



بررسی اثرات خشکسالی بر کیفیت منابع آب سطحی حوزه آبخیز کشکان

مهدی سلیمانی مطلق^۱، علی طالبی^۲ و مهدی زارعی^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه کاشان، (نویسنده مسوول: soleimani@grad.kashanu.ac.ir)

۲- دانشیار، دانشگاه یزد

۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه کاشان

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۵

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای است که علاوه بر ایجاد کمبود منابع آب موجب تهدید کیفیت آن نیز می‌گردد. در این مقاله سعی شده تا اثر خشکسالی بر کیفیت آب‌های سطحی حوزه آبخیز کشکان بررسی گردد. بدین منظور ضمن جمع‌آوری آمار داده‌های هواشناسی و داده‌های کیفی منابع آب در طی ۲۰ سال (از سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۸۸) از شرکت سهامی آب منطقه‌ای و اداره هواشناسی استان لرستان در ابتدا با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI و SDI دوره‌ها و شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک تعیین شد. سپس در دوره‌هایی که شدت و تداوم خشکسالی بیشتر بود، درصد تغییرات کیفیت آب نسبت به میانگین درازمدت محاسبه شد و تحلیل کیفیت آب شرب و کشاورزی در قالب دو نمودار شولر و ویل کوکس انجام گرفت. همچنین برای واضح‌تر نشان دادن اثر خشکسالی بر تغییرات کیفی آب، روند خطی داده‌ها بررسی شده است. نتایج کلی نشان داد که خشکسالی تغییرات قابل ملاحظه‌ای بر پارامترهای کیفی منابع آب سطحی بویژه EC، TDS، Na، Cl و SO_4^{2-} داشته است. همچنین نتایج نشان داد که کیفیت آب از لحاظ نمودارهای شولر و ویل کوکس در اثر خشکسالی تغییر کرده و کیفیت آب شرب رودخانه‌های افرینه و چمانچیر از کلاس خوب به قابل قبول و برای مصارف کشاورزی از کلاس C2S1 به کلاس C3S1 تغییر یافته است. در نهایت تحلیل کلی نمودارهای روند خطی نشان می‌دهد که روند افزایشی خشکسالی بر کیفیت آبهای سطحی حوزه آبخیز کشکان تأثیر منفی گذاشته است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، کیفیت منابع آب سطحی، SPI، RDI، SDI، حوزه آبخیز کشکان

مقدمه

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. الخرابشه و تانی (۱) اثرات شهرسازی را در جنوب اردن مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که افزایش شهرسازی و رشد فزاینده جمعیت بر آلودگی آب تأثیر فراوان داشته است. همچنین افزایش شهرنشینی در طی دوره‌های خشکسالی باعث شده که شوری آب افزایش یابد و کیفیت آب شیرین بدتر گردد. توئید و همکاران (۱۰) با بررسی فعل و انفعالات بین سطح آب زیرزمینی و سطح آب دریاچه‌ها و تأثیر خشکسالی‌های چند ساله روی منابع آب در استرالیا نشان دادند که سطح آب دریاچه‌ها و متعاقب آن سطح آب زیرزمینی به ذخیره هیدرولوژیکی حوزه‌ها بسیار حساس است و زمانی که خشکسالی افزایش یابد، سطح آب در دریاچه‌ها کاهش و روند شوری افزایش می‌یابد که تأثیر آن بر روی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی نیز قابل ملاحظه خواهد بود. دلپا و همکاران (۵) تغییر اقلیم را عامل مهمی در روند کاهش کیفیت آب شرب بیان نمودند که این امر به نوبه خود می‌تواند سلامت انسان‌ها را به خطر اندازد. زلینسکی (۱۵) اثر خشکسالی هیدرولوژیکی را روی

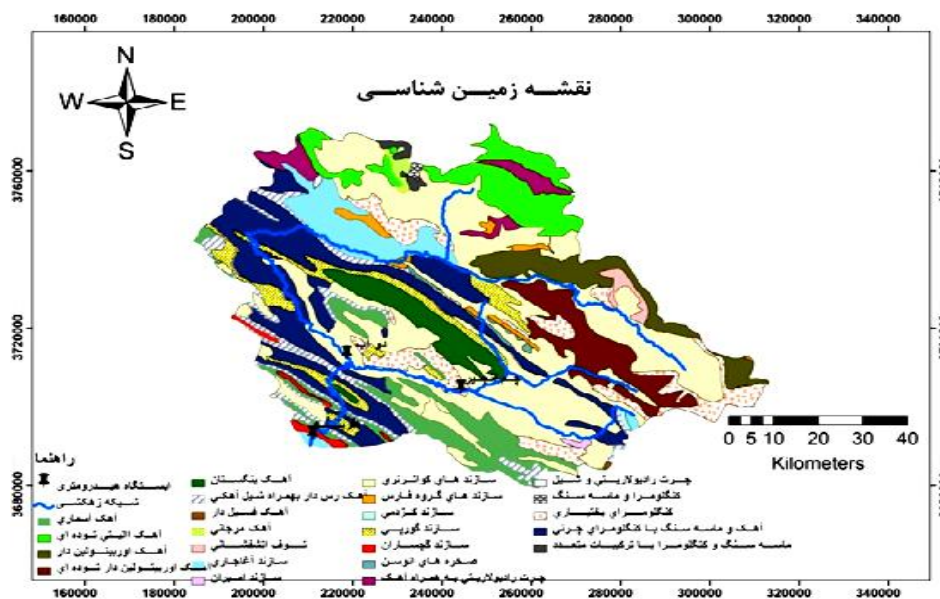
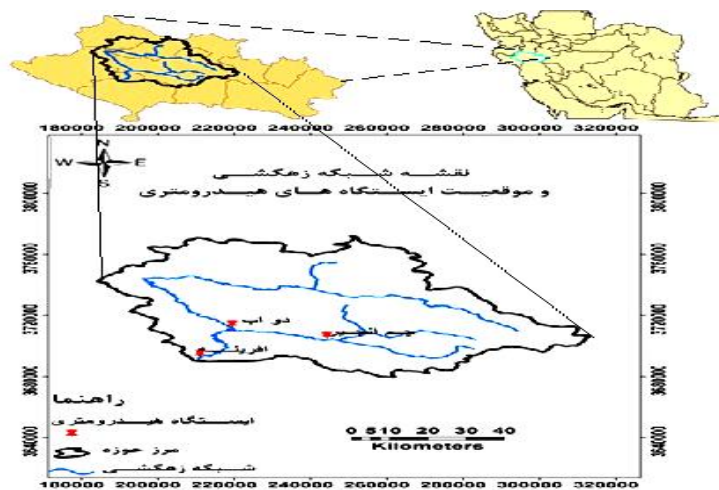
امروزه تغییر اقلیم و تأثیر آن در افزایش دما، مقدار و نوع بارش و کاهش کیفیت و کمیت منابع آب از مباحث مهم در علم هیدرولوژی محسوب می‌شود. یکی از تبعات تغییر اقلیم، تغییر در شکل بارش از برف به باران و بروز انواع خشکسالی است (۱۳). گرچه پدیده خشکسالی در میزان کمیت و کیفیت آب تأثیر منفی می‌گذارد، اما اثر آن به مراتب بر کیفیت آب مهم‌تر است؛ زیرا مشکل اساسی در دسترس بودن آب با کیفیت مناسب است نه در مقدار آب (۹). تحقیقات متعددی در زمینه اثر خشکسالی بر کیفیت آب در سطح ایران و دنیا صورت گرفته است امیریان و همکاران (۲) اثرات خشکسالی بر کیفیت آب رودخانه مارون را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه مطالعات آنها نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی سال ۱۳۸۷ موجب کاهش کیفیت آب رودخانه شده است. در این بررسی بیشترین تأثیر خشکسالی بر میزان کدورت آب و افزایش کلر بوده و کمترین تغییرات در دمای آب و pH حاصل شده است. بهرامی و همکاران (۴) کاهش کیفیت رودخانه زهره را در اثر کاهش دبی و به وجود سازندهای شور در منطقه نسبت داده‌اند. اتریل و پائر (۳) نشان دادند که

