

ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و تأثیر آن بر کیفیت آب (مطالعه موردی: رودخانه گدارخوش)

مرتضی قیسوری^۱، سمیه سلطانی گردهرامری^{۲*} و محسن قاسمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

۲- نویسنده مسئول، استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان. ssoltani@ardakan.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

پذیرش: ۹۶/۲/۳

بازنگری: ۹۶/۱/۲۷

دریافت: ۹۵/۱۱/۳

چکیده

خشکسالی یک پدیده طبیعی است که باعث کمبود منابع آب در بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی می‌شود. این پدیده در مقایسه با سایر بلاهای طبیعی از نظر شدت وقوع و هم از نظر میزان خساراتی که به بار می‌آورد، از اهمیت بیشتری برخوردار است. تحقیق حاضر به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و تأثیر آن بر کیفیت آب رودخانه گدارخوش واقع در استان ایلام در طول بازه‌ی زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۱، صورت پذیرفته است. بدین منظور از آمار ۲۶ ساله دما و بارش دو ایستگاه هواشناسی، داده دبی و کیفیت آب یک ایستگاه آب‌سنجی در خروجی حوضه گدارخوش استفاده شد. همچنین شاخص جریان کم Q₉₀ و شاخص هواشناسی SPI، شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی SDI در ۵ بازه زمانی (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه) محاسبه گردید. نتایج بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حاکی از افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به ویژه خشکسالی هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر و وجود تأخیر زمانی ۱۲ ماهه بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بوده است. مقایسه دوره‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر اساس شاخص‌های SPI و SDI نشان می‌دهد که حدود ۵۵ درصد خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در زمان خشکسالی‌های هواشناسی که بارندگی‌ها شرایط نرمالی را نداشته‌اند، اتفاق افتاده است. همچنین بر اساس شاخص‌های SPI و Q₉₀ دوره‌های مشترک خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ۱۱ ماه می‌باشد. در بررسی تغییرات فوق بر کیفیت آب رودخانه نتایج نشان داد که کاهش دبی رودخانه در اثر خشکسالی و افزایش دما باعث افزایش مقدار آنیون‌ها شامل سولفات، کلر و بی‌کربنات در سال‌های خشک نسبت به میانگین دوره آماری، به میزان ۴/۰۹ درصد و میزان کاتیون‌ها شامل سدیم، کلسیم و منیزیم به میزان ۸/۰۴ درصد شده است. در سایر پارامترهای کیفی از جمله هدایت الکتریکی، املاح محلول و نسبت جذب سدیم به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۱۷ و ۵/۸۸ درصد افزایش مشاهده گردید ولی براساس نمودار شولر کیفیت آب تقریباً در محدوده قابل قبول می‌باشد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، شاخص، هیدرولوژیکی، تأخیر زمانی، کیفیت آب، گدارخوش.

مقدمه

دبی دچار تغییراتی می‌شوند. یکی از این شرایط خشکسالی می‌باشد که کاهش دبی و تغییرات کیفی آب را به همراه دارد (Zahedi-Kalaki, 2004). تحقیقات متعددی در ایران در زمینه خشکسالی انجام شده است. برای نمونه Heidari et al (2009) به بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دو شهرستان ارومیه و خوی پرداختند. نتایج تحقیقات نشان داد که در شهرستان ارومیه خشکسالی هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی یک‌ماهه و در خوی با تأخیر زمانی ۲ ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی بروز کرده است. پایداری خشکسالی هیدرولوژیکی نیز به ترتیب تا ۳ ماه و ۵ ماه پس از وقوع آن تعیین گردید. Lashti-Zand et al (2011) اثرات تغییرات بارش بر وضعیت کمی و کیفی آب رودخانه سزار لرستان را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که براساس دیاگرام شولر ویلکوکس آب همه ایستگاه‌ها برای شرب، خوب و برای کشاورزی، مناسب است. همچنین بررسی‌ها در مورد اثرات بارش بر تغییرات کمی و کیفی آب رودخانه سزار

خشکسالی جزو پدیده‌های اقلیمی است که تأثیرات آن را نه تنها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بلکه به صورت متناوب در مناطق مرطوب نیز می‌توان مشاهده نمود. باید توجه داشت که خشکسالی و خشکی با هم متفاوت هستند، خشکی یک صفت اقلیمی مختص مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و نوعی ویژگی دائمی آب و هوای منطقه خشک است (Eslamian et al, 2012). شدت و تداوم دو ویژگی اولیه خشکسالی بوده که مستقیماً به مقادیر پارامترهای اقلیمی مورد بررسی وابسته هستند، بر همین اساس در پایش خشکسالی که از ابزارهای مهم در مدیریت آن محسوب می‌گردد. برای بیان کمی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌گردد. از طرف دیگر عناصر و ترکیب‌های مختلفی در آب وجود دارند که روی کیفیت شیمیایی و فیزیکی آب مؤثر می‌باشند که در اثر شرایط خاصی چون افزایش و کاهش

