صص ۸۸-۷۵

اثر خشک‌سالی بر کیفیت منابع آب‌های سطحی استان گلستان جهت اهداف آبیاری مطالعه موردی: رودخانه گرگان رود

علی حشمت پور
استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، ایران
نادر جندقی*
استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، ایران
سعیده پسند
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه گنبدکاووس، ایران
مجتبی قره‌محمودلو
استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۸

چکیده

در این مطالعه، قسمتی از حوزه آبخیز گرگان رود برای ارزیابی اثر خشک‌سالی بر روی ۱۳ پارامتر فیزیکوشیمیایی آب انتخاب شد. پس از جمع‌آوری آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در یک دوره ۴۳ ساله (۱۳۹۳-۱۳۵۰)، با استفاده از روش شاخص بارندگی استاندارد و میانگین متحرک، دوره خشک‌سالی شاخص ۵ ساله تعیین شد. سپس با استفاده از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری موجود، پارامترهای کیفی آب برای یک دوره طولانی‌مدت و یک دوره خشک‌سالی شاخص تهیه شد. میانگین غلظت اکثر آنیون‌ها و کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم از بالادست به پایین‌دست رودخانه روند افزایشی داشته به‌طوری‌که این افزایش در ایستگاه انتهایی گرگان رود حدود ۷ برابر سرشاخه‌های آن در دوره خشک‌سالی است. میانگین اکثر آنیون‌ها، کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در دوره خشک‌سالی نسبت به دوره طولانی‌مدت افزایش یافته است. بر اساس دیاگرام ویلکوکس، کیفیت آب کشاورزی در جهت جریان آب رودخانه کاهش‌یافته به‌طوری‌که رده آب از C2S1 (مناسب برای کشاورزی) در بالادست جریان به C4S3 (مضر برای کشاورزی) در پایین‌دست تغییر یافته است. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که وقوع دوره‌های خشک‌سالی تأثیر بسزایی بر روی فاکتورهای کیفی آب در مقایسه با دوره طولانی‌مدت دارد بطوریکه با کاهش میزان بارندگی و دبی رودخانه در دوره خشک‌سالی، کیفیت آب در بخش کشاورزی به‌شدت کاهش‌یافته است.

واژگان کلیدی: آب سطحی، دیاگرام ویلکوکس، خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد، کیفیت آب

*نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۷۱۶۷۶۹
Email: Nader.jandaghi@gmail.com

مقدمه

خشک‌سالی از مخرب‌ترین رویدادهای آب‌وهوایی است که باعث خسارت‌های قابل‌توجهی در بخش منابع طبیعی و نهایتاً در زندگی انسان‌ها می‌شود. به‌طور مسلم یکی از زمینه‌هایی که خشک‌سالی در آن تأثیر اساسی می‌گذارد منابع آب سطحی و زیرزمینی هر کشوری است (نوحه‌گرا و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۸). کشور ما به علت واقع شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک، از نظر منابع آب در وضعیتی نامطلوب نسب به متوسط دنیا قرار دارد (Van Loon and Laaha, 2015). امروزه افزایش جمعیت، توسعه شهرها و رشد فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی منجر به آلودگی منابع آب و ایجاد بحران در مناطق مختلف دنیا شده است. بارش، موقعیت جغرافیایی، اقلیم، زمین‌شناسی، فعالیت‌های صنعتی، فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی، آلاینده‌های معدنی و غیره از جمله عواملی هستند که خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی آب‌های سطحی و در نهایت کیفیت آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Mishra et al., 2017). درک عمیق از نقش عوامل مؤثر در تغییر کیفیت منابع آب سطحی می‌تواند در توسعه استراتژی مدیریت حوزه‌های آبخیز مؤثر باشد و به حفاظت از منابع آب کمک کند (Xu et al., 2016).

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با تأثیر خشک‌سالی بر روی کیفیت آب‌های سطحی انجام شده است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره داشت. زاهدی‌کلاکی (۱۳۸۳: ۴) در بررسی اثرات خشک‌سالی بر منابع آب شهرستان بهشهر عنوان داشته که خشک‌سالی از لحاظ کمی و کیفی، منابع آبی این شهرستان را تحت تأثیر قرار داده است. سلیمانی مطلق و همکاران (۱۳۹۲: ۱۵۴) در بررسی اثرات خشک‌سالی بر کیفیت منابع آب سطحی حوزه آبخیز کشکان عنوان داشته‌اند که وقوع خشک‌سالی باعث تغییر قابل‌ملاحظه‌ای بر پارامترهای کیفی آب شده است. همچنین بر اساس دیاگرام ویلکوکس، کیفیت آب کشاورزی در اثر خشک‌سالی از کلاس C2S1 به کلاس C3S1 تغییر یافته است. ساقی و همکاران (۱۳۹۲: ۱) در پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی بر اساس شاخص ویلکوکس عنوان داشته‌اند که وضعیت کیفی آب جهت کشاورزی در کلاس خوب و متوسط قرار دارد، اما افزایش تدریجی آلاینده‌ها و کاهش کیفیت آب رودخانه در منطقه پایین‌دست و میانی قابل‌توجه است. پرستار و همکاران (۱۳۹۲: ۲۷۳) در ارزیابی کیفیت آب رودخانه هیروچایی خلخال عنوان داشته‌اند که کیفیت آب رودخانه در بالادست به دلیل عدم ورود منابع آلاینده خصوصاً انسانی خوب بوده اما به‌تدریج با تخلیه فاضلاب شهرها، کیفیت آن در پایین‌دست شهرها کاهش می‌یابد. محمودی و همکاران (۱۳۹۴: ۲۱) با بررسی تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب سطحی استان سیستان و بلوچستان دریافتند که در دوره‌های خشک‌سالی مقادیر شوری و قلیائیت آب‌های سطحی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. حیات‌الغیب و همکاران (۱۳۹۴: ۶۱۹) در بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی رودخانه کاکا رضا عنوان داشته‌اند که کیفیت آب این رودخانه از نظر آبیاری (با دیاگرام ویلکوکس) در طول رودخانه در کلاس C2S1 قرار گرفته و برای استفاده در کشاورزی مناسب است. همایون‌زاده و همکاران (۱۳۹۵: ۱) در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب چاه نیمه‌های

شهرستان زابل با استفاده از دیاگرام شولر و ویلکوکس جهت مصارف شرب و کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب به لحاظ کشاورزی، در طبقه C_3S_1 که معرف کیفیت متوسط است، قرار می‌گیرد.

