پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

بررسی تأثیرات خشک‌سالی بر کیفیت منابع آب سطحی پُل‌دختر

مسعود گودرزی[1*]، رحیم کاظمی[2]

۱ – دانشیار پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲ – استادیار پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

درک کیفیت، کمیت و شیوهٔ عرضه آب یک گام ضروری در بهینه‌سازی مصرف آن است. در سال‌های گذشته، ایران از خشک سالی‌های طولانی‌مدت آسیب‌دیده است و سالانه خسارت‌های قابل‌توجهی به نقاط گوناگون کشور واردشده است. خشک سالی‌های شدید در مناطق خشک و نیمه‌خشک ناشی از دخالت‌های نامناسب انسانی است که باعث کاهش کمیت و کیفیت منابع آب سطحی در این مناطق شده است. به‌طور کلی اندازهٔ بارش، دوره و شدت خشک‌سالی، وضعیت آب و هوایی، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی از جمله عامل‌هایی هستند که تأثیر قابل توجهی بر کیفیت آب‌های سطحی دارند. به این منظور، پژوهشگران از نمایه‌های گوناگونی برای نظارت بر خشک‌سالی و تأثیر آن بر کیفیت آب استفاده کرده‌اند. ازاین‌رو، استفاده از روش‌های مناسب برای بررسی اثرات پدیده‌هایی مانند خشک‌سالی بر کیفیت آب‌های سطحی نیز لازم است. این یک ابزار برای منابع آب در شرایط حیاتی است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی دوره‌های مرطوب و خشک و خشک‌سالی‌های رخداده با استفاده از شاخص SPI بود. سپس، تأثیرپذیری سنجه‌های کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی در آبخیز کشکان در دوره‌های خشک‌سالی و تغییرات آنها در یک دورهٔ ۳۵ ساله بررسی شد. در این راستا، فراوانی رخداد و شدت خشک‌سالی آب شناختی، اندازه و دامنهٔ تغییرات آب‌دهی متأثر از خشک‌سالی‌ها در آبخیز مطالعه‌شده تعیین شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده بخشی از آبخیز کشکان با مساحت ۹۵۶۰ کیلومترمربع بود که حدود ۲۲٪ سطح آبخیز کرخه بزرگ را در بر می‌گیرد و در فاصله ۹۵۰ کیلومتری جنوب‌غرب تهران در بخش زاگرس مرکزی است. در این پژوهش

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** massoudgoodarzi@yahoo.com
استناد: گودرزی، م.، کاظمی، ر. ۱۴۰۳. بررسی تأثیرات خشک‌سالی برکیفیت منابع آب سطحی پُل‌دختر. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۴): ۱۵۵-۱۳۵.
شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.364593.1567
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۱۱/۲۱، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۱۰/۱۲
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دورهٔ ۳۷، شمارهٔ ۴، شمارهٔ پیاپی ۱۴۵، زمستان ۱۴۰۳، صفحه‌های۱۳۵ تا ۱۵۵.
ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس
© نویسندگان

سنجه‌های شـــیمیایی آب‌های سطحی اندازه‌گیری شد. سپس، دوره‌های رخداد خشک‌سالی هواشناسی، رابطه‌های میان این رخدادها و کیفیت آب های سطحی در استان لرستان تعیین شد. به این منظور کیفیت شیمیایی رودها در یک دورهٔ ۳۵ ســاله با داده‌های کیفیت موجود در ایستگاه‌های آب‌سنجی شـــامل آنیون‌ها (Cl^-، SO_4^{-2}، HCO_3^-) و کاتیون‌ها (Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، K^+) و متغیرهـــای دیگر شـــامل SAR، pH، TH، TDS و EC در دورهٔ آماری مشـــترک (۲۰۱۶-۱۹۸۱) تجزیه و تحلیل شـــد. اگرچه امروزه برای تهیه داده‌های کیفیـــت آب چالش‌های زیادی وجود دارد، اما، خوشبختانه در این پژوهش طول دوره، تعداد نمونه‌برداری‌ها و همگنی داده‌ها و طول دوره مشترک، مناسب بود و با توجه به این‌که دوره مطالعه‌شـــده، شامل دوره‌های عادی، دوره‌های خشک و دوره‌های تر بود، کیفیت پژوهش نیز مناسب بود. همچنین، باید توجه داشت که شرکت توسعه منابع آب، به دلایل گوناگون صحت‌سنجی، همیشه چند سالی دیرتر داده‌ها را منتشـــر می‌کند. ازاین‌رو، امکان بررسی دورهٔ آماری طولانی‌تر فراهم نشد. از سوی دیگر، گسترده‌ترین خشک‌سالی‌های منطقه، در این بازه زمانی رخداده است.

نتایج و بحث

اگرچه ســـازندهای دولومیتی، آهکی و مارنی در کاهش کیفیت رواناب‌های ســـطحی عبوری از آنها نقش دارند، اما بر پایهٔ نتایج این پژوهش، رخداد خشک‌ســـالی‌های گسترده و پرشمار نیز موجب افزایش غلظت املاح در واحد حجم شده است به‌شـــکلی که pH آب از ۷/۶۱ به ۷/۶۸ و EC آب از ۳۰۰ µm/cm در ســـال ۱۹۸۱ به ۵۷۰ µm/cm در ســـال ۲۰۱۶ افزایش‌یافت ولی هم چنان از نظر آبیاری در طبقهٔ کیفیت مناســـب بود. با اســـتفاده از روش‌های هم‌بستگی و وایازی دو متغیره، ارتباط و اثرات میان متغیرهای مستقل کم‌آبی و پرآبی با متغیرهای وابسته مربوط به سنجه‌های کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی آبخیز با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel بررسی شد. نتایج بررسی آنیون‌ها و کاتیون‌ها نشان داد که اندازهٔ آنها در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در ســـطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. اندازهٔ شـــاخص‌های SAR و SSP و TH بیشتر در شرایط کم‌آبی معنی‌دار بود. همچنین، تغییرات اندازهٔ EC در زمان کم‌آبی در همه سطوح معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طورکلی خشکســـالی‌ها ارتباط نزدیکی با بحران‌های آب و کاهش منابع آب‌های ســـطحی دارند. ازاین‌رو، بررسی تأثیر خشکسالی روی کمیت و کیفیت آب‌های سطحی با اهمیت است. با استفاده از نتایج این پژوهش‌ها می‌توان درک بهتری از عامل‌های مؤثر بر کیفیت آب‌های ســـطحی داشـــت. نتایج این پژوهش نشان داد آب‌های سطحی به‌رغم کاهش کیفی، هم‌چنان برای آبیاری در بخش کشـــاورزی مناسب است. پیشنهاد می‌شـــود نقش مصارف صنعتی و آلاینده‌های آب‌های ســـطحی نیز بررسی شـــود. به‌ویژه در زمینهٔ ایستگاه‌هایی که در پایین‌دست مناطق مســـکونی و صنعتی هستند، پایش تغییرات و نوع آلودگی اهمیت زیادی دارد.

واژگان کلیدی: آبخیز کشکان، اقلیم خشک و نیمه‌خشک، خشک‌سالی، کیفیت آب سطحی، نمایه SPI

مقدمـه

هـــر چند که بیش از ســـه چهـــارم کرهٔ زمیـــن را آب فرا گرفتـــه اســـت اما بخش کمـــی از آب‌های موجـــود برای مصارف بهداشـــتی و کشاورزی قابل اســـتفاده است، زیرا، آب اقیانوس‌ها، دریاها و بیشـــتر دریاچه‌ها و بســـیاری از منابع آب زیرزمینی به‌علت شـــوری بیش از حد و داشتن املاح معدنی برای مصارف بهداشتی، کشاورزی و صنعتی غیرقابل اســـتفاده اســـت (علـــی‌زاده ۲۰۰۶). کیفیت آب نتیجـــه کلیـــهٔ فرآیندها و واکنش‌هایی اســـت که از زمان تشـــکیل و تراکم آب در جو تا زمانی که به زمین برسد و جاری شـــود یا به زیر زمین برود و دوباره از راه منابع چاه و چشمه خارج شود روی آن انجام‌شده است. به‌بیان دیگر کیفیت آب شـــرح کاملی از شـــرایط فیزیکی، شیمیایی و باکتری‌شناسی منابع آب اســـت و بستگی به غلظت تمام مواد حل‌شده یا معلق در آب دارد (اهری ۲۰۰۱). به‌طوری که در بعضی شرایط این حساسیت چنان افزایش یافته که موجب بروز مناقشه‌های منطقه‌ای و بین‌المللی شده است (زاهدی ۲۰۰۵). اهمیت کیفیـــت آب از کمیت آن کمتر نیست اما در بررسی‌های بیلان آب آبخیزها، عموماً فقط به بیلان کمی توجه می‌شود و بیلان کیفی فراموش می‌شود. بخشـــی از این موضـــوع مربوط بـــه تغییرپذیری مکانی و زمانی کیفیت منابع آب اســـت که بررســـی آن پیچیدگی خاص خود را دارد. مخاطره‌هـــای اقلیمی از جمله رخداد

دوره‌های خشک در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از منابع آب تأثیر چشمگیر داشته است و در این رابطه برای بررسی آن لازم است شاخص‌های گوناگونی از جمله بارش بررسی شود (مصطفائی ۲۰۰۹). خشک‌سالی یکی از پدیده‌های محیطی و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی است. دوره‌های کم آبی می‌تواند به مشکلات این کشورها بیفزاید چرا که بر اثر کم‌آبی و خشک‌سالی، آب رودها کم و امکان دارد یک رود دائمی به رود فصلی و یا حتی به یک رود موقتی تبدیل شود یا کلاً خشک شود. به این ترتیب، با کاهش حجم آب در رودها زمینهٔ کاهش کیفی آب نیز فراهم می‌شود (زاهدی ۲۰۰۵). این پدیده از ویژگی‌های اصلی و تکرارشونده اقلیم‌های گوناگون به‌شمار می‌آید. خشک‌سالی ممکن است در هر مکانی رخ دهد و باعث کمبود آب شود، اما ویژگی‌های آن از قبیل شدت، مدت و بزرگی خشک‌سالی و هم‌چنین اثرات آن از محلی به محل دیگر متفاوت است. زمانی نسبتاً طولانی سپری شد تا بشر به اهمیت کیفیت آب پی برد (کارآموز و کراچیان ۲۰۰۸). خشک‌سالی آب‌شناختی نیز ممکن است موجب تغییرات قابل توجهی در کیفیت آب شود. هدف اصلی این پژوهش بررسی چگونگی تأثیر پذیری سنجه‌های کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی در هنگام رخداد دوره‌های خشک‌سالی با استفاده از گام‌های زمانی بارش و آب‌دهی رودها، روند تغییرات بارش و آب‌دهی و دوره‌های خشک‌سالی و تداوم آنها (بر اساس یکی از شاخص های اقلیمی) بود (کاظمی و همکاران ۲۰۲۲). با توجه به اینکه خشک‌سالی یا کم‌آبی پدیده‌ای ذاتی در شرایط اقلیمی ایران است، پس طبیعتاً دوره‌های کم‌آبی به‌مراتب بیشتر از دوره‌های پرآبی است. بنابراین، بررسی نحوهٔ تخصیص آب با کیفیت مطلوب در این شرایط (کم‌آبی) بسیار اهمیت دارد. به‌رغم اینکه استان لرستان جزء استان‌های نسبتاً پربارش کشور است اما، رخداد متناوب دوره‌های کم‌آبی، کاهش کمی و کیفی کلیهٔ منابع آب استان از جمله آب‌های سطحی آبخیز کشکان را سبب‌شده است. به طوری‌که این کاهش کمی باعث تغییراتی نامطلوب در کیفیت شیمیایی مجموع آب‌ها به‌ویژه آب‌های سطحی در آبخیز کشکان شده است (لشنی‌زند ۲۰۰۱).

