

## ارزیابی کیفیت آب رودخانه کوپال و روند تغییرات آن در حوزه آبخیز مارون - جراحی

سکینه لطفی نسب اصل<sup>۱\*</sup>، فاطمه درگاهیان<sup>۲</sup> و محمد خسروشاهی<sup>۳</sup>

<sup>۱،۲،۳</sup> استادیار، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و <sup>۳</sup> دانشیار، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

### چکیده

آب به‌عنوان یکی از منابع با ارزش برای ادامه حیات بشر و سایر جانداران ضروری و حیاتی است و در این میان آب‌های سطحی به‌ویژه رودخانه‌ها از مهمترین این منابع بوده که برای رفع نیاز جوامع بشری و مصارف مختلف اعم از شرب، صنعت و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و لذا کیفیت آب همانند کمیت آن از مهمترین عوامل مشخص‌کننده به‌منظور کاربرد آن در مصارف مختلف به شمار می‌رود. در این مطالعه، با هدف آشکارسازی کیفیت شیمیایی آب رودخانه کوپال در جنوب کشور به‌منظور مصارف مختلف اعم از کشاورزی، شرب و صنعت و همچنین، بررسی روند تغییرات سالانه آن (پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ساله) طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۲، پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته، بی‌کربنات، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم، باقی‌مانده کربنات سدیم، سختی موقت و سختی کل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. از آنجایی که آرایه نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آب به شکل گرافیکی فهم سامانه‌های پیچیده آب‌های سطحی را ساده‌تر و سریع‌تر می‌کند، روش‌های گرافیکی از قبیل نمودارهای ویلکاکس، شولر، پایپر و کالینز نیز مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج روندیابی پارامترهای کیفی آب نشان داد که با وجود روند نزولی در مقادیر اسیدیته و دبی جریان، سایر پارامترهای شیمیایی آب دارای روند صعودی بوده، این روند به‌ترتیب در دوره‌های پنج، ۱۰، ۲۰ ساله منتهی به سال ۹۲ شیب افزایشی بیشتری نسبت به ۳۰ ساله داشته‌اند. روند صعودی تغییرات پارامترهای کیفی و املاح محلول آب، نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب و افزایش املاح محلول این رودخانه است. نمودار ویلکاکس نشان داد، آب رودخانه در طبقه  $C_4S_3$  قرار داشته، برای مصارف کشاورزی و آبیاری از نظر احتمال خطر شور و سدیمی شدن نامناسب بوده، اما از نظر درصد سدیم و کربنات سدیم باقی‌مانده مناسب است. دیاگرام شولر نشان داد، آب رودخانه در دسته کاملاً نامطلوب از نظر شرب قرار دارد. به‌طور کلی نتایج نشان داد، از کیفیت آب برای مصارف سه‌گانه با حرکت به سمت سال‌های پایانی به‌خصوص پنج ساله اخیر مورد مطالعه به شدت کاسته شده که این روند می‌تواند از سویی، به‌علت برداشت بی‌رویه و عدم مدیریت صحیح بهره‌برداری، ورود زه‌آب‌های کشاورزی، عدم رعایت حقایق رودخانه، احداث بندهای خاکی در مسیر آبراه‌ها و از سوی دیگر خشکسالی‌های اخیر بوده که دبی آبی این رودخانه را تحت تاثیر قرار داده است و در نهایت موجب افزایش املاح محلول و کاهش کیفیت آب برای مصارف گوناگون خصوصاً در سال‌های انتهایی بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** اندیس لائزلیه و رایزنر، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، شاخص ویلکاکس، شوری آب، کالیتز و پایپر، نمودار شولر

## مقدمه

آب به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین عناصر در تمامی جنبه‌های زندگی من جمله رفاه بشر، توسعه اقتصادی اجتماعی و حیات اکوسیستم نقش بسیار مهمی را بازی می‌کند (An و همکاران، ۲۰۱۴). آب علاوه بر این که برای زندگی بشر ضروری است، بلکه یکی از عوامل تعیین‌کننده نوع کیفیت زندگی اوست (Raju و همکاران، ۲۰۱۱؛ Raju و همکاران، ۲۰۱۴؛ Toumi و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه افزایش رو به رشد جمعیت و به‌دنبال آن افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های مختلف، مانند کشاورزی، صنعت و شرب، موجب شده تا منابع آبی خصوصا آب‌های سطحی به شدت مورد تهدید واقع شوند. تغییرات اقلیمی، کاهش بارندگی‌ها، افزایش دما و به‌دنبال آن تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت خاک، به‌طور مستقیم بر روی دسترسی و کیفیت منابع آب‌های سطحی برای مصارف مختلف تاثیر می‌گذارند. تغییرات اقلیمی اتفاق افتاده اخیر و کاهش نزولات جوی موجب نقصان در منابع آب‌های سطحی و کاهش کیفیت آن‌ها در سرتاسر جهان شده است. لذا، بررسی کیفیت آب از طریق پارامترهای فیزیکوشیمیایی یکی از ضروریات امر در مدیریت و استفاده بهینه آب‌های سطحی به‌منظور مصارف گوناگون است. عوامل طبیعی و انسانی در هر منطقه سبب تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در کیفیت منابع آب می‌شود، بنابراین علم کیفیت آب به‌عنوان یک موضوع مهم برای مهندسين و دانشمندان برای سال‌های آتی باقی خواهد ماند (Arand و همکاران، ۲۰۰۸) و لذا روش‌ها و تکنیک‌های متعددی به‌منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب، ابداع شده و توسعه یافته‌اند (Kelly و همکاران، ۱۹۴۰). مطالعات متعددی در جهان در زمینه بررسی کیفیت آب‌های سطحی و روند تغییرات آن‌ها (Najafzadeh و Tafarajpouruz، ۲۰۱۶؛ NaJafzadeh و Zahiri، ۲۰۱۵؛ Nouri و همکاران، ۲۰۱۱؛ a و b) صورت گرفته است. Dashti Marouli و همکاران (۲۰۰۷) کیفیت آب رودخانه نرماب را مورد بررسی قرار دادند و آب این رودخانه را برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب ارزیابی کردند. وضعیت کیفی آب مناطق مینرالیزه و آلتزه از نظر شرب، به‌وسیله Talae

و همکاران (۲۰۰۶) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و نمودار شولر ترسیم شده کیفیت آب را از نظر شرب نامطلوب ارزیابی کرد. Zia و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی کمی و کیفی طرح تغذیه مصنوعی شوراب، با استفاده از سه دیاگرام شولر، ویل کاکس و پایپر نشان دادند که این آب‌ها، غیر قابل شرب، نامناسب برای کشاورزی و دارای تیپ کلروره هستند. Maroofi و Bayat (۲۰۰۹) در بررسی نتایج تجزیه شیمیایی کیفیت شیمیایی آب رودخانه کرج با توجه به استاندارد ملی کیفیت آب شرب نشان دادند که میانگین غلظت پارامترهای شیمیایی موجود از حد استاندارد پایین‌تر است. Zare Garazi و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به ارزیابی تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب رودخانه چهل‌چای استان گلستان شامل جامدات محلول کل (TDS)، آنیون‌ها (بی‌کربنات، سولفات و کلر)، کاتیون‌ها (سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم)، هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و اسیدیته (pH) آب پرداختند. نتایج نشان داد، کلیه پارامترها به‌جز pH دارای تغییرات فصلی معنی‌دار بوده، اغلب پارامترها بیشترین و کمترین میانگین را به‌ترتیب در فصل پاییز و تابستان داشتند. از طرفی، دیاگرام ویلکاکس و شولر کیفیت آب را به‌ترتیب برای کشاورزی و شرب مناسب دانستند. هیدروژئوشیمیایی حوزه آبخیز دامنه سهند با استفاده از ترسیم دیاگرام پایپر به‌وسیله Naseri و همکاران (۲۰۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها رخساره و تیپ آب زیرزمینی را کلسیم/سدیم بی‌کربناته معرفی کرده، کیفیت آب را از نظر شرب و کشاورزی، مناسب ارزیابی کردند. در بررسی کیفیت منابع آب در منطقه معدنی کوه‌زر در غرب تربت حیدریه، Khmer و همکاران (۲۰۱۱) پس از اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های نمونه‌های آب برداشت‌شده از منابع زیرزمینی، تیپ آب منطقه را Cl-Na و Na-HCO<sub>3</sub> مشخص کردند و کیفیت آب را بر اساس نمودارهای شولر و ویلکاکس، از نظر شرب و کشاورزی نامناسب معرفی کردند. Sahbaei Lotfi (۲۰۱۳) به بررسی وضعیت رودخانه بابا امان از سرشاخه‌های رودخانه اترک برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی و همچنین، تغییرات درازمدت

آبیاری و مصارف خانگی و شناسایی عوامل کنترل-کننده انتشار و غلظت عناصر صورت گرفت. ارزیابی‌ها بر اساس شاخص‌های SAR، RSC و PI نشان داد، آب از نظر کشاورزی در محدوده عالی تا خیلی خوب و با خطر سدیمی شدن کم قرار داشته، فرسایش شیمیایی ناشی از بارندگی اصلی‌ترین عامل کنترل‌کننده شیمی آب است. Shammī و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی خطر شوری و سدیمی شدن آب‌های کشاورزی محدوده Gopalgonj بنگلادش با بررسی پارامترهای هدایت الکتریکی، سختی کل، کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم و آنیون‌های کلر، سولفات و فسفات پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت کاتیون‌ها به ترتیب کاهشی برابر با سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و برای آنیون‌ها به ترتیب کلر، سولفات و فسفات بوده، با وجود درصد سدیم محلول (SSP) بیشتر از ۸۰ درصد، خطر شوری و سدیمی شدن آب کشاورزی وجود دارد.

به هرحال، قرار گرفتن استان خوزستان در منطقه‌ای با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و گرم، کاهش میزان بارندگی همراه با بی‌نظمی و نوسانات متعدد و میزان زیاد تبخیر و تعرق موجب کاهش جریان آب-های سطحی در این استان شده است. رودخانه کوپال از رودهای واقع در جنوب استان یکی از منابع آبی سطحی است که مورد استفاده‌های متعددی در این ناحیه دارد و به دلیل ورود زه‌آب‌های کشاورزی و صنایع مختلف و از طرفی، کاهش دبی جریان آب‌های سطحی به دلیل برداشت‌های بی‌رویه و خشکسالی‌های هواشناسی اخیر دستخوش تغییر کیفیت شده است، اما تا کنون مطالعه‌ای جدی به منظور بررسی کیفیت و روند تغییرات آن صورت نگرفته است. لذا، هدف از این مطالعه بررسی کیفیت شیمیایی آب رودخانه کوپال به منظور مصارف مختلف اعم از کشاورزی، شرب و صنعت و از طرفی، بررسی روند تغییرات آن به کمک روش‌های کمی، آماری و گرافیکی است. از آنجا که روند تغییرات اقلیمی در ده‌های اخیر شدت بیشتری یافته این پژوهش سعی دارد، به منظور آشکارسازی و تعیین زمان‌های اوج‌گیری این تغییرات به بررسی و مقایسه دوره‌های ۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله کیفیت آب این رودخانه بپردازد.

