اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۷، ص ۳۶-۲۳

بررسی کیفیت شیمیایی آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی در حوضهٔ کشکان

حسن ترابی پوده[1*]، پرستو همه‌زاده[2]

۱. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان

۲. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۲/۱۹؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۴/۲۹)

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی روند تغییرات کیفی در رودخانه‌های حوضهٔ کشکان است. فرض بر این است که در درازمدت رودخانه‌ها با عبور از شهرها و منابع آلودگی، به‌تدریج کیفیت خود را از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه از دست می‌دهند. به این منظور روند تغییرات کیفی طولانی‌مدت در دو سرشاخهٔ کشکان (خرم‌آباد و هرود) ارزیابی شد؛ برای تعیین روندیابی داده‌ها از آزمون من ـ کندال استفاده شد. برای بررسی کیفیت آب با استفاده از نرم‌افزار AqQA، دیاگرام شولر برای هر ایستگاه استخراج و تحلیل شد. برای بررسی کیفیت آب از نظر کشاورزی اطلاعات مورد نیاز به دیاگرام ویل‌کاکس منتقل و دسته‌بندی آب مشخص شد. در همهٔ ایستگاه‌ها روند دبی منفی و برای بیشتر شاخص‌های کیفی آب روند مثبتی مشاهده شد. نتایج نشان داد در هر دو سرشاخه پارامترهای کیفی آب کاهش یافته است. تغییرات کیفی آب پس از پیوستن دو سرشاخهٔ خرم‌آباد و هرود به یکدیگر، در ایستگاه پلدختر بررسی شد. در ایستگاه پلدختر بسیاری از پارامترها در محدوده‌ای بین مقدار آنها در دو سرشاخه قبل از پیوستن قرار گرفتند، اما در برخی از آنها نیز این قانون نقض شد و در ایستگاه پلدختر افزایش یافتند. با توجه به کاهش دبی و افزایش بسیاری از پارامترهای کیفی، فرض اولیه اثبات شد.

کلیدواژگان: روندیابی، کشکان، کیفیت، من ـ کندال.

* نویسندهٔ مسئول

Email: torabi.ha@lu.ac.ir

مقدمه

امروزه، آب به‌عنوان یکی از عوامل بهبود و رشد اقتصادی جوامع به شمار می‌آید. شناخت آب از نظر کیفیت، کمیت و چگونگی حصول آن قدمی اساسی برای بهینه‌سازی مصرف است [۱]. رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای مصارف گوناگون از جمله کشاورزی، شرب و صنعت مطرح‌اند. با توجه به اهمیت این مجاری و خشک‌سالی‌ها در سال‌های اخیر، حفظ این منابع یکی از وظایف مهم است [۲]. خصوصیات کیفی آب از مؤلفه‌هایی است که ضرورت لحاظ آن در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آب و همچنین ارزیابی سلامت حوضهٔ آبخیز و ایجاد تغییرات مدیریتی در آن کاملاً احساس شده [۳] ولی تا کنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۴]. با توجه به اهمیت موضوع تا کنون مطالعات متعددی به‌منظور بررسی کیفیت منابع آب و روند پارامترهای کیفی آب صورت گرفته است که در ادامه خلاصه‌ای از آنها آورده شده است.

هاشمی و همکارانش از سیستم استنتاج نظریهٔ فازی برای بررسی، تصمیم‌گیری و اظهار نظر دربارهٔ کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی‌ای استفاده کردند که برای شرب به کار می‌روند. ارزیابی نمونه‌ها نشان داد ۶۵ درصد از نمونه‌های آزمایش‌شده در حد مطلوب یا قابل قبول برای آشامیدن هستند [۵]. یانگ و جین با استفاده از GIS کیفیت آب را در شبکهٔ رودخانهٔ یووا در آمریکا پیش‌بینی کرده و روابطی برای آن ارائه کرده‌اند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه رگرسیون مکانی دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی حداقل مربعات دارد [۶]. سلیمانی ساردو و همکارانش در تجزیهٔ شیمیایی و روندیابی شاخص‌های کیفیت شیمیایی آب رودخانهٔ چم انجیر خرم‌آباد به این نتیجه رسیدند که آب این رودخانه بر اساس نمودار شولر در دستهٔ خوب و قابل قبول از نظر شرب قرار دارد و مانعی برای نوشیدن ندارد [۷]. جاوید و همکارانش در مطالعهٔ میدانی پارامترهای شیمیایی آب دریاچهٔ سد دز در عمق‌های ۰، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ متری از سطح آب را برای سال آبی ۱۳۸۹ـ۱۳۹۰ اندازه‌گیری کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بیشترین و بهترین شاخص کیفی آب (WQI) با مقدار 61 برای ایستگاه دوم تقریباً در وسط مخزن در دی‌ماه و کمترین آن در ایستگاه ورودی به مخزن با مقدار ۴۶ در فروردین‌ماه است. با توجه به بررسی نتایج آزمایشگاهی و ارزیابی مقادیر شاخص‌های کیفی، آب مخزن دز برای انواع مصارف عمومی مطلوب است و فقط برای شرب به تصفیهٔ پیشرفته نیاز دارد [۸]. عبادتی روند تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی دشت ایوانکی را بررسی کرد. نتایج پژوهش ایشان نشان داد بیشترین تمرکز شوری در بخش شرقی و جنوبی دشت بوده است و آب نواحی مرکزی دشت شوری و هدایت الکتریکی کمتری داشته و برای کشاورزی وضعیت مطلوب‌تری دارند [۹]. اسدزاده و همکارانش تأثیر خشک‌سالی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطح ایستابی دشت قروه و چهاردولی طی ۲۵ سال گذشته را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد کیفیت آب آبخوان‌های قروه و چهاردولی در دو کلاس C2S1 و C3S1 بوده و کیفیت در ترسالی به دلیل افزایش برداشت از چاه‌ها بهتر نشده است [۱۰]. سلگی و شیخ‌زاده کیفیت آب رودخانهٔ ارس را بررسی کردند و نمای کلی از ارتباط و منابع متغیرهای فیزیکی و شیمیایی فراهم آوردند. یافته‌های پژوهش آنها نشان داد میزان نیترات، نیتریت و هدایت الکتریکی در رودخانهٔ ارس بیشتر از استاندارد WHO[1] بود و سایر متغیرها مقادیر کمتر یا حدود استاندارد داشتند. همچنین، بیان کردند که ورود رواناب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری بر کیفیت آب رودخانهٔ ارس تأثیرگذارند [۱۱]. صادقی و همکارانش روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت کاشان طی یک دورهٔ ۱۲ ساله را با بهره‌گیری از روش‌های آمار و طبقه‌بندی دیاگرام شولر و ویل‌کاکس بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها روند کاهشی کیفیت آب شرب و کشاورزی در منطقهٔ مطالعه شده را نشان داد. به طوری که سالانه ۱/۷۵ کیلومترمربع از آب شرب خوب کاسته شده و با آب با کیفیت متوسط یا نامناسب جایگزین شده است، همچنین این کاهش در بخش کشاورزی چشمگیرتر بوده است [۱۲]. یوسفی و همکارانش منابع آب حوضهٔ آبخیز هیو واقع در غرب شهر هشتگرد را در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ ارزیابی هیدروژئوشیمیایی کردند. کیفیت آب براساس نمودار ویل‌کاکس برای نمونه‌های آب در ردهٔ C2S1 قرار گرفت که

1. World Health Organization

به منظور کشاورزی مناسب است. با توجه به نمودار شولر آب منطقه در ردهٔ قابل قبول قرار گرفته است که با مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با استانداردهای ایران و جهان، مصرف آن از لحاظ شرب بدون مانع است [۱۳].