عطریل و پاور (Attrill and Power, 2000) در مدل‌سازی تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات کیفیت آب رودخانه تیمز به این نتیجه رسیده‌اند که خشک‌سالی می‌تواند اثرات معنی‌داری بر کیفیت آب رودخانه‌ها داشته باشد. زمانی که جریان پایه کم است، شوری آب افزایش و کیفیت آب دست‌خوش تغییر خواهد شد. دهقانی و زرکار (Dehghani and Zar' Kar, 2010) در بررسی وضعیت مطلوبیت آب زیرزمینی شهرستان اسلامشهر جهت مصارف کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس استفاده و مشخص شد منطقه در چهار کلاس C4S2، C4S1، C3S1 و C2S1 قرار دارد. از این میان، کلاس C3S1 بیشترین سطح را به خود اختصاص داد. سبنیک و همکاران (Šebenik and et al., 2017) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارندگی (SPI[1]) در شمال شرق کشور اسلواکی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد بین دبی استاندارد رودخانه و شاخص بارندگی (SPI) همبستگی معنی‌داری وجود دارد. بهاتی و همکاران (Bhati et al., 2019) در مطالعه‌ای به بررسی دینامیک کیفیت آب جهت ارزیابی اثرات آن در کشور پاکستان پرداختند. در این پژوهش با استفاده از دیاگرام ویلکوکس طبقه‌بندی کیفی آب انجام و سپس ارزیابی آلاینده‌های مؤثر بر کیفیت آب و اثرات مخرب آن جهت مصارف کشاورزی بررسی شد. سینگ و همکاران (Singh et al., 2020) کیفیت آب زیرزمینی را جهت اهداف کشاورزی در اودام سینگ ناگار ارزیابی کردند. بدین منظور از پارامترهایی مانند نسبت جذب سدیم، کربنات سدیم باقیمانده، نفوذپذیری و دیاگرام ویلکوکس استفاده و اظهار داشتند که ۷ نمونه از آب در کلاس C3S1 واقع شده است.

رودخانه گرگان رود با طول ۳۳۳ کیلومتر طولانی‌ترین و حوزه آبخیز آن بزرگ‌ترین حوزه در استان گلستان می‌باشد که نقش مهمی در تأمین منابع آب مورد نیاز این استان دارد. ۶۷ درصد از منابع آب سطحی استان، معادل ۸۲۸ میلیون مترمکعب در این حوزه جریان دارد (جندقی و همکاران، ۱۳۹۸: ۸). آب این رودخانه با توجه به مسیر طولانی که تا رسیدن به دریای خزر می‌پیماید، در قسمت‌هایی از مسیر خود در معرض شدید آلودگی قرار می‌گیرد. این آلودگی احتمالاً در اثر دو عامل طبیعی و انسانی اتفاق می‌افتد. از آنجا که حدود ۴۰ درصد از مساحت این حوزه پوشیده از اراضی کشاورزی و باغ‌ها بوده و از آب این رودخانه جهت آبیاری آن‌ها استفاده می‌شود، نقش رودخانه گرگان رود در توسعه فعالیت‌های اقتصادی–اجتماعی و همچنین در حوزه سلامت، برای ساکنین منطقه و استان گلستان بسیار حائز اهمیت است. طبق آمار فائو، تنها ۲۰ درصد از اراضی کشاورزی آبیاری می‌شود اما ۴۰ درصد محصولات زراعی را تولید می‌کند. اگرچه آبیاری یک روش مؤثر جهت بهبود قابل‌ملاحظه در راندمان تولید است ولی همواره خطرات زیست‌محیطی آبیاری به‌ویژه افزایش شوری، اراضی کشاورزی را تهدید می‌کند (Ammar et al., 2020).

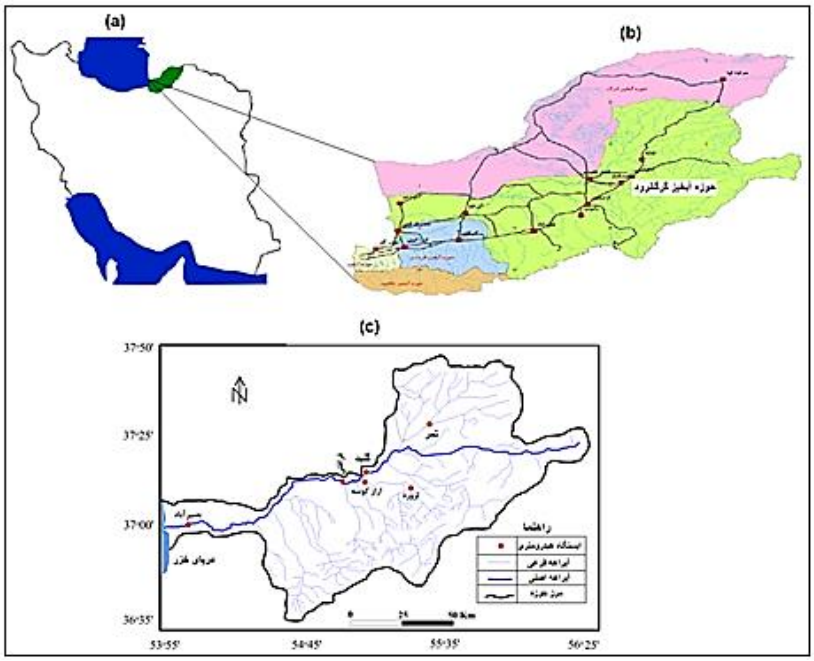
با توجه به موقعیت مکانی کشور ایران در خاورمیانه که باعث شده در بیشتر سال‌ها قسمت عمده‌ای از مساحت آن در معرض خطر وقوع خشک‌سالی باشد، و با در نظر گرفتن این موضوع که داشتن منابع آب سالم و کافی پیش‌نیاز ضروری

[1] -Standard Precipitation Index

و اساسی جهت حفظ محیطزیست، رشد و توسعه اقتصادی، فعالیت‌های کشاورزی و غیره است، کنترل و پایش آب‌های سطحی جهت مصارف مختلف امری لازم و ضروری است تا آب با کیفیت مناسب در دسترس عموم قرار گیرد. با توجه به توضیحات ذکر شده هدف اصلی این پژوهش بررسی وقوع پدیده خشک‌سالی در حوزه آبخیز گرگان رود و اثرات آن بر روند تغییرات کیفی آب رودخانه از محل سرشاخه تا مصب دریا از منظر کشاورزی بوده که به‌عنوان مهم‌ترین رودخانه در استان گلستان شناخته می‌شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گرگان رود با مساحت ۱۳۰۶۶ کیلومترمربع (حدود ۵۰ درصد از مساحت استان) در نیمه جنوبی استان گلستان واقع شده است. رودخانه اصلی این حوزه به نام گرگان رود از ارتفاع‌های گلی‌داغ، کورداغ، قلعه‌ماران و ارتفاع‌های یک‌تکالان و دست‌شاه در جنوب کله‌سر سرچشمه گرفته و پس از الحاق شاخه‌هایی به آن در نزدیکی روستای چاپاقلی به دریای خزر می‌ریزد (جندقی و همکاران، ۱۳۹۸: ۴). شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوزه آبخیز گرگان رود را نشان می‌دهد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور(a)، استان گلستان (b) و حوزه آبخیز گرگان رود (c)