طول‌های $27^{\circ} 35' 47''$ تا $27^{\circ} 26' 48''$ در استان لرستان واقع گردیده است. حوزه مورد مطالعه از نظر سنگ‌شناسی دارای ماسه‌سنگ، کنگلومرا، آهک، دولومیت و بعضاً آذرین می‌باشد. در جنوب و جنوب غربی حوزه علاوه بر سنگهای فوق انیدریت و شیل وجود دارد. همچنین در خروجی حوزه و در محدوده ایستگاه هیدرومتری افرینه سازندهای گروه فارس از جمله سازند گچساران و آغاچاری برونزد دارد که حساس به فرسایش بوده و نقش بالایی در تغییر کیفیت آب ایفا می‌کنند. نقشه زمین‌شناسی حوزه و موقعیت شبکه زهکشی و ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل (۱) نشان داده شده است.

کیفیت آب و ترسیب کربن محلول در رودخانه‌های واقع در اراضی پست حوزه شمال شرقی لرستان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که خشکسالی پاییز سال ۲۰۰۰ باعث کاهش معنی‌داری در ترسیب کربن محلول (در حدود ۳۰ درصد) شده است. بررسی این منابع کمک می‌کند تا تغییرات کیفیت آب‌های سطحی حوزه رودخانه کشکان در دوره‌های خشک تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۶۸۵۸ کیلومتر مربع بخش عمده حوزه آبخیز کشکان محسوب شده که بین عرض‌های $31^{\circ} 31' 03''$ تا $33^{\circ} 13' 38''$ شمالی و



شکل ۱- نقشه موقعیت، شبکه زهکشی، ایستگاه‌های هیدرومتری و زمین‌شناسی حوزه آبخیز کشکان

شد. مشخصات رودخانه‌های حوزه و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول (۱) آمده است.

در این تحقیق از آمار بارندگی سالانه سه ایستگاه باران‌سنجی و داده‌های کیفیت آب سطحی سه ایستگاه هیدرومتری به مدت ۲۰ سال (۱۳۶۶ تا ۱۳۸۸) استفاده

جدول ۱- مشخصات عمومی مربوط به رودخانه‌های حوزه آبخیز کشکان

ردیف	نام رودخانه	نام حوزه	موقعیت ایستگاه هیدرومتری	طول رودخانه (کیلومتر)	دبی متوسط (مترمکعب بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون مترمکعب)
۱	خرم آباد چم انجیر	کرخه	X: ۲۴۴۲۶۰ Y: ۳۷۰۴۰۱۶	۱۵	۱۰/۷۶	۳۳۹/۳۳
۲	دو آب کشکان	کرخه	X: ۲۱۸۵۳۴ Y: ۳۷۱۱۱۵۳	۶۰	۳۳/۳۵	۱۰۵۱/۷۲
۳	افرینه کشکان	کرخه	X: ۲۱۱۰۶۶ Y: ۳۶۹۲۲۲۵	۱۸۰	۴۴/۵۴	۱۴۰۴/۶۱

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی برازش داده می‌شود، معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد (۸)، شدت و تداوم خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و خشکسالی‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های بلندمدت توسط این شاخص برآورد می‌شود. طبقات مختلف SPI بر اساس نتایج مک‌کی و همکاران (۱۴) در جدول (۲) ارائه شده است:

در بررسی اثر خشکسالی بر کیفیت آب سطحی، ابتدا با استفاده از شاخص‌های SPI^۱ و RDI^۲ دوره‌ها و شدت خشکسالی هواشناسی و همچنین با استفاده از شاخص SDI^۳، وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی تعیین شدند، سپس در دوره‌هایی که شدت و تداوم خشکسالی هواشناسی یا هیدرولوژیک بیشتر است، درصد تغییرات کیفیت آب نسبت به میانگین کل دوره آماری محاسبه گردید و تحلیل کیفیت آب شرب و کشاورزی در قالب دو نمودار شولر^۴ و ویل کوکس^۵ انجام شد. همچنین برای واضح‌تر نشان دادن اثر خشکسالی بر تغییرات کیفی آب، روند خطی داده‌ها بررسی شد. توضیحات مربوط به هر یک از شاخص‌های خشکسالی در زیر ارائه شده است:

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص SPI

طبقه خشکسالی	مقادیر SPI
بدون خشکسالی	>۰
خشکسالی ملایم	۰ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱/۴۹ تا -۱/۵
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۲
خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر

مأخذ: بویان و همکاران (۵)

شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

این نمایه در سال ۲۰۰۵ ارائه شده (۱۵) و از آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه دو پارامتر برای تعیین خشکسالی استفاده می‌کند.

نمایه RDI بارندگی را به‌عنوان ورودی و تبخیر و تعرق پتانسیل را به عنوان خروجی در نظر می‌گیرد و به‌همین دلیل اساس علمی صحیح‌تری نسبت به نمایه‌های دیگر که تنها از بارش به‌عنوان ورودی استفاده می‌کنند، دارد (۱۶). طبقه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از این شاخص همانند شاخص SPI خواهد بود. شاخص RDI طبق روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{j=1}^N P_{ij}}{\sum_{j=1}^N ET_{ij}}, \quad \alpha_1 = 1(1)N, \quad \alpha_2 = 1(1)12 \quad (1)$$

مقدار اولیه شاخص RDI که می‌تواند برای هر ماه از سال یا یک سال کامل محاسبه شود. R_{ij} بارندگی زامین ماه از سال N ام، N تعداد سال‌هایی که برای آن داده وجود دارد، ET_{ij} : تبخیر- تعرق گیاه مرجع زامین ماه از سال N ام. RDI استاندارد شده همانند روش به کار رفته برای SPI طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$RDI_{st(k)}^{(i)} = \frac{(\gamma_k^i - \bar{\gamma}_k)}{\sigma_{\gamma_k}} \quad (2)$$

$\bar{\gamma}_k$: میانگین حسابی از γ_k^i ، $\gamma_k^i = \ln(\sigma_{\gamma_k}^{(i)})$ ، σ_{γ_k} : انحراف از معیار γ_k^i باید توجه کرد که عبارت بالا بر این فرض استوار است که مقادیر α_0 از توزیع نرمال تبعیت می‌کند.