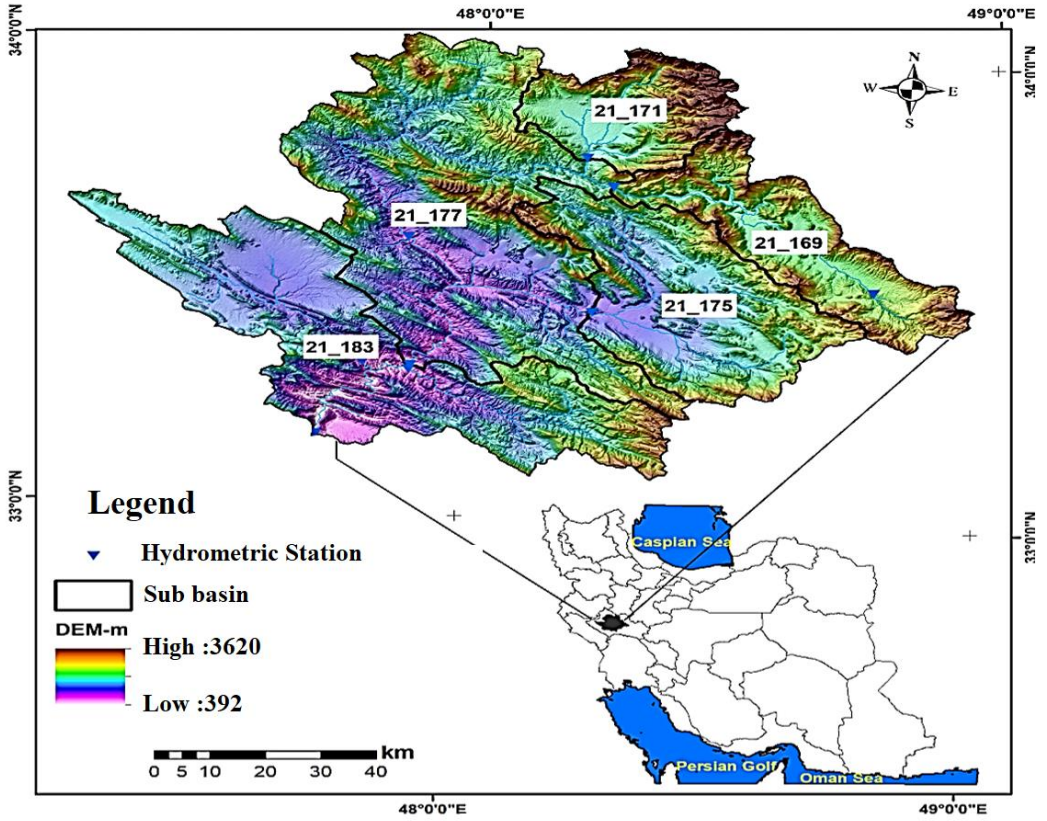
پژوهشگران پرشماری (برایمت و همکاران ۱۹۹۲)، (فیلیپ و مک گریگور ۱۹۹۸) و (گلداسمیت و همکاران ۱۹۹۷) با استفاده از کمبود تجمعی بارندگی ماهانه شدت خشک‌سالی‌های انگلستان را تجزیه وتحلیل کردند. نظریهٔ (Run) به‌وسیلهٔ (جویچ ویچ ۱۹۶۷) در تحلیل خشک‌سالی به‌کار گرفته شد. در جنوب کشور پرتغال باروس و مندو (۱۹۹۵) تأثیرات دوره‌های کم‌آبی و پرآبی بر کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که رابطهٔ میان سنجه‌های کیفیت شیمیایی آب‌ها با آب‌دهی معنی‌دار بود. از سوی دیگر، شاخص‌های گوناگونی به‌وسیلهٔ پژوهشگران پرشماری به‌منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی پیشنهادشده است که هر یک از این شاخص‌ها براساس به‌کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسبه‌ای متفاوتی، طراحی شده‌اند (ریچارد و همکاران ۲۰۰۲). در پژوهشی احراری رودی (۲۰۱۸)، با استفاده از داده‌های بارش و داده‌های کیفی ۲۷ حلقه چاه مشاهده‌ای که پراکنش مناسبی در سطح استان سیستان و بلوچستان داشتند، اثرات خشک‌سالی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی این استان را در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ بررسی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به کاهش بارش، میانگین کل عناصر و مواد در آب‌های زیرزمینی در دورهٔ مطالعه‌شده ۲۰ تا ۲۵٪ در آب افزایش یافت. امیریان و همکاران (۲۰۰۹) اثرات خشک‌سالی بر کیفیت آب رود مارون را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد خشک‌سالی سال ۱۳۸۷ موجب کاهش کیفیت آب رود مارون شد و بیشترین تأثیر خشک‌سالی بر اندازهٔ کدورت آب و افزایش کلر بود و کم‌ترین تغییرات در دمای آب و pH مشاهده شد. در پژوهشی بهرامی و همکاران (۲۰۰۹) کاهش کیفیت رود زهره را به کاهش آب‌دهی و وجود سازندهای شور در منطقه نسبت دادند. خشک‌سالی می‌تواند اثرات معنی‌داری بر کیفیت آب رودها داشته باشد. زمانی‌که جریان پایه کم است، شوری آب افزایش و کیفیت آب دست خوش تغییر می‌شود. در پژوهشی همایون‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از نمودار شولر (۱۹۶۵) و ویلکاکس (۱۹۵۸) کیفیت آب چاه نیمه‌های شهرستان زابل برای مصارف شرب و کشاورزی را ارزیابی کردند.

در شمال‌شرق کشور اسلواکی سبنیک و همکاران (۲۰۱۷) خشک‌سالی را با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد (SPI) تجزیه و تحلیل کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد هم‌بستگی میان آب‌دهی استاندارد رود و شاخص بارندگی (SPI) معنی‌دار بود. (بهاتی و همکاران ۲۰۱۹) پویایی کیفیت آب به‌منظور ارزیابی اثرات آن در کشور پاکستان را بررسی کردند. همچنین، سینگ و همکاران (۲۰۲۰) کیفیت آب زیرزمینی را به‌منظور اهداف کشاورزی ارزیابی کردند. در این پژوهش با استفاده از نمودار ویلکاکس طبقه‌بندی کیفی آب انجام شد. سپس، آلاینده‌های مؤثر بر کیفیت آب و اثرات ویران‌گر آن برای مصارف کشاورزی ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مطالعه شده

آبخیز کشکان با مساحت بیش از ۹۵۶۰ کیلومترمربع، حدود ۲۲٪ از کل آبخیز کرخه را در برگرفته است. این در حالی است که آبخیز کرخه در میان آبخیزهای اصلی شش‌گانه ایران (۱- آبخیز دریای خزر ۲- آبخیز خلیج فارس و دریای عمان ۳- آبخیز بستهٔ آذربایجان ۴- آبخیز مرکزی ایران ۵- آبخیز هیرمند و هامون ۶- آبخیز دشت قره‌قرم یا سرخس) در درون آبخیز خلیج فارس و دریای عمان است (خاک‌پور ۲۰۰۸). مختصات جغرافیایی آبخیز کشکان ´۱۲ °۴۷ تا ´۵۹ °۴۸ طول شرقی و ´۸ °۳۳ تا ´۰۲ °۳۴ عرض شمالی در بخش میانی سلسله کوه‌های زاگرس، در ۴۵۰ کیلومتری جنوب‌غرب تهران است. این آبخیز از نظر تقسیمات سیاسی، تماماً در استان لرستان است و شهرستان‌های خرم‌آباد، الشتر، کوهدشت و پل‌دختر با مساحتی حدود ۳۳٪ از کل استان در آبخیز نامبرده گسترش یافته‌اند. زیرآبخیز کشکان با مساحت ۲۵۴۶۶ کیلومتر مربع در محل خروجی ایستگاه آب‌سنجی ۱۸۳-۲۱ با نام پل‌دختر کشکان است. کمترین بلندی این آبخیز از سطح دریای آزاد ۵۲۲ متر و بیشترین بلندی آن ۳۵۰۳ متر است. بلندی آبخیز از سطح دریا نشان‌دهندهٔ موقعیت اقلیمی آن است (لشنی‌زند ۲۰۰۱). در آبخیزهای مناطق بلند نه تنها بارندگی بیش از آبخیزهای پست است بلکه در قله‌های بلند غالباً نزولات جوی به‌شکل برف است که آب‌شناسی آن با رگبارها متفاوت است. بلندی میانگین آبخیز یعنی اندازه‌ای که ۵۰٪ زمین‌های آبخیز بلندی‌شان بیشتر از آن اندازه و ۵۰٪ مساحت آبخیز بلندی‌شان کمتر از آن اندازه باشد (علی‌زاده ۲۰۰۶). از مؤلفه‌های قابل توجه در یک آبخیز اندازهٔ جمعیت ساکن در آبخیز است که متأثر از پدیده خشکسالی و اثرات جانبی آن است. حدود ۱۴۵۰ قصبه روستا با جمعیت بیش از ۷۵۰ هزار نفر در پهنهٔ آبخیز کشکان سکونت دارند و شهر پل‌دختر یکی از مهم‌ترین منابع شهری آبخیز کشکان به‌شمار می‌آید (لشنی‌زند ۲۰۰۱). نقشهٔ موقعیت منطقهٔ پژوهش و ایستگاه‌های آب‌سنجی و همدید منطقهٔ مطالعه شده در شکل ۱ نشان‌داده شده است. همچنین، مشخصات زیرآبخیزهای بررسی‌شده در جدول ۱ آورده‌شده است.



شکل ۱- نقشهٔ موقعیت منطقهٔ پژوهش و ایستگاه‌های آب‌سنجی و همدید منطقه.

Figure 1- map of the study area with hydrometric and synoptic stations in the area.