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش جهت بررسی و تعیین دوره‌های خشک‌سالی از آمار طولانی‌مدت ۴۳ ساله (۱۳۵۱-۱۳۵۰) تا (۱۳۹۴-۱۳۹۳) ایستگاه‌های هواشناسی گنبد، ارازکوسه، مینودشت، گالیکش، تمر، غفارحاجی و قزاقلی استفاده شده است (شرکت

آب منطقه‌ای استان گلستان). بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی و همگنی داده‌ها از روش آزمون توالی[۲] بررسی شد. ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه به‌گونه‌ای انتخاب شد که عمدتاً فاقد نواقص آماری و یا با نواقص جزئی بودند. شاخص‌های مختلفی جهت تعیین دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی ارائه شده که در این پژوهش از شاخص (SPI) و میانگین متحرک استفاده شده است. شاخص بارش استاندارد (SPI) یکی از شاخص‌های مهم در مطالعات خشک‌سالی بوده که اولین بار در ایالت کلرادو آمریکا استفاده شد (سلطانی و سعادتی، ۱۳۸۶). طبق روش (SPI)، دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که این شاخص به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار شاخص مثبت گردد. برای محاسبه شاخص بارندگی استاندارد از رابطه (۱) استفاده شده است.

$$Z = \frac{Xi - \overline{X}}{S} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) Z نمره استاندارد بارش یا متغیر استاندارد شده، Xi بارش سالانه به میلی‌متر، $\overline{X}$ میانگین بارش به میلی‌متر و S انحراف از معیار مقادیر بارندگی در مقیاس زمانی موردنظر است. طبقه‌بندی وضعیت آب و هوا بر اساس مقادیر شاخص (SPI) در جدول (۱) نشان داده شده است (محمدی، ۱۳۸۸: ۱۲۶). با استفاده از این‌روش و روش میانگین متحرک دوره خشک‌سالی شاخص ۵ ساله برای ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه تعیین شد.

جدول ۱: طبقه‌بندی وضعیت آب و هوا بر اساس مقادیر شاخص SPI (WMO, 2012)

شاخص SPI	وضعیت آب و هوا
بزرگ‌تر یا مساوی ۲	فرا مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰/۹۹- تا ۰/۹۹	نزدیک نرمال
۱- تا ۱/۴۹-	نسبتاً خشک
۱/۵- تا ۱/۹۹	بسیار خشک
کوچک‌تر یا مساوی ۲-	فرا خشک

مآخذ: نگارندگان

پس از تعیین دوره خشک‌سالی شاخص، جهت بررسی تأثیر خشک‌سالی بر روی پارامترهای کیفی آب از آمار شش ایستگاه هیدرومتری لزوره، ارازکوسه، تمر، گنبد، قزاقلی و بصیرآباد در رودخانه گرگان رود استفاده شد (شکل ۱). پارامترهای کیفی مورد بررسی شامل، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی، PH، سختی‌کل[۳]، یون‌های بیکربنات، سولفات، کلر، کلسیم، مجموع آنیون‌ها، منیزیم، سدیم، پتاسیم، همچنین نسبت جذب سدیم[۴] و درصد سدیم تبادلی است که از شرکت آب

[2]- Run Test
[3]- Total Hardness
[4]- Sodium Adsorption Ratio

منطقه‌ای استان گلستان تهیه شد. پس از تعیین دوره شاخص خشک‌سالی (۵ سال) و طولانی‌مدت (۴۳ سال)، با استفاده از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب پارامترهای کیفی آب برای ۲ دوره موردنظر تهیه شد.

جهت مقایسه و تعیین اختلاف معنی‌داری بین ۲ تیمار مورد بررسی (پارامترهای آماری کیفیت آب در دوره خشک‌سالی شاخص و دوره طولانی‌مدت) از آزمون T در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده و تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در محیط نرم‌افزار مینی‌تب[5] انجام شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون–دارلینگ[6] (Ryan and et al, 1985) و یکسان بودن واریانس‌ها با استفاده از آزمون F بررسی شد.

در این پژوهش پس از تعیین دوره شاخص خشک‌سالی و طولانی‌مدت، جهت تعیین روند و مقایسه کیفیت آب کشاورزی، از طبقه‌بندی ویلکوکس (مهدوی، ۱۳۹۲: ۲۹۱ و Wilcox, 1955) که یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه محسوب می‌شود، استفاده شد. در این طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی بر اساس میزان هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR)، به ۴ گروه با کیفیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب (جدول ۲) و ۱۶ رده (جدول ۳) تقسیم‌بندی می‌شود. در جدول‌های (۲ و ۳) علامت S و C به ترتیب نماینده نسبت جذب سدیم و قابلیت هدایت الکتریکی آب می‌باشد. هدایت الکتریکی (EC) یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای کشاورزی بوده که می‌تواند بر رشد گیاه، کیفیت و عملکرد محصول تأثیرگذار باشد (Kumar et al., 2007). افزایش شوری سبب جذب آب و مواد مغذی شده که در اثر آن فعالیت‌های اسمزی در گیاهان کاهش می‌یابد (Saleh el al., 1999). نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک می‌باشد. همچنین یک معیار مناسب برای ارزیابی برای خطر قلیایی شدن است(Kaur et al., 2017).