1- Standardized Precipitation Index
3- Stream Flow Drought Index

4- Schoeller

2- Reconnaissance Drought Index
5- Wilcox

$$Y = ax + b \quad (۴)$$

که در آن a و b به ترتیب شیب خط و ثابت مدل رگرسیون، x زمان بر حسب سال و Y مقادیر شاخص‌های خشکسالی سالانه یا مقدار هدایت الکتریکی است.

معنی‌دار بودن شیب مدل رگرسیون خطی با استفاده از آزمون دو دامنه‌ای t -استیودنت در سطح ۵ درصد به انجام رسید. استفاده از این آزمون در تعیین روند داده‌ها و معنی‌داری شیب آن در صورتی امکانپذیر است که رابطه زیر برقرار باشد (۱۲):

$$T_c = \left| \frac{\sqrt{n-2}}{r\sqrt{1-r^2}} \right| > T_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2} \quad (۵)$$

که در آن T_c مقدار t -استیودنت محاسباتی n تعداد داده‌های سری، r ضریب رابطه عرضی بین دنباله y_1, \dots, y_n چارک توزیع t -استیودنت با درجه آزادی $n-2$ می‌باشد.

نتایج و بحث

بررسی خشکسالی هواشناسی

شاخص‌های RDI و SPI برای سه ایستگاه باران‌سنجی چم‌انجیر، دوآب‌کشکان و افرینه‌کشکان محاسبه گردید. نتایج هر دو شاخص در نشان دادن خشکسالی در سه ایستگاه مذکور تقریباً یکسان بوده به طوری که به لحاظ آماری ضریب رگرسیون خطی بین دو شاخص مذکور، ۸۵ درصد در ایستگاه چم‌انجیر، ۸۰ درصد در ایستگاه افرینه‌کشکان و ۷۰ درصد در ایستگاه دوآب‌کشکان است که در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند. در سال‌های آغازین دوره آماری، خشکسالی طبق هر دو شاخص در کلاس ملایم تا متوسط بوده سپس وضعیت مرطوب ظاهر شده است. در سال‌های بعدی، ترسالی و خشکسالی‌ها نوسان داشته و در سال‌های پایانی دوره، شدیدترین خشکسالی‌ها بوقوع پیوسته است (شکل ۲). علت عدم تطابق طبقات خشکسالی شاخص‌های SPI و RDI در بعضی از زمان‌ها (مانند سال‌های ۷۵-۱۳۷۴ و ۷۸-۱۳۷۷) بدلیل وجود تفاوت در تبخیر سالانه نسبت به میانگین درازمدت می‌باشد. به عبارت دیگر هرچه میزان تبخیر سالانه از میانگین درازمدت آن بیشتر یا کمتر شود، عدم تطابق طبقات یا تفاوت کلاس‌های خشکسالی دو شاخص مذکور بیشتر خواهد شد.

شاخص خشکسالی جریان سطحی (SDI)^۱

این شاخص وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی را بر اساس رابطه (۳) مورد بررسی قرار می‌دهد.

$$SDI = \frac{V_k - \bar{V}_k}{S_k} \quad (۳)$$

V_k حجم تجمعی جریان رودخانه \bar{V}_k و S_k به ترتیب میانگین و انحراف از معیار داده‌های درازمدت دبی می‌باشند. طبقه‌بندی شاخص SDI در ۵ کلاس و مانند شاخص SPI است.

بررسی کیفیت آب با استفاده از نمودارهای مختلف: نمودار شولر

استانداردهای از پیش تعیین شده آب شرب در کشورهای مختلف، بسته به شرایط اقتصادی، اقلیمی، غذایی و جغرافیایی با هم متفاوت است. نمودار شولر با استفاده از نرم‌افزار GWW ^۲ برای میانگین کیفی کل دوره و در دوره خشکسالی ترسیم می‌شود. نرم‌افزار GWW نرم‌افزاری جامع که در محیط اکسل برنامه‌نویسی شده و نمودارهای شولر، $Piper$ ، $Stiff$ و غیره را برای داده‌های کیفی منابع آب ترسیم می‌نماید. مزایای استفاده از این نرم‌افزار کاهش محاسبات دستی، افزایش صحت و دقت محاسبات، ساماندهی حجم زیاد اطلاعات، صرفه جویی در زمان و کیفیت بالای گرافیکی می‌باشد (۷).

نمودار ویل‌کوکس

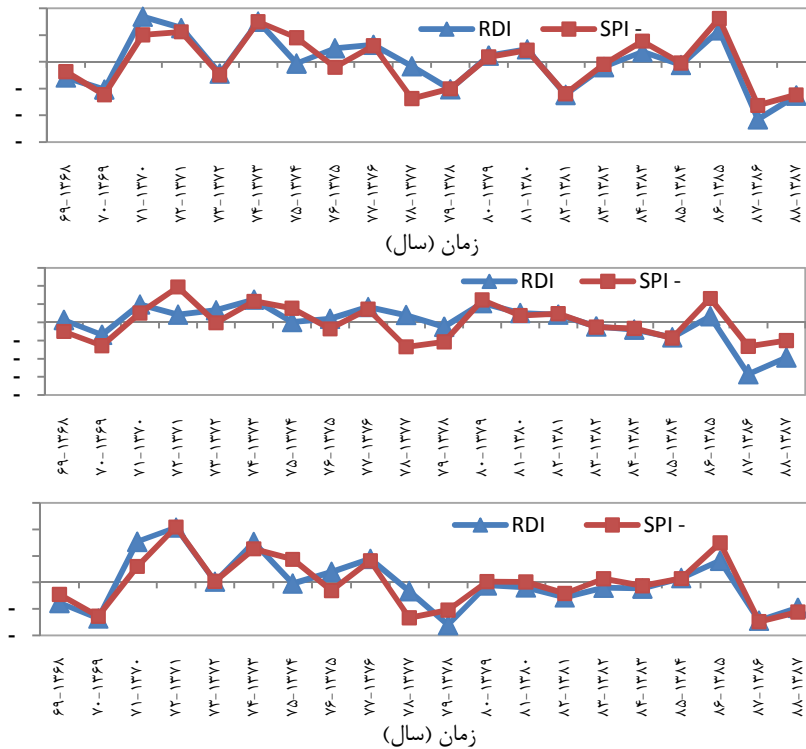
طبقه‌بندی منابع آب از نظر کشاورزی (آبیاری) بر مبنای دو پارامتر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) استوار است (۱۱). نقاط حاصل از تقاطع این دو پارامتر در نمودار ویل‌کاکس بیانگر رده نمونه آبی مورد نظر می‌باشد. روش طبقه‌بندی ویل‌کوکس و استفاده از نمودار آن متداول‌ترین و کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی است (۱۹). نمودار ویل‌کاکس از روی مقادیر متفاوت SAR و EC قادر به طبقه‌بندی آب در کلاس‌های متفاوت است. با استفاده از این نمودار می‌توان ۱۶ کلاس کیفی را در ۴ گروه کیفی آب در نظر گرفت.