بیشتر مطالعات صورت‌گرفته در زمینهٔ کیفیت آب، بررسی تک‌ایستگاه یا بررسی پارامترهای کیفی در بازهٔ زمانی کوتاه‌مدت بوده است. با توجه به اینکه توسعهٔ شهرنشینی و افزایش منابع آلودگی روندی تدریجی دارد، در مقالهٔ حاضر تحلیل طولانی‌مدت صورت گرفته است. از طرف دیگر، برخی از مقالات به‌صورت پراکنده ایستگاه‌ها را بررسی کرده‌اند، اما مقالهٔ حاضر به بررسی روند تغییرات کیفی آب در حوضهٔ کشکان پرداخته است و هدف بررسی کیفیت آب از سرشاخه‌های بالایی به پایین‌دست حوضه است تا از این راه بتوان به افزایش آلودگی (مانند فاضلاب شهری و رواناب کشاورزی) طی زمان و در طول مسیر رودخانه‌های حوضه پی برد. به این منظور ابتدا موقعیت طرح و مشخصات ایستگاه‌ها آورده شده است. در ادامه، پس از یادآوری مواد و روش‌ها، نتایج تحلیل آماری و نرم‌افزاری، همچنین مقایسهٔ آنها با یکدیگر آورده خواهد شد. در بخش آخر نیز نتیجه‌گیری شرح داده خواهد شد.

روش تحقیق

موقعیت طرح و مشخصات ایستگاه‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده در پژوهش حاضر، حوضهٔ کشکان است. ابتدا، روند تغییرات کیفی آب در هر یک از دو سرشاخهٔ اصلی کشکان بررسی می‌شود و سپس در آخرین ایستگاه کیفیت آب پس از پیوستن دو سرشاخه ارزیابی خواهد شد. دو سرشاخهٔ اصلی که بررسی شده‌اند عبارت‌اند از سرشاخهٔ خرم‌آباد و سرشاخهٔ هرود؛ سرشاخهٔ خرم‌آباد شامل دو ایستگاه خرم‌آباد- چم انجیر و خرم‌آباد- دوآب ویسیان است. سرشاخهٔ هرود شامل سه ایستگاه هرود- دهنو، هرود- کاکارضا و کشکان - دوآب ویسیان است. آخرین ایستگاه که از پیوستن این دو سرشاخه تشکیل شده است، ایستگاه کشکان- پلدختر است. بنابراین، در مجموع شش ایستگاه ارزیابی خواهد شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مطالعه‌شده و شکل ۱ موقعیت آنها را نشان می‌دهد.

آزمون من- کندال

آزمون من- کندال برای بررسی وجود داشتن یا نداشتن روند طی زمان برای هر ایستگاه منفرد استفاده می‌شود. این آزمون بر منطق رگرسیون خطی غیر پارامتریک استوار است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد روند افزایشی یا کاهشی درخور توجهی در نتیجهٔ آزمون به سطح اطمینان در مهم‌بودن پارامتر در یک ایستگاه برحسب زمان وجود دارد یا خیر. استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال به نرمال‌بودن داده‌ها حساس نیست. آزمون من- کندال ابتدا توسط من و سپس توسط کندال توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شد [۱۴ و ۱۵]. در این آزمون فرض صفر H_0 و فرض مقابل H_1 به‌ترتیب معادل بدون روند و وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهداتی است. برای برآورد آمارهٔ من- کندال از روابط ۱ و ۲ استفاده شده است:

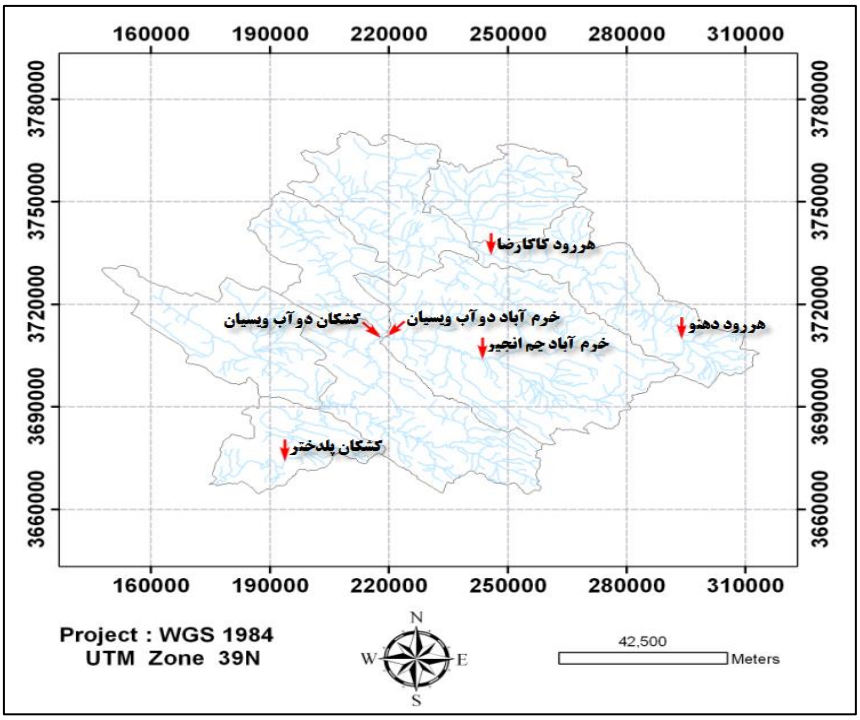
$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sign(X_j - X_i) \qquad (1)$$

$$sign(X_j - X_i) = \begin{cases} 1 & if \quad (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & if \quad (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & if \quad (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \qquad (2)$$

جدول ۱. مشخصات شش ایستگاه مطالعه‌شده

مشخصات ایستگاه	طول جغرافیایی*	عرض جغرافیایی*	ارتفاع از سطح دریا (متر)
رودخانهٔ هرود- ایستگاه دهنو	۴۸-۴۷-۵۷	۳۳-۳۰-۳۲	۱۷۷۰
رودخانهٔ هرود- ایستگاه کاکارضا	۴۸-۱۵-۰۶	۳۳-۴۳-۰۶	۱۵۳۰
رودخانهٔ خرم‌آباد- ایستگاه چم انجیر	۴۸-۱۴-۵۶	۳۳-۲۶-۳۳	۱۱۴۰
رودخانهٔ خرم‌آباد- ایستگاه دوآب ویسیان	۴۷-۵۸-۰۵	۳۳-۲۹-۳۵	۹۶۰
رودخانهٔ کشکان- ایستگاه دوآب ویسیان	۴۷-۵۷-۵۹	۳۳-۲۹-۴۲	۹۶۰

* طول و عرض جغرافیایی ایستگاه با استفاده از G.P.S و مختصات U.T.M روی بیضوی W.G.S84



شکل ۱. موقعیت شش ایستگاه مطالعه‌شده

اگر در سری داده‌ها گره وجود داشته باشد، واریانس و آمارهٔ من-کندال از روابط ۳ و ۴ محاسبه خواهد شد:

$$\mathrm{var}(s)=\frac{n(n-1)(2n+5)\sum_{p=1}^{q}t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

$$Z_s=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad S>0\\ 0 \quad if \quad S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad S<0\end{cases} \quad (4)$$

در روابط یادشده n تعداد داده‌های مشاهداتی (طول دورهٔ آماری) X_i, X_j به‌ترتیب i امین و j امین تعداد گره برای مقدار p ام و z مقدار آمارهٔ من- کندال است که مقدار مثبت آن نشان‌دهندهٔ روند افزایشی و مقدار منفی آن بیان کنندهٔ روند کاهشی در سری داده‌هاست. برای بررسی روند داده‌ها در سری‌های سالانهٔ داده‌ها، چنانچه مقادیر مطلق Z به‌دست‌آمده از آزمون من- کندال از عدد ۱/۹۶ بزرگ‌تر باشد، آن‌گاه در سطح ۵ درصد روند داده‌ها معنادار خواهد بود و چنانچه مقدار Z بزرگ‌تر از ۲/۵۶ باشد، آن‌گاه در سطح ۱ درصد نیز معنادار خواهد بود.

نرم‌افزار AqQA

نرم‌افزار AqQA یکی از نرم‌افزارهای هیدروژئوشیمی در تحلیل کیفیت آب است که با استفاده از نتایج تجزیهٔ صحرایی و آزمایشگاهی اطلاعات مفیدی دربارهٔ ویژگی‌های آب مانند تیپ آب، مواد جامد حل‌شده، سختی، نسبت جذب سدیم و نیز تعیین کیفیت آب برای مصارف مختلف ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار توانایی نمایش نتایج به‌صورت نمودارهای مختلف را دارد.

