفیت آب براساس غلظت فلزات سنگین

غلظت بیش از حد مجاز فلزات‌سنگین در سامانهٔ رودخانه‌های ممکن است نگرانی در ارتباط با مناسب بودن آب برای اهداف مختلف آشامیدن و آبیاری ایجاد کند [۱۶]. در این مطالعه به منظور رده‌بندی کیفی آب رودخانهٔ کُر از نظر فلزات‌سنگین از روش Ficklin et al. (1992) که توسط Caboi et al. (1999) اصلاح شده است، استفاده شد. برای این رده‌بندی از بار فلز (برحسب میلی‌گرم در لیتر) و pH استفاده شد. شکل ۶ ارتباط بین غلظت کل فلز (آرسنیک+ کادمیم+ کرُم+ مس+ نیکل+ سرب+ استرانسیم+ روی) و pH نمونه‌های تجزیه شده را نشان می‌دهد. نمونه‌های ایستگاه‌های ۱ تا ۹ در ردهٔ "نزدیک به خنثی با بار فلز کم[۷]" قرار گرفتند. بقیهٔ ایستگاه‌های پائین دست رودخانه در رده‌های "نزدیک به خنثی با بار فلز زیاد[۸]" و "اسیدی با بار فلز زیاد[۹]" جای گرفتند (شکل ۶). این امر نشان می‌دهد که به طور کلی شدت آلودگی فلزی در نمونه‌های بالادست رودخانه اندک می‌باشد. با این حال، بالا بودن غلظت عناصری مانند کرُم و مولیبدن در ایستگاه‌های پائین‌دست رودخانه از نظر زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد و تهدیدی جدی برای استفادهٔ اهداف کشاورزی آن ایجاد کرده است.



شکل ۶- رده‌بندی نمونه‌های آب رودخانهٔ کُر براساس مقدار pH و بار فلز

۴- نتیجه‌گیری

هیدروشیمی فصل تر رودخانهٔ کُر نشان می‌دهد که pH آب از کمی اسیدی تا کمی قلیایی تغییر می‌کند و Eh آن اکسنده می‌باشد. یون‌های غالب آب رودخانه کلرید، سدیم و سپس پتاسیم می‌باشند. الگوی توزیع میانگین غلظت فلزات‌سنگین در آب رودخانه از روند کاهشی Zn>Cr>Mo>Ni>Cu>As>Pb>Cd پیروی می‌کند.

آب رودخانهٔ کُر را می‌توان بر اساس نتایج شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI) و بار فلز، به ۴ منطقه رده‌بندی کرد: منطقهٔ اول در ایستگاه‌های ۷ تا ۱۰ واقع شده‌اند. آب این منطقه از نظر غلظت فلزات‌سنگین در حد استانداردهای بین‌المللی و از نظر کیفیت آب‌آبیاری مناسب و بدون ریسک سمناکی برای هر گونهٔ کشت می‌باشند. منطقهٔ دوم در فاصلهٔ ایستگاه‌های ۱ تا ۶ واقع شده است. آب این منطقه از نظر غلظت فلزات در حد استانداردهای بین‌المللی و از نظر کیفیت آب‌آبیاری، باید از کشت گیاهان حساس به شوری مانند شلغم و شاه‌توت جلوگیری کرد. منطقهٔ سوم در فاصلهٔ ایستگاه‌های ۱۱، ۱۴ و ۱۵ واقع شده است. آب این منطقه از نظر غلظت فلزاتی مانند مولیبدن در حد استانداردهای بین‌المللی نمی‌باشد و از نظر کیفیت آب آبیاری، باید گیاهانی که شکیبایی متوسط به شوری دارند، مانند برنج، جودوسر و گندم کشت شوند. منطقهٔ چهارم، شامل باقی ایستگاه‌های مورد بررسی در این مطالعه می‌باشند. آب این منطقه از نظر غلظت فلزاتی مانند کرُم و مولیبدن بیش از استانداردهای بین‌المللی است و از نظر کیفیت آب آبیاری، باید فقط گیاهانی که تحمل شوری آن‌ها بالا است، مانند ذرت خوشه‌ای، جو، پنبه و چغندرقند کشت شوند.