کیفیت آن پرداختند و نتایج مطالعه بر اساس نمودار ویلکاکس و شولر ترسیم شده، نشان داد، آب این رودخانه در محل ایستگاه برای مصارف کشاورزی و شرب مناسب است و همچنین، با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شده است که املاح آب در محل این ایستگاه در حال افزایش است. Rezaei Moghaddam و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثر عوامل هیدروژئومورفولوژی بر روی کیفیت آب سیمینه‌رود و روند تغییرات آن بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۲ و در بازه‌های مختلف زمانی در شمال غربی کشور پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل هیدروژئومورفولوژی بر روی وجود داشتن و یا نداشتن منابع آلاینده و تغییرات فصلی کیفیت سیمینه‌رود اثر دارند و آب این رودخانه برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب است. Pragathisvaran و همکاران در سال ۲۰۰۸ به مطالعه و بررسی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب منطقه صنعتی هاسور در ایالت Tamilnadu به منظور مصارف کشاورزی پرداختند. آن‌ها پس از محاسبه شاخص‌های درصد جذب سدیم، باقی‌مانده بی‌کربنات، درصد سدیم و هدایت الکتریکی و مقایسه آن‌ها با شاخص‌های ویلکاکس، آیر و وسکات دریافتند که آب منطقه مناسب انواع کشت می‌باشد. Yidana و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی رودخانه‌های نواحی ساحلی و جنوب غربی غنا دریافتند که کیفیت آب سطحی محدوده مطالعاتی تحت تاثیر شیرابه حاصل از مواد شیمیایی جامد و زباله‌های معدنی، مواد همراه بارندگی، سیلیکات موجود در رسوبات و صخره‌های غنی‌شده و فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی قرار دارد و به علاوه دیاگرام ویلکاکس کیفیت آب را برای مصارف کشاورزی در محدوده عالی تا خوب ارزیابی کرد. Kazemi در سال ۲۰۱۳ به منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب سطحی دزفول در شمال خوزستان پس از مطالعه پارامترهای شیمیایی آب دریافت که کیفیت آب این رودخانه در رده متوسط تا نامناسب برای کشاورزی بوده، در زمین‌های با بافت درشت دانه و با زهکش خوب قابل استفاده است. مطالعه‌ای به وسیله Talabi و همکاران (۲۰۱۳) در نیجریه به منظور ارزیابی خصوصیات هیدروشیمیایی آب سطحی پارک Ekiti-State به منظور استفاده

## مواد و روش‌ها

**محدوده مطالعاتی:** رودخانه کوپال در حوزه آبخیز هنديجان-جراحی بین  $17^{\circ} 48'$  تا  $19^{\circ} 52'$  طول شرقی و  $29^{\circ} 47'$  تا  $31^{\circ} 41'$  عرض شمالی در جنوب غرب کشور و در استان خوزستان قرار دارد که بخشی از حوزه آبخیز خلیج فارس و دریای عمان است. وسعت این حوضه  $40820/8$  کیلومتر مربع است. این حوضه بخشی از حوزه آبخیز خلیج فارس و دریای عمان است که به لحاظ تقسیمات کشوری از این گستره در حدود ۶۰ درصد در استان خوزستان واقع شده و به ترتیب  $26/9$  و  $13/1$  درصد در استان کهگیلویه و بویراحمد و فارس و بخش بسیار کوچکی از آن در حدود  $0/01$  درصد در استان بوشهر قرار گرفته است. این حوضه مشتمل بر ۲۴ محدوده مطالعاتی است که رودخانه کوپال در زیرحوضه آبخیز کوپال و محصور در دو محدوده مطالعاتی رامهرمز و شادگان است که از نظر موقعیت جغرافیایی بین  $31^{\circ} 3'$  تا  $31^{\circ} 17'$  طول شرقی و  $49^{\circ} 3'$  تا  $49^{\circ} 3'$  عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). حوزه آبخیز کوپال یکی از زیرحوضه‌های اصلی هنديجان-جراحی است که خروجی آن در مواقع سیلابی به تالاب شادگان می‌ریزد. این حوضه از بالادست روستای شاخ کوپال (کد محدوده مطالعاتی ۲۴۰۲) دارای مساحتی حدود  $1538$  کیلومتر مربع و از پایین‌دست روستای شاخ کوپال (کد محدوده مطالعاتی ۲۴۰۲) تا تالاب شادگان حدود  $14000$  کیلومتر مربع است (شکل ۲). رودخانه کوپال در محدوده مطالعاتی رامهرمز یک آبراهه دائمی است که در انتهای خود رواناب‌های حاصل از حوضه‌های کوچک واقع در دشت رامهرمز را جمع‌آوری می‌کند. این رودخانه در مواقع سیلاب‌های بزرگ‌تر در سطح وسیعی پخش شده، حتی به آبراهه مالچ در حوضه کارون و از آن طریق به تالاب شادگان تخلیه می‌شود. آخرین ایستگاه اندازه‌گیری آب در رودخانه کوپال تحت عنوان کوپال نمره ۳ است و تحلیل‌های آبدهی و کیفی این مطالعه نیز بیشتر بر مبنای داده‌های همین ایستگاه صورت گرفته است.

**روش پژوهش:** در این مطالعه، به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه کوپال از آمار ۳۰ ساله ایستگاه

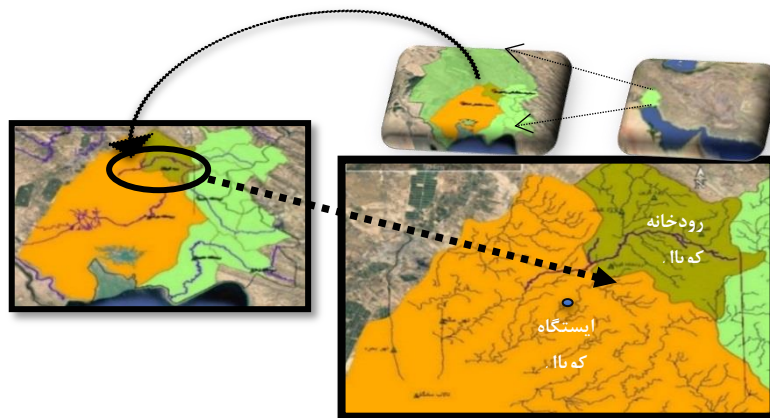
آبسنجی کوپال نمره ۳ بین سال‌های ۶۱ تا ۹۲ پس از بررسی صحت داده‌ها استفاده شده است (جدول ۱). ایستگاه کوپال نمره ۳ با ارتفاع ۳۸ متر از سطح دریا و در طول جغرافیایی شرقی  $16^{\circ} 10' 49''$  و عرض جغرافیایی شمالی  $33^{\circ} 14' 31''$  قرار دارد. به منظور آشکارسازی کیفیت شیمیایی آب و بررسی روند تغییرات سالانه (پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ساله) آن پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدپته، بی‌کربنات، کلر، سولفات، کل آنیون‌ها، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کل کاتیون‌ها، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم، باقی‌مانده کربنات سدیم، سختی موقت و سختی کل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. به منظور بررسی کیفیت آب، ابتدا وضعیت آماری داده‌ها از نظر همگنی به کمک آزمون ران تست (RUN TEST)، آزمون نرمال‌بودن داده‌ها (QQ PLOT) و بررسی داده‌های پرت به کمک نمودار جعبه‌ای مشخص شد و سپس، به منظور بررسی کیفی آب با هدف آسان‌تر کردن تفسیر و نمایش نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب نمودارهای گرافیکی ویلکاکس، شولر و پایپر، ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جداول ۲ و ۳ به ترتیب حدود و طبقه‌بندی کیفیت آب برای آبیاری بر اساس پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم و حدود و طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف صنعتی بر اساس اندیس‌های لانژلیه (LI) و رایزنر (RI) را نشان می‌دهد.

## نتایج و بحث

**بررسی آماری داده‌ها:** نمودار جعبه‌ای معیاری برای شناسایی شکل توزیع و شناسایی داده‌های پرت است. بررسی داده‌های پرت به کمک نمودار جعبه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است. حد بالا و پایین نمودار جعبه‌ای که در انتهای دو خط عمودی نمودار جعبه‌ای قرار دارد، به‌عنوان مرز داده‌های پرت شناخته می‌شود و هر داده خارج از این مرز یک داده پرت محسوب می‌شود. نمودار جعبه‌ای برای هر یک از پارامترهای مورد بررسی بیانگر عدم وجود داده پرت در مقادیر پارامترهای مورد بررسی است.

جدول ۱- آمار دبی (آبدهی) رودخانه کوپال نمره ۳ طی سال‌های ۱۳۶۱-۱۳۹۲ (مترمکعب بر ثانیه)