بررسی روند خطی

مدل رگرسیون خطی بر سری زمانی مقادیر شاخص‌های خشکسالی و یا داده‌های کیفیت آب (به‌عنوان مثال هدایت الکتریکی) مطابق رابطه (۴) برازش یافت. چنانچه علامت شیب منفی باشد، روند نزولی و در صورت مثبت بودن علامت آن، روند صعودی خواهد بود.

1- Stream flow Drought Index

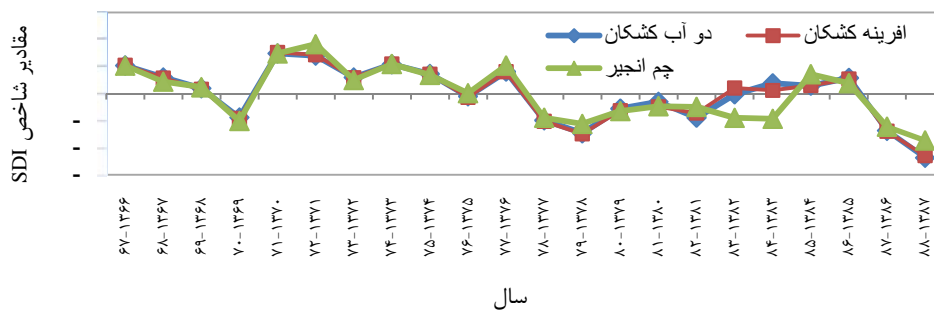
2- Ground Water for Windows



شکل ۲- مقادیر شاخص های RDI و SPI در ایستگاه های الف- چم انجیر ب- دوآب کشکان ج- افرینه کشکان

کشکان خشکسالی هیدرولوژیکی به مراتب در سال های پایانی دوره مورد بررسی، شدت زیادی داشته است (شکل ۳).

بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی نتایج شاخص SDI نشان می دهد که در هر سه ایستگاه هیدرومتری دوآب کشکان، چم انجیر و افرینه



شکل ۳- مقادیر شاخص SDI در سه ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه

یک از ایستگاه های باران سنجی نشان داد، سال های (۸۷-۸۸ و ۸۶-۸۷) بعلت شدت و تداوم خشکسالی به عنوان مبنایی برای تحلیل تغییرات کیفی آب در سه ایستگاه هیدرومتری انتخاب شدند. مقایسه پارامترهای کیفی در دوره دو ساله مذکور نسبت به میانگین چند ساله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جداول (۳)، (۴) و (۵) نتایج میانگین نه پارامتر کیفی از جمله هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و مجموع مواد محلول (TDS) و همچنین کاتیون ها شامل سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و آنیون ها شامل سولفات (So4)،

بررسی کیفیت آب

از مهم ترین عوامل اساسی در پذیرش آب قابل دسترس، توجه اکید به بحث کیفیت آن در چارچوب شرایط استاندارد است. کیفیت آب سطحی در شرایط مختلفی از جمله عبور جریان رودخانه در بین سازندهای شور یا گچی، فعالیت های انسانی و از همه مهم تر خشکسالی های پی در پی و شدید تغییر می کند. به همین منظور تغییرات کیفیت آب در حوزه آبخیز کشکان در شرایط خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که نتایج بررسی وضعیت خشکسالی در هر

کلر (Cl)، بی‌کربنات (Hco₃)، در کل دوره آماری و در دوره خشکسالی برای هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری موجود را نشان می‌دهد.

جدول ۳- پارامترهای کیفی آب در ایستگاه چم انجیر

پارامترهای کیفی	واحد	میانگین درازمدت (۱۳۶۶ تا ۱۳۸۸)	میانگین در دوره خشکسالی (۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸)	درصد تغییر
TDS		۴۰۸/۱۶	۵۴۵/۱۳	۳۳/۶
Hco ₃		۴/۵۱	۵/۴۶	۲۱/۱
Cl		۱/۲۰	۱/۵۴	۲۸/۳
So ₄		۰/۵۹	۰/۶۳	۶/۸
Ca	میلی گرم بر لیتر	۳/۶	۴/۳۳	۲۰/۳
Mg		۱/۹۶	۲/۱۴	۹/۲
Na		۰/۷۳	۱/۰۷	۴۶/۶
Ec	میکروموس بر سانتی متر	۶۳۷/۰۳	۸۴۳/۷۵	۳۲/۵
pH		۷/۴۸	۷/۰۵	۷/۶

جدول ۴- پارامترهای کیفی آب در ایستگاه دوآب کشکان

پارامترهای کیفی	واحد	میانگین درازمدت (۱۳۶۶ تا ۱۳۸۸)	میانگین در دوره خشکسالی (۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸)	درصد تغییر
TDS		۳۰۰/۸۶	۳۵۲/۱۳	۱۷
Hco ₃		۳/۳۶	۳/۷۹	۱۲/۸
Cl		۰/۵۵	۰/۷۱	۲۹/۱
So ₄		۰/۷۳	۰/۵۴	-۲۶
Ca	میلی گرم بر لیتر	۲/۹۱	۲/۸۹	-۰/۷
Mg		۱/۴۲	۱/۶۴	۱۵/۵
Na		۰/۳۱	۰/۵۶	۸۰/۶
Ec	میکروموس بر سانتی متر	۴۶۸/۹۳	۵۴۷/۵۰	۱۶/۸
pH		۷/۵۹	۸/۲۹	۹/۲

جدول ۵- پارامترهای کیفی آب در ایستگاه افرینه کشکان

پارامترهای کیفی	واحد	میانگین درازمدت (۱۳۶۶ تا ۱۳۸۸)	میانگین در دوره خشکسالی (۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸)	درصد تغییر
TDS		۴۱۹/۳۲	۷۶۲	۸۱/۷
Hco ₃		۳/۵۹	۳/۸	۵/۸
Cl		۱/۶۸	۳/۷۹	۱۲۵/۶
So ₄		۰/۸۱	۲/۱	۱۵۹/۳
Ca	میلی گرم بر لیتر	۳/۱۲	۴/۷	۵۰/۶
Mg		۲/۰۵	۳	۴۶/۳
Na		۰/۸۸	۱/۹	۱۱۵/۹
Ec	میکروموس بر سانتی متر	۶۵۲/۶۳	۱۱۶۵	۷۸/۵
pH		۷/۶۵	۸/۱	۵/۹

میلی‌گرم در لیتر افزایش نشان داده که منجر به ۸۱/۷ درصد تغییر شده است. در ایستگاه افرینه علاوه بر پارامترهای کیفی فوق، آنیون‌های کلر و سولفات در طی دوره خشکسالی نسبت به میانگین کل دوره دارای تغییرات غالب‌اند.