جدول ۲: معیارهای طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی بر اساس دیاگرام ویلکوکس(Singhal and Gupta, 1999)

کیفیت آب	EC	رده	SAR	رده
عالی	EC<۲۵۰	C1	SAR<۱۰	S1
خوب	۲۵۰<EC<۷۵۰	C2	۱۰<SAR<۱۸	S2
متوسط	۷۵۰<EC<۲۲۵۰	C3	۱۸<SAR<۲۶	S3
نامناسب	EC>۲۲۵۰	C4	SAR>۲۶	S4

ماخذ : نگارندگان

جدول ۳: رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس دیاگرام ویلکوکس(Singhal and Gupta, 1999)

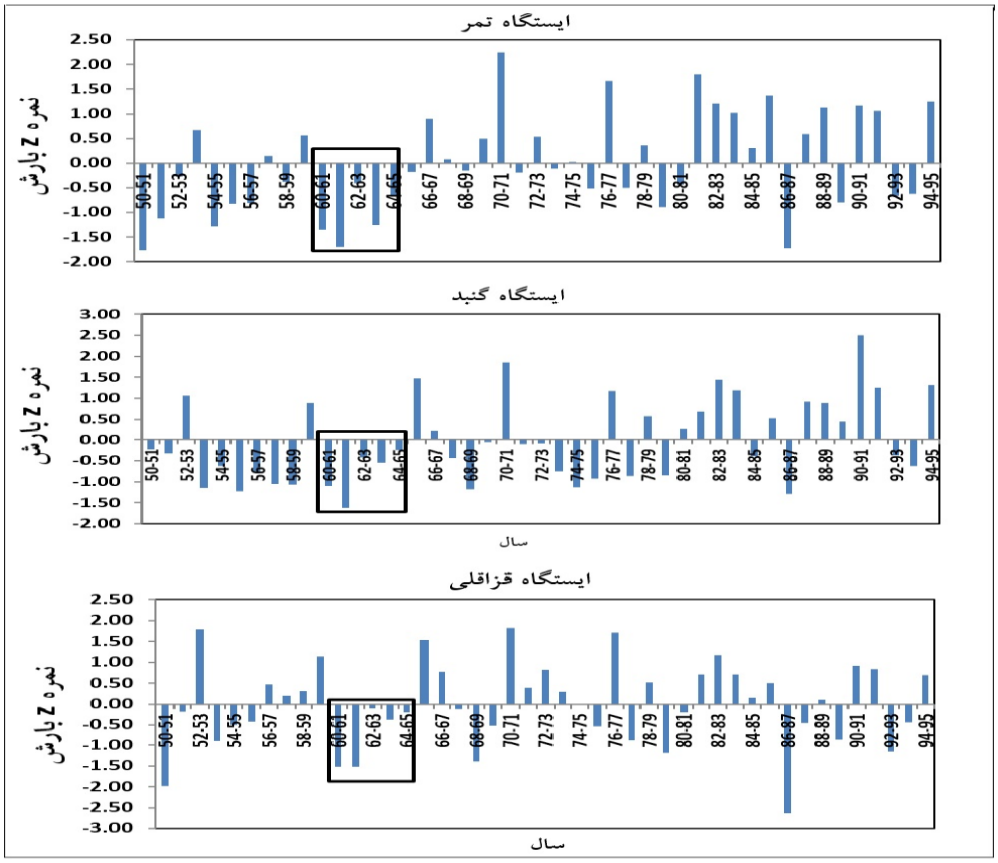
ردیف	رده آب	نوع کیفیت آب برای کشاورزی
۱	C1S1	شیرین– برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر
۲	C1S2,C2S2,C2S1	کمی شور– برای کشاورزی تقریباً مناسب
۳	C1S3,C2S3,C3S1,C3S2,C3S3	شور– برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم مناسب
۴	C1S4,C2S4,C3S4,C4S4,C4S3,C4S2,C4S1	خیلی شور - مضر برای کشاورزی

مآخذ: نگارندگان

[6]- Minitab Software
[7] -Anderson-Darling Normality Test

نتایج

شکل (۲) هیستوگرام نمرات شاخص بارش استاندارد (Z) را در ۳ ایستگاه هواشناسی تمر، گنبد و قزاقلی نشان می‌دهد. بر این اساس دوره شاخص خشک‌سالی ۵ ساله از سال آبی (۶۱-۶۰) تا (۶۵-۶۴) برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. در دوره شاخص خشک‌سالی، شدیدترین خشک‌سالی در سال آبی ۶۲-۶۱در ایستگاه‌های مورد بررسی اتفاق افتاده است. در این سال بیشترین مقدار شاخص (SPI) محاسبه شده مربوط به ایستگاه‌های تمر (۱/۷۰-) و گنبد (۱/۶۳-) می‌باشد.

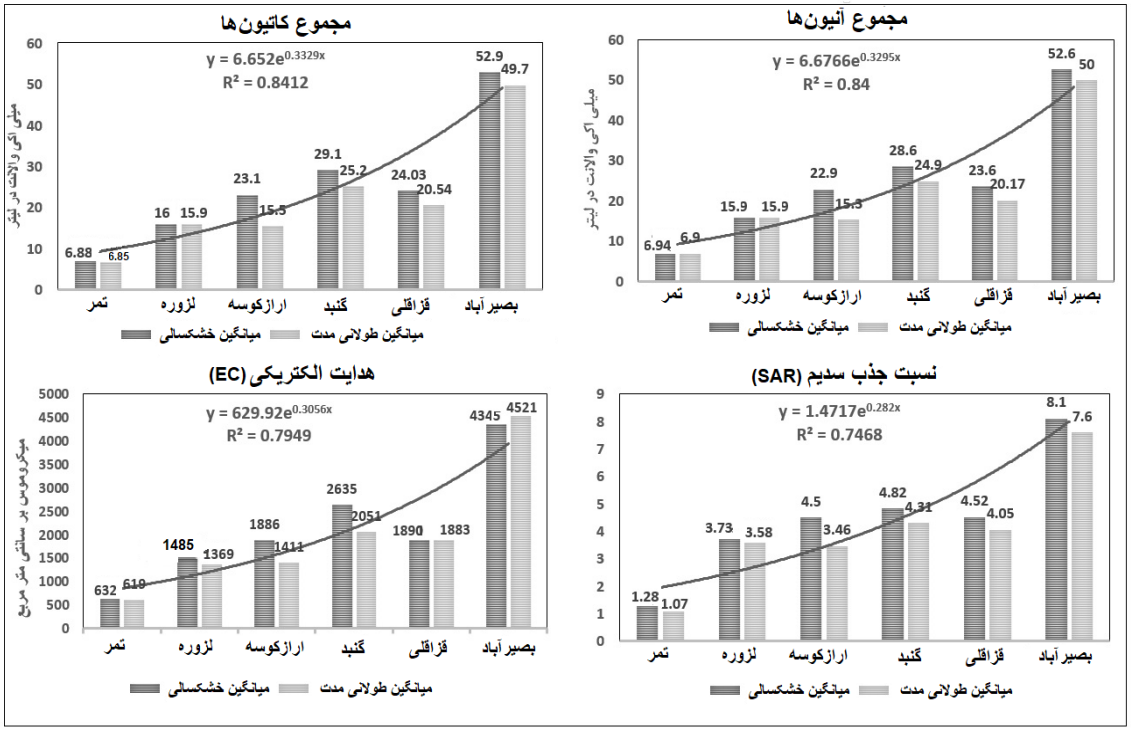


مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: هیستوگرام نمرات شاخص بارش استاندارد (Z) ۳ ایستگاه تمر، گنبد و قزاقلی در حوزه آبخیز گرگان رود