ردیف	سال	آبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	جمع سالانه	میانگین سالانه
۱	۱۳۶۱	۶۲	۰/۷۴	۶/۵۲	۴/۰۶	۸/۵۷	۷/۲۳	۳/۷۹	۱/۸۶	۲/۱۸	۱/۳۴	۰/۸۲	۰/۶۹	۰/۶۴	۳۸/۴۶	۳/۲۰
۲	۱۳۶۲	۶۳	۰/۷۱	۰/۷۹	۱/۳۷	۲/۷۵	۱/۹۵	۰/۷۰	۶/۷۹	۲/۰۷	۱/۲۶	۰/۵۸	۰/۳۷	۰/۴۷	۱۹/۸۲	۱/۶۵
۳	۱۳۶۳	۶۴	۰/۴۴	۳/۸۱	۳/۸۲	۶/۱۵	۲/۰۹	۰/۶۱	۰/۳۸	۱/۲۰	۰/۵۱	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۲۴	۱۹/۹۵	۱/۶۶
۴	۱۳۶۴	۶۵	۰/۲۵	۱/۰۰	۴/۸۵	۱/۶۷	۱/۴۴	۱۰/۱۷	۶/۸۴	۲/۹۰	۲/۳۸	۱/۹۸	۰/۹۳	۰/۶۲	۳۵/۰۱	۲/۹۲
۵	۱۳۶۵	۶۶	۰/۵۴	۲/۳۹	۷/۳۰	۰/۰۰	۱/۲۲	۳/۰۸	۲/۲۲	۱/۵۳	۰/۸۹	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۳	۲۱/۰۸	۱/۷۶
۶	۱۳۶۶	۶۷	۱/۱۵	۲/۴۳	۳/۴۵	۱۶/۰۱	۷/۱۰	۵/۹۴	۱/۹۲	۳/۱۶	۱/۳۵	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۵۵	۴۴/۴۷	۳/۷۱
۷	۱۳۶۷	۶۸	۰/۴۴	۴/۱۲	۱/۲۷	۳/۱۳	۱/۰۶	۱/۹۱	۲/۲۰	۲/۱۳	۱/۳۷	۰/۶۹	۱/۳۱	۰/۳۲	۱۹/۹۴	۱/۶۶
۸	۱۳۶۸	۶۹	۰/۴۸	۲/۱۲	۱۶/۰۸	۶/۸۹	۵/۲۲	۱/۵۲	۱/۰۴	۱/۲۹	۱/۱۳	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۴۴	۳۶/۹۲	۳/۰۸
۹	۱۳۶۹	۷۰	۰/۳۳	۳/۰۹	۰/۷۲	۵/۰۳	۳/۷۱	۱۰/۴۴	۲/۲۸	۲/۱۳	۱/۹۰	۰/۳۹	۰/۰۵	۰/۱۰	۳۰/۱۶	۲/۵۱
۱۰	۱۳۷۰	۷۱	۱/۵۰	۰/۶۶	۲۳/۶۷	۱۰/۸۷	۴/۵۹	۵/۳۲	۱/۶۰	۰/۹۱	۰/۷۰	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۵۰/۱۵	۴/۱۸
۱۱	۱۳۷۱	۷۲	۰/۰۱	۱/۰۸	۷/۴۹	۱۲/۰۶	۱۱/۰۱	۵/۸۹	۲/۴۵	۹/۱۷	۱/۳۳	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۲۵	۵۲/۵۲	۴/۳۸
۱۲	۱۳۷۲	۷۳	۰/۱۹	۴/۷۷	۱/۵۷	۴/۸۰	۱/۴۰	۵/۴۷	۰/۸۹	۱/۷۲	۰/۹۰	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۲	۲۲/۱۰	۱/۸۴
۱۳	۱۳۷۳	۷۴	۰/۵۶	۱۳/۱۷	۱۴/۱۴	۱/۷۱	۱/۸۲	۸/۱۸	۰/۸۶	۲/۴۲	۰/۷۰	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۲	۴۴/۲۰	۳/۶۸
۱۴	۱۳۷۴	۷۵	۰/۷۴	۱/۰۳	۱/۷۲	۱۸/۶۷	۸/۹۶	۱۶/۵۹	۱۸/۰۷	۳/۰۹	۱/۲۶	۰/۶۷	۰/۶۰	۰/۶۱	۷۲/۰۱	۶/۰۰
۱۵	۱۳۷۵	۷۶	۰/۶۰	۱/۰۸	۳/۲۸	۷/۸۱	۱/۴۴	۸/۱۸	۱۳/۷۵	۱/۶۰	۱/۱۵	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۷۳	۴۰/۶۳	۳/۳۹
۱۶	۱۳۷۶	۷۷	۰/۶۹	۱۵/۸۵	۱۳/۱۵	۱۷/۵۹	۱۱/۱۹	۳/۶۱	۳/۸۹	۲/۰۸	۱/۰۸	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۷۰	۷۰/۸۶	۵/۹۰
۱۷	۱۳۷۸	۷۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۶	۲/۸۲	۰/۴۳	۰/۱۰	۰/۸۲	۰/۳۵	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۴۵	۰/۴۵
۱۸	۱۳۷۹	۸۰	۰/۳۸	۰/۵۱	۱۲/۵۳	۳/۴۲	۱/۲۱	۰/۰۴	۰/۴۰	۱/۱۱	۰/۶۲	۰/۴۴	۰/۳۰	۰/۰۹	۲۱/۰۴	۱/۷۵
۱۹	۱۳۸۰	۸۱	۰/۰۲	۱/۲۲	۱۶/۶۵	۹/۰۲	۲/۳۸	۱/۱۷	۲/۳۸	۱/۸۳	۰/۸۳	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۵۱	۳۶/۹۹	۳/۰۸
۲۰	۱۳۸۱	۸۲	۰/۶۸	۱/۲۷	۳/۵۲	۲/۷۵	۱/۸۹	۰/۰۰	۱/۲۹	۱/۸۸	۱/۳۳	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۵۹	۱۶/۳۳	۱/۳۶
۲۱	۱۳۸۲	۸۳	۰/۲۳	۲/۲۵	۱/۰۰	۷/۹۶	۳/۱۸	۰/۲۷	۰/۷۲	۲/۲۸	۱/۲۳	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۳۷	۲۰/۵۴	۱/۷۱
۲۲	۱۳۸۳	۸۴	۰/۳۸	۱/۴۴	۱۲/۲۸	۶/۴۱	۵/۵۳	۱/۹۰	۱/۲۹	۱/۸۷	۱/۲۶	۰/۸۱	۰/۹۰	۰/۴۲	۳۴/۴۹	۲/۸۷
۲۳	۱۳۸۴	۸۵	۰/۴۸	۴/۱۷	۳/۱۲	۷/۵۹	۱۴/۸۲	۱/۲۳	۱/۹۱	۳/۳۰	۱/۸۸	۱/۰۰	۰/۷۶	۱/۰۸	۴۱/۳۳	۳/۴۴
۲۴	۱۳۸۵	۸۶	۱/۰۸	۲/۹۸	۴/۲۷	۳/۳۷	۳/۰۹	۰/۰۱	۳/۱۴	۲/۰۲	۱/۲۴	۱/۴۰	۱/۶۶	۱/۶۶	۲۵/۹۳	۲/۱۶
۲۵	۱۳۸۶	۸۷	۱/۰۷	۱/۲۷	۱/۹۷	۰/۸۶	۰/۶۲	۰/۰۰	۱/۳۰	۱/۷۰	۰/۶۴	۰/۲۱	۰/۵۸	۱/۰۸	۱۱/۳۰	۰/۹۴
۲۶	۱۳۸۷	۸۸	۰/۴۲	۰/۹۶	۲/۶۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۴۹	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۶/۲۸	۰/۵۲
۲۷	۱۳۸۸	۸۹	۰/۰۳	۷/۴۲	۱۸/۸۳	۶/۳۷	۰/۶۲	۰/۰۰	۰/۷۵	۱/۰۴	۰/۷۲	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۳۶/۲۶	۳/۰۲
۲۸	۱۳۸۹	۹۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۷۸	۰/۰۱	۵/۴۱	۱/۰۶	۰/۰۰	۱/۲۵	۱/۰۱	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۴۰	۱۰/۳۱	۰/۸۶
۲۹	۱۳۹۰	۹۱	۰/۱۴	۴/۲۳	۲/۲۹	۳/۷۱	۰/۰۰	۱/۲۳	۰/۹۷	۱/۵۷	۱/۲۷	۰/۷۳	۰/۲۸	۰/۰۸	۱۶/۴۹	۱/۳۷
۳۰	۱۳۹۱	۹۲	۰/۰۴	۳/۵۱	۱۱/۵۷	۳/۶۶	۴/۸۷	۰/۰۸	۰/۶۳	۲/۵۸	۰/۸۰	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۲۹	۲۸/۸۸	۲/۴۱
جمع		۱۴/۳	۹۵/۱	۱۹۹/۳	۱۷۵/۹	۱۲۱/۶	۹۸/۸	۸۲/۶	۶۳/۶	۳۲/۹	۳۲/۹	۱۷/۶	۱۴/۷	۱۳/۴	۹۲۹/۹	۷۷/۵
میانگین		۰/۵	۳/۲	۶/۶	۵/۹	۴/۱	۳/۳	۲/۸	۲/۱	۱/۱	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۳۱/۰	۲/۶
حداقل		۰/۰	۱/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۰	۵/۰	۶/۰	۷/۰	۸/۰	۹/۰	۱۰/۰	۱۰/۰	۱۱/۰	۱۲/۰	۱۳/۰
حداکثر		۱/۵	۱۵/۸	۲۳/۷	۱۸/۷	۱۴/۸	۱۶/۶	۱۸/۱	۹/۲	۲/۴	۲/۴	۲/۰	۱/۷	۱/۷	۷۲/۰	۶/۰
انحراف معیار		۰/۴	۳/۶	۶/۴	۵/۱	۳/۶	۴/۱	۴/۰	۱/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۶/۷	۱/۴
درصد ضریب تغییرات		۷۸/۹	۱۱۳/۵	۹۶/۶	۸۷/۷	۸۸/۷	۱۲۳/۲	۱۴۴/۳	۷۰/۶	۴۰/۷	۴۰/۷	۶۶/۱	۷۷/۵	۸۲/۱	۵۴/۰	۵۴/۰



شکل ۱- نقشه موقعیت رودخانه کوپال و ایستگاه هیدرومتری کوپال نمره ۳

**جدول ۲- حدود و طبقه‌بندی کیفی آب بر اساس هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم**

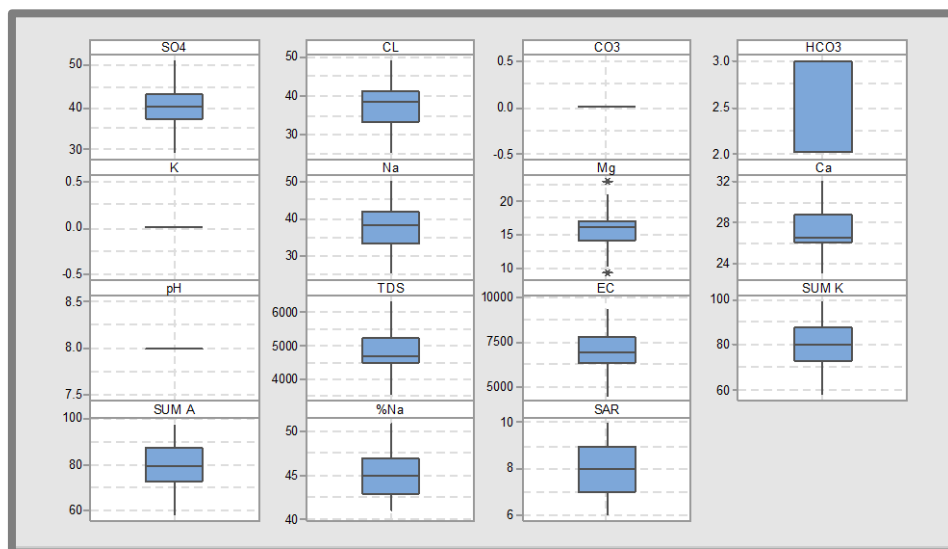
مقدار هدایت الکتریکی (EC) میکروزیمنس بر ثانیه			مقدار نسبت جذب سدیم (SAR)		
کیفیت	طبقه	حدود	کیفیت	طبقه	حدود
خیلی خوب	C۱	کمتر از ۲۵۰	خیلی خوب	S۱	کمتر از ۱۰
خوب	C۲	۲۵۰-۷۵۰	خوب	S۲	۱۰-۱۸
قابل قبول	C۳	۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط	S۳	۱۸-۲۶
مشکوک	C۴	بیشتر از ۲۲۵۰	بد	S۴	بیشتر از ۲۶

**جدول ۳- حدود و کیفیت آب بر اساس اندیس‌های لانژلیه (LI) و رایزنر (RI)**

مقدار (LI)	کیفیت (لانژلیه)	مقدار (RI)	کیفیت (رایزنر)
LI < ۰	آب فوق اشباع است و تمایل به رسوبگذاری CaCO <sub>3</sub> دارد	< ۴	آب رسوبدهی زیادی دارد.
LI = ۰	آب از CaCO <sub>3</sub> اشباع است و تمایل به ایجاد یا تجزیه CaCO <sub>3</sub> ندارد.	۵-۶	آب به نسبت رسوبده است و کمی خورنده است.
LI > ۰	آب زیر اشباع است و تجزیه CaCO <sub>3</sub> جامد انتظار می‌رود	۶-۶/۵	نه خاصیت خورندگی دارد و نه رسوبدهی دارد.
		۶/۵-۷	آب خاصیت خورندگی دارد و رسوبدهی کم می‌باشد.
		> ۸	آب خاصیت خورندگی شدیدی دارد.

تغییرات ۲/۳۷ درصد بوده، که بیانگر تغییرات بسیار کم آن در طی سال‌های مورد مطالعه است (جدول ۱). نرمال‌بودن توزیع داده‌ها پس از محاسبه چولگی و کشیدگی کلیه پارامترها (جدول ۲) به وسیله آزمون گرافیکی QQ PLOT تعیین شد. همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، کشیدگی و چولگی کلیه داده‌ها به جز یون کربنات بین مقادیر ۲ و ۲- قرار دارد که نشان از توزیع نرمال آن‌ها است. از طرفی نمودار QQ PLOT نیز بیانگر تبعیت توزیع داده‌ها از توزیع نرمال بود.

آزمون ران تست که در شمار روش‌های غیرگرافیکی قرار دارد، تصادفی‌بودن داده‌ها را در سطح اعتماد ۹۵ درصد تعیین می‌کند. این آزمون برای داده‌های سالانه کیفیت شیمیایی آب برای دوره مورد مطالعه و کل سال‌های آمار موجود در ایستگاه هیدرومتری کوپال نمره ۳ انجام شد که تصادفی‌بودن آن‌ها به جز در مورد یون کربنات و pH تأیید شد و این در حالی است که مقادیر یون کربنات در کلیه سال‌ها صفر و یا نزدیک به صفر بوده، مقادیر pH دارای ضریب



**شکل ۲- نمودار جعبه‌ای پارامترهای کیفیت شیمیایی آب رودخانه کوپال نمره ۳**

جدول ۴- نتایج آزمون ران تست برای پارامترهای کیفیت شیمیایی آب رودخانه کوپال نمره ۳

نتایج	SO <sub>4</sub>	Cl	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	K	Na	Mg	Ca	PH	TDS	EC	کاتیون‌ها	آنیون‌ها	Na %	SAR
میان	۳۹/۳۹	۳۷/۶	۰/۰۱	۲/۶	۰/۲۵	۳۷/۴۶	۱۵/۵۹	۲۷/۰۶	۷/۸۷	۴۸۳۹/۶۶	۷۰۲۹/۰۶	۸۰/۳۵	۱۴/۸۰	۲۹/۴۵	۷/۹۷
< میان	۱۵	۱۵	۲۸	۱۶	۱۵	۱۴	۱۴	۲۰	۱۳	۱۹	۱۷	۱۶	۱۶	۱۶	۱۷
کمینه	۱۷	۱۷	۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۸	۱۲	۱۹	۱۳	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۵
کل مقادیر	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
تعداد دنباله	۱۶	۱۶	۳	۱۲	۱۶	۱۶	۱۲	۱۶	۷	۱۸	۱۶	۱۶	۱۶	۱۸	۱۸
عدد Z	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۳/۸۷	-۱/۶۲	-۰/۱۶	-۰/۰۹	-۱/۵۵	۰	-۳/۳۳	-۰/۴	-۰/۱۶	-۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۳
Asymp. Sig.	۰/۸۷	۰/۸۷	۰	۰/۱۱	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۱۲	۱	۰	۰/۶۹	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶

\*: معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد یا خطای پنج درصد

جدول ۵- نتایج محاسبه چولگی و کشیدگی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب رودخانه کوپال نمره ۳

پارامتر	SO <sub>4</sub>	CL	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	K	Na	Mg	Ca	pH	TDS	EC	کاتیون‌ها	آنیون‌ها	%Na	SAR
چولگی	-۰/۰۳	-۰/۱	۴/۰۳	-۰/۲	-۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۵۲	-۰/۱	۰/۷	۰/۲۸	-۰/۱	-۰/۱	۰/۴۵	۰/۲۱
کشیدگی	۰/۳۱	-۰/۴	۱۷/۹	-۱/۲	۰	-۰/۴	۰/۸۲	۰	-۰/۴	۱/۰۵	۰/۴۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۳

### بررسی و ارزیابی کمی تغییرات سالانه

پارامترهای کیفیت شیمیایی: به منظور بررسی تغییرات سالانه، میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله، هر یک از پارامترهای پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب مورد بررسی کمی و آماری قرار گرفته و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری شامل میانگین، کمینه، بیشینه، انحراف معیار و درصد ضریب تغییرات برای هریک محاسبه و در جدول ۳ و شکل ۳-۱۰ نشان داده شده‌اند.