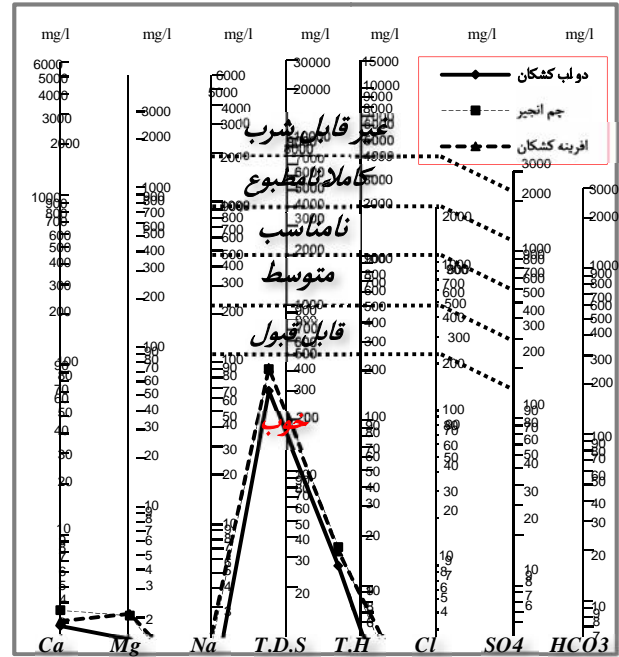
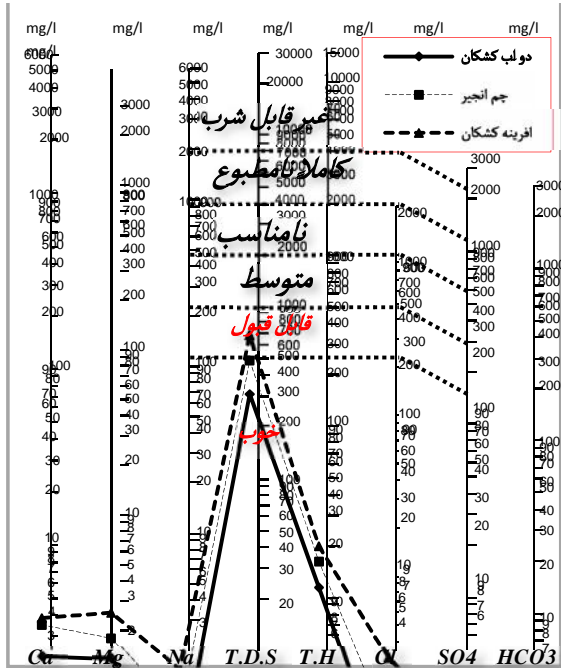
بررسی کیفیت آب شرب

برای بررسی قابلیت شرب آب‌های رودخانه در ایستگاه‌های دوآب کشکان، چم‌انجیر و افرینه از نمودار نیمه‌لگاریتمی شولر استفاده شده است. براساس این نمودار کیفیت آب شرب تمام نمونه‌ها برای میانگین کیفی درازمدت، در هر سه ایستگاه هیدرومتری در

بر اساس نتایج جداول فوق، بیشترین تفاوت در میانگین پارامترهای کیفی TDS، Ec و بویژه یون سدیم (Na) در دوره‌های درازمدت و خشکسالی برای هر سه ایستگاه چم‌انجیر، دوآب کشکان و افرینه کشکان مشاهده می‌شود، این امر موجب درصد تغییرات قابل ملاحظه مقادیر پارامترهای کیفی در دوره خشکسالی نسبت به کل دوره آماری شده که نشان‌دهنده تأثیر شدت خشکسالی بر پارامترهای کیفی آب است. به‌عنوان مثال در خصوص ایستگاه افرینه می‌توان مشاهده کرد که میانگین پارامتر TDS در دوره خشکسالی نسبت به میانگین درازمدت آن، ۳۴۲/۶۸

می‌دهد. اما این نمودار کیفیت نمونه‌های آب مورد بررسی در ایستگاه دوآب کشکان را در دوره خشکسالی با کلاس خوب نمایش داده و بدون تغییر نسبت به میانگین درازمدت نمایش می‌دهد (شکل ۴).

دسته کیفیت خوب قرار گرفته‌اند، که البته نمونه‌های مذکور باید به لحاظ باکتریولوژیکی مورد آزمایش قرار گیرد. نمودار شولر در دوره خشکسالی برای نمونه‌های آبی ایستگاه افرینه و چم انجیر وضعیت قابل قبول را با یک پله سقوط نسبت به میانگین درازمدت نمایش

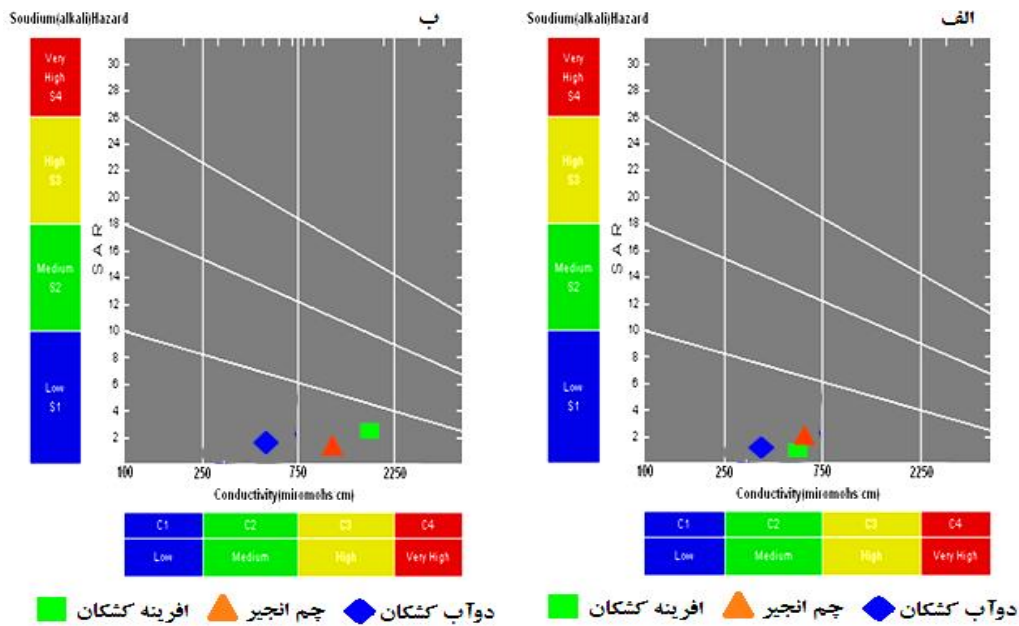


شکل ۴- نمودار شولر در ایستگاه‌های مختلف در الف- میانگین درازمدت ب- میانگین دوره خشکسالی