نمودار شولر

نمودار شولر کیفیت آب را از نظر شرب بررسی می‌کند. آب آشامیدنی باید بدون رنگ، بو و طعم بوده و از نظر عناصر و مواد شیمیایی موجود در محدودهٔ مجاز، که توسط سازمان بهداشتی تعیین شده است، باشد. از نظر اسیدیته PH در آب شرب نباید از ۶/۵ کمتر یا از ۹/۲ بیشتر باشد، محدودهٔ ۷ تا ۸/۵ برای آب شرب مطلوب است.

نمودار ویل‌کاکس

روش طبقه‌بندی ویل‌کاکس و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی است. در نمودار ویل‌کاکس محور افقی به شوری آب (برحسب میکروموس بر سانتی‌متر) و محور عمودی به

نسبت جذبی سدیم (SAR[1]) اختصاص دارد. بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری کالیفرنیا، کیفیت آب آبیاری تحت تأثیر دو عامل مجموع املاح (TSD[2]) و کیفیت املاح (نوع و نسبت یون‌ها) قرار داشته و درمجموع به ۱۶ دسته طبقه‌بندی می‌شود. آب‌های استفاده‌شده در سیستم تحت فشار می‌توانند از نظر شوری در هر یک از چهار گروه C1، C2، C3 و C4 و از نظر قلیائی بودن در گروه‌های S1، S2، S3 و S4 قرار گیرند [۱۶].

نتایج و تحلیل نتایج

همان طور که در ابتدای مقاله گفته شد؛ در این مطالعه تغییرات کیفی آب رودخانهٔ کشکان ارزیابی شده است. در بخش اول این قسمت ابتدا سرشاخهٔ خرم‌آباد بررسی شده و روند تغییرات در مسیر رودخانه تحلیل می‌شود؛ پس از آن سرشاخهٔ هرود نیز تا قبل از پیوستن به آب رودخانهٔ خرم‌آباد بررسی می‌شود. پس از اینکه هر یک از سرشاخه‌ها جداگانه بررسی شدند، در گام بعدی وضعیت کیفیت آب پس از پیوستن دو رود در ایستگاه پلدختر ارزیابی می‌شود.

بررسی روند تغییرات کیفی در سرشاخهٔ خرم‌آباد

با استفاده از آزمون آماری من ـ کندال وضعیت آماری داده‌ها سنجیده شد که خلاصه‌ای از نتایج در جدول ۲ آورده شده است. ستون نخست جدول شامل نام پارامترهای بررسی‌شده، ستون دوم نماد آنها، ستون سوم متوسط مقادیر و ستون چهارم شامل Z است که به کمک آن می‌توان روند تغییرات داده‌ها را بررسی کرد. شکل ۲ سری زمانی تغییرات کمی و کیفی آب برای دو ایستگاه خرم‌آباد چم انجیر و خرم‌آباد ویسیان را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۲ پارامترهای دبی، اسیدیته، کل آنیون‌ها، سختی و درصد سدیم همگی در سطح ۱ درصد روند کاهشی دارند که بیشترین روند کاهشی مربوط به درصد سدیم است. همچنین، مقادیر هدایت هیدرولیکی، باقی‌ماندهٔ املاح، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، منیزیم و جمع کاتیون‌ها همگی در سطح ۱ درصد روند افزایشی دارد که بیشترین افزایش روند مربوط به هدایت هیدرولیکی است. با توجه به مقادیر Z برای بقیهٔ پارامترها نمی‌توان دربارهٔ روندار بودن آنها با آزمون من ـ کندال قضاوت کرد.

جدول ۲. نتایج آزمون من‌ـ کندال برای تشخیص روند پارامترهای کیفی از ایستگاه خرم‌آباد‌ـ چم انجیر به خرم‌آباد‌ـ دوآب ویسیان (طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲)

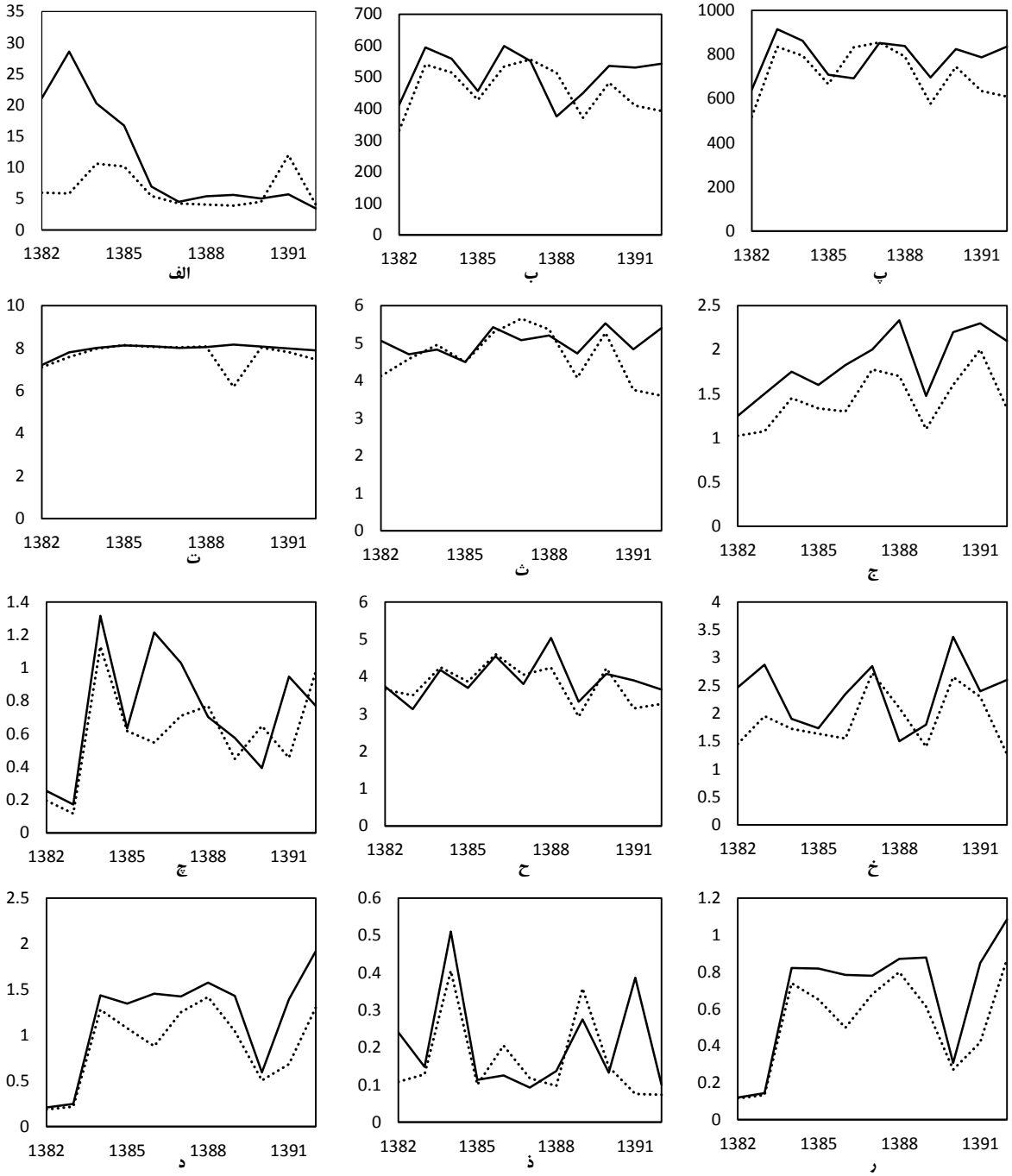
نام پارامتر	نماد	Mean	Z
دبی	Q	۱۶/۰۹۲	-۳/۲۰۶
هدایت هیدرولیکی ($\mu mhos/cm$)	EC	۵۷۶/۴۹۸	۶/۰۵۵
باقی‌ماندهٔ املاح (mg/l)	TDS	۳۷۲/۲۴۰	۵/۹۵۷
اسیدیته	PH	۷/۶۷۱	-۲/۹۹۴
بی‌کربنات (mg/l)	Hco3	۴/۰۰۸	۴/۹۹۹
کلر (mg/l)	Cl	۱/۱۴۹	۵/۱۵۷
سولفات (mg/l)	So4	۰/۵۷۰	۰/۸۵۱
کل آنیون‌ها (mg/l)	Sum.A	۱۲۲/۸۴۷	-۱/۹۵۷
کلسیم (mg/l)	Ca	۳/۰۹۹	۵/۶۴۵
منیزیم (mg/l)	Mg	۱/۷۴۶	۳/۳۳۶
سدیم (mg/l)	Na	۰/۸۹۷	-۱/۴۹۷
پتاسیم (mg/l)	K	۰/۱۴۰	۰/۰۵۰
جمع کاتیون‌ها (mg/l)	Sum.K	۵/۸۵۸	۵/۸۹۹
سختی موقت (mg/l)	sar	۰/۶۰۳	-۳/۴۰۴
درصد سدیم	%Na	۱۷/۱۸۱	-۴/۱۹۷