شکل (۳) هیستوگرام مقایسه متوسط مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها، EC و SAR را در دوره خشک‌سالی شاخص و طولانی‌مدت برای ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب نشان می‌دهد. در این شکل موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری از بالادست (تمر و لزوره) به پایین‌دست (بصیرآباد) نشان داده شده است. نتایج بیانگر آن است که میانگین غلظت اکثر آنیون‌ها و کاتیون‌ها در دوره خشک‌سالی نسبت به طولانی‌مدت افزایش یافته به‌طوری‌که حداکثر این افزایش در ایستگاه‌های ارازکوسه (۳۰ درصد) و گنبد (۱۵ درصد) و حداقل آن در ایستگاه‌های لزوره و تمر (تقریباً صفر درصد) اتفاق افتاده است. نزدیکی شهر گنبد به دو ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه و گنبد و تخلیه قسمتی از فاضلاب شهری به

داخل رودخانه از عوامل افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها علاوه بر وقوع خشک‌سالی می‌باشد. تغییر در غلظت هر یک از آنیون‌ها و کاتیون‌ها می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در کیفیت آب شود. همچنین در بررسی روند تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌ها بین ایستگاه‌های مورد بررسی مشخص شد از بالادست به پایین‌دست رودخانه غلظت آنیون‌ها (R^2=0.84) و کاتیون‌ها (R^2=0.84) به‌طور تدریجی افزایش یافته است که دلیل آن علاوه بر وقوع خشک‌سالی، احتمالاً ورود فاضلاب چندین شهر و روستای کوچک و بزرگ که در مسیر رودخانه واقع شده‌اند و همچنین واکنش آب با سنگ بستر در مسیر حرکت رودخانه می‌باشد (شکل ۳). بر این اساس غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ایستگاه بصیرآباد (در پایین‌دست) نسبت به ایستگاه تمر (در بالادست) حدود ۷ برابر افزایش را نشان می‌دهد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۳: هیستوگرام مقایسه متوسط مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها، EC و SAR در دوره خشک‌سالی شاخص و طولانی‌مدت در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

بررسی نتایج هدایت الکتریکی که از پارامترهای مهم کیفیت آب محسوب می‌شود تقریباً مشابه با نتایج مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها بوده به‌طوری‌که در دوره خشک‌سالی نسبت به طولانی‌مدت مقادیر (EC) افزایش یافته است. حداکثر این افزایش در ایستگاه ارازکوسه (۳۳/۷ درصد) و حداقل آن در ایستگاه تمر (۲/۱ درصد) اتفاق افتاده است. در بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی بین ایستگاه‌های منتخب مشخص شد این پارامتر از بالادست به پایین‌دست رودخانه (R^2=0.7949) به‌طور تدریجی افزایش یافته است که دلیل آن وقوع خشک‌سالی، افزایش دمای هوا و کاهش دبی رودخانه می‌باشد.

تغییر در نسبت جذب سدیم یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین کیفیت آب زراعی است به‌طوری‌که با افزایش آن کیفیت آب کشاورزی کاهش می‌یابد. نسبت جذب سدیم در دوره خشک‌سالی نسبت به طولانی‌مدت، مشابه سایر فاکتورهای مورد بررسی افزایش یافته است. حداکثر این افزایش در ایستگاه ارازکوسه (۳۰/۱ درصد) و حداقل آن در ایستگاه لزوره (۴/۲ درصد) بوده است. در بررسی روند تغییرات نسبت جذب سدیم بین ایستگاه‌های منتخب مشخص شد این فاکتور نیز مشابه سایر فاکتورهای مورد بررسی از بالادست به پایین‌دست رودخانه (R^2=0.7468) به‌طور تدریجی تا ۷ برابر افزایش یافته است.

جهت بررسی و مقایسه آماری پارامترهای کیفی آب در دوره شاخص خشک‌سالی با طولانی‌مدت از آزمون T استفاده شد (جدول ۴). در این جدول علامت (*) به معنی وجود اختلاف آماری بین دو تیمار مورد بررسی است. همان‌طور که در جدول (۴) ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌های لزوره و تمر که در دو سرشاخه گرگان رود واقع شده‌اند (شکل ۱)، تقریباً غلظت تمامی فاکتورهای مورد بررسی کیفیت آب در دوره شاخص خشک‌سالی با طولانی‌مدت اختلاف آماری نداشته‌اند. در دوره شاخص خشک‌سالی در ایستگاه تمر تنها غلظت بی‌کربنات (HCO_3) و در ایستگاه لزوره غلظت کلسیم (Ca) نسبت به دوره طولانی‌مدت تفاوت آماری داشته که غلظت هر دو آن‌ها در دوره خشک‌سالی نسبت به طولانی‌مدت افزایش یافته بود.

جدول ۴: نتایج آزمون T جهت مقایسه پارامترهای کیفی آب در دوره شاخص خشک‌سالی و طولانی مدت در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی

پارامترهای کیفی آب	ایستگاه هیدرومتری					
	ارازکوسه	بصیرآباد	تمر	قزاقلی	گنبد	لزوره
EC	*	NS	NS	NS	NS	NS
TDS	*	NS	NS	NS	NS	NS
PH	*	NS	NS	*	NS	NS
HCO3	NS	NS	*	NS	NS	NS
Cl	*	NS	NS	NS	NS	NS
SO4	*	NS	NS	NS	NS	NS
Sum A	*	NS	NS	NS	NS	NS
Ca	*	NS	NS	NS	NS	*
Mg	*	NS	NS	NS	NS	NS
Na	*	NS	NS	NS	NS	NS
K	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Sum k	*	NS	NS	NS	NS	NS
SAR	*	NS	NS	NS	NS	NS
٪NA	NS	NS	NS	NS	NS	NS
سختی کل	*	NS	NS	NS	NS	NS