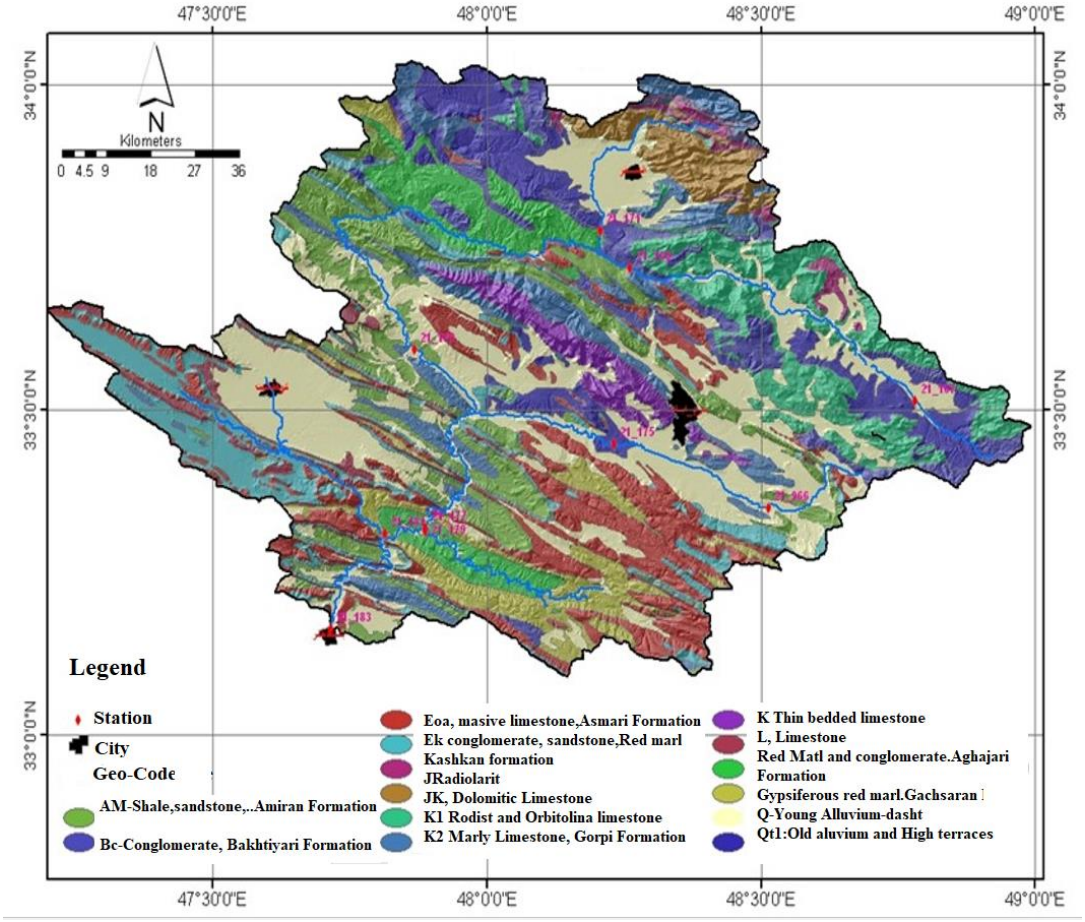
بر اســـاس آمار ایســـتگاه‌های باران‌ســـنجی در سطح و پیرامون آبخیز نامبرده، میانگین ســـالانهٔ بارندگی آبخیز ۶۱۹ میلی‌متر برآورد شـــد (لشـــنی‌زند ۲۰۰۱). وضعیت بارندگی آبخیز، وضعیت مدیترانه‌ای است. هم‌چنین توزیع بارندگی در فصل‌های گوناگون مبتنی بر ورود سامانه‌های بارش‌زا به منطقه اســـت. بخش بزرگی از بارندگی منطقه نیز ناشی از جریان‌های مرطوبی است که در بیش از نیمی از ســـال به همراه مرکز کم فشار به‌طور مستقیم از سمت غرب و پس از عبور از دریای مدیترانه و غنی شدن از بخار آب موجـــود روی دریا وارد این منطقه می‌شـــود (تلوری ۱۹۹۹). مشخصات ایســـتگاه‌های آب‌سنجی مطالعه‌شده در سطح آبخیز کشکان در جدول ۱ آورده‌شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی مطالعه‌شده در سطح آبخیز کشکان.

Table 1- Hydrometric station attributes of the study area.

Station	River	Area (Km^2)	Geographic attributes			No. of samples
			Height	Lat.	Long.	
Afarineh	Cholhol	799.46	800	19-33	53-47	361
Afarineh	Mid-Kashkan	6931.28	820	20-33	53-46	223
Cham Anjir	Khoramabad	1718.5	1140	26-33	48-14	268
Kakareza	Har-rud	1204.91	1530	41-33	16-48	205
Sarab seyedali	Doab	797.46	1520	47-33	12-48	218
Pol-Kashkan	Pol-Kashkan	3763.76	1000	35-33	53-47	204
Bar aftab	Madian-rud	111.37	790	19-33	49-47	211
Poldokhtar	Lower Kashkan	9560	650	19-23	43-47	277

از جملـــهٔ عامل‌های مؤثر بر جریـــان، مؤلفه‌های گوناگون آبخیز شـــامل: زمین‌شناسی، پســـتی و بلندی سطحی و زیرسطحی، مشخصه‌های خاکشناسی و مؤلفه‌های اقلیمی و هم‌چنین دخالت‌های انسانی است. عبور آب از زمین‌های گوناگون سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود و این تغییرات به خصوصیات زمین‌شناســـی نقاطی که آب از آن عبورکرده اســـت، بســـتگی دارد. با توجه به تأثیرات ســـازندهای زمین‌شناســـی بر منابع آبی آبخیز، تلاش شد تا تصویری کامل از زمین‌شناســـی آبخیز ارائه شود. نقشهٔ زمین‌شناســـی منطقهٔ مطالعه‌شده در شـــکل ۲ نشان‌داده شده است.



شکل۲ - نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مطالعه‌شده (کاظمی و همکاران ۲۰۲۲ به نقل از اشتوکلاین (۱۹۶۸)).

Figure 2- Geologic map of the study area (Kazemi et al., 2022 after Stöckline (1968)).

رخداد پی‌درپی دوره‌های کم‌آبی تا حدودی روی کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی این آبخیز اثر گذاشته است و باعث به وجود آمدن مشکلات و محدودیت‌هایی در زمینهٔ استفاده‌های گوناگون از این آب‌ها شده است. رخداد دوره‌های کم‌آبی افزون بر کاهش حجم آب‌های سطحی آبخیز، باعث شور و سنگین شدن و تغییر کمیت و کیفیت مواد موجود در آنها شده است (لشنی‌زند ۲۰۰۱). آبخیز مطالعه‌شده از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌ماسه، سنگ‌آهک، کنگلومرا، دولومیت و تا اندازه‌ای آذرین است. در جنوب و جنوب‌غربی آبخیز سنگ‌های فوق انیدریت و شیل نیز وجود دارد. هم‌چنین در خروجی آبخیز، سازندهای گروه فارس از جمله سازند گچساران و آغاجاری برونزدگی دارد که حساس به فرسایش است و نقش مؤثری بر تغییر کیفیت آب دارد (مصطفائی ۲۰۰۹). در این پژوهش، سری‌های زمانی بارش روزانه و آب‌دهی در بازهٔ زمانی ۳۵ ساله انجام شد. گام‌های زمانی داده‌های کیفیت آب نیز تهیه شد. از آنجایی که از آب‌های سطحی این آبخیز در داخل و خارج از استان استفاده‌های زیادی در بخش‌های مختلف شرب، کشاورزی و صنعت می‌شود، اهمیت و ارزش بسیار زیادی دارند. به منظور تحلیل کیفیت آب از نظر شرب از نمودار شولر استفاده شد.

روش پژوهش

در این پژوهش آمار آب‌دهی روزانه آب‌های سطحی آبخیز نامبرده و آمار تحلیل سنجه‌های کیفیت شیمیایی آن تهیه و بررسی شد. این آمارها، از ایستگاه‌های آب‌سنجی وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، واحد مدیریت پایه منابع آب ایران جمع‌آوری شد. سپس، سنجه‌های کیفیت آب شامل هدایت الکتریکی (EC)، قلیائیت (pH)، کل مواد جامد محلول (TDS)، سولفات(SO_4^{-2})، نسبت جذبی سدیم (SAR)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^{+})، کلر (Cl^{-})، غلظت یون‌های بی‌کربنات(HCO_3^{-}) و سختی کل (TH) ایستگاه‌های آب‌سنجی آبخیز کشکان در یک دورهٔ ۳۰ ساله به‌شکل روزانه استخراج شد. در این پژوهش پس از جمع‌آوری داده‌های آب‌دهی ایستگاه‌های

آب‌سنجی و جمع‌آوری آمار سنجه‌های کیفیت شیمیایی آب‌های سطحی تمام زیرآبخیزهای آبخیز کشکان، به‌منظور هم‌زمانی سال‌های آماری یک دورهٔ شاخص ۳۰ ساله که دورهٔ آماری مطلوبی از نظر طرح‌های آب‌شناختی بود، انتخاب شد. از آنجایی که داده‌های ایستگاه‌های گوناگون باید همگن باشند و با توجه به کیفیت آمارهای موجود با استفاده از روش‌های مختلف از جمله مقایسهٔ نظری آمار هم‌زمان ایستگاه‌های مختلف و مهار اندازه‌های خیلی‌زیاد و یا خیلی‌کم، کیفیت همهٔ آمارها تأیید شد. متأسفانه سازمان مدیریت منابع آب داده‌ها را با چند سال تأخیر تهیه می‌کند. امروزه، تهیهٔ داده‌های با طول مدت مناسب و به‌روز با چالش‌های زیادی همراه است. با توجه به کیفیت و تعداد نمونه برداری‌ها، داده‌ها تا سال ۲۰۱۶ همگن، با کیفیت مناسب و در دسترس بودند. طول مدت دورهٔ آماری نامبرده شامل دوره‌های عادی، دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی بود. از آنجایی که درستی و نادرستی آمارها وابسته به آزمون همگنی است، بنابراین، این آزمون روی داده‌های موجود انجام شد. برای ارزیابی همگنی داده‌ها از دو روش گرافیکی (منحنی جرم مضاعف) و روش غیرگرافیکی (ران تست یا آزمون توالی) استفاده شد. معیار دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در یک آبخیز، مبتنی بر اندازه‌گیری اندازهٔ جریان آب‌های سطحی در ایستگاه آب‌سنجی دائر در سطح آبخیز (که به‌شکل روزانه به‌عنوان اندازهٔ آب‌دهی ثبت می‌شود) است (قمیشیون و حسینی ۲۰۰۸). اساسی‌ترین عامل برای به‌دست آوردن سنجه‌های نامبرده، تعیین سطح آستانه بود. به بیان دیگر، با انتخاب یک سطح آستانه، تحلیل خشک‌سالی نیز آسان‌تر خواهد شد. سطح آستانه می‌تواند میانگین آب‌دهی رود باشد. در این پژوهش، سطح آستانهٔ خشک‌سالی آب‌شناختی آبخیز مطالعه‌شده با استفاده از رابطهٔ ۱ (دراکوپ) تعیین شد.

$$[x_{\circ} = xm - e \times s = xm[1-(e \times cv)]] \qquad (۱)$$

$X_{\circ}$: سطح آستانه، xm : میانگین داده‌ها، s: انحراف استاندارد، cv: ضریب تغییرات سری زمانی متغیر خشک‌سالی از قبیل آب‌دهی، e = عامل مؤثر مقیاس است. در این رابطه اگر e صفر باشد، x0=xm یعنی آستانهٔ خشک‌سالی آب‌شناختی و میانگین جریان رود برابر هستند (پانو و شارما ۲۰۰۲).

عبور آب از زمین‌های گوناگون سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود و این تغییرات به خصوصیات زمین‌شناسی نقاطی که آب از آن عبورکرده است، بستگی دارد. شاخص‌ترین عامل‌های زمین‌شناسی مؤثر بر کیفیت آب، گنبدهای نمکی و سازندهای مارنی است. موقعیت جغرافیایی محل و وضع آب و هوایی نیز تأثیر زیادی بر کیفیت آب دارد. به‌طوری که کاهش اندازهٔ بارندگی، دمای زیاد و شدت تبخیر سبب افزایش درجه غلظت املاح در آبها می‌شود.

کیفیت آب‌های سطحی به شدت تحت تأثیر شرایط آب‌شناختی هستند. به‌طوری که در فصل پرباران با افزایش آب‌دهی رودها غلظت املاح مختلف کاهش می‌یابد، در صورتی که در فصل خشک با کاهش آب‌دهی کیفیت آب به شدت کاهش می‌یابد (مصطفائی ۲۰۰۹). در این پژوهش، اندازهٔ ضریب هم‌بستگی به‌دست آمده با اعداد جدول فیشر و درجهٔ آزادی (df = N-۲)، در ستون احتمال مد نظر مقایسه شد. چنان‌چه ضریب به‌دست آمده بزرگتر و یا مساوی آن بود، هم‌بستگی در آن سطح اعتماد، معنی‌دار است. در شرایطی نیز می‌توان از هم‌بستگی چندمتغیره، یا لگاریتمی و یا درجه دوم استفاده کرد (مهدوی ۲۰۰۵). به‌طورکلی کمترین طول دورهٔ آماری لازم بستگی به این دارد که نتایج در چه سطح آماری قابل قبول باشند (علی‌زاده ۲۰۰۶). کالینز در سال ۱۹۲۳ اولین روش گرافیکی را که در آن غلظت هر یک از کاتیون‌ها و آنیون‌ها با رنگ یا طرح‌های گوناگون نشان‌داده شده بود، را در نموداری به نام نمودار بار ارائه داد (دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه ۱۹۹۱).