1. Specific absorption rate
2. Total dissolved solids

ایستگاه دوآب ویسیان از سال ۱۳۸۲ اطلاعات آماری دارد. به همین منظور برای مقایسهٔ بهتر، اطلاعات ایستگاه چم انجیر نیز از سال ۱۳۸۲ به بعد در نظر گرفته شد. شکل ۲ الف تغییرات دبی را برای دو ایستگاه نشان می‌دهد. تا سال ۱۳۸۶ دبی ایستگاه دوآب ویسیان بیشتر از چم انجیر بوده است؛ اما از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ این اختلاف کم شده است. شکل ۲ ب تغییرات TDS را برای دو ایستگاه چم انجیر و دوآب ویسیان نشان می‌دهد. تا سال ۱۳۸۶ مقادیر TDS در ایستگاه چم انجیر با اختلاف ثابتی نسبت به ایستگاه دوآب ویسیان قرار دارد؛ در سال ۱۳۸۷ مقدار هر دو ایستگاه با یکدیگر برابر شده و پس از سال ۱۳۸۹ باز هم مقادیر ایستگاه دوآب ویسیان بیشتر می‌شود و این اختلاف در سال ۱۳۹۲ به بیشترین حد می‌رسد. مطابق شکل ۲ پ تا سال ۱۳۸۵ مقادیر هدایت هیدرولیکی دوآب ویسیان بیشتر از چم انجیر است، اما در سال ۱۳۸۶ هدایت هیدرولیکی در ایستگاه چم انجیر بیشتر می‌شود. در سال ۱۳۸۷ مقدار هر دو ایستگاه با یکدیگر برابر می شود و پس از آن تا انتهای دوره ایستگاه دوآب ویسیان بالاتر از ایستگاه چم انجیر قرار می‌گیرد. همان طور که از شکل ۲ ت پیداست اسیدیته در هر دو ایستگاه تقریباً با هم برابر است. فقط در سال ۱۳۸۹ اسیدیته در ایستگاه چم انجیر کاهش می یابد که به افزایش اختلاف آن با اسیدیتهٔ ایستگاه دیگر منجر می‌شود. مطابق شکل ۲ ث در ابتدای دوره مقدار تغییرات بی‌کربنات ایستگاه دوآب ویسیان بیشتر از چم انجیر است، اما پس از آن تا سال ۱۳۸۶ این اختلاف کمتر شده است. اما برای سال‌های بعد تا انتهای دوره مقادیر دوآب ویسیان بیشتر از چم انجیر است. مطابق شکل ۲ ج در همهٔ سال‌ها مقادیر کلر ایستگاه دوآب ویسیان بیشتر از ایستگاه چم انجیر است. تغییرات سولفات در شکل ۲ چ روند ثابتی ندارد و با نوسانات زیادی همراه است. برای ابتدای دوره تا سال ۱۳۸۵ اختلاف سولفات در دو ایستگاه کم است، اما برای دو سال (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) این اختلافات افزایش چشمگیری داشته است؛ در سال ۱۳۹۱ سولفات در ایستگاه چم انجیر کاهش یافته و مقدار آن در دوآب ویسیان افزایش پیدا کرده است. در سال ۱۳۹۲ نیز مقدار سولفات در چم انجیر بیشتر از دوآب ویسیان شده است.

مطابق شکل ۲ ح تغییرات کلسیم تا سال ۱۳۸۷ اختلاف کم و نسبتاً ثابتی با یکدیگر داشته است، اما در سال ۱۳۸۸ مقدار کلسیم ایستگاه دوآب ویسیان از چم انجیر بیشتر شده و در سال بعد این اختلاف کمتر شده است. برای سال ۱۳۹۰ باز هم اختلاف آنها کم شده و در دو سال آینده افزایش اختلافات مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۲ خ در همهٔ سال‌ها به‌جز سال ۱۳۸۸ مقادیر منیزیم در ایستگاه دوآب ویسیان بیشتر از چم انجیر شده است؛ اما در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۵، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ این اختلاف بسیار کم است. مطابق شکل ۲ د از ابتدای دوره تا سال ۱۳۸۴ اختلاف سدیم در دو ایستگاه بسیار کم بوده، اما پس از آن تا سال ۱۳۹۰ مقادیر دوآب ویسیان از چم انجیر بیشتر شده است. در سال ۱۳۹۰ باز هم اختلاف مقادیر دو ایستگاه کم شده، ولی در ادامه اختلافشان زیاد شده است. مطابق شکل ۲ ذ تغییرات پتاسیم نظم خاصی ندارد. در سال اول دوره، اختلاف دو ایستگاه زیاد بوده و در سال ۱۳۸۳ این اختلاف کم شده است. در سال بعد ۱۳۹۱ اختلاف‌ها به بیشترین حد خود طی دوره رسیده و افزایش چشمگیری در مقادیر ایستگاه چم انجیر مشاهده شد. مطابق شکل ۲ ر از ابتدای دوره تا سال ۱۳۸۴ اختلاف SAR در دو ایستگاه بسیار کم بوده، اما پس از آن تا سال ۱۳۹۰ مقادیر دوآب ویسیان از چم انجیر بیشتر شده است. در سال ۱۳۹۰ باز هم اختلاف مقادیر دو ایستگاه کم شده، ولی در ادامه اختلاف آنها زیاد شده است.

در ادامه، به‌منظور بررسی دقیق‌تر، کیفیت آب از دو نظر شرب و کشاورزی با یکدیگر مقایسه شده است. شکل ۳ نمودار ویل‌کاکس را که برای سنجش کیفیت آب در مصرف کشاورزی است را برای هر دو سرشاخه نشان می‌دهد. در نمودار سمت راست نماد مربع برای ایستگاه خرم‌آباد- چم انجیر و نماد مثلث برای ایستگاه خرم‌آباد- دوآب ویسیان است. مطابق نمودار کیفیت آب در ایستگاه دوآب ویسیان به سمت منطقهٔ C3S1 تمایل پیدا می‌کند در صورتی که برای ایستگاه چم انجیر بیشتر نقاط در منطقهٔ C2S1 قرار گرفته‌اند. همان طور که پیش‌تر گفته شد، S1 آب کم‌سدیم است که از این آب‌ها تقریباً می‌توان برای آبیاری کلیهٔ خاک‌ها استفاده کرد بدون اینکه خطری از بابت زیادشدن سدیم تبادلی خاک محتمل باشد.