رودخانه یانگ تسه دارای تناوب‌هایی از سال‌های خشک و تر می‌باشد و بهار خشک‌ترین فصل سال می‌باشد. Mosley (2015) با بررسی خشکسالی بر کیفیت آب شیرین در مناطق آمریکای شمالی، اروپا و استرالیا بیان کرد که خشکسالی باعث افزایش شوری آب، افزایش جلبک‌ها و افزایش یون‌های محلول شده که کیفیت آب شیرین را به شدت پایین آورده است.

هدف اساسی از این تحقیق، مطالعه و بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک و همچنین تعیین تأخیر زمانی احتمالی بین وقوع این دو نوع خشکسالی و تأثیر آنها بر کیفیت آب رودخانه، برای مدیریت منابع آب در حوضه گذارخوش است که یکی از مهم‌ترین حوضه‌های استان ایلام می‌باشد. با توجه به اینکه رودخانه گذارخوش در نقطه مرزی ایران و عراق واقع شده است و با توجه به قوانین جدید حق آبه از سوی ایران و کشور همسایه، هیچ اطلاعاتی از آبدی رودخانه گذارخوش در اختیار محققین قرار نگرفته است. بنابراین طی رایزنی‌هایی که با اداره آب منطقه‌ای صورت گرفت این رودخانه انتخاب شد زیرا از لحاظ شرب و کشاورزی جز مهم‌ترین رودخانه‌های غرب کشور و البته در استان ایلام است که تاکنون مطالعات خشکسالی بر روی آن انجام نشده است. از طرفی محاسبه شاخص جریان کم و ارتباط آن با دیگر شاخص‌های خشکسالی از اهداف این مطالعه می‌باشد.

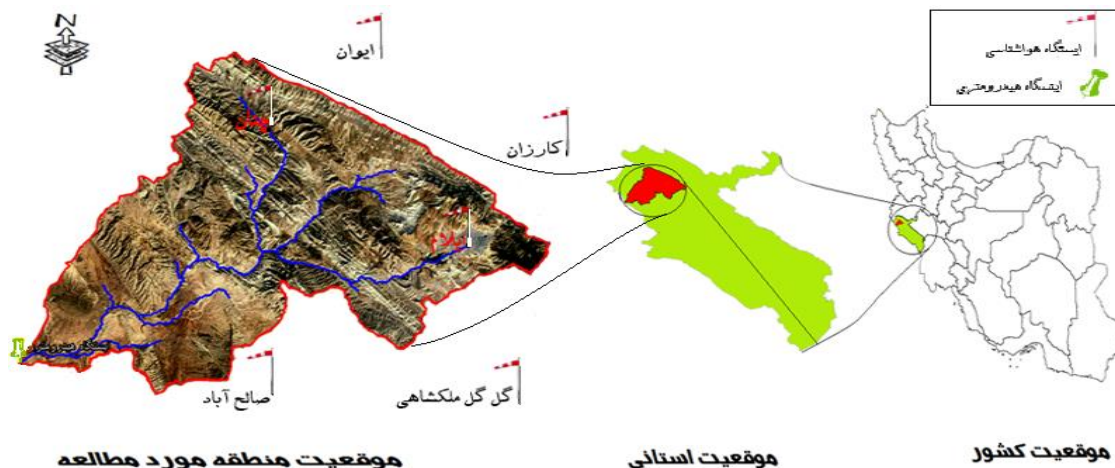
مواد و روش‌ها

معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گذارخوش در محدوده جغرافیایی $33^{\circ} 8'$ تا $33^{\circ} 01'$ عرض شمالی و طول جغرافیایی $47^{\circ} 45'$ و $46^{\circ} 34'$ شرقی قرار گرفته و مساحتی برابر با $1216/58$ کیلومترمربع دارد (شکل ۱). رودخانه گذارخوش از رودخانه‌های مرزی کشور در مرز ایران و عراق در استان ایلام واقع شده است. حوضه آبریز این رودخانه بین سه حوضه آبریز کنجانچم، کنگیر و تلخاب واقع گردیده است. این رودخانه از ارتفاعات کوه گچان، قلندر، رنو، شرهول، پارده و کوه الله خدا سرچشمه گرفته و پس از عبور از شهرهای چوار، ایلام، روستای بانویزه و چم آی وارد خاک عراق می‌گردد. میزان آبدی رودخانه در طی فصول مختلف سال متغیر است. اختلاف ارتفاع این رودخانه از کف بستر تا اراضی پیرامونش 320 متر است، طول رودخانه 187 کیلومتر و عرض آن متغیر است و اقلیم منطقه براساس ضریب خشکی دومارتن نیمه‌خشک می‌باشد. در این تحقیق از آمار شش ایستگاه باران‌سنجی در داخل و خارج حوضه استفاده شد. برای تعیین دبی از آمار دبی ایستگاه گذارخوش در خروجی حوضه استفاده شده است. برای بررسی روند تغییرات آب‌های سطحی و تغییرات دمایی و تحلیل کمی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک از شاخص‌های SPI و SDI و Q_{90} استفاده گردید تا امکان ارزیابی آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی میسر شده و نیز بتوان درباره شدت وقوع آن اظهار نظر نمود.