در این پژوهش از دو مدل از این نمودارها به نام‌های شولر و ویلکاکس در راستای تعیین قابلیت‌های شرب وکشاورزی آبهای سطحی تمام زیرآبخیزهای کشکان استفاده شد. در نمودار شولر، در رسم خطوط در شرایطی که اندازه‌های سنجه‌ها بر حسب میلی‌گرم در لیتر بود از اشل‌های مربوط به هر سنجه استفاده شد و در شرایطی که بر حسب میلی‌اکی‌والانت در لیتر بود از دو اشل سمت راست و سمت چپ نمودار، استفاده شد. به بیان دیگر، این روش تقسیم‌بندی کیفیت آب بر اساس نمودار شولر یک تقسیم بندی شش‌گانه شامل خوب، قابل‌قبول، متوسط، نامناسب، موقتاً قابل شرب و غیرقابل شرب تقسیم بود (علیزاده ۲۰۰۶). نمودار ویلکوکس در سال ۱۹۴۸ ارائه شد. این نمودار روشی بسیار متداول در طبقه‌بندی آبها از نظر کشاورزی، در پژوهش-های آب‌شناسی است. در این نمودار محور افقی شوری آب (بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر) و محور عمودی نسبت -جذبی سدیم (SAR) است. مختصات مربوط به هر آب در منطقه‌ای است که با حرف C از نظر شوری و حرف S از نظر سدیم مشخص می‌شود. اندازه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد است. اگر آبی در منطقهٔ C_3S_2 باشد یعنی شوری این آب زیاد و سدیم آن متوسط است و یا آب C_1S_2 آبی با شوری کم و سدیم متوسط است. بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس

آب‌های خیلی‌خوب همگی EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر دارند و در طبقهٔ C_1S_1 هستند. آب‌های خوب در طبقه‌های C_1S_2, C_2S_1, C_2S_2، آب‌های با کیفیت متوسط در طبقه‌های C_2S_3, C_3S_2, C_3S_3 و C_3S_1 و بقیه آب‌های نامناسب در طبقه‌های $C_4S_1, C_4S_2, C_4S_3, C_1S_4, C_2S_4, C_3S_4, C_4S_4$ هستند.

باید توجه داشت که هر اندازه اندیس‌ها بزرگتر باشد کیفیت آب‌ها نامناسب‌تر است و فقط در شرایط خاصی مثلاً در خاک با بافت درشت، زهکشی زیاد و گیاهان مقاوم به شوری می‌توان از بعضی از این آبها استفاده کرد. (مهدوی ۲۰۰۵). نمودار دوروو یک روش نظری معروف در آب‌زمین‌شناسی (هیدروژئولوژی) به‌شمار می‌آید که برای نمایش یون‌های اصلی به‌شکل درصد در میلی‌اکی والان در دو نمودار سه خطی (مثلثی) نشان‌داده می‌شود و یکی برای کاتیون‌ها و یکی برای آنیون‌ها است و دیگری اندرکنش آنها درج می شود.

نمودار دوروو یک نمودار تخصصی برای نمونه‌های شیمیایی آب است که در آن ارزش‌های عددی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در دو طرح واره مثلثی جدا می‌شوند و به‌شکل نقاطی در پایین هر مثلث رسم می‌شوند. افزون بر این، با استفاده از نمودار دوروو امکان مقایسهٔ مستقیم دو سنجهٔ pH و TDS آب زیرزمینی وجود دارد.

در این پژوهش، تحلیل ویژگی‌های خشک‌سالی اقلیمی، تعیین کیفیت آب رودها از نظر آلودگی شیمیایی و مقایسهٔ آنها با معیارهای جهانی WHO و EPA، انجام شد. شاخص‌های کیفیت آب کشاورزی (ویلکوکس)، سختی آب، آب شرب (شولر) نیز بررسی شد. مقایسهٔ تغییرات کیفیت، انواع و رخساره آبها با تغییرات بارش و حجم آب‌دهی ماهانه، فصلی و سالانهٔ رودها انجام شد. برای بررسی روند یا نبودن روند در داده‌ها، از سه روش مهم استفاده شد که عبارت بودند از : الف: آزمون نقاط عطف[1]، ب: آزمون کندال[2]، ج: آزمون وایازی خطی.

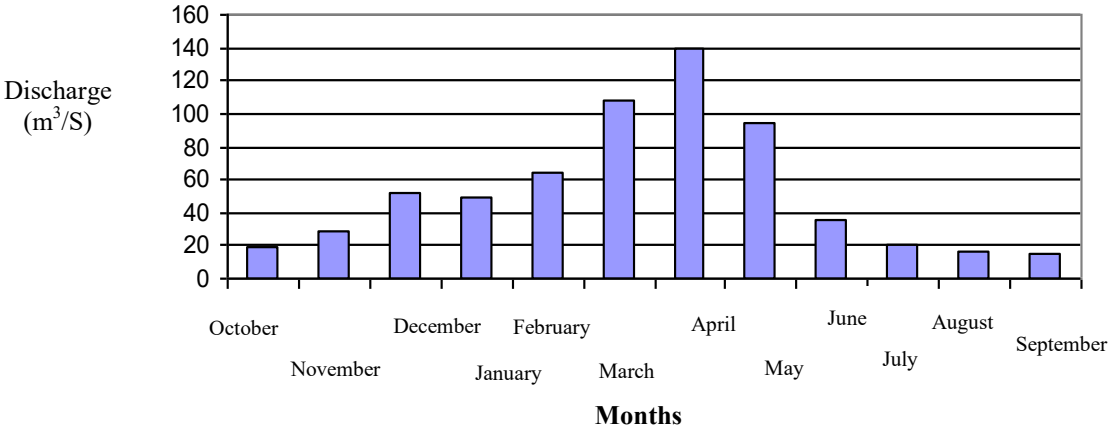
در این پژوهش، بررسی روند تغییرات شاخص‌های کیفیت آب (EC و TDS) و مقایسهٔ آن با شاخص خشک‌سالی هواشناسی انجام شد. به‌منظور انجام آزمون معنی‌داری تغییرات در کیفیت آب (در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪)، تهیه روند تغییرات، هم بستگی میان داده‌ها و تحلیل واریانس از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. همچنین، کیفیت آمارهای موجود با استفاده از روش های گوناگون از جمله مقایسهٔ نظری آمار همزمان ایستگاه‌های مختلف و مهار اندازه‌های خیلی‌زیاد و یا خیلی‌کم، کیفیت تمام آمارها تأیید شد.

نتایج

جریان آب رود کشکان و رود خرم‌آباد پس از یکی‌شدن، با طی فاصله حدود ۴۰ کیلومتر به ایستگاه آب‌سنجی افرینه می‌رسد و سرانجام کیفیت آب سطحی آبخیز کشکان در محل خروجی آبخیز به‌وسیلهٔ ایستگاه آب‌سنجی پل دختر بررسی می‌شود.

ایستگاه پل‌دختر در فاصله حدود ۴۴ کیلومتری ایستگاه افرینه است. در فاصلهٔ میان ایستگاه افرینه و پل‌دختر دو شاخهٔ فرعی دیگر به نام‌های رود چلهول و مادیان رود به رود اصلی کشکان می‌پیوندند. رود چولهول که در فاصلهٔ ۱۰ کیلومتری پایین دست ایستگاه افرینه به مسیر اصلی رود اضافه می‌شود، سطحی برابر ۸۱۷ کیلومترمربع است. همچنین، بیشترین سطح از آبخیز نامبرده شامل ۳۵/۵ ٪تشکیلات آهکی، ۳۸/۴۷٪ شیل و مارن، ۱۶/۱۸٪ کنگلومرا و ۱۰/۰۵٪ رسوبات آبرفتی جوان است. در این پژوهش، روابط میان تغییرات زمانی و مکانی بارندگی با آب‌دهی آبخیز شامل رابطهٔ میان میانگین سالانهٔ بارش و میانگین سالانهٔ آب‌دهی بررسی شد. بررسی نتایج میانگین ماهانهٔ آب‌دهی آبخیز کشکان پایین‌دست در ایستگاه آب‌سنجی پل‌دختر، نشان داد که فروردین و شهریور ماه به‌ترتیب با میانگین ۱۳۹ مترمکعب در ثانیه و ۱۴/۹ مترمکعب در ثانیه، بیشترین و کم‌ترین اندازهٔ آب‌دهی را داشتند (شکل ۳).

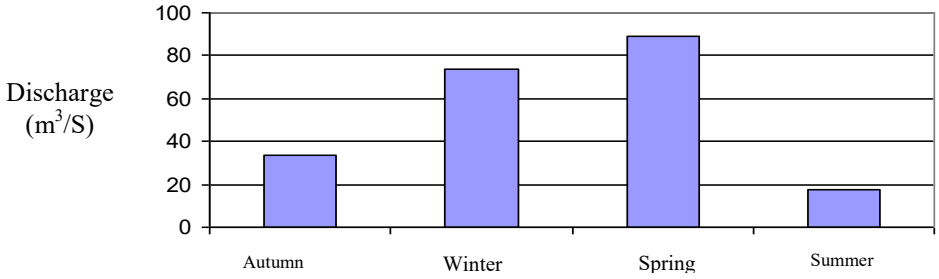
1 - Turning Point test
2 - Kendal test



شکل ۳- نمودار توزیع آب‌دهی ماهانه رود کشکان پایین‌دست در ایستگاه پل‌دختر.

Figure 3- Monthly discharge change in Lower Kashkan, Poldokhtar Station.

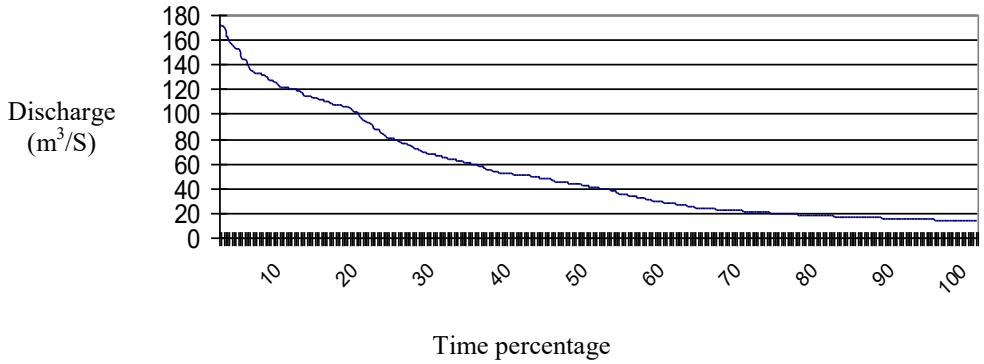
با توجه به شکل ۴، فصل بهار و تابستان به‌ترتیب با میانگین ۸۹/۳ مترمکعب در ثانیه و ۱۷/۳ مترمکعب در ثانیه بیشترین و کم‌ترین اندازهٔ آب‌دهی را داشتند.



شکل ۴- نمودار تغییرات فصلی آب‌دهی در رود کشکان پایین‌دست در ایستگاه پل‌دختر.

Figure 4- Seasonal change of discharge in Lower Kashkan, Poldokhtar Station.

نمودار منحنی تداوم جریان رود کشکان پایین دست در ایستگاه آب‌سنجی پل‌دختر در شکل ۵ نشان‌داده شده است.



شکل ۵- نمودار منحنی تداوم جریان رود کشکان پایین‌دست در ایستگاه پل‌دختر.

Figure 5- Flow duration curve in Lower Kashkan, Poldokhtar Station.