شکل ۲. سری زمانی تغییرات کمی و کیفی آب برای دو ایستگاه خرم‌آباد چم انجیر (خط‌چین) خرم‌آباد ویسیان (خط صاف): محور افقی نشان‌دهندهٔ سال و محور عمودی شامل: الف) دبی؛ ب) TDS؛ پ) هدایت هیدرولیکی؛ ت) اسیدیته؛ ث) بی‌کربنات؛ ج) کلر؛ چ) سولفات؛ ح) کلسیم؛ خ) منیزیم؛ د) سدیم؛ ذ) پتاسیم؛ ر) SAR

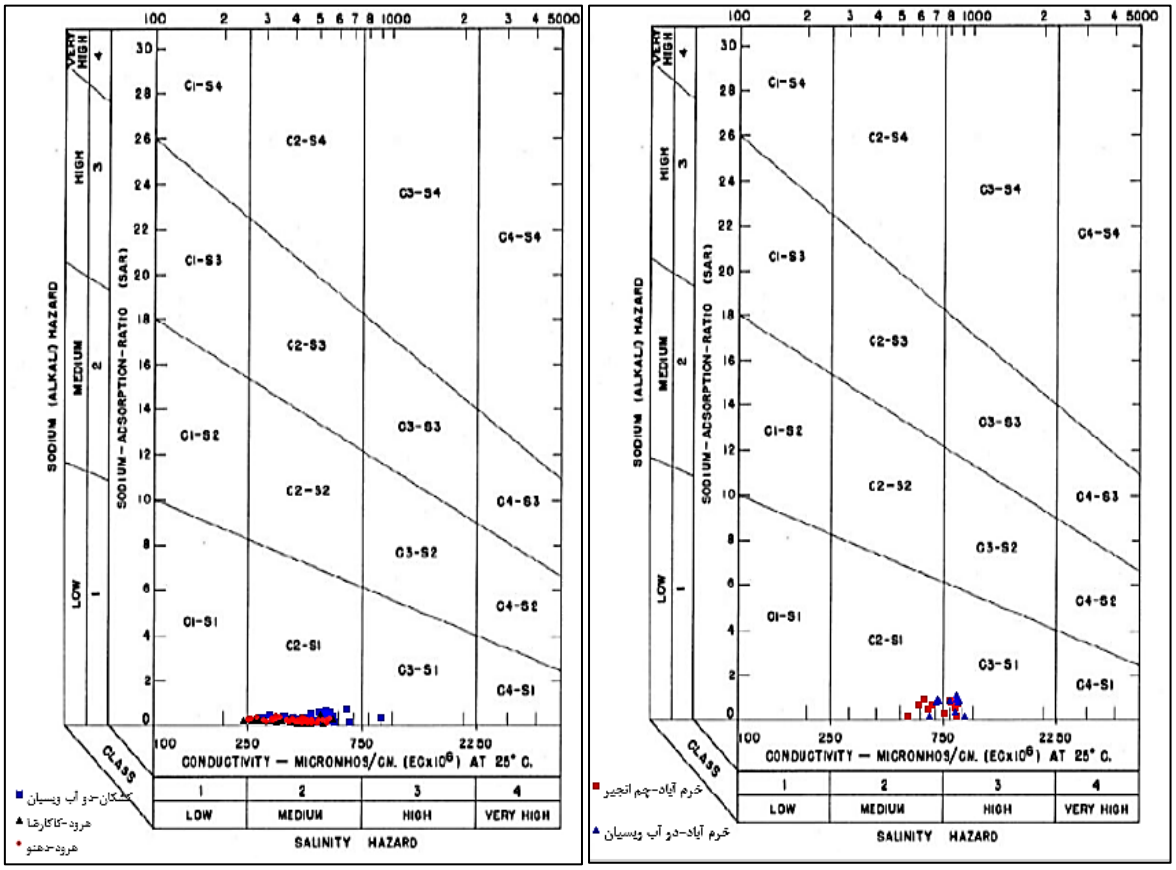
C2 آب با شوری متوسط است و هرگاه آب‌شویی خاک در حد مناسبی انجام شود بدون اینکه عملیات خاصی برای کنترل نیاز باشد می‌توان از این آب برای آبیاری گیاهانی استفاده کرد که تحمل متوسط در مقابل شوری دارند. همچنین، C3 آب شور است و این آب را به‌هیچ‌وجه نمی‌توان برای اراضی‌ای استفاده کرد که مسئلهٔ زهکشی دارند و حتی برای اراضی دارای زهکشی مناسب نیز رعایت مدیریت خاص در زمینهٔ کنترل شوری ضروری است. با توجه به نمودار می‌توان نتیجه گرفت که با عبور رودخانه از بالادست (ایستگاه چم انجیر) به پایین‌دست (ایستگاه

دوآب ویسیان) کیفیت آب از نظر کشاورزی کاهش یافته است.

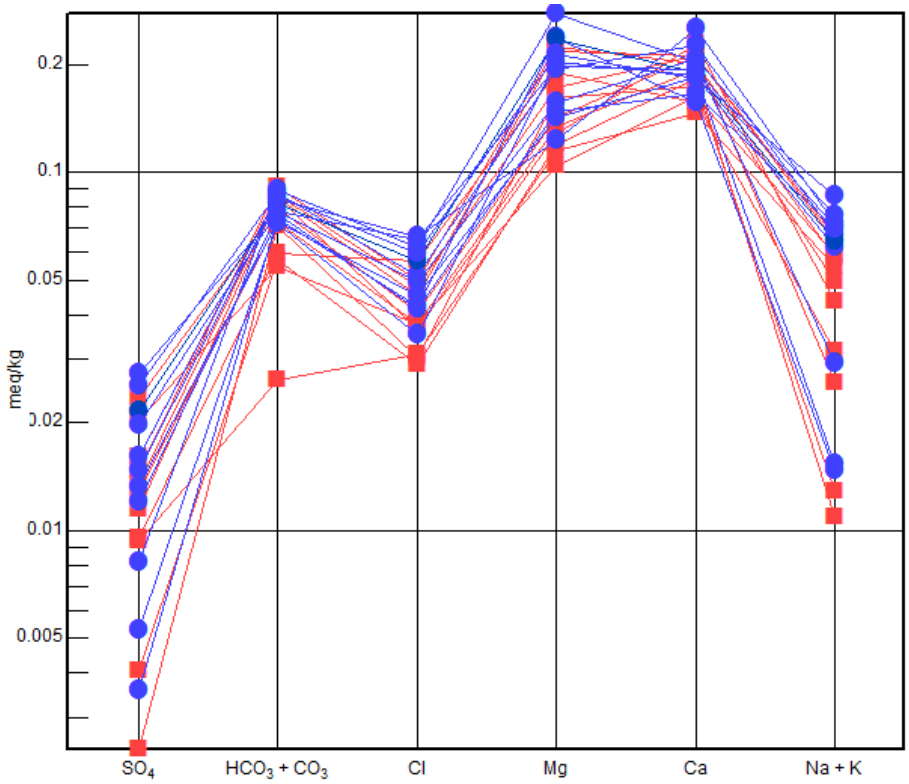
در مرحلهٔ بعدی کیفیت آب از نظر شرب برای هر دو ایستگاه بررسی می‌شود. شکل ۴ نمودار شولر را به منظور ارزیابی کیفیت آب شرب برای دو ایستگاه نشان می‌دهد. در این نمودار نقاط مربع ایستگاه چم انجیر و نقاط دایره ایستگاه دوآب ویسیان را نشان می‌دهد. مطابق نمودار هر دو ایستگاه کیفیت مطلوبی از نظر آب آشامیدنی دارند، اما نقاط مربوط به ایستگاه دوآب ویسیان در محدودهٔ بالاتری نسبت به ایستگاه چم انجیر قرار دارند. همان طور که می‌دانیم در نمودار شولر هر چقدر داده‌ها به سمت بالا تمایل پیدا کنند، کیفیت آب از نظر شرب کمتر می‌شود. با وجود اینکه هر دو ایستگاه در حد مجازی از نظر شرب قرار دارند، اما قرارگرفتن بیشتر مقادیر ایستگاه دوآب ویسیان نسبت به چم انجیر نشان می‌دهد کیفیت آب آشامیدنی از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش یافته است.