می‌باشد یعنی آب جهت کشاورزی شور بوده ولی چنانچه تمهیداتی در این دوره مثل تصفیه آب یا کنترل شوری اعمال شود برای کشاورزی مناسب خواهد بود این کار بعلت هزینه بالای آن مقرون به صرفه نیست. کلاس کیفی آب رودخانه دوآب کشکان در دوره خشکسالی مانند میانگین کل دوره بدون تغییر و به صورت (C2S1) بوده که تقریباً برای کشاورزی مناسب است (شکل ۵- ب).

بررسی کیفیت آب کشاورزی

طبق نمودار ویل کوکس نمونه‌های آب مورد بررسی سه ایستگاه چم انجیر، دوآب کشکان و افرینه کشکان در میانگین درازمدت دارای کلاس (C2S1) یا کمی شور می‌باشد که برای کشاورزی تقریباً مناسب است (شکل ۵- الف) اما در دوره خشکسالی (سال‌های ۸۷-۱۳۸۶ و ۱۳۸۶-۸۸) کلاس کیفی آب دو ایستگاه هیدرومتری چم انجیر و افرینه کشکان به صورت C3S1

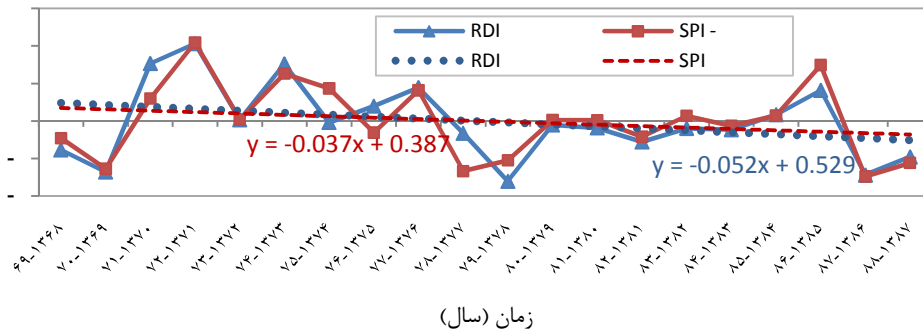
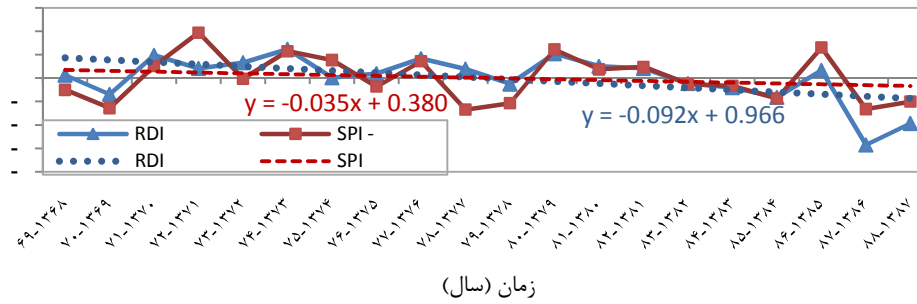
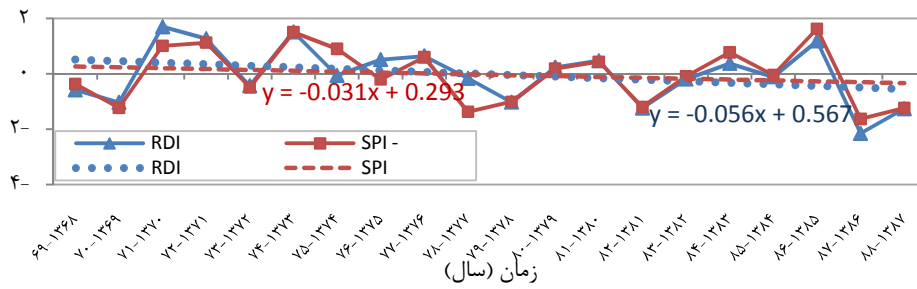


شکل ۵- نمودار ویل کوکس در الف - میانگین درازمدت ب- میانگین دوره خشکسالی

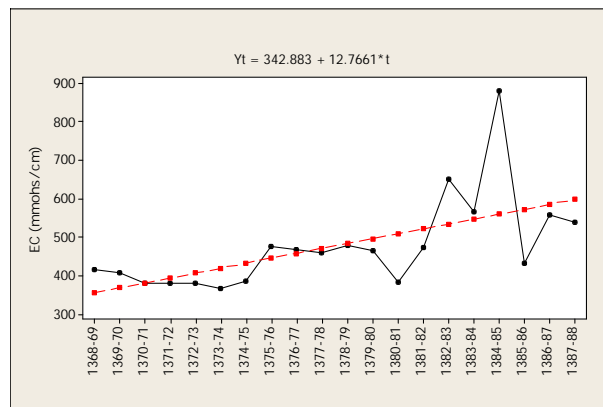
این مطالب بیانگر این است که روند افزایشی خشکسالی باعث بدتر شدن کیفیت آب شده است. همچنین با توجه به اشکال ۶، ۷ و ۸ می‌توان به این نکته نیز توجه کرد که نوسانات هدایت الکتریکی در زمان‌های مختلف تابعی از ترسالی یا خشکسالی‌های بوقوع پیوسته در منطقه است. این وضعیت در زمانی که بیشترین یا کمترین مقادیر هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب رودخانه‌های حوزه کشکان وجود داشته، به روشنی مشهود است. برای مثال افت هدایت الکتریکی آب رودخانه چم انجیر در سال ۱۳۸۰-۸۱ و ۱۳۸۵-۸۶ و پایین بودن مقدار این پارامتر در نمونه‌های آب رودخانه‌های دوآب و افرینه کشکان در سال‌های ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۵-۱۳۸۴ همزمان با شرایط ترسالی در منطقه بوده است. همچنین بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی در اواخر دوره آماری در نمونه‌های آب ایستگاه‌های هیدرومتری هم‌زمان با وقوع خشکسالی در منطقه بوده است. کاهش دبی رودخانه‌ها و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر، افزایش شوری را در نمونه‌های آب ایستگاه‌ها را نیز تأیید می‌نماید. در این حوزه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بدلیل پاسخ سریع هیدرولوژیکی رودخانه‌ها به شرایط جوی تقریباً تطابق زمانی دارند.