بررسی و ارزیابی گرافیکی و کیفی تغییرات سالانه پارامترهای کیفیت شیمیایی آب با تاکید بر کاربری آن: در تجزیه و تحلیل کیفیت شیمیایی آب استفاده از روش‌های گرافیکی یکی از موثرترین روش‌ها است که با هدف آسان‌سازی تفسیر و بصری‌سازی نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب ارائه شده‌اند.

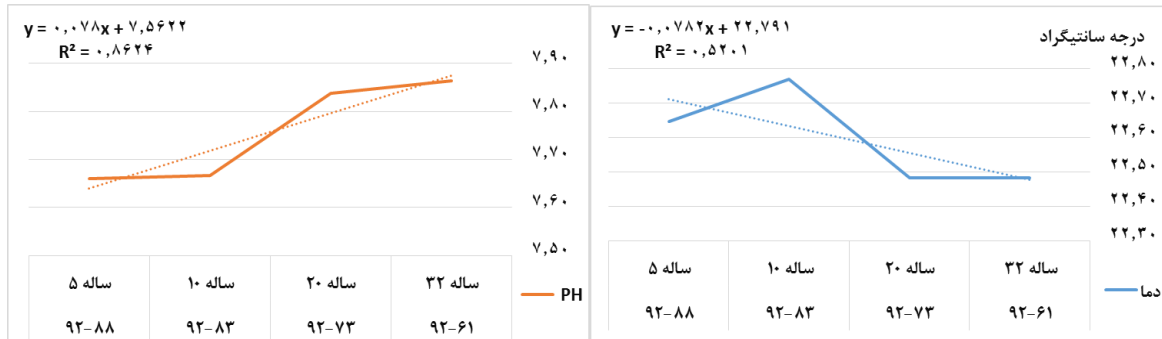
بررسی کیفیت آب برای آبیاری، نمودار ویلکاکس: از آنجا که مهمترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت آب برای آبیاری هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم هستند، این نمودار که به وسیله ویلکاکس بر اساس دو عامل ذکر شده ترسیم می‌شود، در طبقه بندی آب‌ها از نظر آبیاری و کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. بر اساس این نمودار آب‌ها برای

کشاورزی به ۱۶ قسمت به شرح جدول ۲ تقسیم می‌شوند، مختصات مربوط به هر آب در منطقه‌ای قرار می‌گیرد که با حروف S از نظر شوری و C از نظر قلیائیت، مشخص می‌شود. همچنین، مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴، به ترتیب بیانگر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است.

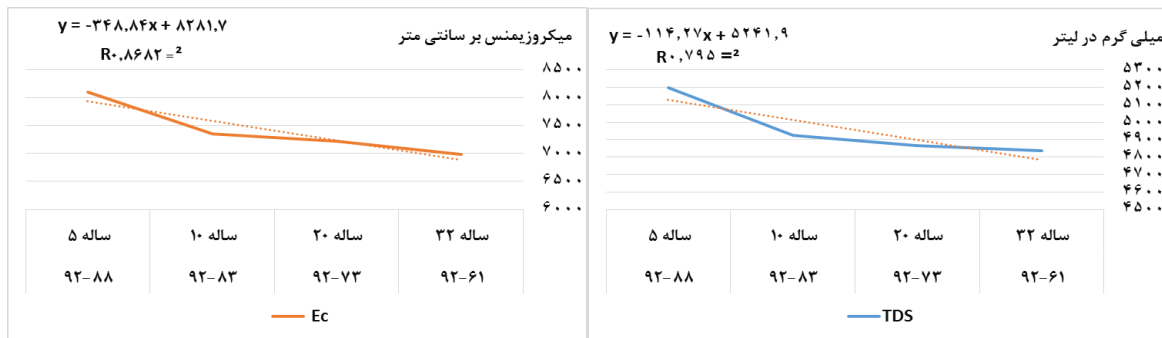
آب‌های با کیفیت خیلی خوب آب‌هایی هستند که هدایت الکتریکی آن‌ها کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و در طبقه C۱S۱ قرار دارند. آب‌های با کیفیت خوب شامل طبقه‌های C۱S۱، C۲S۲ و C۱S۲، آب‌های با کیفیت متوسط شامل طبقه‌های C۲S۳، C۱S۳، C۲S۱ و C۳S۲ و آب‌های با کیفیت نامناسب شامل C۱S۴، C۲S۴، C۳S۴، C۴S۴، C۴S۱، C۴S۳ و C۴S۳ است (Wilcox، ۱۹۴۹). نتایج حاصل از ارزیابی کیفی آب برای مصارف کشاورزی و آبیاری در جدول ۷ و شکل ۱۱ نمایش داده شده است. همان‌گونه که جدول ۷ نشان می‌دهد، کلیه دوره‌های مورد بررسی در ایستگاه کوپال نمره ۳ در طبقه C۴S۳ قرار داشته، برای مصارف کشاورزی و آبیاری نامناسب می‌باشند. از طرفی، نتایج نشان می‌دهد، مقادیر SAR و EC با حرکت به سمت سال‌های پایانی روندی افزایشی داشته و به ترتیب موجب افزایش میانگین SAR و EC به ترتیب  $5 < 10 < 20 < 30$  ساله شده‌اند.

جدول ۶- میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله هر یک از پارامترهای کیفیت شیمیایی آب ایستگاه کوپال نمره ۳

دبی (m <sup>3</sup> /s)	Na %	SAR	کاتیون	K (meq/l)	Na (meq/l)	mg (meq/l)	Ca (meq/l)	آنیون	SO4 (meq/l)	Cl (meq/l)	HCO3 (meq/l)	Co3 (meq/l)	TDS (mg/l)	Ec (µs/cm)	PH	دما	پارامتر	هفته
۲/۵	۴۵/۴	۸	۸۰	۰/۳	۳۷/۴	۱۵/۴	۲۷	۷۹/۸	۳۹/۷	۳۷/۵	۲/۶	۰	۴۸۳۶/۷	۶۹۷۸/۵	۷/۹	۲۲/۴	میانگین	۳۲ ساله (۹۲-۶۱)
۶	۱۸۶/۵	۱۸۶	۷۰/۳	۰/۹	۱۱۱	۳۵/۲	۴۱/۹	۱۹/۶	۷۷/۹	۱۰۶/۶	۴/۳	۰/۶	۱۵۱۳۰	۱۵۵۸۰	۸/۵	۳۱	حداکثر	
۰/۵	۱۱/۷	۱۱/۴	۹/۴	۰	۱/۴	۱/۸	۷/۹	۰/۶	۴/۸	۱/۶	۰/۹	۰	۳۴/۴	۱۰۱۰	۶/۷	۱۱/۲	حداقل	
۱/۴	۲۳/۶	۲۳/۶	۷/۹	۰/۱	۱۵/۳	۶/۲	۴/۵	۲/۷	۱۰/۳	۱۴/۸	۰/۷	۰/۱	۱۵۷۶/۳	۲۲۰۶/۳	۰/۳	۶	انحراف معیار	
۵۵/۳	۵۱/۹	۲۹۵/۸	۹/۹	۴۵/۴	۴۰/۸	۴۰/۶	۱۶/۷	۳/۴	۲۵/۹	۳۹/۵	۲۵/۳	۷۹۳/۸	۳۲/۶	۳۱/۶	۳/۶	۲۶/۷	ضریب تغییرات	
۲/۴	۸۱/۱	۸۰/۸	۴۵/۷	۰/۳	۳۸/۴	۱۵/۵	۲۷	۸/۲	۳۹/۸	۳۸/۴	۲/۷	۰	۴۸۶۶/۱	۷۲۱۵/۷	۷/۸	۲۲/۵	میانگین	۲۰ ساله (۷۳-۹۲)
۶	۱۸۶/۵	۱۸۶	۷۰/۳	۰/۹	۱۱۱	۳۵/۲	۴۱/۹	۱۹/۶	۷۷/۹	۱۰۶/۶	۴/۳	۰/۶	۱۵۱۳۰	۱۵۵۸۰	۸/۵	۳۱	حداکثر	
۰/۵	۱۱/۷	۱۱/۴	۹/۸	۰	۱/۴	۲	۷/۹	۰/۶	۷/۶	۱/۶	۰/۹	۰	۳۴/۴	۱۰۱۰	۶/۷	۱۱/۲	حداقل	
۱/۶	۲۴/۹	۲۴/۹	۸/۵	۰/۱	۱۶/۴	۶/۳	۴/۸	۳	۱۰/۷	۱۵/۸	۰/۷	۰/۱	۱۷۱۹/۶	۲۳۱۷/۳	۰/۳	۶	انحراف معیار	
۶۶/۶	۳۰/۷	۳۰/۹	۱۸/۷	۴۲	۴۲/۶	۴۰/۱	۱۷/۸	۳۶/۴	۲۶/۹	۴۱/۲	۲۵/۷	۶۸۶/۶	۲۵/۳	۳۲/۱	۴	۲۶/۷	ضریب تغییرات	
۱/۹	۸۱/۶	۸۱/۱	۴۵	۰/۳	۳۸/۷	۱۵/۲	۲۷/۵	۸/۱	۳۹/۸	۳۸/۵	۲/۸	۰	۴۹۲۳/۶	۷۳۴۶/۶	۷/۷	۲۲/۸	میانگین	۱۰ ساله (۸۳-۹۲)
۳/۴	۱۸۶/۵	۱۸۶	۶۸/۳	۰/۹	۱۱۱	۳۳/۲	۴۱/۹	۱۹/۶	۷۷/۹	۱۰۶/۶	۴/۳	۰	۱۵۱۳۰	۱۵۵۸۰	۸/۱	۳۱	حداکثر	
۰/۵	۱۱/۷	۱۱/۴	۹/۸	۰	۱/۴	۲/۳	۷/۹	۰/۶	۷/۶	۱/۶	۱/۳	۰	۳۴/۴	۱۰۱۰	۶/۷	۱۱/۲	حداقل	
۱/۱	۲۸/۹	۲۹	۹/۹	۰/۱	۱۸/۹	۷/۱	۵/۶	۳/۴	۱۲/۸	۱۷/۵	۰/۷	۰	۲۱۸۹/۶	۲۷۵۳/۸	۰/۳	۵/۹	انحراف معیار	
۵۶/۱	۳۵/۴	۳۵/۷	۲۱/۹	۴۸/۸	۴۸/۷	۴۶/۸	۲۰/۳	۴۱/۶	۳۲/۱	۴۵/۴	۲۶/۳	۰	۴۴/۵	۳۷/۵	۳/۹	۲۵/۹	ضریب تغییرات	
۱/۷	۸۵/۹	۸۵/۱	۴۴/۵	۰/۳	۴۰/۱	۱۷	۲۸/۵	۸/۲	۴۲/۵	۳۹/۹	۲/۷	۰	۵۱۹۸/۴	۸۰۹۷/۷	۷/۷	۲۲/۷	میانگین	۵ ساله (۸۸-۹۲)
۳	۱۴۴/۳	۱۴۴/۱	۵۹/۹	۰/۵	۸۱/۸	۳۰/۴	۴۱/۹	۱۴/۷	۶۱/۵	۸۱	۴/۳	۰	۸۸۰۰	۱۴۰۲۰	۸/۱	۳۰/۳	حداکثر	
۰/۹	۱۱/۷	۱۱/۴	۱۲/۲	۰	۱/۴	۲/۳	۷/۹	۰/۶	۷/۶	۱/۶	۱/۳	۰	۱۰۰	۱۰۴۸	۶/۹	۱۱/۳	حداقل	
۰/۹	۲۹/۲	۲۹/۶	۱۰/۶	۰/۱	۱۷	۸/۲	۶/۳	۳	۱۳/۴	۱۷/۶	۰/۹	۰	۲۱۵۰/۹	۲۸۸۵/۵	۰/۳	۶	انحراف معیار	
۵۳/۸	۳۳/۹	۳۴/۷	۲۳/۷	۴۲/۱	۴۲/۳	۴۸/۵	۲۱/۸	۳۶/۳	۳۱/۶	۴۴	۳۲/۸	۰	۴۱/۴	۳۵/۶	۴	۲۶/۳	ضریب تغییرات	