بررسی روند تغییرات کیفی در سرشاخهٔ هرود

در سرشاخهٔ هرود تا قبل از پیوستن به رود کشکان به‌ترتیب سه ایستگاه هرود- دهنو، هرود- کاکارضا و کشکان- دوآب ویسیان وجود دارد. هر سه ایستگاه طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۲ اطلاعات آماری داشته و به همین منظور همهٔ تحلیل‌ها در این دورهٔ زمانی صورت گرفته است. جدول ۳ نیز مشابه سرشاخهٔ قبلی نتایج آزمون آماری ر ا برای سه ایستگاه نشان می‌دهد. در شکل ۵ نیز می‌توان سری زمانی تغییرات کمی و کیفی آب را برای سه ایستگاه مشاهده کرد. مطابق جدول ۳ مقدار دبی سطح ۵ درصد روند کاهشی دارد. همچنین، مقادیر هدایت هیدرولیکی، باقی‌ماندهٔ املاح، بی‌کربنات، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و جمع کاتیون‌ها همگی در سطح ۱ درصد روند افزایشی دارند که بیشترین افزایش روند مربوط به جمع کاتیون‌هاست. با توجه به مقادیر Z برای بقیهٔ پارامترها نمی‌توان دربارهٔ روندار بودن آنها با آزمون من- کندال قضاوت کرد.



شکل ۳. نمودار ویل‌کاکس: سمت راست دو ایستگاه چم انجیر و دوآب ویسیان؛ سمت چپ سه ایستگاه دهنو، کاکارضا و دوآب ویسیان



شکل ۴. نمودار شولر برای دو ایستگاه (نقاط مربع ایستگاه چم انجیر و نقاط دایره ایستگاه دوآب ویسیان)

جدول ۳. نتایج آزمون من‌ـ کندال برای تشخیص روند پارامترهای کیفی از سه ایستگاه هرودـ دهنو، هرودـ کاکارضا و کشکانـ دوآب ویسیان (۱۳۴۷ـ ۱۳۹۲)

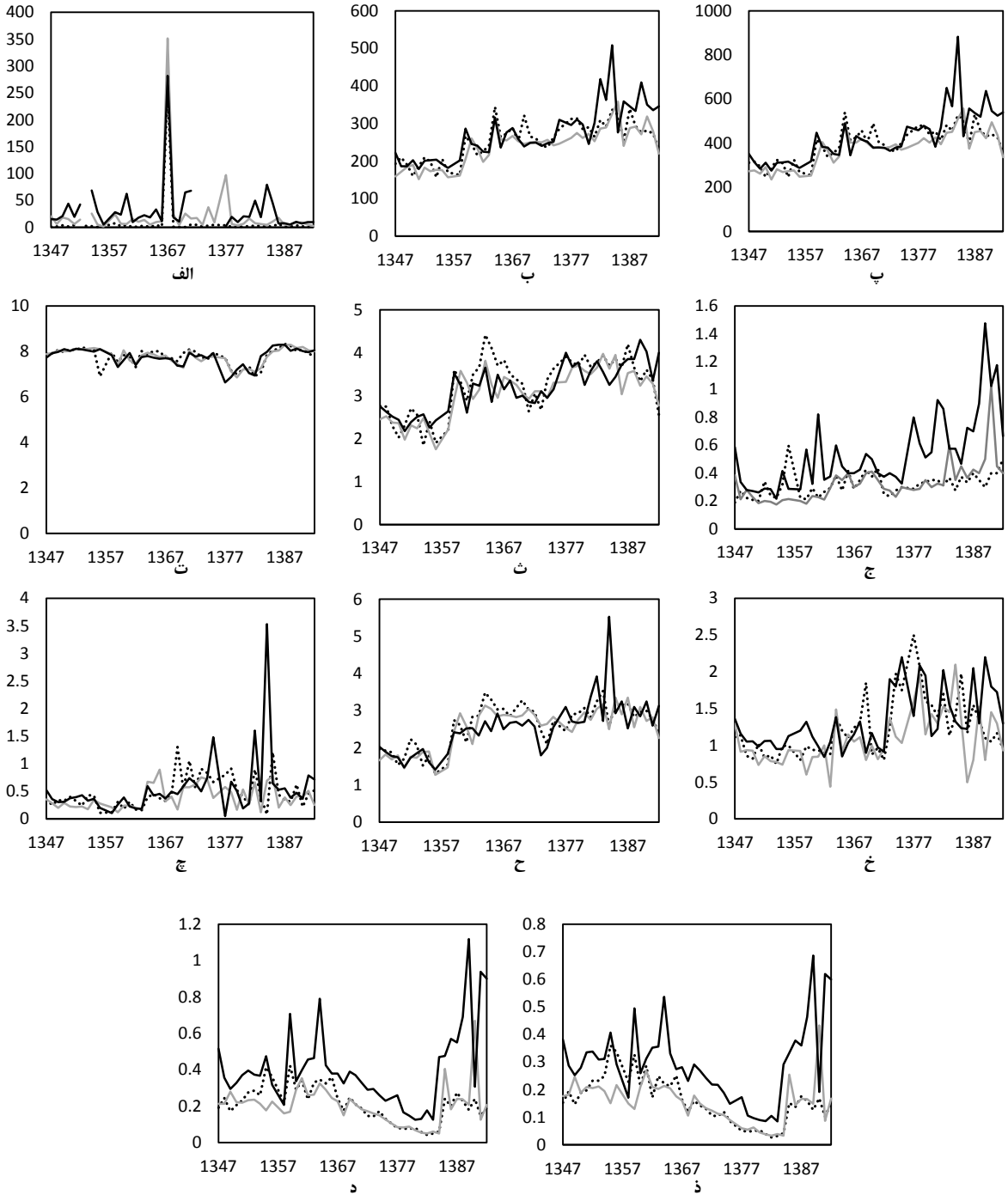
نام پارامتر	نماد	Mean	Z
دبی (m^3/s)	Q	۳۱/۸۵۱	-۲/۰۸۱
هدایت هیدرولیکی $(\mu mhos/cm)$	EC	۴۲۸/۷۸۲	۶/۲۶۱
باقی‌ماندهٔ املاح (mg/l)	TDS	۲۷۴/۶۴۲	۶/۳۶۳
اسیدیته	PH	۷/۷۵۸	-۰/۳۵۶
بی‌کربنات (mg/l)	Hco3	۳/۱۸۹	۵/۷۰۶
کلر (mg/l)	Cl	۰/۵۳۷	۵/۶۵۵
سولفات (mg/l)	So4	۰/۵۴۸	۳/۲۲۳
کل آنیون‌ها (mg/l)	Sum.A	۶۴/۵۲۴	-۱/۳۶۱
کلسیم (mg/l)	Ca	۲/۵۶۱	۵/۶۷۴
منیزیم (mg/l)	Mg	۱/۳۲۶	۳/۸۵۳
سدیم (mg/l)	Na	۰/۴۰۶	۰/۱۱۵
پتاسیم (mg/l)	K	۰/۰۸۴	۰/۵۶۲
جمع کاتیون‌ها (mg/l)	Sum.K	۴/۳۴۰	۶/۶۲۵
سختی موقت (mg/l)	sar	۰/۲۹۴	-۰/۹۹۴
درصد سدیم	%Na	۱۰/۴۰۲	-۱/۳۴۰

شکل ۵ الف تغییرات دبی را برای سه ایستگاه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ایستگاه هرود در بالادست دو ایستگاه دیگر قرار گرفته است، دبی آن از بقیه کمتر است. در بسیاری از سال‌ها ایستگاه دوآب ویسیان، کاکارضا و دهنو به‌ترتیب بیشترین دبی را دارند. در سال ۱۳۶۷ بیشترین دبی برای هر سه ایستگاه تجربه شده است. با توجه به شکل ۵ ب تا سال ۱۳۷۴ تغییرات TDS برای هر سه ایستگاه مشابه هم است و اختلافات جزئی در برخی از سال‌ها مشاهده می‌شود؛ در سال ۱۳۷۵ ایستگاه کاکارضا کمترین مقدار و ایستگاه دوآب ویسیان بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند؛ از سال ۱۳۸۵ تا انتهای دوره مقادیر ایستگاه دوآب ویسیان بیشتر از دو ایستگاه دیگر شده است. مطابق شکل ۵ پ می‌توان گفت که تا سال ۱۳۸۱ مقادیر هدایت هیدرولیکی سه ایستگاه تقریباً مشابه هستند و اختلاف چشمگیری ندارند، اما در سال‌های اخیر مقادیر ایستگاه دوآب ویسیان بسیار بیشتر شده و این درحالی است که مقادیر ایستگاه‌های کاکارضا و دهنو مشابه است.