از آنجایی که صحت و سقم آمارها منوط به آزمون همگنی است بنابراین، آزمون همگنی بر روی داده‌های موجود انجام پذیرفت. افزون بر آزمایش‌ها و تعیین متغیرهای فیزیکی و شیمیائی نامبرده، اندازه‌های آب‌دهی رود نیز در زمان برداشت نمونهٔ آب ثبت شد.

برای صحت‌سنجی نتایج تحلیل شیمیایی نمونه‌ها از روش‌های تعادل‌سازی یونی و نسبت هدایت الکتریکی به جمع کاتیون‌ها (بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر) که باید میان ۹۰ تا ۱۱۰ باشد، استفاده شد (نصیری ۱۹۹۳). سپس، وجود رابطهٔ معنی‌دار میان متغیرها در هر کدام از حالت‌های لگاریتمی، خطی، نمایی و توانی بررسی شد و رابطه‌ای که اندازهٔ ضریب هم‌بستگی بیشتری داشت انتخاب شد. همچنین، در این بررسی در زمان نمونه‌گیری، اندازهٔ آب‌دهی ثبت شد. به‌طوری که پس از تعیین آستانهٔ خشک‌سالی آب‌شناختی فصلی و سالانه در هر یک از زیرآبخیزها، مشخص شد آب‌دهی رود در لحظهٔ نمونه‌گیری در شرایط کم‌آبی یا پرآبی بوده است. همچنین، پس از تعیین آستانهٔ آب‌شناختی فصلی در زیرآبخیزهای کشکان و جدا کردن آمار نمونه‌گیری در حالت‌های کم‌آبی و پرآبی از یکدیگر، مشخص شد در بعضی از زیرآبخیزها در شرایط کم‌آبی در آن فصل و در آن آبخیز هیچ نمونه‌گیری انجام‌نشده است یا بیشترین نمونه‌گیری یک یا دو مرتبه بوده است. ازاین‌رو، آمار بسیارکم بررسی نشد. نتایج بررسی وضعیت تغییرات شاخص خشک‌سالی در پل‌دختر در آبان ماه نشان داد که ۱۰ سال وضعیت ترسالی ضعیف تا متوسط و ۱۰ سال خشک‌سالی ضعیف تا متوسط در منطقه مطالعه‌شده وجود داشته است.

شاخص خشک‌سالی در آذر ماه در بخش مثبت شاخص، کمی گسترش داشت. در دی ماه شدت خشک‌سالی‌ها افزایشی و متمایل به شدید بود است که در سال آبی ۶۳-۶۲ مشاهده شد. ابتدای دورهٔ پژوهش در بهمن ماه در دو سال آبی چهارم و پنجم شدت خشک‌سالی متوسط و متمایل به شدید بود.

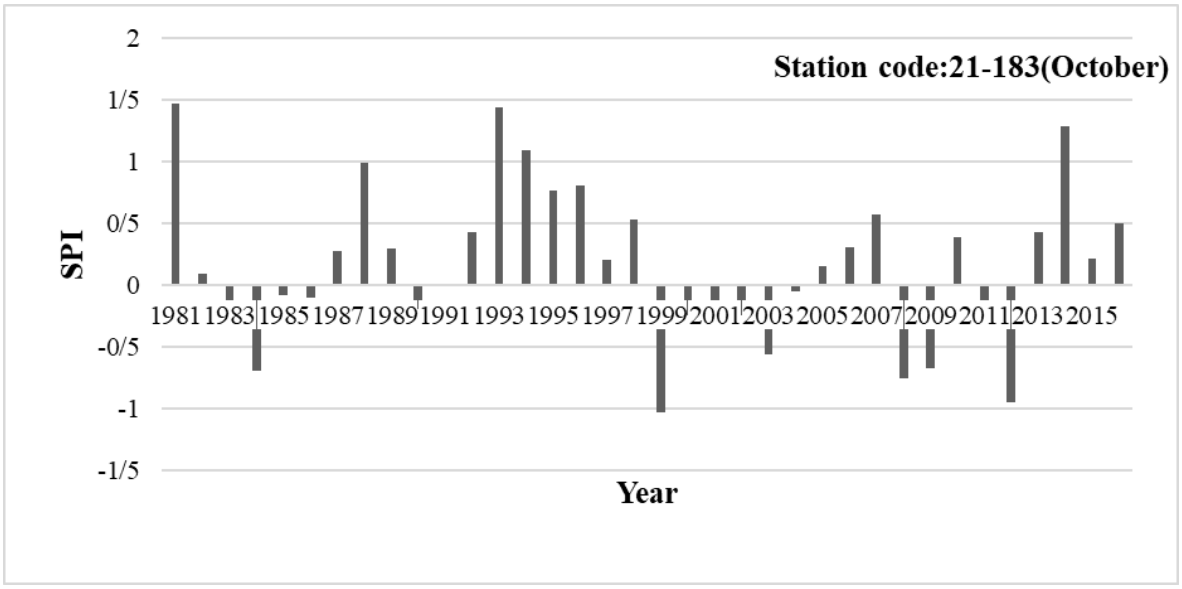
در اسفند ماه، تعداد سال‌های خشک‌سالی و ترسالی تقریبا برابر بود و محدوده شاخص‌های مثبت-منفی نیز برابر بود. شاخص منفی تا بیش از ۲- گسترش یافت و در سال آبی پنجم خشک‌سالی شدید مشاهده شد، ولی فراوانی سال‌های خشک و ترسالی مشابه بود. در اردیبهشت ماه، خشک‌سالی شدید در سال پنجم دورهٔ مطالعه‌شده مشاهده شد. همچنین، تعداد فراوانی سال‌های ترسالی و خشک‌سالی مشابه بود.

نتایج آزمون نقاط عطف برای گام سالانه سنجه‌های شیمیایی کیفیت آب آبخیز کشکان در جدول ۲ نشان‌داده شده است. هم‌چنین تغییرات شاخص SPI در سری‌زمانی ۳ تا ۲۴ ماهه در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی و نمودارهای گوناگون تهیه شد. براساس روش نامبرده، سطح آستانهٔ خشک‌سالی آبخیز رود کشکان پایینی در پل‌دختر محاسبه شد. نتایج آزمون نقاط عطف برای سری زمانی سنجه‌های شیمیایی کیفیت آب در ایستگاه پل‌دختر در جدول ۲ نشان‌داده شده است. نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از تحقیقات کاظمی ۲۰۲۱، کاظمی و همکاران ۲۰۲۲ هم‌خوانی دارد. پیشنهاد می شود در پژوهش‌های آینده به‌طور جامع داده‌های کیفیت آب در تمام ایستگاه‌های آبخیز به‌شکل یک جا با هم مقایسه شوند و منابع آلاینده ناشی از فاضلاب روستایی نیز تفکیک شود.

جدول ۲- نتایج آزمون نقاط عطف برای گام سالانه سنجه‌های شیمیایی کیفیت آب آبخیز کشکان.

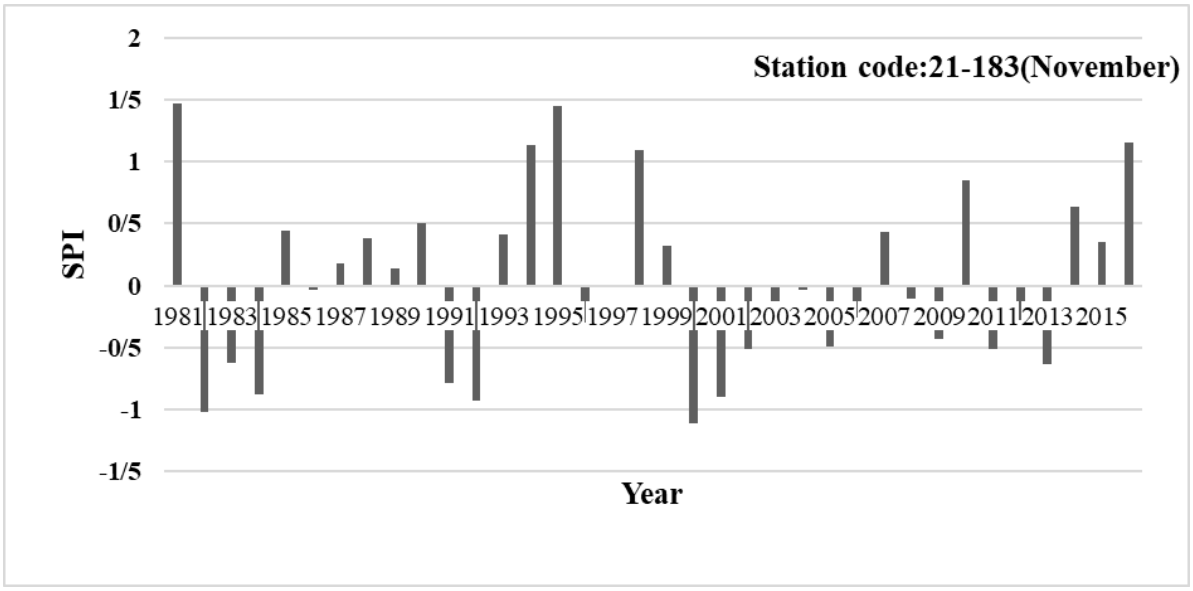
Table 2- Results of turning point test for annual water chemical quality indices in Kashkan Basin.

Basin	Hydrometric station	Cl^-				SO_4^{2-}				pH				TDS			
Lower Kashkan	Poldokhtar	P	E (P)	Var (P)	Z	P	E (P)	Var (P)	Z	P	E (P)	Var (P)	Z	P	E (P)	Var (P)	Z
		15	18.7	5	-1.68	15	18.7	5	-1.68	15	18.7	5	-1.68	18	18.7	5	-0.14
		EC				SAR				SSP				TH			
		20	18.7	5	0.6	15	18.7	5	-1.68	15	18.7	5	-1.68	16	18.7	5	-1.2



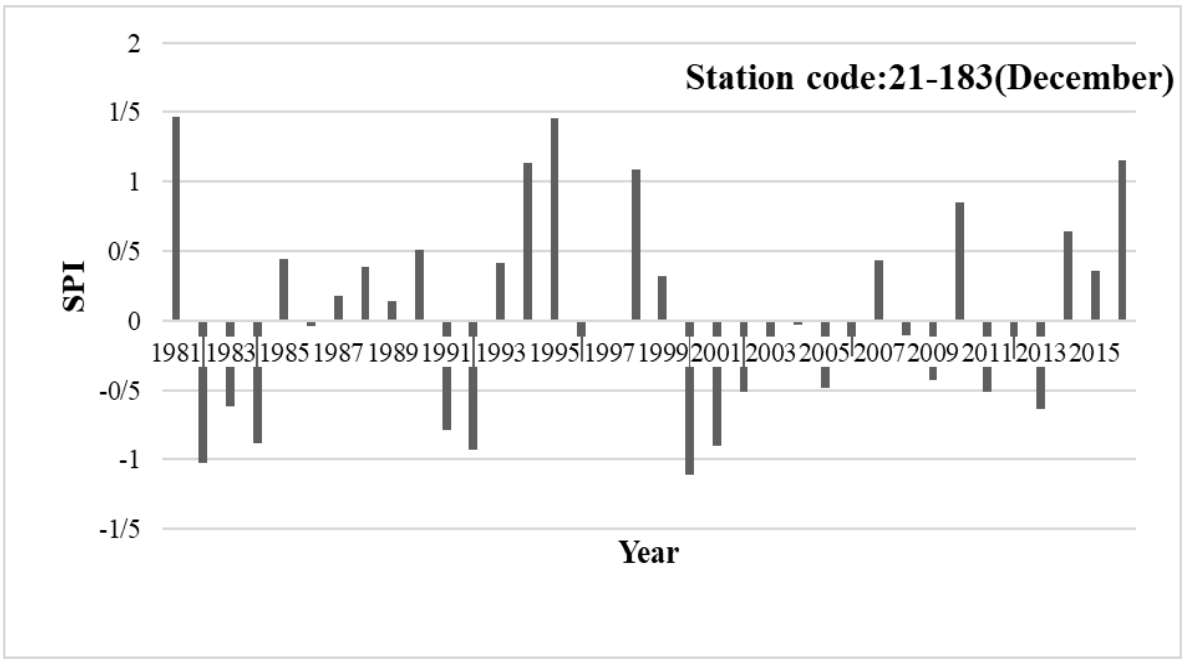
شکل ۶- تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه اکتبر).