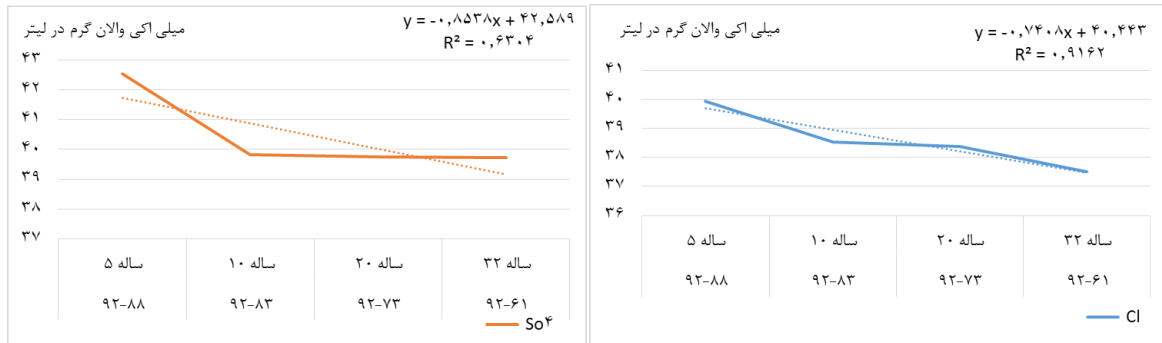


شکل ۳- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله دما و pH آب ایستگاه کوپال نمره ۳

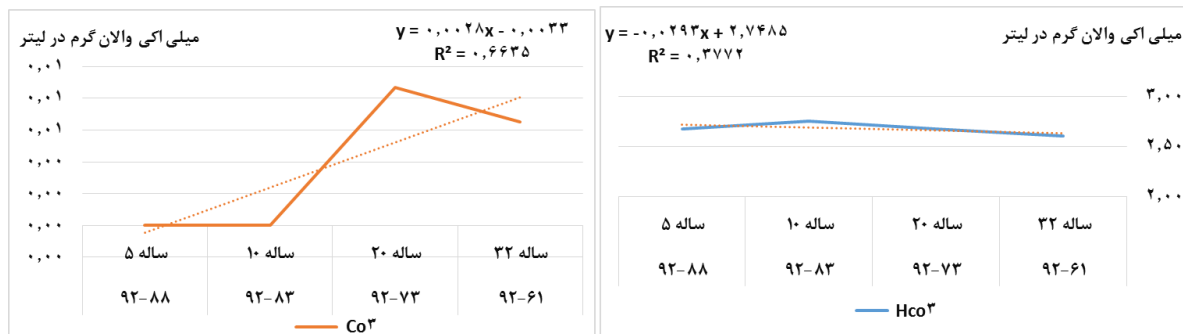


شکل ۴- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله TDS و EC آب ایستگاه کوپال نمره ۳

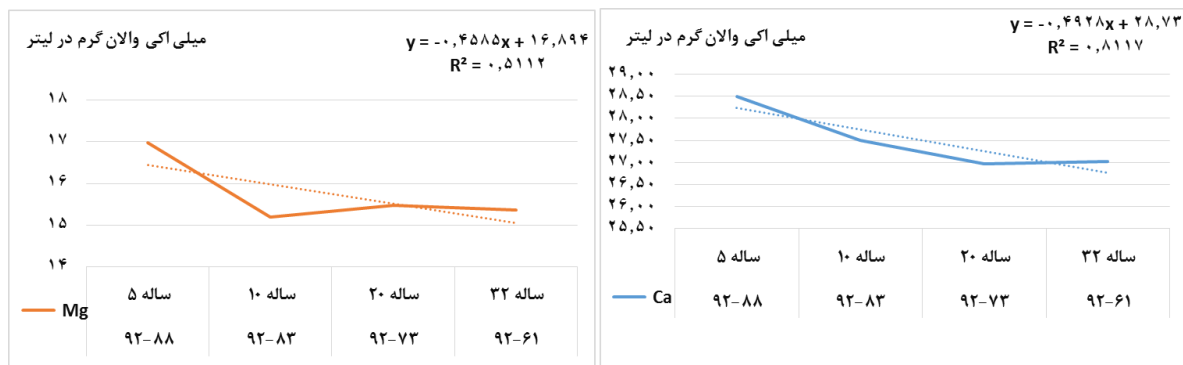




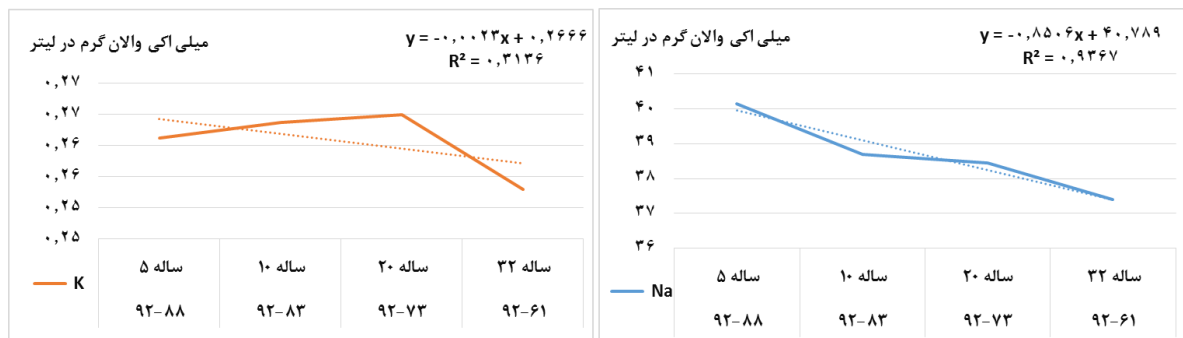
شکل ۵- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله  $SO_4$  و  $Cl$  آب ایستگاه کوپال نمره ۳



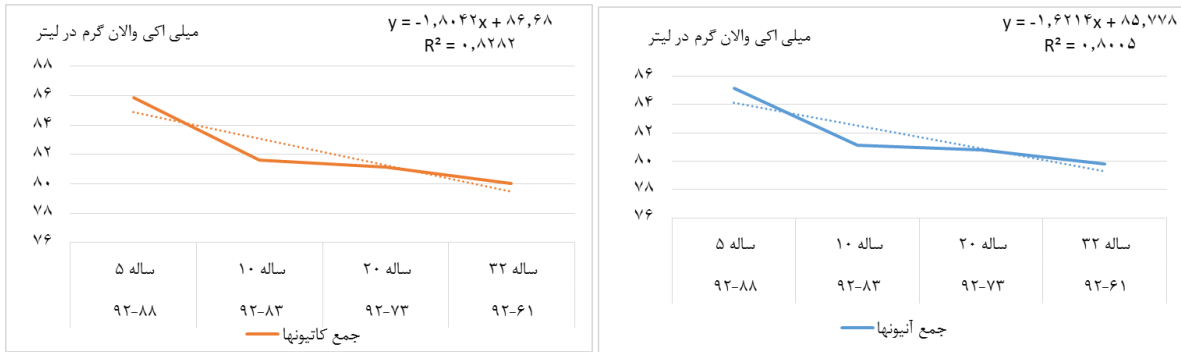
شکل ۶- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله  $CO_3$  و  $HCO_3$  آب ایستگاه کوپال نمره ۳



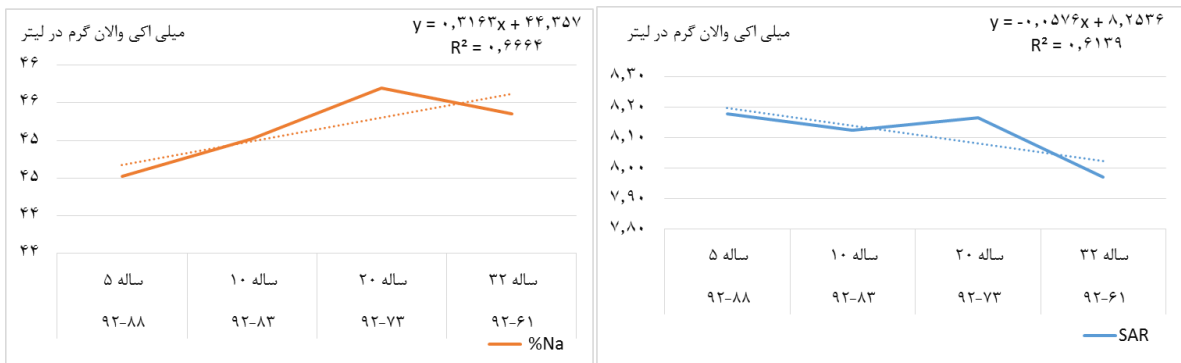
شکل ۷- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله  $Mg$  و  $Ca$  آب ایستگاه کوپال نمره ۳



شکل ۸- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله  $K$  و  $Na$  آب ایستگاه کوپال نمره ۳



شکل ۹- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها آب ایستگاه کوپال نمره ۳



شکل ۱۰- روند تغییرات میانگین پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۲ ساله SAR و درصد Na آب ایستگاه کوپال نمره ۳

کاهش می‌یابد. لذا، آبیاری با چنین آبی موجب مشکل در جوانه‌زنی، تهویه ناکافی خاک، شیوع بیماری‌های گیاه و ریشه و مشکل مبارزه با بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌شود. بنابراین، آبیاری با آب رودخانه کوپال نیاز به مدیریت ویژه، زهکشی مناسب، آیشویی زیاد و افزایش مواد آلی دارد. اگر گچ در خاک باشد، مشکل نفوذ به تاخیر می‌افتد. نتایج حاصل از مطالعه Shammi (۲۰۱۶) کاملاً با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

از آنجا که خصوصیات فیزیکی خاک مانند ساختمان و پایداری خاکدانه به کاتیون‌های جذب‌شده سطح خاک بستگی دارد و کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  باعث بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها شده در حالی که کاتیون‌های یک ظرفیتی مانند  $Na^{+}$  باعث پراکندگی ذرات خاک و از بین رفتن ساختمان می‌شوند به گونه‌ای که اگر دست کم ۱۰ درصد کاتیون‌های جذب شده در خاک سدیم باشد، خاک ساختمان خود را در اثر تورم و کاهش منافذ از دست داده و نفوذ بر اثر پراکندگی ذرات خاک