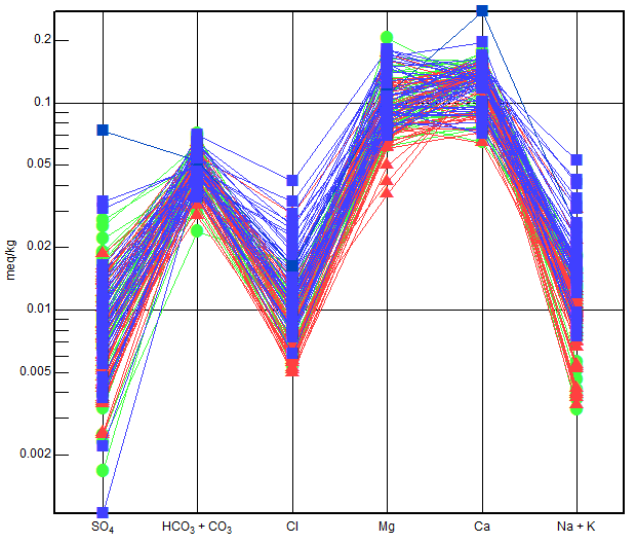
با توجه به شکل ۵ ت مقادیر اسیدیته برای هر سه ایستگاه تقریباً مشابه است فقط در سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۳ اختلافاتی دیده می‌شود. در سال ۱۳۸۳ نیز اسیدیته در دو ایستگاه دهنو و کاکارضا بسیار به هم نزدیک بوده در حالی که در ایستگاه دوآب ویسیان افزایش یافته است. مطابق شکل ۵ ث روند مشخصی برای بی‌کربنات در سه ایستگاه مشاهده نمی‌شود و در هر سال بین هر یک از سه ایستگاه‌ها اختلاف‌های زیادی مشاهده می‌شود. برای نمونه، در سال ۱۳۵۶ ایستگاه دوآب ویسیان از بقیه بیشتر بوده و برای سال ۱۳۶۴ ایستگاه دهنو بالاتر از بقیه قرار گرفته است. شکل ۵ ج تغییرات کلر را برای سه ایستگاه یادشده نشان می‌دهد. آنچه مشهود است تغییرات کلر مطابق شکل ۵ ج در ایستگاه دوآب ویسیان با اختلاف زیادی نسبت به دو ایستگاه دیگر قرار گرفته است.

مطابق شکل ۵ چ تا سال ۱۳۶۴ روند تغییرات سولفات برای سه ایستگاه تقریباً مشابه هستند و اختلاف‌های جزئی دارند؛ اما پس از آن رفته‌رفته اختلاف‌ها بیشتر شده است. مطابق شکل ۵ ح روند تغییرات کلسیم در سه ایستگاه تقریباً مشابه بوده و در برخی سال‌ها یکی از ایستگاه‌ها بیشتر یا کمتر شده است. در نمودار حاضر نکته‌ای که به چشم می‌خورد افزایش ناگهانی کلسیم در سال ۱۳۸۵ برای ایستگاه دوآب ویسیان است که در سطح بالایی نسبت به آن دو قرار گرفته است. مطابق شکل ۵ خ برای ابتدای دوره تا سال ۱۳۶۱ مقادیر منیزیم در ایستگاه دوآب ویسیان بیشتر از دو ایستگاه دیگر شده است؛ از سال ۱۳۷۱ به بعد دامنهٔ تغییرات هر سه ایستگاه افزایش چشمگیری یافته و در بیشتر سال‌ها مقدار ایستگاه دوآب ویسیان از بقیه بیشتر بوده است. مطابق شکل ۵ د نکته‌ای که به چشم می‌خورد اختلاف زیاد داده‌های سدیم دوآب ویسیان با دیگر ایستگاه‌هاست. در سال ۱۳۸۹ افزایش چشمگیری در مقدار منیزیم ایستگاه دوآب ویسیان دیده می‌شود به طوری که بیشترین مقدار را هم در کل دوره و هم در بین سه ایستگاه پیدا کرده است. مطابق شکل ۵ ذ روند تغییرات SAR در دو ایستگاه دهنو و کاکارضا تقریباً مشابه است و فقط در برخی از سال‌ها اختلاف‌هایی دیده می‌شود. در سال ۱۳۸۹ افزایش چشمگیری در مقدار SAR ایستگاه دوآب ویسیان دیده می‌شود به طوری که بیشترین مقدار را پیدا کرده است.

شکل ۳ سمت چپ نمودار ویل‌کاکس را، که برای سنجش کیفیت آب در مصرف کشاورزی است، برای سه ایستگاه نشان می‌دهد. مطابق نمودار بیشتر نقاط در منطقهٔ C2S1 قرار گرفته‌اند، اما برای ایستگاه دوآب ویسیان برخی از نقاط به سمت منطقه C3S1 کشیده شده‌اند. در بخش قبلی توضیحات مربوط به خصوصیات این نواحی داده شده است. با توجه به نمودار می‌توان نتیجه گرفت که با عبور رودخانه از بالادست (ایستگاه دهنو) به پایین‌دست (ایستگاه دوآب ویسیان) کیفیت آب از نظر کشاورزی اندکی کاهش یافته است. شکل ۶ نمودار شولر را به منظور ارزیابی آب شرب برای سه ایستگاه نشان می‌دهد. با توجه به نمودار هر سه ایستگاه کیفیت مطلوبی از نظر آب آشامیدنی دارند، اما نقاط آبی‌رنگ بالاتر از بقیه قرار گرفته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد با حرکت از سمت بالادست به سمت پایین‌دست از کیفیت آب شرب اندکی کاسته شده است.



شکل ۵. سری زمانی تغییرات کمی و کیفی آب برای سه ایستگاه هرودـ دهنو (خط‌چین)، هرودـ کاکارضا (خط صاف کمرنگ) و کشکانـ دوآب ویسیان (خط صاف پررنگ): محور افقی نشان‌دهندهٔ سال و محور عمودی شامل: الف) دبی؛ ب) TDS؛ پ) هدایت هیدرولیکی؛ ت) اسیدیته؛ ث) بی‌کربنات؛ ج) کلر؛ چ) سولفات؛ ح) کلسیم؛ خ) منیزیم؛ د) سدیم؛ ذ) SAR



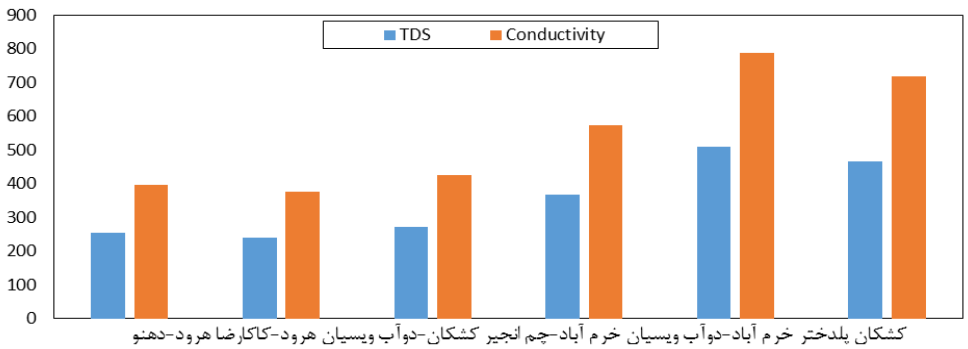
شکل ۶. نمودار شولر برای سه ایستگاه (نقاط دایره ایستگاه دهنو؛ نقاط مثلث ایستگاه کاکارضا و نقاط مربع ایستگاه کشکان_ ویسیان را نشان می‌دهند)