Figure 6- Monthly SPI changes through the studied period (October).



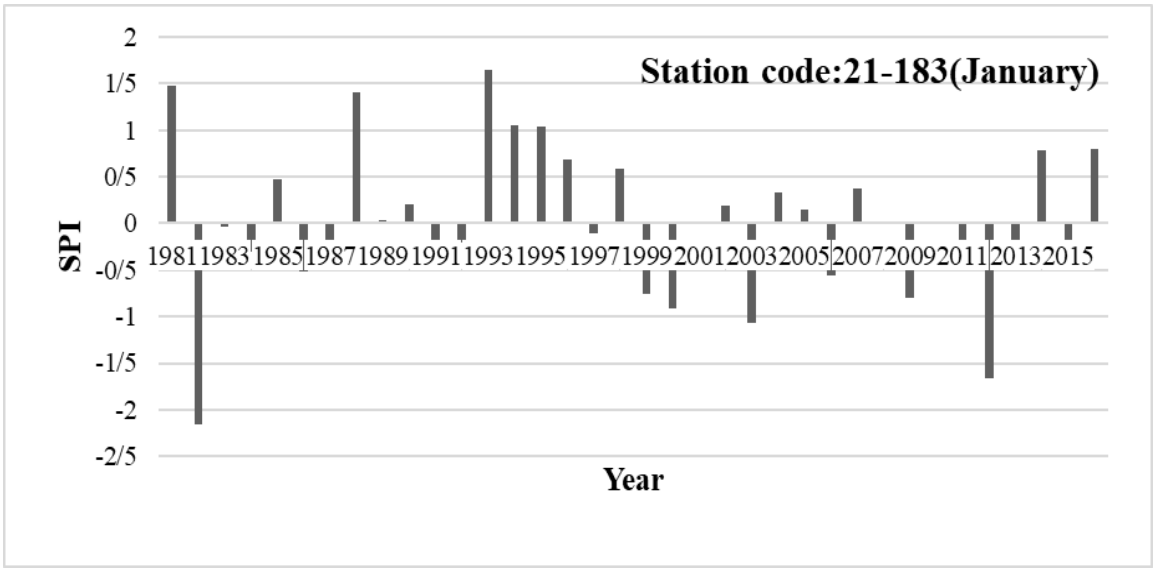
شکل ۷-تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه نوامبر).

Figure 7- Monthly SPI changes through the studied period (November).



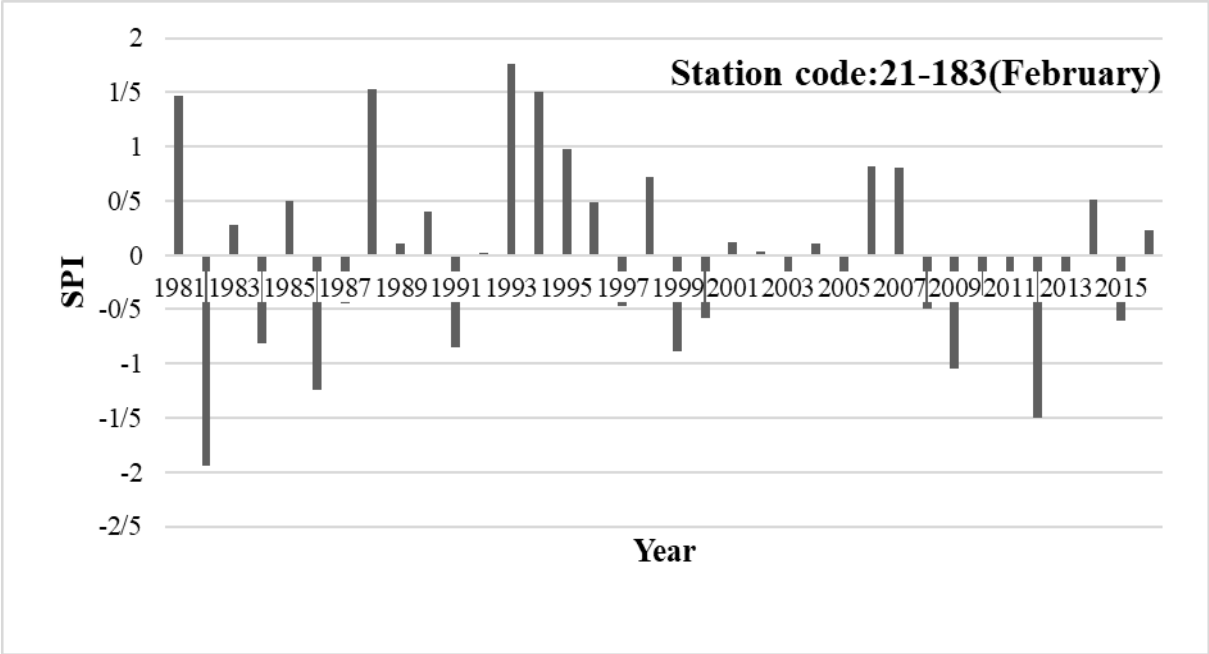
شکل ۸- تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه دسامبر).

Figure 8- Monthly SPI changes through the studied period (December).



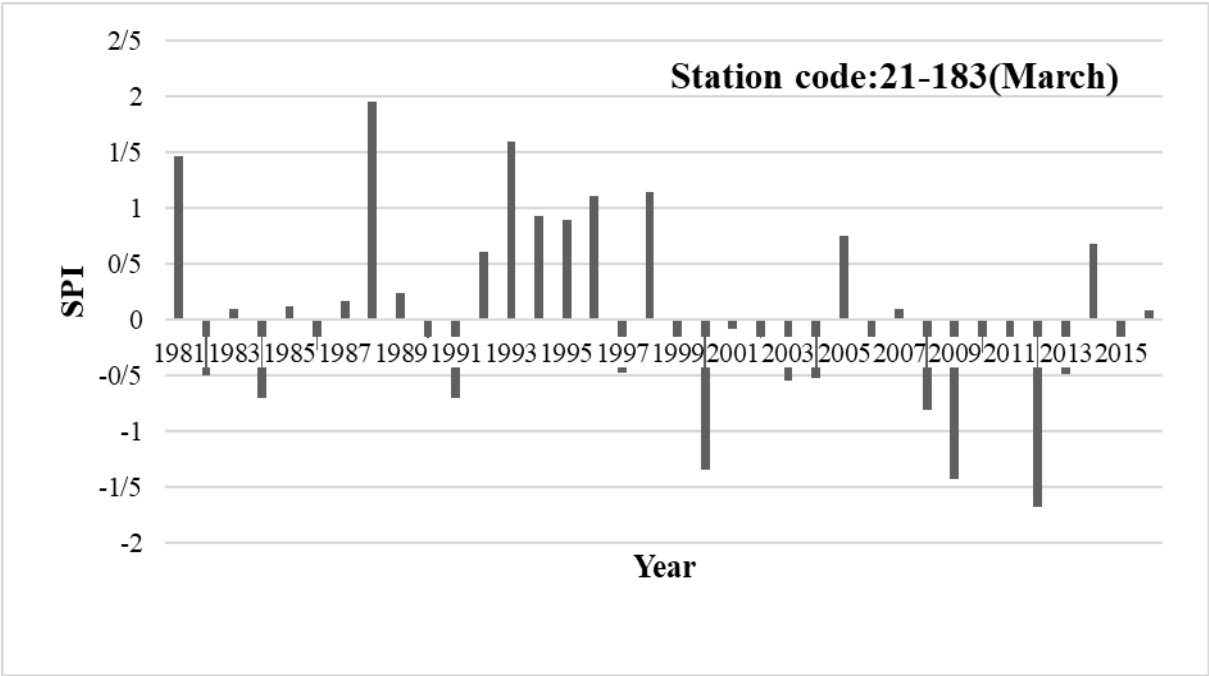
شکل ۹- تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه ژانویه).

Figure 9- Monthly SPI changes through the studied period (January).



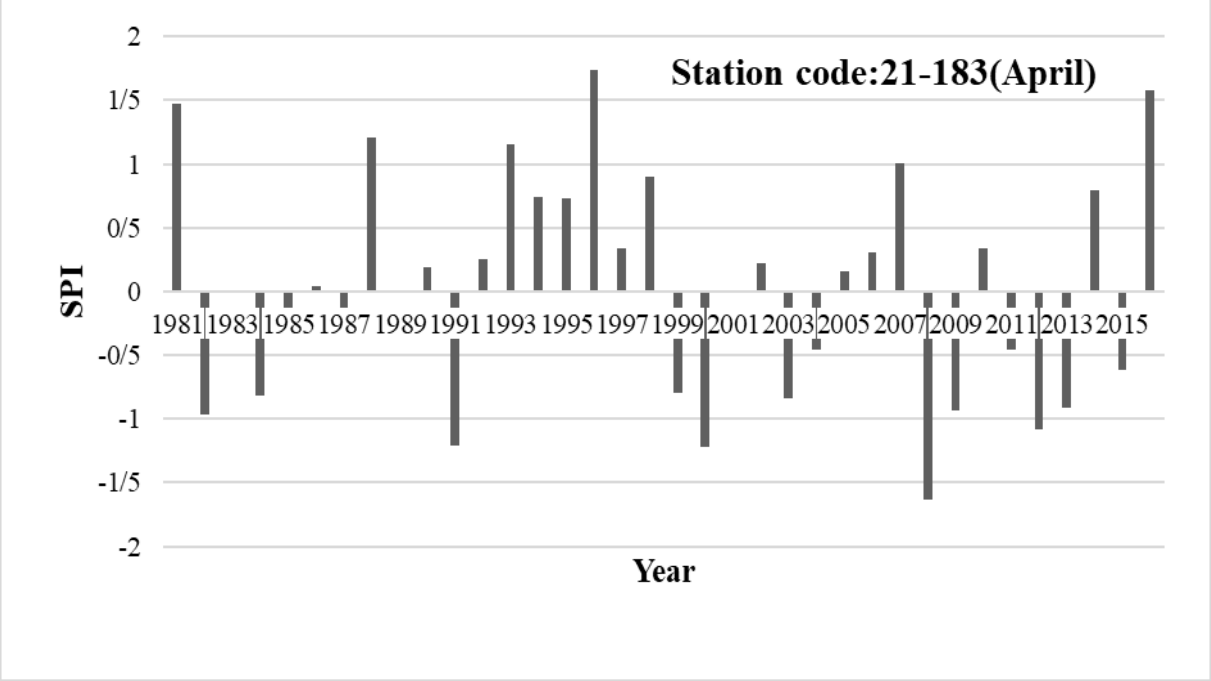
شکل ۱۰- تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه فوریه).

Figure 10- monthly SPI changes through the studied period (February).