جدول ۷- کیفیت آب ایستگاه کوپال نمره ۳ بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس برای آبیاری و کشاورزی در دوره‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و پنج ساله منتهی به سال ۱۳۹۲

ردیف	ایستگاه-دوره	SAR	EC	طبقه آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱	کوپال نمره ۳-۳۰ ساله	۸/۱۲	۶۹۷۸/۴۹	۳-S۴C	خیلی شور-برای کشاورزی نامناسب
۲	کوپال نمره ۳-۲۰ ساله	۸/۳۴	۷۲۱۵/۷۱	۳-S۴C	خیلی شور-برای کشاورزی نامناسب
۳	کوپال نمره ۳-۱۰ ساله	۸/۳۷	۷۳۴۶/۶	C۴-S۳	خیلی شور-برای کشاورزی نامناسب
۴	کوپال نمره ۳-۵ ساله	۸/۴۲	۸۰۹۷/۶۷	۳-S۴C	خیلی شور-برای کشاورزی نامناسب

**قلیائیت یا غلظت بی کربنات‌های محلول (RSC):**

یکی دیگر از پارامترهای سنجش کیفیت آب برای آبیاری میزان قلیائیت یا بی کربنات‌های محلول است. پس از مدتی آبیاری با آب‌هایی که دارای مقدار زیادی بی کربنات محلول هستند، این بی کربنات‌ها در اثر از دست دادن گاز دی اکسید کربن تجزیه شده و این گاز موجب رسوب یون‌های کلسیم و منیزیم و افزایش غلظت آن‌ها در خاک می‌شود و به جهت بالا بودن قابلیت تبادل یونی سدیم نسبت به این دو یون به تدریج نسبت یون سدیم در خاک افزایش یافته، باعث ایجاد مزاحمت برای گیاه می‌شوند. این سدیم در خاک به صورت بی کربنات سدیم باقی مانده و به کربنات سدیم باقی مانده معروف است (Mahdavi, ۲۰۰۲). میزان RSC برای نمونه‌های آب از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$RSC = CO_3^{2-} + HCO_3^- - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad (1)$$

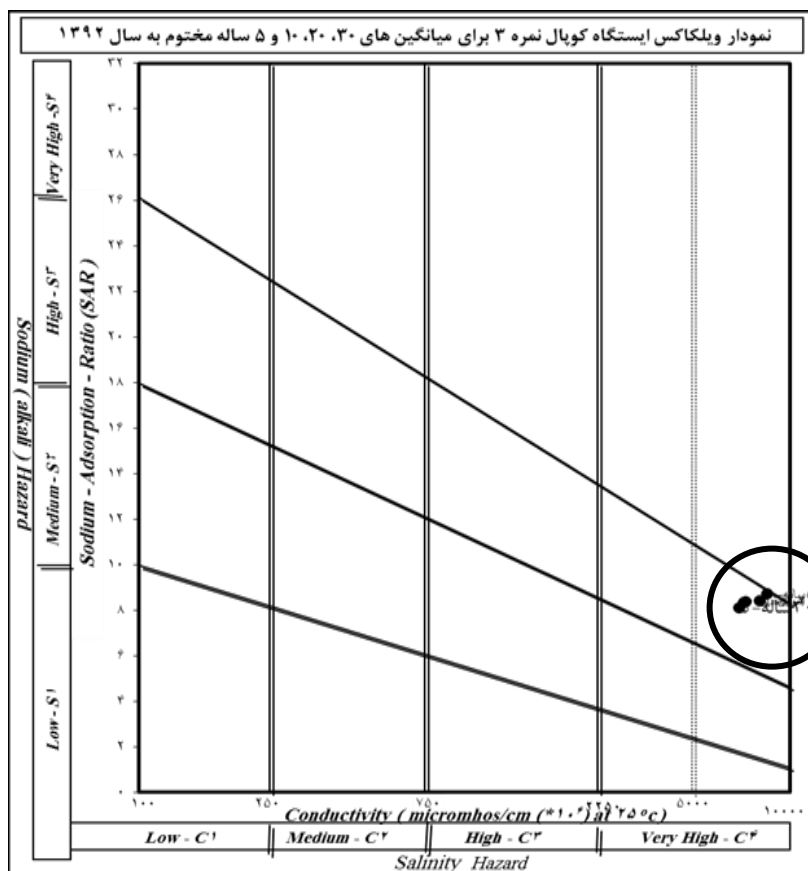
و این در حالی است که مقادیر کلیه یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq<sup>-1</sup>) است.

مقدار RSC (کربنات سدیم باقی مانده) برای آبیاری نباید از ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشتر باشد. آب‌های با مقدار RSC کمتر از ۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq<sup>-1</sup>) برای آبیاری مناسب بوده و در مورد آب‌های بین ۲/۵ تا ۱/۲۵ باید مدیریت خاصی اعمال کرد و شرایط گیاه و زمین را مد نظر قرار داد (Mahdavi, ۲۰۰۲).

**درصد سدیم محلول (Na):** یکی دیگر از پارامترهای سنجش کیفیت آب برای آبیاری میزان درصد سدیم محلول است. از این نظر آب‌ها به پنج دسته عالی (کمتر از ۲۰)، خوب (۲۰-۴۰)، قابل قبول (۴۰-۶۰)، مشکوک (۶۰-۸۰) و بد (بیشتر از ۸۰) تقسیم می‌شوند (Mahdavi, ۲۰۰۲). میزان Na برای نمونه‌های آب از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+} \times 100 \quad (2)$$

و این در حالیست که مقادیر کلیه یون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq<sup>-1</sup>) است.



شکل ۱۱- نمودار ویلکاکس کیفیت آب برای آبیاری ایستگاه کوپال نمره ۳ برای دوره‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و پنج ساله منتهی به سال ۱۳۹۲

در بدترین شرایط یعنی وقتی که SAR و EC به بالاترین حد خود رسیده‌اند، کیفیت آب این رودخانه برای تمامی دوره‌های مورد بررسی در طبقه قابل قبول و مناسب قرار دارند. از طرفی، از جدول ۸ استنباط می‌شود که مقادیر درصد سدیم و کربنات کلسیم باقی‌مانده به ترتیب  $5 < 10 < 20 < 30$  ساله روند افزایشی را طی کرده‌اند.

نتایج حاصل از ارزیابی کیفی آب بر اساس درصد سدیم (Na) و باقی‌مانده کربنات سدیم (RSC) برای میانگین ۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله ایستگاه کوپال نمره ۳ در جدول ۸ نشان داده شده است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، کیفیت آب رودخانه کوپال در محل ایستگاه نمره ۳ از نظر درصد سدیم و کربنات سدیم باقی‌مانده هیچ‌گونه محدودیتی ندارد، به‌عبارتی

جدول ۸- کیفیت آب ایستگاه کوپال نمره ۳ بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس برای آبیاری و کشاورزی در دوره‌های ۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله منتهی به سال ۱۳۹۲

ردیف	محل نمونه برداری	SAR	Na درصد	کیفیت بر اساس RSC	کیفیت بر اساس RSC
۱	کوپال نمره ۳-۳۰ ساله	۸/۱۲	۴۷/۰۴	قابل قبول	مناسب
۲	کوپال نمره ۳-۲۰ ساله	۸/۳۴	۴۷/۷	قابل قبول	مناسب
۳	کوپال نمره ۳-۱۰ ساله	۸/۳۷	۴۷/۷۱	قابل قبول	مناسب
۴	کوپال نمره ۳-۵ ساله	۸/۴۲	۴۷/۰۵	قابل قبول	مناسب

کردن دستگاه‌ها، تولید مواد، استفاده در دیگ‌های بخار و نیروگاه‌های برق آبی و غیره استفاده می‌کنند. آب‌ها می‌توانند حالت خوردگی و یا حالت رسوب-گذاری داشته باشند که در دو حالت اثرات نامطلوبی در صنعت دارند. آب‌های سنگین با رسوب‌گذاری و بستن مجاری هدایت آب، اثر مهمی در کاهش بازده حرارتی دستگاه‌های گرم‌کننده و شبکه‌های حرارتی دارند. همچنین، قلیائیت زیاد آب در دستگاه-های حرارتی تحت فشار زیاد، سبب انحلال قشر محافظ اکسید آهن و از طرف دیگر کف کردن آب می‌شود. نمک‌های کلسیم و منیزیم هر یک در کنار سولفات، کربنات، بی‌کربنات و کلر، آب را سخت یا سنگین می‌کنند. بعضی از عناصر دیگر نیز مانند نمک‌های سدیم، آهن، روی، آلومینیوم و همچنین گازکربنیک، سبب سختی آب می‌شوند، ولی درجه تاثیر آن‌ها نسبت به املاح کلسیم و منیزیم کمتر است. به‌طور کلی سختی آب، به دو صورت موقت و دائم در آن وجود دارد. لذا در طبقه‌بندی آب برای مصارف صنعتی، شوری و میزان املاح، درجه سختی (دائم و موقت) و محیط واکنش آن بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، در ابتدا پس از محاسبه سختی، قلیائیت، TDS، pH و درجه حرارت، مقدار pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم ( $pH_s$ ) مطابق با

**بررسی کیفیت آب برای شرب:** طبقه‌بندی کیفی آب از لحاظ شرب برای میانگین ۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله ایستگاه کوپال نمره ۳ به‌وسیله نمودار لگاریتمی شولر برای ایستگاه کوپال نمره ۳ ترسیم شد. در این نمودار مقادیر یون‌ها بر روی ستون قائم با تقسیمات لگاریتمی و نتایج تجزیه شیمیایی با خطوط شکسته نشان داده شده و برای هر یک از مقادیر کاتیون‌ها، آنیون‌ها و درجه سختی آب (TH) محور جداگانه‌ای در نظر گرفته شده است که از اتصال مقادیر اندازه‌گیری شده روی این محورها می‌توان به درجه آب برای شرب پی برد. طبق این نمودار آب از نظر سختی و از نظر کیفیت برای شرب در یکی از بازه‌های خوب، قابل قبول، نامناسب، بد، موقتا قابل شرب و غیرقابل شرب قرار گرفته و طبقه‌بندی می‌شود. همان‌طور که نمودار شولر شکل ۱۲ نشان می‌دهد، کیفیت آب ایستگاه کوپال نمره ۳ برای تمامی دوره‌های مورد مطالعه از نظر شرب در محدوده کاملا نامطبوع قرار داشته، از نظر سختی جدول ۹ آب آن کاملا سخت بوده (TH بزرگ‌تر از ۱۸۰) و به‌ترتیب از کیفیت آب با حرکت از دوره ۳۰ ساله به سمت دوره پنج ساله با افزایش میزان یون‌ها و میزان سختی کاسته می‌شود.

**بررسی کیفیت آب برای مصارف صنعتی:** بسیاری از صنایع از آب برای مصارف مختلفی چون خنک

کیفیت رسوب گذاری افزوده می شود.

**نمودار کالینز و پایپر برای تعیین رخساره و تیپ آب:** نمودار کالینز که به نمودار ستونی معروف است، برای تعیین وضعیت غلظت آنیون‌ها (ستون سمت راست) و کاتیون‌ها (ستون سمت چپ) بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq<sup>-1</sup>) مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱۳). در این نمودار ارتفاع ستون آنیون‌ها و کاتیون‌ها همواره برابر بوده، تقسیمات آن‌ها بر حسب درصد از کل اکی‌والان گرم است. از نمودار پایپر برای دسته‌بندی نمونه‌ها و تعیین تیپ شیمیایی آب استفاده می‌شود. طبق این نمودار مقدار کل آنیون‌ها و کاتیون‌ها ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود و میزان درصد یون‌ها روی مثلث‌های کناری علامت گذاری شده، نقاط متناظر روی مثلث‌های کناری بر روی لوزی میانی تصویر می‌شوند. در نهایت قضاوت در مورد تیپ کیفی آب به وسیله نمودار پایپر با توجه به منطقه تمرکز نقاط انجام می‌شود. در این طبقه‌بندی، آب‌ها بر اساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون‌ها به سه تیپ کربناته، سولفات و کلروره تقسیم‌بندی می‌شوند (Piper, ۱۹۴۴).