مطالعهٔ حاضر هم‌چنین نشان می‌دهد که با توجهٔ به نتایج داده‌های فصل تر، کیفیت آب در بخش‌های میانی و پائین‌دستی رودخانه به احتمال زیاد تحت تأثیر پساب‌های صنعتی و شهری مرودشت و زرقان قرار گرفته است. بدین منظور توصیه می‌شود که در طرحهای مدیریت منابع آب کیفیت این پسابها پیوسته پایش شود و الگوهای تغییر کیفیت آب رودخانهٔ کُر در بازه‌های مختلف زمانی تعیین شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Water Quality Index
2- Horton
3- Salinity Hazard
4- Specific Ion Toxicity
5- Infiltration Hazard
6- Miscellaneous Effects
7- Near-neutral low metal
8- Near-neutral high metal
9- Acid high metal

منابع

[1] Wetzel G.W. Limnology: Lake and River Ecosystems. Academic Press, New York. 2001. 15-42.

[2] Seigel F.R. Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals. Springer Verlag Berlin Heidelberg; 2002. p : 218.

[3] Kumar A, Dua A. Water quality index for assessment of water quality of river Ravi at Madhopur (India). Global Journal of Environmental Sciences; 2009;8(1):49-57.

[4] APHA. Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association, New York; 1998.

[5] Huang F, Wang X, Lou L, Zhou Z, Wu J. Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. Water Res;2010;44:1562–1572.

[6] Weiner E.R. Application of Environmental Chemistry: a Practical guide for Environmental Professionals. Florida: LEWIS Publishers; 2000.p. 276.

[7] Kabata-Pendias A, Mukherjee A.B. Trace elements from soils to humans. Springer, Berlin; 2009. p.550.

[8] WHO. Guidelines for drinking-water quality, Recommendations, 3rd edn. Word Health Organization, Genev; 2006.

[9] Ayers R.S, and Westcot D.W. "Water quality for agriculture", FAO Irrigation and Drainage Paper; 1985; No.(29), Rev.(1), U.N. Food and Agriculture Organization, Rome.

[10] Reza R, Singh G. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. Int J Environ Sci Technol ; 2010;7(4):785–792.

[11] Okonkwo J.O, Mothiba M. Physico-chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the rivers in Thohoyandou, South Africa. Journal of Hydrology; 2005; 308: 122–127.

[12] Simsek C, Gunduz. IWQ Index: A GIS Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality". Journal of Environmental Monitoring and Assessment; 2007;128: 277-300.

[13] Raju N.J. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhara Pradesh, South India. Environ Geol; 2006;52:1067–1074.

[14] Marini M.F, Piccolo M.C. Water quality for supplementary irrigation in the Quequeqen Salado river basin (Argentin). Papeles de Geografía; 2004; 39:157-172.

[15] Muthanna M.N. Quality Assessment of Tigris River by using Water Quality Index for Irrigation Purpose. European Journal of Scientific Research;2011;57(1):15-28.

[16] Gowd S.S, Govil P.K. Distribution of heavy metals in surface water of Ranipet industrial area in Tamil Nadu, India. Environ Monit Assess; 2008; 136:197–207.

[17] Madadi M. "Survey of Sivand and Kor river pollution", Department of Environmental Protection of Fars Province; 2004.

[18] Bhatti M.T, Latif M. Assessment of Water Quality of a River Using an Indexing Approach During The Low-Flow Season. Journal of Irrigation and Drainage; 2011;60(1): 103-114.

[19] Caboi R, Cidu R, Fanfani L, Lattanzi P, Zuddas P. Environmental mineralogy and geochemistry of the abandoned Pb–Zn Montevecchio–Ingurtosu mining district, Sardinia, Italy. Chron Rech Min; 1999;534:21–28.

[20] Ficklin D, Plumee GS, Smith K.S, McHugh J.B. Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. In: Kharaka YK, Maest AS (eds) Water–Rock Interaction, Water Rock Interaction. 1992;4:381–384.

[21] Horton R.K. An index number for rating water quality. Journal of Water Pollution Control Federation; 1965;37(3): 300-306.

[22] Bahri F, Saibi H. Characterisation, classification, and evaluation of some groundwater samples in the Mostaganem area of northwestern Algeria. Arab J Geosci; 2010; 3:79–89.