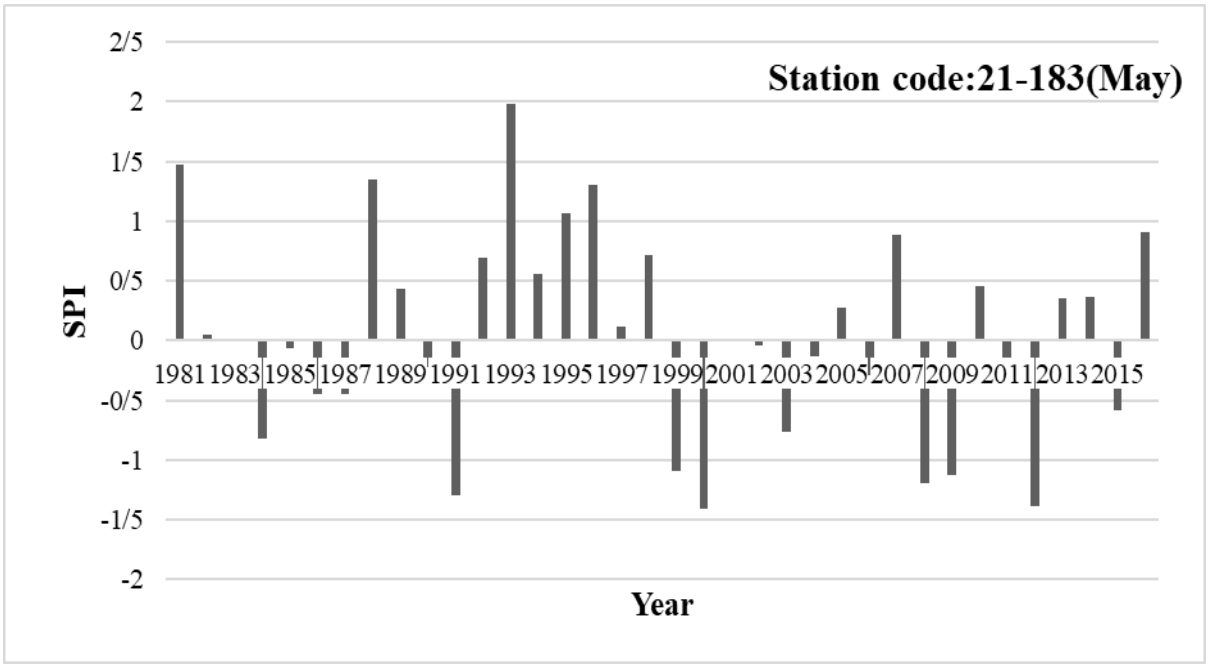
شکل ۱۱- تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه مارس).

Figure 11- Monthly SPI changes through the studied period (March).



شکل ۱۲- تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه آوریل).

Figure 12- Monthly SPI changes through the studied period (April).



شکل ۱۳- تغییرات ماهانهٔ شاخص بارش استاندارد ۶ ماهه در دورهٔ مطالعه‌شده (ماه می).

Figure 13- Monthly SPI changes through the studied period (May).

با رابطهٔ ۱ اندازه‌های سطح آستانهٔ خشک‌سالی آب‌شناختی زیرآبخیزهای کشکان به‌شکل فصلی و سالانه محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۳ آورده‌شده است. نتایج تعیین سطح آستانهٔ خشک‌سالی آب‌شناختی به‌شکل فصلی و سالانه برای آبخیز رود کشکان پایینی در ایستگاه آب‌سنجی پل‌دختر که با روش دراکوپ (رابطه ۱) در جدول ۳ آورده‌شده است.

جدول ۳- اندازه‌های سطح آستانهٔ خشک‌سالی در سطح آبخیز کشکان.

Table 3- Drought threshold in Kashkan Basin.

drought threshold $X_0(m^3/s)$					Hydrometric station
Annual	Summer	Spring	Winter	Fall	
26.8	8.3	44.2	36.8	16.2	Poldokhtar

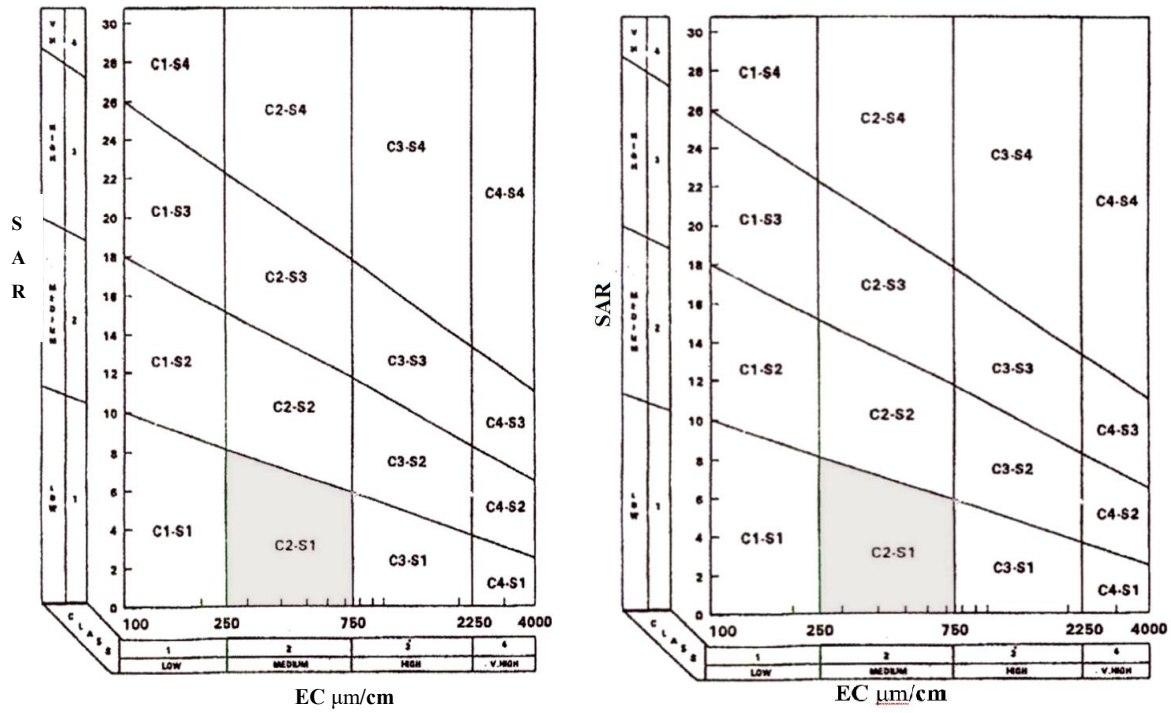
بنابراین، با اســـتفاده از روش‌های هم‌بســـتگی و وایازی دو متغیـــره، رابطه و اثرات میان متغیرهای مســـتقل کم‌آبی و پرآبی با متغیرهای وابســـتهٔ ســـنجه‌های کیفیت شیمیایی آب‌های ســـطحی آبخیز با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel در ماه‌ها و فصل‌های گوناگون بررسی شد. که نتایج مربوط به فصل پاییز در جدول ۴ نشان‌داده شده است.

جدول ۴ - نتایج بررسی اثرات دوره‌های کم‌آبی و پرآبی بر کیفیت آب آبخیز کشکان پایین‌دست در فصل پاییز.

Table 4- results of wet and dry spell impacts on water quality in lower Kashkan during Autumn.

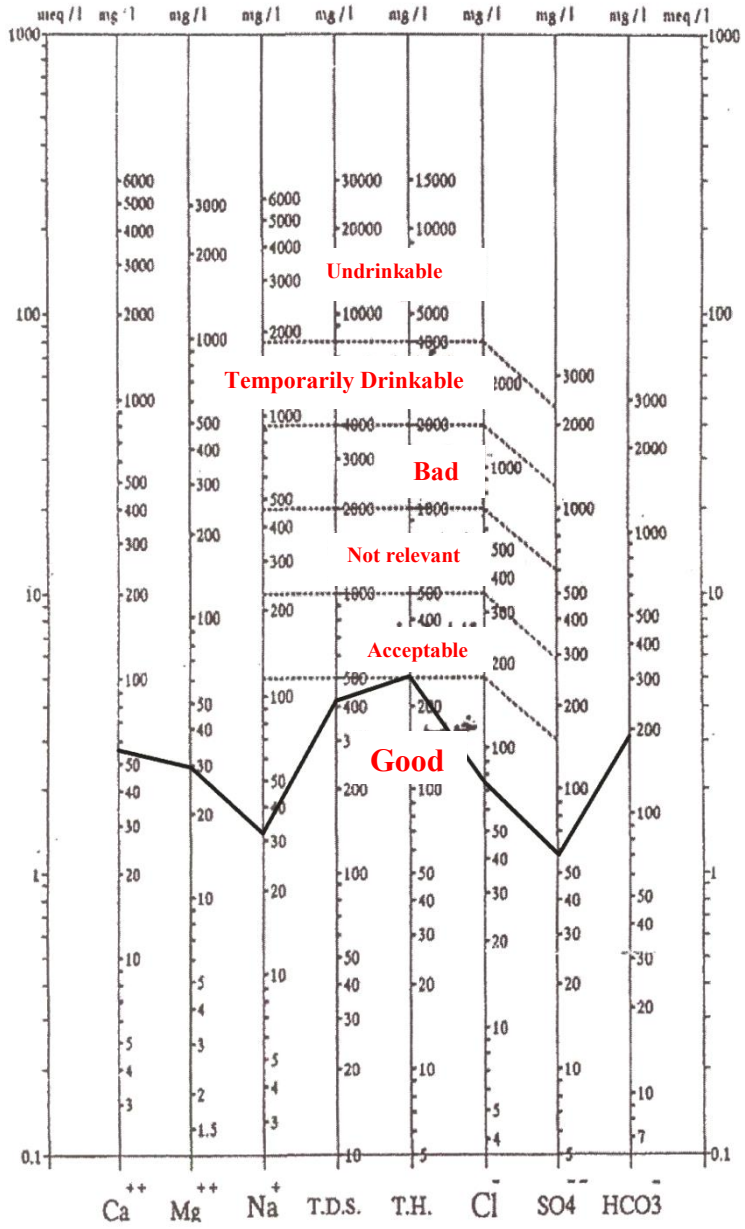
Chemical parameter	durations	correlation	Significance level			Equations	Coefficint of determination
			0.01	0.05	0.10		
Ca^{2+}	Dry spell	-0.59		Sig.	Sig.	y=-0.1ln(x)+3.7	0.35
	Wet spell	0.52	Sig.	Sig.	Sig.	y=0/006 x+2.7	0.27
Mg^{2+}	Dry spell	-0.6		Sig.	Sig.	y=4.2e-0.05x	0.36
	Wet spell	-0.5	Sig.	Sig.	Sig.	y=5.2x-0.28	0.26
Na^{+}	Dry spell	0.63		Sig.	Sig.	y=0.11x+0.08	0.4
	Wet spell	-0.38	Sig.	Sig.	Sig.	y=-0.32ln(x)+2.3	0.15
$Hco3^{-}$	Dry spell	-0.54			Sig.	y=5.15e-0.04x	0.3
	Wet spell	-0.32		Sig.	Sig.	y=3.5e -0.009x	0.1
cl^{-}	Dry spell	-0.24					
	Wet spell	-0.88	Sig.	Sig.	Sig.	y=7.8x-0.5	0.78
So_4^{2-}	Dry spell	0.42					
	Wet spell	0.63	Sig.	Sig.	Sig.	y=0.007x+0.9	0.4
PH	Dry spell	0.54			Sig.	y=7.04e0.008x	0.29
	Wet spell	-0.26			Sig.	y=-0.15ln(x)+8.3	0.07
T.D.S	Dry spell	-0.47					
	Wet spell	0.2					
EC	Dry spell	-0.52			Sig.	y=757.3e-0.02x	0.27
	Wet spell	-0.2					
SAR	Dry spell	0.7	Sig.	Sig.	Sig.	y=0.1x-0.16	0.5
	Wet spell	-0.35		Sig.	Sig.	y=-0.2ln(x)+1.5	0.12
SSP	Dry spell	0.73	Sig.	Sig.	Sig.	y=2.18x-0.9	0.54
	Wet spell	-0.28			Sig.	y=-3.6ln(x)+33.5	0.08
TH	Dry spell	-0.73	Sig.	Sig.	Sig.	y=418.5e-0.05x	0.54
	Wet spell	0.17					