بررسی روند خطی

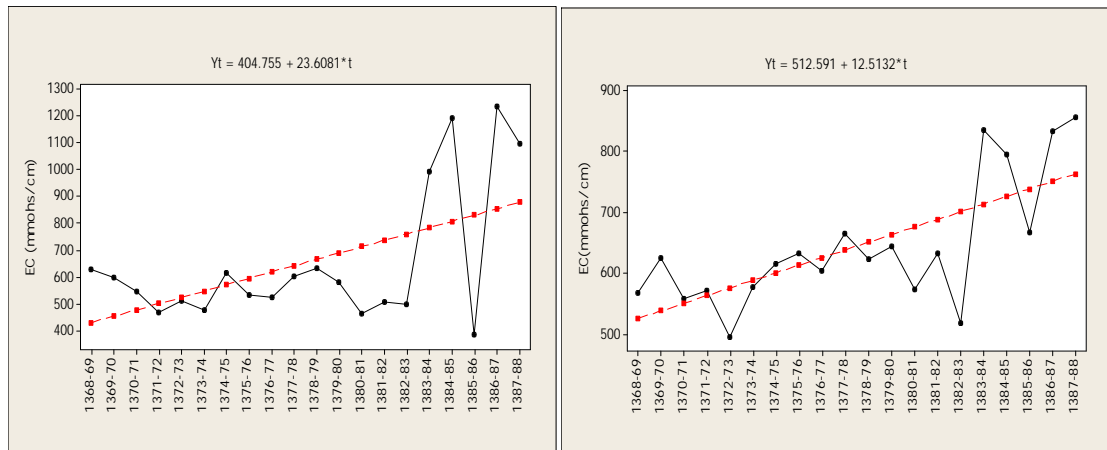
روند خطی شاخص‌های SPI و RDI در هر سه ایستگاه باران‌سنجی چم انجیر، دوآب کشکان و افرینه کشکان نزولی است. ضرایب منفی ۰/۰۳۱، ۰/۰۳۵ و ۰/۰۳۷ در معادلات بدست آمده از خطوط برازشی مقادیر SPI و همچنین ضرایب منفی ۰/۰۵۶، ۰/۰۹۲ و ۰/۰۵۲ در معادلات بدست آمده از خطوط برازشی مقادیر RDI در ایستگاه‌های مذکور نشان دهنده این سیر کاهشی است بعبارت دیگر خشکسالی روندی افزایشی دارد (شکل ۶). آماره آزمون t- استیودنت نیز معنی‌داری شیب خط روند را برای شاخص‌های خشکسالی در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح ۵ درصد تأیید می‌نماید (جدول ۶). از سوی دیگر با بررسی روند خطی پارامترهای کیفی به‌عنوان مثال EC در هر یک از رودخانه‌ها مشخص شد که سیر صعودی حاکم است (اشکال ۷ و ۸). ضرایب مثبت ۱۲/۷۶، ۲۳/۶ و ۱۲/۵۱ در معادلات بدست آمده از خطوط برازشی مقادیر EC رودخانه‌های چم انجیر، دوآب و افرینه کشکان مشخص‌کننده این روند است. آماره آزمون t- استیودنت نیز معنی‌داری شیب خط روند را برای مقادیر هدایت الکتریکی (EC) در این رودخانه‌ها در سطح ۵ درصد تأیید می‌نماید (جدول ۷). در مجموع



شکل ۶- روند خطی شاخص‌های خشکسالی الف- چم انجیر ب- دوآب کشکان ج- افرینه کشکان



شکل ۷- روند خطی پارامتر EC در ایستگاه الف- چم انجیر



شکل ۸- روند خطی پارامتر EC در ایستگاه‌های ب- دوآب کشکان و ج- افرینه کشکان

جدول ۶- نتایج آماره آزمون t- استیودنت در سری زمانی مقادیر شاخص‌های خشکسالی

ایستگاه بارانسنجی	شاخص خشکسالی	آماره t- استیودنت	شیب خط روند	معادله خط روند
چم انجیر	SPI	۷/۳۴	-۰/۰۳۱	$Y = -0.031x + 0.29$
	RDI	۶/۰۸	-۰/۰۵۶	$Y = -0.056x + 0.56$
دو آب کشکان	SPI	۷/۷۲	-۰/۰۲۵	$Y = -0.025x + 0.38$
	RDI	۴/۷۴	-۰/۰۹۲	$Y = -0.092x + 0.96$
افرینه کشکان	SPI	۵/۵۱	-۰/۰۳۷	$Y = -0.037x + 0.38$
	RDI	۵/۳۹	-۰/۰۵۲	$Y = -0.052x + 0.52$

جدول ۷- نتایج آماره آزمون t- استیودنت در سری زمانی مقادیر هدایت الکتریکی

ایستگاه هیدرومتری	آماره t- استیودنت	شیب خط روند	معادله خط روند
چم انجیر	۲۹/۰۶	۱۲/۷۶	$Y = 12.76x + 342.8$
دو آب کشکان	۱۸/۳۹	۱۲/۵۱	$Y = 12.51x + 512.5$
افرینه کشکان	۱۲/۳۷	۲۳/۶۰	$Y = 23.60x + 404.75$

آغاچاری در جنوب حوزه در محدوده ایستگاه افرینه کشکان بوده؛ که در اثر خشکسالی غلظت آنها افزایش پیدا کرده و موجب تغییرات کیفی آب‌های سطحی شده است. خشکسالی و وجود سازندهای فوق در منطقه، نمودار شور و ویل کوکس را دستخوش تغییر نموده و کیفیت آب رودخانه‌های افرینه و چم‌انجیر را از کلاس خوب به قابل قبول تبدیل کرده است. در مجموع رده‌های کیفی آب‌های سطحی حوزه کشکان در دوره خشکسالی و میانگین درازمدت برای مصارف شرب بصورت خوب تا قابل قبول و برای مصارف کشاورزی دارای کلاس‌های C2S1 (در حد خوب) و C3S1 (در حد متوسط با تمهیدات لازم) است که با مطالعه لشنی‌زند و همکاران (۱۰) مطابقت دارد. تحلیل کلی نمودارهای روند خطی نشان می‌دهد که روند افزایشی خشکسالی بر کیفیت آب‌های سطحی حوزه کشکان تأثیر منفی گذاشته است، بنابراین می‌تواند که با بکارگیری علم مدیریت آبخیز نظیر متعادل نگه داشتن دبی پایه در رودخانه‌ها با اقداماتی مانند احداث بندهای گابیونی، کنترل سیلاب و تولید و نفوذ آب در سر شاخه‌ها روند کاهش کیفی آب این حوزه ناشی از خشکسالی کنترل گردد.