مآخذ: نگارندگان

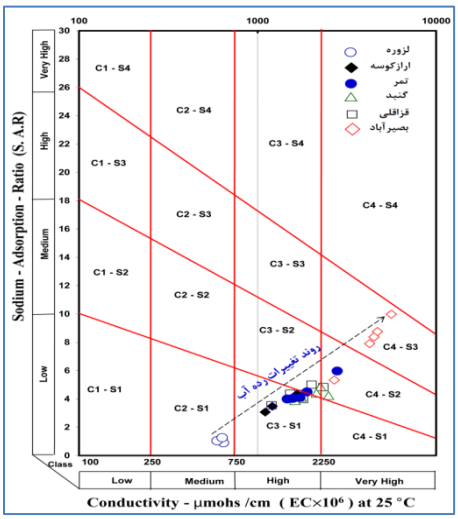
(*) وجود اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد بررسی (NS) عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد بررسی

در ایستگاه هیدرومتری گنبد که در پایین‌دست ایستگاه تمر واقع شده هیچ‌کدام از فاکتورهای کیفی موردبررسی در دو دوره اختلاف آماری نداشته و تقریباً مشابه شرایط ایستگاه تمر می‌باشد. این شرایط در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه که

پایین‌تر از ایستگاه لزوره واقع شده کاملاً متفاوت از سرشاخه دیگر گرگان رود بوده به‌گونه‌ای که در این ایستگاه تقریباً تمامی فاکتورهای کیفی مورد بررسی در دوره شاخص خشک‌سالی با دوره طولانی‌مدت اختلاف آماری داشته ولی این اختلاف برای ۳ پارامتر پتاسیم، درصد سدیم تبادلی (%Na) و بی‌کربنات مشاهده نشد. دلیل وجود اختلاف آماری در دوره شاخص خشک‌سالی در ایستگاه ارازکوسه را می‌توان علاوه بر وقوع خشک‌سالی، به عواملی دیگری از قبیل نزدیکی این ایستگاه به شهرستان گنبد که دومین شهر بزرگ استان گلستان است، مرتبط دانست. اگرچه وقوع فرآیند خشک‌سالی باعث شده بود تا در ایستگاه‌های تمر، لزوره و گنبد بین پارامترهای کیفیت آب در دو دوره مورد بررسی اختلافاتی مشاهده شود اما این اختلافات برخلاف ایستگاه ارازکوسه از نظر آماری معنی‌دار نبوده‌اند.

در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی که کمی پایین‌تر از محل تلاقی دو سرشاخه اصلی گرگان رود واقع شده (شکل ۱)، به جز فاکتور pH، سایر فاکتورهای موردبررسی اختلاف آماری نداشته‌اند. دلیل این موضوع می‌تواند به ترکیب شدن آب در دو سرشاخه اصلی گرگان رود و همچنین اثر خودپالایی رودخانه در طی مسیر مرتبط باشد. در ایستگاه بصیرآباد نیز که در خروجی حوزه آبخیز گرگان رود و نزدیک دریای خزر واقع شده، بین پارامترهای کیفی آب در دو دوره مورد بررسی هیچ‌گونه تفاوت آماری ملاحظه نشد.

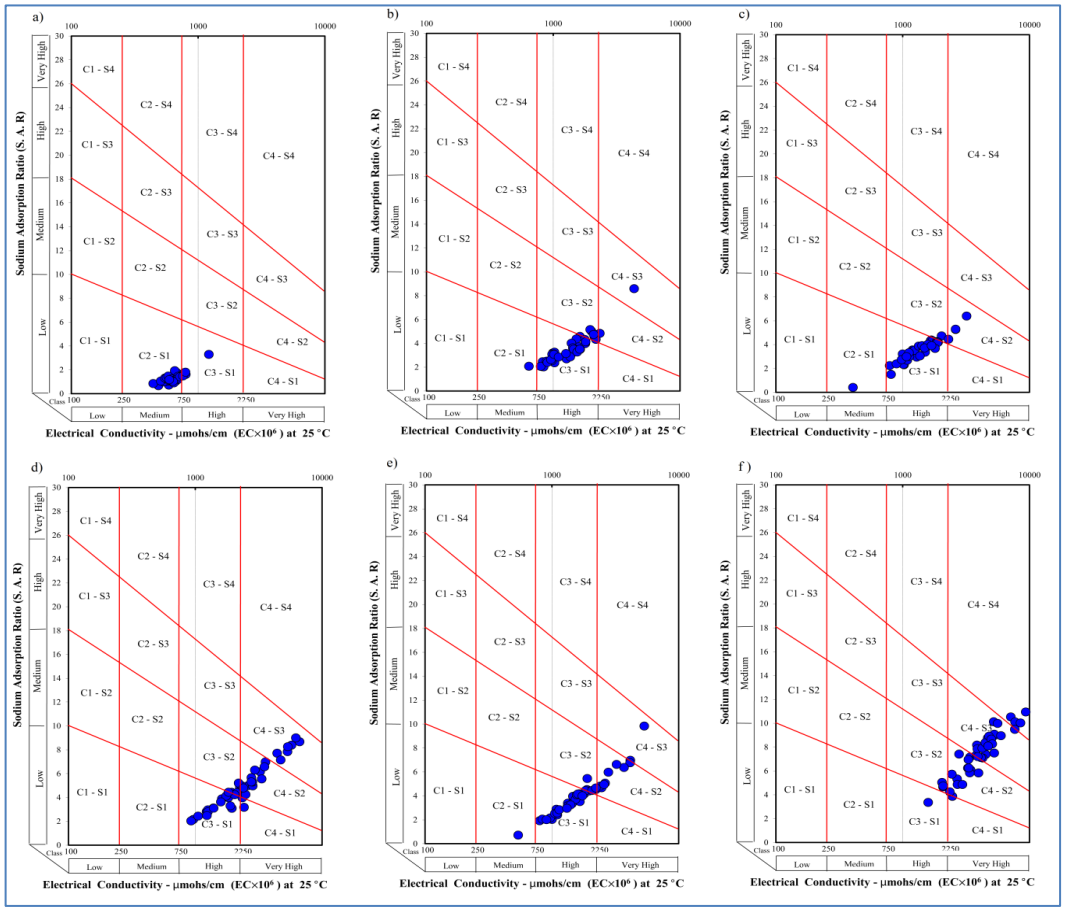
در دوره شاخص خشک‌سالی ۵ ساله و بر اساس دیاگرام ویلکوکس، رده آب در جهت جریان رودخانه از کلاس C2S1 (برای کشاورزی تقریباً مناسب) در ایستگاه لزوزه تا کلاس C4S3 (مضر برای کشاورزی) در ایستگاه بصیرآباد تغییر یافته است (شکل۴). از این‌رو کیفیت آب به لحاظ کشاورزی در جهت جریان به دلیل ورود املاح بیشتر در حال تغییر است به‌طوری‌که در ایستگاه بصیرآباد آب این رودخانه غیرقابل استفاده در بخش کشاورزی می‌شود.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۴: روند تغییرات رده آب در جهت جریان در دوره شاخص خشک‌سالی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