بررسی تغییرات کیفیت آب در ایستگاه کشکان_ پلدختر

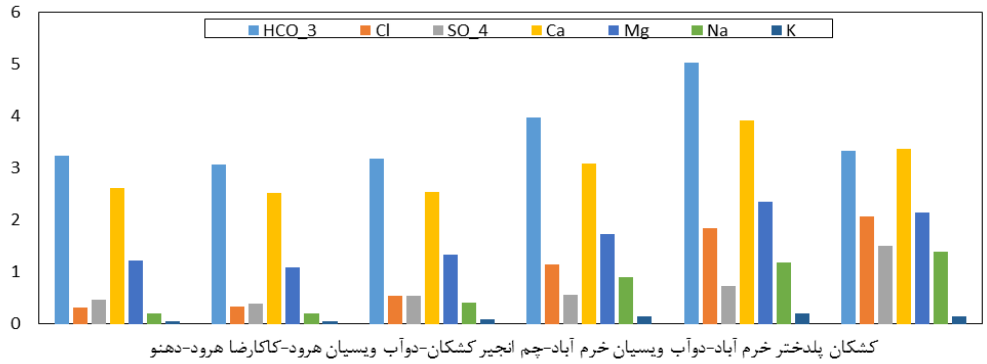
همان طور که در ابتدای مقاله گفته شد، آخرین ایستگاه در مطالعهٔ حاضر، ایستگاه کشکان ـ پلدختر است که از دو سرشاخهٔ خرم‌آباد و هرود تشکیل شده است. در این بخش از مقاله تغییرات کیفی آب پس از پیوستن دو رود به یکدیگر بررسی می‌شود. شکل های ۷ و ۸ تغییرات هر یک از پارامترهای کیفی را در شش ایستگاه نشان می‌دهد. هدف از نمایش آنها مقایسهٔ کیفیت ایستگاه‌هاست.

شکل ۷ متوسط مقادیر باقی‌ماندهٔ املاح و هدایت هیدرولیکی را برای شش ایستگاه مطالعه شده نشان می‌دهد. آنچه در این نمودار اهمیت دارد، ایستگاه‌های کشکان دوآب ویسیان (انتهای سرشاخهٔ هرود)، خرم‌آباد_ دوآب ویسیان (انتهای سرشاخهٔ خرم‌آباد) و کشکان_ پلدختر (آخرین ایستگاه) است. مطابق نمودار مقادیر باقی‌ماندهٔ املاح و هدایت هیدرولیکی در ایستگاه کشکان دوآب ویسیان کمتر از خرم‌آباد دوآب ویسیان هستند. با توجه به اینکه این دو رود به هم می‌پیوندند، مقدار این دو پارامتر در کشکان ـ پلدختر کمتر از خرم‌آباد دوآب ویسیان و بیشتر از کشکان دوآب ویسیان شده است.

شکل ۸ تغییرات سایر پارامترهای کیفی آب را نشان می‌دهد. مطابق نمودار برای HCO3، Ca، Mg و k مقادیر ایستگاه پلدختر بین مقادیر ایستگاه‌های خرم‌آباد- دوآب ویسیان و کشکان- دوآب ویسیان قرار گرفته است؛ اما برای Cl، SO4 و Na افزایش چشمگیری در ایستگاه پلدختر در مقایسه با دو سرشاخهٔ خود یعنی خرم‌آباد و دهنو مشاهده می‌شود. با توجه به اختلاط آب در ایستگاه پلدختر بسیاری از پارامترها در محدوده‌ای بین مقدار آنها در دو سرشاخهٔ قبل از پیوستن قرار گرفتند، اما در برخی از آنها که پیش‌تر یاد شد نیز این قانون نقض شده و در ایستگاه پلدختر افزایش یافته است.



شکل ۷. مقایسهٔ پارامترهای کیفی در شش ایستگاه مطالعه‌شده



شکل ۸. مقایسهٔ پارامترهای کیفی در شش ایستگاه مطالعه‌شده

نتیجه‌گیری

در مقالهٔ حاضر روند تغییرات کمی و کیفی در حوضهٔ کشکان از بالادست به سمت پایین‌دست بررسی شد. برای بررسی روند تغییرات در بالادست به سمت پایین‌دست اطلاعات هر یک از سرشاخه‌ها به‌تنهایی بررسی شد. نتایج نشان داد در هر دو سرشاخه پارامترهای کیفی آب از نظر کشاورزی و شرب از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش یافته است. همچنین، در بسیاری از پارامترها روند افزایشی در طول مسیر رودخانه مشاهده شد. بررسی تغییرات کیفی آب پس از پیوستن دو سرشاخهٔ خرم‌آباد و هرود به یکدیگر در ایستگاه پلدختر نشان داد با توجه به اختلاط آب در ایستگاه پلدختر بسیاری از پارامترها در محدوده‌ای بین مقدار آنها در دو سرشاخهٔ قبل از پیوستن قرار گرفتند، اما در برخی از آنها نیز این قانون نقض شد و در ایستگاه پلدختر افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد به‌طور کلی کیفیت آب سرشاخه‌های کشکان از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش یافته است. با توجه به اینکه رودخانه‌های موجود در حوضه از شهرهای مختلفی عبور کرده و نقاط آلودگی متعددی در مجاورت آنها قرار گرفته است، کیفیت آب در طولانی‌مدت کاهش یافته است.

منابع

[1]. Pal DK, Bhattacharyya T, Ray SK, Chandran P, Srivastava P, Durge SL, et al. Significance of soil modifiers (Ca-zeolites and gypsum) in naturally degraded Vertisols of the Peninsular India in redefining the sodic soils. Geoderma. 2006; 136(1):210-228.

[2]. Nazarian1 S, Farid gigolo B, Chemical Quality Survey and Trends of Water Quality Parameters at Nodeh Station of Gorganroud River, Golestan Province of Iran. Irrigation & Water Engineering. 2015; 5(19): 80-92. (Persian)

[3]. Khadam IM, Kaluarachchi JJ.Water quality modeling under hydrologic variability and parameter uncertainty using erosion-scaled export coefficients. Journal of Hydrology.2006; 330(1):354-367.

[4]. Elshorbagy A, Lindell O. Object-oriented modeling approach to surface water quality management. Environmental Modelling & Software. 2006; 21(5): 689-698.

[5]. Hashemi SE, Mousavi SF, Taheri SM, Ghareh-Chahi A. Analysis of Groundwater Quality Acceptability for Drinking purposes in Nine Cities in Isfahan Province Using Fuzzy Inference System. Iran-Water Resources Research. 2010; 6(3): 25-34. (Persian)

[6]. Yang X, Wei J. GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: a case study in Iowa. Journal of Environmental Management. 2010; 91(10): 1943-1951.

[7]. SolaimaniSardo M, Vali AA, Ghazavi R, Saidi Goraghani HR. Trend Analysis of Chemical Water Quality Parameters; Case study Cham Anjir River. Irrigation & Water Engineering. 2013; 3(12):95-105. (Persian)

[8]. Javid AH, Mirbagheri SA, Karimian A. Assessing Dez Dam reservoir water quality by application of WQI and TSI indices. Iranian Journal of Health and Environment. 2014; 7(2): 133-142. (Persian)

[9]. Ebadati N. Trend assessment of changes in water quality plain Eyvanakey. Iranian journal of Ecohydrology.2016; 2(4):383-394. (Persian)

[10]. Asadzadeh F, Kaki M, Shakiba S, Raei B. Impact of Drought on Groundwater Quality and Groundwater Level in Qorveh-Chardoli Plain. Iran-Water Resources Research.2016; 12(3): 153-165. (Persian)

[11]. Solgi E, Sheikhzadeh H. Study of Water Quality of Aras River Using Physico-Chemical Variables. Iran-Water Resources Research. 2016; 12(3): 207-213. (Persian)

[12]. Sadeghi SH, Allbuali A, Ghazavi R. Investigation of Temporal and Spatial Trends of Water Quality Parameters Change Using Geostatistic Methods in Kashan Plain. Journal of Water and Soil Science. 2016; 20(76): 73-82. (Persian)

[13]. Yousefi H, Mohammadi A, Noorollahi Y, Sadatinejad SJ. Qualitative Evaluation of Surface Water Resources of Hiv basin. Iranian journal of Ecohydrology.2016; 3(2):141-149. (Persian)

[14]. Mann HB. Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the Econometric Society.1945; 245-259.

[15]. Kendall MG. Rank Correlation Methods; Griffin & Co, London. ISBN 0-85264-199-0; 1975.

[16]. Alizadeh A. Applied hydrology; Imam Reza University Press. 1999. (Persian)