در این پژوهش تحلیل کیفیت آب در دوره خشکسالی و مقایسه آن در درازمدت مشابه مطالعه ون ولیت و زولزمن (۱۸) و امیریان و همکاران (۲) انجام شده است. همان‌طور که نتایج نشان داد اکثر پارامترهای کیفی آب‌های سطحی حوزه آبخیز کشکان در دوره خشکسالی تغییر نموده‌اند اما به مراتب میزان شوری (EC)، مواد جامد محلول (TDS) و آنیون‌های کلر، سدیم و سولفات بیشترین درصد تغییرات را داشته‌اند. این در حالی است که میزان شوری در ایستگاه‌های دوآب کشکان، چم‌انجیر و افرینه کشکان به ترتیب ۱۶/۸، ۳۲/۵ و ۷۸/۵ درصد تغییر داشته است. میزان TDS نیز در سه ایستگاه هیدرومتری فوق بترتیب دارای ۱۷، ۳۳/۶ و ۸۱/۷ درصد تغییر بوده است و در مورد آنیون‌ها، میزان کلر بترتیب در نمونه‌های آب ایستگاه‌های هیدرومتری چم‌انجیر، دوآب کشکان و افرینه کشکان ۲۸/۳، ۲۹/۱ و ۱۲۵/۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. درصد افزایشی سدیم ۴۶/۶، ۸۰/۶ و ۱۰۹/۶ برای سه ایستگاه چم‌انجیر، دوآب کشکان و افرینه کشکان بوده است. دلیل ایجاد این تغییرات کمبود بارش حوزه و وقوع کاهش دبی رودخانه‌های مورد بررسی در طی سال‌های اخیر و همچنین وجود سازندهای زمین‌شناسی بالاصح سازندهای دارای انیدریت و ژیس شامل گچساران و

منابع

1. Al-Kharabsheh, A. and R. Ta'any. 2003. Influence of urbanization on water quality deterioration during drought periods at South Jordan. *Journal of Arid Environments*, 53: 619-630.
2. Amiriyani, A., H. Tabari, H.A. Kashkoli, H. Hasonizadeh and H. Soltani. 2009. Evaluation of drought effects on Maroon river water quality. 8th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Persian)
3. Attrill, M.J. and M. Power. 2000. Modelling the effect of drought on estuarine water quality. *Water Research*, 34 (5): 1584-1594.
4. Bahrami, M., H. Maazedand, H. Zareei and A. Sadeghei Lari. 2009. An Investigation on the Effect of Gachsaran Formation on Water Quality of Zohre River in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad. Eighth International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Persian)
5. Bhuiyan, C., R.P. Singh and F.N. Kogan. 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8: 289-302.
6. Delpla, I., A.V. Jung, E. Baures, M. Clement and O. Thomas. 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35: 1225-1233.
7. Dusan, B. and J. Karanjac. 1997. Ground Water for Windows (GWW, ver. 1.31) Software and manual, Department for Development Support and Management Services, United Nation. 517 pp.
8. Edwards, D.C. and T.B. Mckee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the university Colorado.
9. Ghareh Mahmoodlu, M., M. Soleimani Motlagh and M. Sayed. 2008. Investigation of effective elements on the chemical quality of surface waters in the Kashkan watershed. 1th Conference of optimum exploitation from water resources in the Lorestan province, Khorramabad, Iran. (In Persian)
10. Lashanizand, M., B. Parvaneh and M. Bazgir. 2010. The impacts of low and high flow regimes on surface water quality Kashkan watershed. *The natural geography periodical*, 8: 111-125. (In Persian)
11. Mahdavi, M. 2007. *Applied Hydrology*, 2nd Vol, Tehran University Press, Tehran, Iran, 274 pp. (In Persian)
12. Maidment, D.R. 1992. *Handbook of Hydrology*. MC Graw-Hill, inc. 920 pp.
13. Malekinezhad, H. and M. Soleimani Motlagh. 2011. Assessing the severity of climatic and hydrologic droughts in Chaghalvandi basin, Iran water research, 9: 61- 72. (In Persian)
14. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston, 179-184 pp.
15. Tsakiris, G. and H. Vangelis. 2005. "Establishing a drought index incorporating evapotranspiration", *European water*, 9-10: 3-11.
16. Tsakiris, G., D. Pangalou and H. Vangelis. 2006. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI), *Water Resources Management*, 21: 821-833.
17. Tweed, S., M. Leblance and I. Cartwright. 2009. Groundwater-surface water interaction and the impact of a multi-year drought on lakes conditions in South-East Australia. *Journal of Hydrology*, 379: 41-53.
18. Van Vleit, M.T.H. and J.J.G. Zwolsman. 2008. Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river. *Journal of Hydrology*, 353: 1-17.
19. Zam Zam, A. and M.B. Rahnama. 2009. Investigation of chemical quality of groundwater of Rafsanjan plain with Wilcox and Shuller-Berkalof diagrams. International conference on water resources, Shahrood University of technology, Shahrood, Iran. (In Persian)
20. Zielinski, P., A. Gorniak and M.K. Piekarski. 2009. The effect of hydrological drought on chemical quality of water and dissolved organic carbon concentrations in lowland rivers. *Polish journal of ecology*, 57: 373-38.

The Study of Drought on the Quality of Surface Water Resources in Kashkan Watershed

Mahdi Soleimani Motlagh¹, Ali Talebi² and Mehdi Zareei³

1- Ph.D. Student, Kashan University (Corresponding author: soleimani@grad.kashanu.ac.ir)

2- Associated Professor, Yazd University

3- Ph.D. Student, Kashan University

Received: June 17, 2012 Accepted: December 16, 2013

Abstract

Drought is a phenomenon that threatening water quality in addition to its shortage. In this paper we investigate the effect of drought on surface water quality of Kashkan watershed. For this purpose, during the collection of meteorological data and water quality data during 20 years (1987 to 2009) from Meteorology and Water Resources offices of Lorestan province, initially duration and severity of meteorological and hydrological droughts were determined by SPI, RDI and SDI Indices. Later in periods that intensity and duration of drought were more than other period, percent changes of water quality to the long-term average was calculated then agricultural and drinking water quality analysis in the form of two charts Schuler and Wilcox was performed. Also, the linear trend of data was investigated for highlighting the effect of drought on water quality changes. Results indicate that drought has significant changes in parameters of surface water resources especially EC, TDS, NA, CL and SO_4 . Also the results showed that water quality in terms of Schuler & Wilcox graphs has changed in effect of drought. The quality of Afarineh and Chan Anjir rivers drinking water has changed from ok classes to acceptable grade and for agricultural purposes has changed from C2S1 grade to C3S1 grade. Finally, the overall analysis of linier trend graphs shows that the increasing trend of drought has a negative impact on surface waters quality of Kashkan watershed.

Keywords: Drought, Surface Water resources Quality, SPI, RDI, SDI, Kashkan Watershed