رابطه (۳) محاسبه شده، در نهایت به ترتیب با استفاده از روابط (۴) و (۵) مقادیر اندیس‌های لانژیله (LI) و رایزنر (RI) برای تعیین خاصیت خوردگی و رسوب-گذار بودن آب ایستگاه کوپال نمره ۳ در طول دوره‌های مورد بررسی تعیین شد.

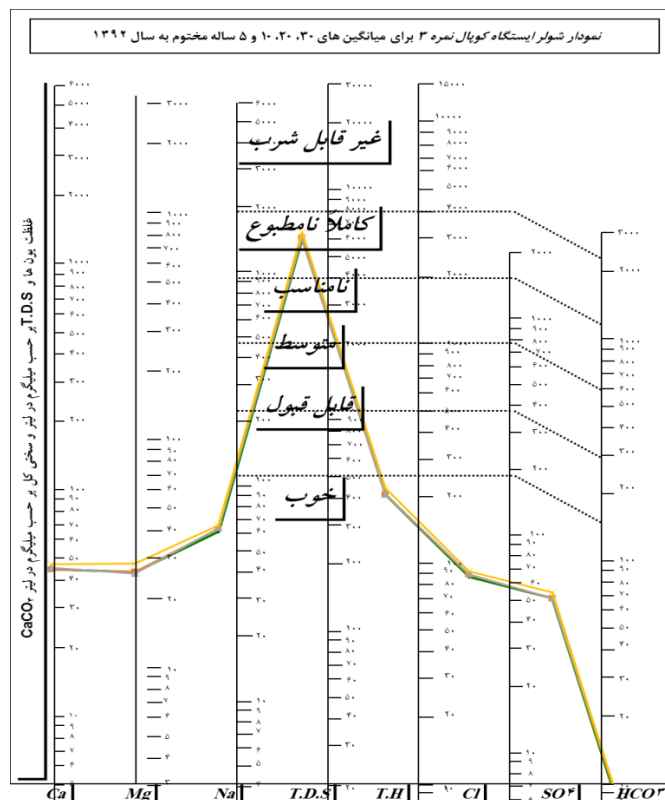
$$pH_s = [ ( 9.3 + \log A + \log B ) - ( \log C + \log D ) ] \quad (3)$$

که در آن، pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم، A برابر TDS آب (میلی گرم بر لیتر)، B درجه حرارت آب (درجه سانتی‌گراد)، C سختی کلسیم (میلی گرم در لیتر) کربنات کلسیم، D قلیائیت (میلی-گرم بر لیتر) کربنات کلسیم است.

$$LI = pH - pH_s \quad (4) \text{ (De Zuane, ۱۹۹۷)}$$

$$RI = 2pH_s - pH \quad (5)$$

جداول ۹ و ۱۰ کیفیت آب ایستگاه کوپال نمره ۳ از نظر سختی و مصارف صنعتی را نشان می‌دهند. همان‌گونه که جداول نشان می‌دهند، از لحاظ کیفیت آب برای مصارف صنعتی در تمامی دوره‌های مورد مطالعه آب ایستگاه کوپال نمره ۳ کاملاً سخت و رسوب‌گذار بوده است و با حرکت از سمت دوره ۳۰ ساله به سمت دوره پنج ساله بر میزان سختی و



شکل ۱۲- نمودار شولر کیفیت آب برای شرب ایستگاه کوپال نمره ۳ برای دوره‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و پنج ساله منتهی به سال ۱۳۹۲

جدول ۹- میزان سختی آب ایستگاه کوپال نمره ۳ برای دوره‌های ۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله منتهی به سال ۱۳۹۲

ردیف	علامت اختصاری	سختی کل (میلی گرم بر لیتر)	سختی موقت (میلی گرم بر لیتر)	سختی دائم (میلی گرم بر لیتر)	استاندارد سختی	کیفیت آب بر اساس سختی کل
۱	کوپال نمره ۳-۳۰ ساله	۲۱۰۸/۱۵	۲۶۰/۴۱۷۶	۱۸۴۷/۷۳۲	۰-۶۰ نرم	کاملاً سخت
۲	کوپال نمره ۳-۲۰ ساله	۲۱۱۰/۴۹	۲۶۷/۹۱۰۵	۱۸۴۲/۵۸	۶۱-۱۲۰ متوسط	کاملاً سخت
۳	کوپال نمره ۳-۱۰ ساله	۲۱۲۳/۵۷	۲۵۷/۱۹۲۸	۱۸۴۸/۳۷۷	۱۲۱-۱۸۰ سخت	کاملاً سخت
۴	کوپال نمره ۳-۳ ساله	۲۲۶۱/۲۹	۲۶۷/۳۰۳	۱۹۹۳/۹۸۷	بزرگ‌تر از ۱۸۰ کاملاً سخت	کاملاً سخت

جدول ۱۰- مقادیر اندیس‌های لائزلیه، رایزتر و کیفیت آب ایستگاه کوپال نمره ۳ برای مصارف صنعتی برای دوره‌های مورد مطالعه

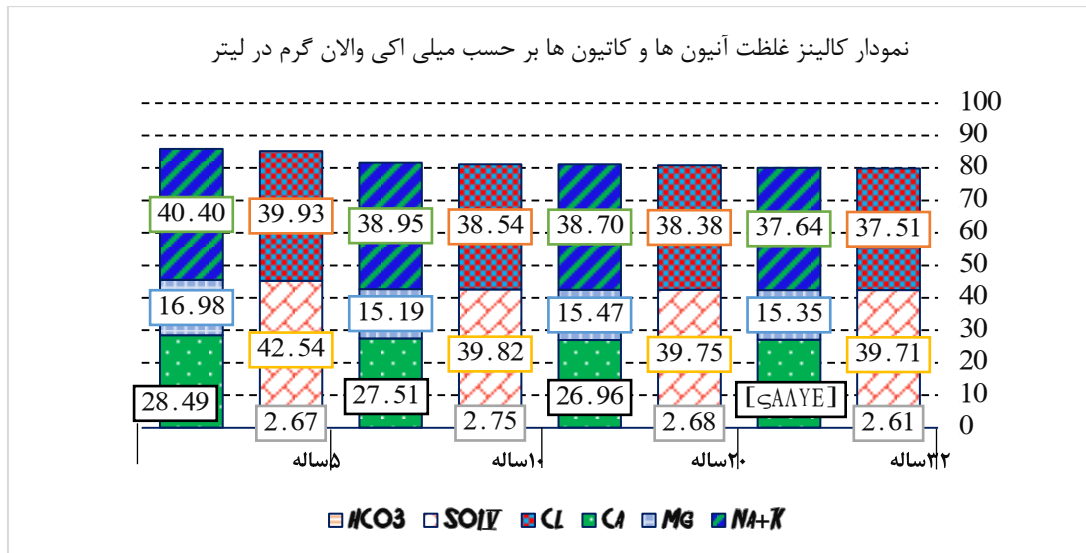
ردیف	محل نمونه برداری	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mgL <sup>-1</sup> )	PHs	pH	اندیس لائزلیه (LI)	اندیس رایزتر (RI)	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱	کوپال نمره ۳-۳۰ ساله	۸۶۹/۷۹۷	۵۴۰/۶۴	۵/۷	۷/۸۶۴	-۲/۱۶۴	۳/۵۴	رسوب‌گذار
۲	کوپال نمره ۳-۲۰ ساله	۸۹۴/۴۱	۵۳۹/۲۳	۵/۷	۷/۸۳۸	-۲/۱۳۸	۳/۵۶	رسوب‌گذار
۳	کوپال نمره ۳-۱۰ ساله	۹۰۰/۰۲۳	۵۵۰/۱	۵/۷	۷/۶۶۷	-۱/۹۶۷	۳/۷۳	رسوب‌گذار
۴	کوپال نمره ۳-۵ ساله	۹۳۳/۴۴۲	۵۶۹/۸۷	۵/۶	۷/۶۶۱	-۲/۰۶۰	۳/۵۴	رسوب‌گذار

دشت واقع شده به علت آن است که سولفات‌ها که غالباً در مراکز دشت‌ها حضور دارند، در آب محلول‌تر از بی‌کربنات‌ها که غالباً در ابتدای دشت‌ها حضور دارند بوده و هر چه میزان کلرورها بیشتر باشد، درصد اشباع آن بالا می‌رود و آب تیپی سولفات‌ها پیدا می‌کند و همان‌طور که جدول ۱۱ نشان می‌دهد، بیشترین غلظت آنیون‌ها مربوط به سولفات و پس از آن کلراید است. به‌طور کلی نتایج نشان داد، تیپ آب و رخساره آن در کلیه دوره‌های مورد مطالعه (۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله) به ترتیب سولفات‌ها و سدیک هستند و هر چه از دوره ۳۰ ساله به سمت دوره پنج ساله پایانی پیش می‌رود، بر غلظت سولفات و سدیم و املاح محلول افزوده می‌شود که با نتایج Sahbaei Lotfi (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

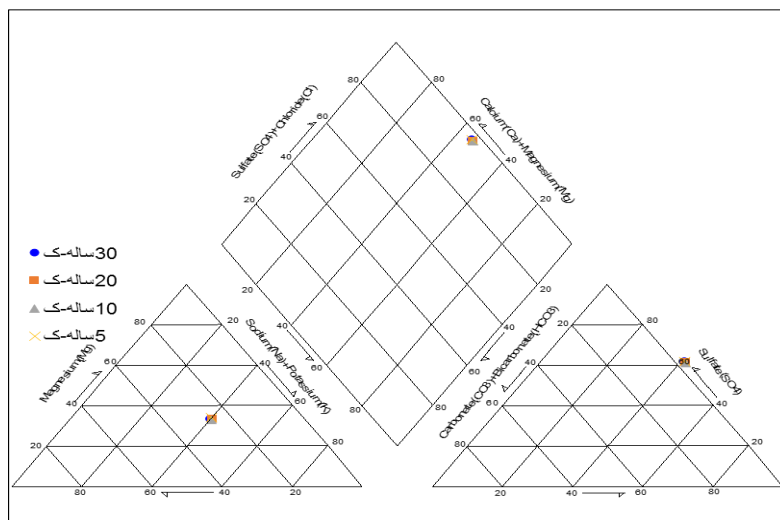
نمودار کالینز و دیاگرام پایپر آب ایستگاه کوپال نمره ۳ در طی دوره‌های زمانی ۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله به‌منظور تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمیایی با استفاده از نرم‌افزار chemistry ترسیم و در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و تیپ و رخساره آب در جدول ۱۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که شکل ۱۳ و جدول ۱۱ نشان می‌دهند، در تمامی دوره‌های مورد بررسی در بین کاتیون‌ها یون سدیم و در بین آنیون‌ها یون سولفات بیشترین غلظت را داشته، یون‌های غالب در نمونه‌های آب هستند. از طرفی، از نمودار کالینز چنین استنباط می‌شود که غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها با کاهش دوره مورد مطالعه منتهی به سال ۹۲ روندی افزایشی داشته است. بروز تیپ سولفات‌ها در ایستگاه کوپال نمره ۳ که در مرکز

جدول ۱۱- غلظت آنیون‌ها، کاتیون‌ها و تیپ و رخساره آب ایستگاه کوپال نمره ۳ برای دوره‌های ۳۰، ۲۰، ۱۰ و پنج ساله

ردیف	محل نمونه برداری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ	رخساره	تیپ و رخساره
۱	کوپال نمره ۳-۳۰ ساله	SO <sub>4</sub> > Cl > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	سولفات‌ها	سدیک	سولفات‌ها سدیک
۲	کوپال نمره ۳-۲۰ ساله	SO <sub>4</sub> > Cl > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	سولفات‌ها	سدیک	سولفات‌ها سدیک
۳	کوپال نمره ۳-۱۰ ساله	SO <sub>4</sub> > Cl > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	سولفات‌ها	سدیک	سولفات‌ها سدیک
۴	کوپال نمره ۳-۵ ساله	SO <sub>4</sub> > Cl > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	سولفات‌ها	سدیک	سولفات‌ها سدیک