شکل (۵) روند تغییرات رده آب را در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره طولانی‌مدت نشان می‌دهد. مطابق شکل (۵) در دوره طولانی‌مدت، رده آب در جهت جریان رودخانه از ایستگاه‌های لزوره و تمر به سمت بصیرآباد کاهش یافته است. در این دوره، کیفیت آب در ایستگاه لزوره در کلاس C_2S_1، در ایستگاه‌های تمر و گنبد در کلاس C_3S_1، در ایستگاه‌های قزاقلی و ارازکوسه در کلاس‌های C_3S_1، C_3S_2، C_4S_2 و ایستگاه بصیرآباد در کلاس C_4S_3 قرار گرفته است. بر این اساس، کیفیت آب در قسمت انتهایی آبخیز گرگان رود تهدیدی مهم برای توسعه کشت محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. به‌طور کلی در دوره طولانی‌مدت در مقایسه با دوره خشک‌سالی، تجمع و تمایل داده‌ها بیشتر در جهت بهبود کیفیت آب می‌باشد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که در دوره طولانی‌مدت با افزایش میزان بارندگی و در نتیجه میزان دبی، کیفیت آب در بخش کشاورزی نسبت به دوره خشک‌سالی بهبود یافته است (شکل‌های ۴ و ۵).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: روند تغییرات رده آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره طولانی‌مدت، ایستگاه لزوره (a)، تمر (b)، گنبد (c)، ارازکوسه (d)، قزاقلی (e)، و بصیرآباد (f)

نتیجه‌گیری

در اغلب کشورهای پیشرفته دنیا که با تنش آبی مواجه و قسمت اعظم آب‌های سطحی در آن‌ها مهار شده است به این نتیجه رسیده‌اند که مناسب‌ترین روش مقابله با بحران کم‌آبی، استفاده بهینه از آب و جلوگیری از آلوده شدن آن است. بحران آب به‌طور طبیعی در سال‌هایی بیشتر نمایان می‌شود که پدیده خشک‌سالی رخ‌داده باشد و از تبعات آن کاهش شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی است. امروزه در سراسر جهان توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی بستگی به در دسترس بودن منابع آب پایدار در آن کشور دارد. مناسب بودن آب برای مصارف مختلف با توجه به کیفیت آب تعیین می‌شود. بنابراین یک مطالعه نسبتاً جامع جهت بررسی کیفیت آب‌های سطحی و هم‌چنین عوامل تأثیرگذار بر آن می‌تواند اطلاعات مفیدی به تحقق اهداف سازمان‌های ذینفع ارائه دهند. لذا این پژوهش در راستای بررسی تغییرات روند کیفیت آب کشاورزی تحت تأثیر خشک‌سالی در رودخانه گرگان رود که مهم‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه استان گلستان است انجام شد. بر اساس شاخص (SPI)، آبخیز گرگان رود در طول دوره آماری مورد بررسی، به‌تناوب خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های گوناگونی را با شدت‌های مختلف تجربه کرده است. در این پژوهش مشخص شد که غلظت اکثر آنیون‌ها، کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در دوره خشک‌سالی نسبت به طولانی‌مدت افزایش یافته به‌طوری‌که حداکثر این افزایش در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه به دلیل ورود غیراصولی قسمتی از فاضلاب شهری و پساب‌ها به داخل رودخانه اتفاق افتاده است. این نتایج با مطالعات سلیمانی مطلق و همکاران (۱۳۹۲)، و محمودی و همکاران (۱۳۹۴) همسو است. در بررسی تفاوت آماری مقادیر کیفی آب، علی‌رغم افزایش غلظت فاکتورهای کیفی مورد بررسی در دوره خشک‌سالی، به‌جز ایستگاه ارازکوسه که در قسمت‌های میانی حوزه واقع شده، در سایر ایستگاه‌ها تفاوت آماری ملاحظه نشد. دلیل وجود تفاوت آماری در ایستگاه ارازکوسه علاوه بر وقوع خشک‌سالی احتمالاً مربوط به ورود غیراصولی فاضلاب شهر گنبد و پساب‌ها به داخل رودخانه است.

بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی رودخانه گرگان رود نشان داد که غلظت میانگین آنیون‌ها، کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم از بالادست به پایین‌دست رودخانه، در دوره خشک‌سالی و طولانی‌مدت روند افزایشی داشته به‌گونه‌ای که این افزایش در انتهای مسیر رودخانه در ایستگاه بصیرآباد حدود ۷ برابر سرشاخه‌های آن در ایستگاه تمر و لزوره رسیده است. در دوره شاخص خشک‌سالی بر اساس دیاگرام ویلکوکس، رده آب در بالادست رودخانه در ایستگاه لزوره از کلاس C2S1 (برای کشاورزی تقریباً مناسب) تا کلاس C4S3 (مضر برای کشاورزی) در ایستگاه بصیرآباد (نزدیک مصب دریا) تغییر یافته است. با توجه به حرکت جریان آب از ایستگاه لزوره به سمت ایستگاه بصیرآباد، کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی در وضعیت پایین‌تری قرار می‌گیرد. اگرچه آبیاری یک روش مؤثر جهت بهبود قابل‌ملاحظه در راندمان تولید است ولی همواره خطرات زیست‌محیطی آبیاری به‌ویژه افزایش شوری، اراضی کشاورزی را تهدید می‌کند. اراضی زراعی قسمت‌های انتهایی حوزه آبخیز گرگان رود با توجه به تغییر کلاس آب به رده C4S3 در معرض این خطر قرار گرفته و نیاز دارد تا مسئولین تمهیداتی درباره آن لحاظ نمایند. نتایج این پژوهش با مطالعات ساقی

و همکاران (۱۳۹۲)، پرستار و همکاران (۱۳۹۲)، همایون‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵)، بهاتی و همکاران (۲۰۱۹) و سینک و همکاران (۲۰۲۰) همسو است.

منابع

۱- پرستار، س.، پورعشق، ب.، رضایی، م.، درگاهی، ع.، پورعشق، ی. و وثوقی، م. (۱۳۹۲): ارزیابی کیفی آب رودخانه هیروچایی خلخال بر اساس شاخص‌های کیفی NSFWQI و WILCOX ، مجله سلامت و بهداشت. ۴ (۳)، صص ۲۸۳-۲۷۳.