به‌منظور بررسی تغییرات زمانی اندازه‌های هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های گوناگون، ابتدا میانگین سالانه برای هر ایستگاه محاسبه شد و با رسم نمودار، تغییرات EC در هر ایستگاه بررسی شد. اندازه‌های EC در طول زمان نسبتاً افزایش یافت، اما در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ این افزایش قابل توجه و برابر ۴۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بود که سرانجام به ۱۰۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسید. به‌طور کلی اندازه‌های EC در سال ۱۳۸۴ و در سال ۱۳۸۵ در مقایسه با دیگر زمان‌ها، افزایش قابل توجهی داشت. یکی از دلیل‌های مهم این افزایش را می‌توان کاهش بارندگی و رواناب به مدت ۷ سال متوالی (۸۴-۱۳۷۸) دانست. ازاین‌رو، کمترین اندازهٔ رواناب ثبت‌شده در ایستگاه پل‌دختر در سال‌های نامبرده بود. برخی از متغیرهای شیمی آب و یونها ناشی از سنگ‌شناسی دولومیتی موجود در منطقه و آبخیز است. در این راستا، یون‌های پتاسیم، منیزیم و کلرید را می‌توان نام برد. البته غلظت زیاد بی‌کربنات و سولفات و کلسیم نیز می‌تواند نتیجه دگرسانی سنگ‌های منطقه و شستشوی مجدد املاح درون آبرفت بستر آبراهه‌ها باشد. در مجموع متغیرهای شیمیائی آب سطحی در حد مناسب بود و فقط سختی آب کمی زیاد بود. از آنجایی که بررسی و تجزیه و تحلیل کیفیت شیمیایی آبها پیچیدگی‌هایی برخوردار است بنابراین، به‌منظور سهولت دستیابی به اطلاعات لازم از روش‌های نمایشی وضعیت کیفی آب استفاده می‌شود. در این رابطه روش‌های گوناگونی به‌کار گرفته شده است که ساده ترین آن ارائه آمار در جدول‌های تحلیل کیفیت شیمیایی آب است. برای تعیین کیفیت آب آبیاری، نمودار ویلکاکس رسم شد (شکل ۱۴). هم‌چنین به‌منظور بررسی کیفیت آب برای نوشیدن، از نمودار شولر استفاده شد (شکل ۱۵).



شکل ۱۴- نمودار ویلکوکس (طبقه‌بندی آب آبیاری) کشکان پایینی در ایستگاه پل‌دختر.

Figure 14- Wilcox diagram of Lower Kashkan in Poldokhtar.



شکل ۱۵- نمودار شولر(طبقه‌بندی آب آشامیدنی) کشکان پایینی در ایستگاه پل‌دختر.

Figure 15- Schoeller's diagram of Lower Kashkan in Poldokhtar.

فهرست منابع

Agrawala, S, Barlow M, Cullen H, Lyon B. 2001. The drought and humanitarian crisis in central and southwest Asia: A climate perspective, 1(1): 11-24, New York.

Ahrari Roudi, M. 2018. Assessment the effects of drought on groundwater quantity and quality of Sistan and Baluchistan Province. New Findings in Applied Geology, 12(23): 104-113. https://doi: 10.22084/nfag.2018.13178.1249. (In Persian).

Alizadeh A. 2006. Principals of hydrology, Ferdowsi University press, Mashhad, 228 p. Iran. (In Persian).

Amini A, Abdeh Kolahchi, A, Al-Ansari N, Karami Moghadam M, Mohammad T. 2019. Application of TRMM precipitation data to evaluate drought and its effects on water resources instability.Applied Sciences,9(24): 5363-5377. https://doi.org/10.3390/app9245377

Amiriyan A, Tabari H, Kashkoli HA, Hasonizadeh H, and Soltani H. 2009. Evaluation of drought effects on Maroon River water quality. 8th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Persian).

Bahrami M, Moazed H, Zareie H. 2009. A study on Gachsaran formation impacts on Zhre River water quality, 8th international Conference on River Engineering, Chamran University, Ahvwaz, Iran. (In Persian).

Eghtedari M, Bazrafshan J, Shafie M, Hejabi S. 2016. Prediction of streamflow drought using SPI and Markov Chain in Kharkheh's Basin.Journal of Water and Soil Conservation, 23(2): 115-130. (In Persian). https://doi:10.22069/jwsc.2019.15189.3037

Goodarzi M, Hoseini A. 2018. Drought, assessing vulnerability, Salam Sepahan and Miras Kohan, Isfahan (In Persian).

Goodarzi M, Kazemi R, Mostafaei A. 2021. Investigating the effect of dry spells on water quality in Kashkan, 1st International Conference on Bio-math, Semnan, Iran, (In Persian).

Goodarzi M, Kazemi R. 2022. The effects of drought on surface water quality in Kakareza, 11th National Conference on Water Harvesting, Bojnord. (In Persian).

Kazemi R. 2021. Research trends and hotspots on Karst water resource in Iran and the world.Water Harvesting Research,4(2): 245-255. https://doi.org/10.22077/jwhr.2022.5373.1064

Kazemi R, Porhemmat J, Ghermez Cheshme B. 2022. Investigating the impact of drought on the base flow using standardized base flow index, case study: Kaka-Reza Catchment.Watershed Engineering and Management,14(2): 156-167. (In Persian). https://doi: 10.22092/ijwmse.2021.352955.1870

Koushki R, Rahimi M, Amiri M, Mohammadi M, Dastourani J. 2017. Investigation of relationship between meteorological and hydrological drought in Karkha Basin.Iranian Journal of Ecohydrology, 4(3): 687-698. (In Persian). https:// doi:10.22059/ije.2017.62496

LashaniZand M. 2001. Erosion in Kashkan in relation with precipitation intensities, M.Sc. Thesis, Isfahan University, MA thesis, faculty of human sciences. (In Persian).

Mahdavi. 2005. Applied hydrology, Tehran university press. (In Persian).

Malekinezhad H, Soleimani Motlagh M. 2011. Assessing the severity of climatic and hydrologic droughts in Chaghalvandi Basin, Iran Water Research, 9(3): 61- 72. (In Persian).

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. InProceedings of the 8th Conference on Applied Climatology,

17(22):179-183.

Parsamehr A, Khosravani Z. 2017. Determining drought severity using multi-criteria decision-making based on Topsis method (Case study: Selective stations of Isfahan Province). Iranian Journal of Range and Desert Research, 24(1): 16-29. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.109846

Schoeller, H. 1965. Qualitative evaluation of groundwater resources. Methods and techniques of groundwater investigations and development. UNESCO, 5483.

Stöckline J. 1968. Structural History and Tectonics of Iran: A Review. AAPG Bulletin, 52, 1129-1258. http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951(94)00185-C

Van Vleit MTH, Zwolsman JJG. 2008. Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse River. Journal of Hydrology, 353(3): 1-17.

Verdi Pourazad A, Azarakhshi M, Mosaedi A, Farzadmehr J. 2014. Investigation of the effect of meteorological drought on groundwater changes in Mashhad plain using GRI and SPI indicators. International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges with a focus on agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz. (In Persian).

Wilcox LV. 1958. Determining the quality of irrigation water (No. 197). US Department of Agriculture.

Wilhite DA, Glantz MH. 1985. Understanding: The drought phenomenon: the role of definitions.Water International,10(3): 111-120.

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Assessment of Surface Water Resources of Poldokhtar Due to Drought Impacts

Massoud Goodarzi[*1], **Rahim Kazemi** [2]

1- Associate professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran

2- Assistant professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Understanding water in terms of quality, quantity and its supply is an essential step towards optimizing consumption. In recent years, Iran has suffered from prolonged droughts, causing significant damage to various parts of the country each year. Severe droughts in arid and semi-arid regions caused by inappropriate human interventions have reduced the quantity and quality of surface water resources in these regions. Overall, the amount of precipitation, the duration and intensity of droughts, climatic conditions, and industrial and agricultural activities are among the factors that significantly affect the quality of surface waters. To this end, researchers have used various indices to monitor drought and its impact on water quality. Therefore, it is essential to use appropriate methods to study the effects of phenomena such as drought on the quality of surface waters. This is a tool for water resources in critical conditions. The main objective of this research was to identify wet and dry periods and the droughts that occurred using the SPI index. Then, the sensitivity of surface water chemical quality indicators in the Keshkan watershed during drought periods and their changes over a 35-year period were examined. Additionally, in this context, the frequency and intensity of hydrological drought events, as well as the magnitude and range of flow changes affected by droughts in the studied watershed, were determined.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail**: massoudgoodarzi@yahoo.com

Citation: Goodarzi, M., Kazemi, R. 2024. Assessment of Surface Water Resources of Poldokhtar Due to Drought Impacts. Watershed Management Research. 37(4):135-155.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.364593.1567

Received: 20 January 2024, **Received in revised form:** 10 February 2024, **Accepted**: 18 March 2024

Published online: 01 January 2025

Watershed Management Research, VOL. 37, No.4, Ser. No:145, Winter 2025, pp. 135-155.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)

Materials and Methods

The studied area is part of the Keshkan watershed, covering an area of 9,560 km2, which accounts for approximately 22% of the larger Karkheh watershed. It is located 950 km southwest of Tehran in the central Zagros region. In this research, the chemical indicators of surface waters were measured. Then, the periods of meteorological drought occurrences, as well as the relationships between these events and the quality of surface waters in Lorestan Province, were determined. To this end, the chemical quality of rivers over a 35-year period was analyzed using existing quality data from hydrometric stations, including anions (Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}) and cations (Na^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^{+}), as well as other variables such as SAR, pH, TH, TDS, and EC during the common statistical period (1981-2016). Although there are many challenges in obtaining water quality data today, fortunately, in this long-term study, the number of samples, data homogeneity, and the common period were adequate. Considering that the studied period included normal, dry, and wet periods, the quality of the research was also appropriate. Additionally, it should be noted that the Water Resources Development Company, for various reasons related to validation, always publishes data several years later. Therefore, it was not possible to examine a longer statistical period. On the other hand, the most extensive droughts in the region occurred during this time frame.

Results and Discussion

Although dolomitic, calcareous, and marly formations play a role in reducing the quality of surface runoff passing through them, based on the results of this research, the occurrence of extensive and numerous droughts has also led to an increase in the concentration of salts per unit volume, specifically, the pH of the water increased from 7.61 to 7.68, and the EC of the water rose from 300 µm/cm in 1981 to 570 µm/cm in 2016, yet it still remained in an acceptable quality class for irrigation. Using correlation and bivariate regression methods, the relationships and effects between the independent variables of drought and flooding with the dependent variables related to the chemical quality indicators of surface waters in the watershed were examined using SPSS and Excel software. The results of the analysis of anions and cations indicated that their levels during drought and flooding periods were significant at the 1 and 5% levels. The levels of the SAR, SSP, and TH indices were more significant under drought conditions. Additionally, the changes in EC levels during drought periods were significant at all levels.

Conclusion and suggestions

In general, droughts have a close relationship with water crises and the reduction of surface water resources. Therefore, examining the impact of drought on the quantity and quality of surface waters is important. Using the results of this research, a better understanding of the factors affecting the quality of surface waters can be achieved. The results of this research indicated that despite the decrease in quality, surface waters remain suitable for irrigation in the agricultural sector. It is recommended that the role of industrial uses and pollutants in surface waters be examined as well. Especially in the case of stations located downstream of residential and industrial areas, monitoring changes and the type of pollution is of great importance.

Keywords: Comprehensive watershed management, drought, Kashkan Basin, semi-arid, SPI, surface water quality