شکل ۱۳- نمودار کالینز آب ایستگاه کوپال نمره ۳ برای دوره‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و پنج ساله منتهی به سال ۱۳۹۲



شکل ۱۴- دیاگرام پایپر آب ایستگاه کوپال نمره ۳ برای دوره‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و پنج ساله منتهی به سال ۱۳۹۲

### نتیجه‌گیری

آب‌های سطحی به‌ویژه رودخانه‌ها از مهمترین منابع آبی بوده که برای رفع نیاز جوامع بشری و مصارف مختلف اعم از شرب، صنعت و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و لذا، کیفیت آب همانند کمیت آن از مهمترین عوامل مشخص‌کننده به‌منظور کاربرد آن در مصارف مختلف به شمار می‌رود. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب نقش مهمی در طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت آب دارند، لذا اندازه‌گیری و بررسی این پارامترها از ضروریات امر مطالعه آن‌ها است. در این مطالعه به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه کوپال و بررسی روند تغییرات آن پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد،

رودخانه کوپال در محل ایستگاه نمره ۳ در دوره‌های چهارگانه مورد مطالعه دارای pH بین ۶/۷-۶/۹ تا ۸/۱-۸/۵ با میانگین ۷/۷-۷/۹ بوده (شکل ۳). این موضوع بیانگر تغییر کیفیت آب این رودخانه از قلیایی به سمت کمی قلیایی و اسیدی با شیب کاهشی به سمت سال‌های انتهایی است و این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش دما طی سال‌های مورد مطالعه از میزان pH کاسته شده است (شکل ۳). در آب‌های با pH بالاتر از هشت انتظار وجود نمک‌های کربنات و بی‌کربنات کلسیم بوده که کلسیم آن در چنین pH رسوب کرده و موجب بسته‌شدن مجاری تجهیزات آبیاری می‌شود. هدایت الکتریکی در ایستگاه نمره ۳ در طی دوره‌های مورد بررسی دارای بیشینه مقدار

آبدهی رودخانه در اثر کاهش بارندگی، خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک اخیر، ورود زه‌آب‌های کشاورزی، عدم مدیریت صحیح در بهره‌برداری و مصارف آب رودخانه کوپال دانست. افزایش میانگین دما با شیب افزایشی بیشتر در سال‌های پایانی نیز دلیلی بر این مدعا است. با توجه به مطالب ذکر شده در بالا می‌توان بیان داشت که رودخانه کوپال در محل ایستگاه نمره ۳ از کیفیت مطلوبی برخوردار نبوده، کیفیت آب این رودخانه در طبقه C۳S۴ نمودار ویلکاکس قرار گرفته، برای کشاورزی مناسب نیست و در سال‌های بین ۹۱-۸۸ از کیفیت آب به شدت کاسته شده است و چنانچه شرایط زهکشی مناسب فراهم باشد و در دوره رشد اولیه گیاه آب شیرین از طریق بارندگی و سیلاب به منطقه برسد و گیاه به شوری مقاوم باشد، تا حدودی می‌توان از این آب برای مصارف کشاورزی استفاده کرد. از نظر شرب کیفیت آب این ایستگاه برای شرب نیز مناسب نبوده و یون-های سدیم و سولفات یون‌های غالب بوده و آب رودخانه تیپ و رخساره سولفات سدیک داشته، از لحاظ صنعتی آب این رودخانه رسوب‌گذار بوده است. لذا، با توجه به نتایج حاصله از این مطالعه که کاملاً منطبق بر واقعیت محدوده مطالعاتی است، چنانچه به برداشت بیش از حد مجاز و برنامه‌ریزی نشده از آب رودخانه کوپال و عدم توجه به حبابه رودخانه با توجه به کاهش کیفیت آن با حرکت از سال‌های ابتدایی به پایانی اکوسیستم منطقه شدیداً دچار آسیب گشته و آن‌ها را تبدیل به کانون‌های با پتانسیل تولید گرد و غبار می‌کند.

۱۵۵۸۰-۱۴۰۳۰ و کمینه ۱۰۴۸-۱۰۱۰ و میانگین ۸۰۹۸-۶۹۷۸ بوده که نتایج نشان می‌دهد، علاوه بر افزایش میانگین به سمت دوره پنج ساله انتهایی مورد مطالعه مقادیر بیشینه‌های EC کاهش یافته، اما بر مقادیر کمینه‌های آن افزوده شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که TDS آب با میانگین ۵۱۹۸-۴۸۳۷ میلی-گرم بر لیتر بین کمینه مقادیر ۱۰۰-۳۴/۳۷ و بیشینه ۱۵۱۳۰-۸۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار داشته است و به‌طور کلی میزان TDS روندی افزایشی را با شیب بیشتر بین سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۸ طی کرده است (شکل ۴). به‌علاوه، نتایج نشان می‌دهد، افزایش TDS تاثیر بسزایی بر افزایش هدایت الکتریکی به‌خصوص در سال‌های انتهایی مورد مطالعه داشته است. با وجود روند کاهشی در مقادیر یون‌های کربنات و بی‌کربنات تغییرات مقادیر یون‌های کلر و سولفات روندی افزایشی را با شیب بیشتر در بین سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۸ طی کرده است (شکل‌های ۵ و ۶). مقادیر کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم در سال‌های انتهایی افزایش بیشتری را نسبت به یون پتاسیم داشته‌اند (شکل‌های ۷ و ۸). مقدار زیاد سدیم موجب افزایش قلیائیت خاک شده که هیدروکسید سدیم تولیدی می‌تواند سلول‌های ریشه گیاهان را سوزانده و از بین ببرد. هر اندازه سدیم در آب بیشتر باشد، موجب پف‌کردگی خاک و کاهش فاصله بین ذرات و به تبع آن کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود.

به‌طورکلی نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب نشان از افزایش مقادیر پارامترهای مورد مطالعه به‌خصوص در پنج سال اخیر منتهی به سال ۹۱-۹۲ است که می‌توان علت آن را کاهش

#### منابع مورد استفاده

- An, T.D., M. Tsujimura, V. Le Phu, A. Kawachi and D.T. Ha. 2014. Chemical characteristics of surface water and groundwater in coastal watershed, Mekong Delta, Vietnam. *Procedia Environmental Sciences*, 20: 712-721.
- Arand, R., Sh. Alpour and M. Nasr Esfahani. 2008. Karaj water quality assessment at Ahvaz No. 2 water treatment plant. *The First Conference on Optimal Utilization of Water Resources in Lorestan Province (in Persian)*.
- Asghari Moghadam, A. and A. Fijiani. 2008. Hydrogeological and hydrochemical studies of basaltic and karstic aquifers in maku area in relation to geological formations. *Geosciences*, 17(67): 2-13 (in Persian).
- Dashti Marouli, M., M. Qara Mahmudloo and F. Pourghasemi. 2007. Determining the water quality of the river Normbab using graphical methods. *The 9th Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman (in Persian)*.



5. Dastorani, M., M.T. Dastorani and A. Abbasi. 2009. Review of the chemical quality of water resources of the Milsefid-Jahan Abad, Yazd. 5th Iranian National Conference on Watershed Management and Engineering (Sustainable Management of Natural Disasters), Gorgan (in Persian).
6. De Zuane, J.P.E. 1997. Handbook of drinking water quality. 2nd Edition, Von Nostrand Reinhold Publishers, USA, 380 pages.
7. Asl, J.K. 2013. The investigation of chemical quality of surface water in the north of Dezful in Khuzestan Province. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 2(4): 638-643.
8. Kelley, W.P. 1940. Permissible composition and concentration of irrigation water. In *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 66: 607-613.
9. Khmer, Z., M.H. Mahmoudi Qara'i, S. Omrani and A. Sayareh. 2011. Quality water resources assessment in Kuh Zar mineral area, West of Torbat Heydarieh. Fourth Conference of the Iranian Economic Geological Society, Birjand (in Persian).
10. Maroofi, S. and R. Bayat. 2009. Chemistry quality review of Karaj River. Fifth National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, Kerman (in Persian).
11. Mahdavi, M. 2010. Applied hydrology. Vol. 2, Tehran University Press, 437 pages (in Persian).
12. Najafzadeh, M. and A. Tafarjnoruz. 2016. Evaluation of neuro-fuzzy GMDH-based particle swarm optimization to predict longitudinal dispersion coefficient in rivers. *Environmental Earth Sciences*, 75: 157-169.
13. Najafzadeh, M. and A. Zahiri. 2015. Neuro-fuzzy GMDH-based evolutionary algorithms to predict flow discharge in straight compound channels. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20: 04015035.
14. Naseri, N., H. Mohammadzadeh and S. Ebrahimpour. 2010. Hydrogeochemical study of Sahand Dam Basin. The First Conference on Applied Water Resources of Iran, Kermanshah, Kermanshah University of Technology (in Persian).
15. Noori, R., A. Karbassi, K. Ashrafi, M. Ardestani, N. Mehrdadi and G.R.N. Bidhendi. 2012. Active and online prediction of BOD5 in river systems using reduced-order support vector machine. *Environmental Earth Sciences*, 67: 141-149.
16. Noori, R., A. Karbassi, A. Khakpour, M. Shahbazbegian, H.M.K. Badam and M. Vesali-Nas. 2012. Chemometric analysis of surface water quality data: case study of the Gorganrud River Basin, Iran. *Environmental Modeling and Assessment*, 17(4): 411-420.
17. Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6): 914-928.
18. Raju, N.J., U.K. Shukla and P. Ram. 2011. Hydrogeochemistry for the assessment of groundwater quality in Varanasi: a fast-urbanizing center in Uttar Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4): 279-300.
19. Raju, N.J., P. Ram and W. Gossel. 2014. Evaluation of groundwater vulnerability in the lower Varuna catchment area, Uttar Pradesh, India using AVI concept. *Journal of the Geological Society of India*, 83(3): 273-278.
20. Rezaei Moghaddam, M., M. Nicjoo, M. Hejazi, S. Khezri and A. Kazemi. 2017. The effect of hydrogeomorphological factors on quality changes in Simineh Rood in different stations in the years 2001-2013. *Journal of Echohydrology*, 2: 395-405 (in Persian).
21. Sahbaei Lotfi, A. 2013. Qualitative water classification for drinking, agriculture, industry, case study of Babaaman Station of Atrak River. The First National Conference on Water and Agriculture Resources Challenges, Irrigation and Drainage Association of Iran, Isfahan (in Persian).
22. Shammi, M., B. Karmakar, M. Rahman, M.S. Islam, R. Rahaman and K. Uddin. 2016. Assessment of salinity hazard of irrigation water quality in monsoon season of Batiaghata Upazila, Khulna District, Bangladesh and adaptation strategies. *Pollution*, 2(2): 183-197.
23. Talabi, A.O., O.L. Afolagboye, M.N. Tijani, J.A. Aladejana and A.K. Ogundana. 2013. Hydrogeochemical assessment of surface water in the central part of Ekiti-State, Southwestern Nigeria. *American Journal of Water Resources*, 1(4): 56-65.
24. Talaei, M.R. and R.H. Yarvan. 2006. The impact of mineralization and alternate areas on surface water and underground water quality from an environmental point of view. The 25th Gathering of Geosciences, Geological Survey of the Country (in Persian).
25. Toumi, N., B.H. Hussein and S. Rafrafi. 2015. Groundwater quality and hydrochemical properties of Al-Ula region, Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3): 1-84.
26. Wilcox, L.V. 1948. The quality of water for irrigation use. US Department of Agricultural Technical Bulletin, No. 962, Washington, D.C., 40 pages.
27. Yidana, S.M., P.A. Sakyi and G. Stamp. 2011. Analysis of the suitability of surface water for irrigation purposes: the southwestern and coastal river systems in Ghana. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(10): 695-715.

28. Zare Garazi, A., A. Badi Sheikh and A. Saad al-Din. 2009. Evaluation of chemical quality of surface water and its seasonal variation. National Conference on Water Crisis Management, Marvdasht (in Persian).
29. Zia, H. and A. Asghari Moghadam. 2004. Quantitative and qualitative assessment of artificial nutrition in Shoorab Birjand. 8th Symposium of Geological Society of Iran, Shuhrud (in Persian).