۲- جندقی، ن.، سیدیان، م.، محمدی استادکلایه، ا.، فتح‌آبادی، ا.، محمد اسمعیلی، م.، قره‌محمودلو، م.، (۱۳۹۸): مستند نگاری سیل اسفند ۱۳۹۷ شهرستان گنبد. طرح پژوهشی. دانشگاه گنبدکاووس. ۱۲۷ صفحه.

۳- حیات‌الغیب، م.، قشلاقی، ا.، جعفری، ه. و فرقانی تهرانی، گ. (۱۳۹۴): هیدروژئوشیمی و غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه کاکا رضا (استان لرستان). نشریه محیط‌زیست طبیعی. دوره ۶۸. شماره ۴. صص ۶۲۸-۶۱۹.

۴- زاهدی کلاکی، ا. (۱۳۸۳): بررسی اثرات خشک‌سالی بر کمیت و کیفیت منابع آب شهرستان بهشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی. ۲۹۵ صفحه.

۵- ساقی، م.، صمدی، ح.، رحمانی، م.ت. و محسنی بندپی، ع. (۱۳۹۲): پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت بهداشت آب کشاورزی بر اساس شاخص بهداشت آب کشاورزی بر اساس شاخص ویلکوکس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران. دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز. صفحه ۱.

۶- سلطانی، س. و سعادتی، س.س. (۱۳۸۶): پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش SPI، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱ (۲). صص ۶۴-۶۷.

۷- سلیمانی مطلق، م. طالبی، ع. و زارعی، م. (۱۳۹۲): بررسی اثرات خشک‌سالی بر کیفیت منابع آب سطحی حوزه آبخیز کشکان. پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز. ۶ (۱۲). صص ۱۶۴-۱۵۴.

۸- محمدی، ح. (۱۳۸۸): آب و هواشناسی کشاورزی اصول و کاربرد مطالعات آب و هوا در کشاورزی، انتشارات دانشگاه تهران. ترجمه.

۹- محمودی، پ.، طاووسی، ت. و شاهوزئی، ع. (۱۳۹۴): خشک‌سالی و تأثیر آن بر کیفیت منابع آب سطحی در استان سیستان و بلوچستان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۱). صص ۳۵-۲۱.

۱۰- مهدوی، م. (۱۳۹۲): هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۱- نوحه‌گرا، ا. قشقایی‌زاده، ن. حیدر زاده، م. ر. و پناهی، م. (۱۳۹۵): ارزیابی خشک‌سالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه میناب). پژوهش‌های دانش زمین. ۷:۲۷. پاییز ۱۳۹۵. صص ۴۳-۲۸.

۱۲- همایون‌نژاد، ا.، امیریان، پ. و پیری، ع. (۱۳۹۵): ارزیابی کیفیت آب مخازن چاه نیمه زابل از نقطه نظر شرب و کشاورزی (با تکیه بر نمودارهای شولر و ویلکوکس). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۸ (۱). صص ۱۳-۱.

13- Ammar, T., Lazhar, B., Mammeri, A. And Lotfi, M. (2020): Suitability And Assessment Of Surface Water For Irrigation Purpose, Water Chemistry, Murat Eyvaz And Ebubekir Yüksel, Intechopen: Dol: 10.5772/ Intechopen: 1-17.

14- Attrill, M.J. And Power, M. (2000): Modelling The Effect Of Drought On Estuarine Water Quality. Water Research. 34 (5): 1584-1594.

15- Bhati, E.H., Khan, M.M., Raheel Shah, S.S., Reza, S.S., Shoaib, M. And Adnan, M. (2019): Dynamics Of Water Quality: Impact Assessment Process For Water Resource Management. Journal Of Processes. 7 (2): 1-14.

16- Dehghani, V. And Zar'Kar, A. (2010): Eslamshahr City Zoning Utility Groundwater Use In Agriculture, Iranian Water Conference, Clean Water, March, University Of Power And Water Technology, Tehran, Iran.
17- Kaur, T., Bhardwaj, R. And Arora, S. (2017): Assessment Of Groundwater Quality For Drinking And Irrigation Purposes Using Hydrochemical Studies In Malwa Region, Southwestern Part Of Punjab, India. Applied Water Science. 7(6): 3301-3316.
18- Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A.L. And Saxena, R. (2007): A Comparative Evaluation Of Groundwater Suitability For Irrigation And Drinking Purposes In Two Intensively Cultivated Districts Of Panjab, India, Journal Of Environment Ecology. (53): 553-574.
19- Mishra, B. K., Regmi, R. K., Yoshifumi, M., Kensuke, F., Pankaj, K. And Chitresh S. (2017): Assessment Of Bagmati River Pollution In Kathmandu Valley: Scenario-Based Modeling And Analysis For Sustainable Urban Development. Sustainability Of Water Quality And Ecology, 9, 67-77.
20- Ryan, B.E., Jonior, B.L. And Ryan, T.A. (1985): Minitab Handbook. 2ed. PWS-Kent. Boston USA. 448 P.
21- Saleh, A., Al-Ruwaih, F. And Shehata, M. (1999): Hydro-Geochemical Processes Operating The Main Aquifers Of Kuwait. Journal Of Arid Environments. (42): 195-209.
22- Šebenik, U., Brilly, M. And Šraj, M. (2017): Drought Analysis Using The Standardized Precipitation Index (SPI). Acta Geogr Slov. 57(1): 31-49.
23- Singhal, B. B. S. And Gupta, R. P. (1999): Applied Hydrogeology Of Fracture Rocks. Kluwer Academic Publ., Netherland. 400 P.
24- Singh, K. K., Tewari, G. Kumar, S. (2020): Evaluation Of Groundwater Quality For Suitability Of Irrigation Purposes: A Case Study In The Udham Singh Nagar, Uttarakhand. Journal Of Chemistry, Vol. 2020: 1-15.
25-Van Loon, A.F. And Laaha, G. (2015): Hydrological Drought Severity Explained By Climate And Catchment Characteristics. Journal Of Hydrology 526:3-14.
26- Wilcox, L.V. (1955): Classification And Use Of Irrigation Water, U. S. Department Of Agriculture, Circ, Washington DC, US, P 969.
27- WMO. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. No. 1990. Geneva 2, Switzerland. 16 P.
28- Xu, H., Zheng, H., Chen, X., Ren, Y., Ouyang, Z. (2016): Relationships Between River Water Quality And Landscape Factors In Haihe River Basin, China: Implications For Environmental Management. Chinese Geographical Science, 26,197-207.