حاکمی از آن بود که وقوع بارندگی و افزایش دبی، افزایش کیفیت آب رودخانه را به دنبال خواهد داشت. Faghani (2015) به تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) و روش کریجینگ پرداخت و به این نتیجه رسید که پهنه جغرافیایی ایران از لحاظ تغییرات زمانی خشکسالی طی فصل‌های مختلف سال به ۶ الی ۱۲ حوضه دسته‌بندی می‌شود. Fathi-Osbokalaie (2015) تحلیل زمانی خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه اراز کوسه در استان گلستان را با شاخص SDI (Stream flow Drought Index) بررسی کرد و به این نتیجه رسید که شدت خشکسالی در فصل بهار و نیمه‌ی اول سال دارای روند کاهشی با شیب ملایم می‌باشد که با توجه به روند معنی‌دار افزایش دما و تبخیر، در ماه‌های گرم سال قابل‌انتظار است. Eskandari-Damaneh (2016) ارتباط زمانی و مکانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران را بررسی کردند. نتایج حاکی از همبستگی ۹۹ درصد بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و افزایش روند خشکسالی در استان تهران بود. Mahmoudi et al (2015) با استفاده از شاخص نمره استاندارد، خشکسالی هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان را بررسی و تأثیر آن را بر کیفیت منابع آب سطحی این استان مطالعه کردند.

Dupigny and Giroux (2001) معتقد است که نمایه خشکسالی SPI بهتر از نمایه‌های رطوبت محصول و پالمر اصلاح‌شده، در مقیاس‌های زمانی کوچک تا متوسط عمل می‌کند. Smakhtin and Hughes (2006) جهت تعیین خصوصیات خشکسالی هواشناسی در جنوب آسیا از شاخص SPI استفاده نمودند. Liu et al (2011) با بررسی خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در ایالت اوکلاهما دریافتند که فاصله رخداد دو خشکسالی ۲ ماه و ضریب تبیین بین نمایه‌های SPI و SDI در حالت بهینه $0/63$ می‌باشد. Delpla et al (2009) به بررسی اثر تغییرات تغییرات آب و هوایی بر کیفیت آب‌های سطحی در رابطه با تولید آب آشامیدنی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات آب و هوایی باعث کاهش کیفیت آب آشامیدنی شده است که تأثیر بالقوه بر سلامت دارد. Nosrati (2011) به بررسی اثر خشکسالی هیدرولوژیکی بر کیفیت آب استان مازندران در طی ۱۵ سال آماری ۲۰۰۶-۱۹۹۱ پرداخت و بیان کرد که همبستگی خشک‌سالی هیدرولوژیکی از نظر آماری در سطح ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری با کیفیت آب دارد و خشکسالی باعث افزایش درصد عناصر آب شده است. Soleimani and Bahremand (2014) به آنالیز خشکسالی هیدرولوژیکی با شاخص SPI و SDI در حوزه هلیل رود پرداختند. نتایج، همبستگی بالا بین این دو شاخص را نشان داد. Hong et al (2015) به بررسی عدم قطعیت ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی (شاخص SDI) با استفاده از داده‌های دبی دوره آماری (۲۰۰۹-۱۸۸۲) در بالادست حوضه رودخانه یانگ تسه پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که حوزه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مختلف براساس نتایج Mckee et al (1993) در جدول (۱) ارائه شده است.

شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI)

چنانچه سری‌های زمانی از حجم جریان‌های رودخانه‌ای (Q_{ij}) موجود باشد این سری‌ها را می‌توان با استفاده از رابطه (۳) به‌دست آورد.

$$v_{ik} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{ij} \quad (3)$$

$k=1, 2, 3, 4, 5, 6$
 $i=1, 2, \dots$
 $j=1, 2, \dots, 12$

که در آن V_{ik} حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای است. i سال هیدرولوژیکی و k ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی را مشخص می‌کند ($i=1$ مهر و $j=2$ شهریور) به‌عنوان مثال در $k=1$ برابر حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای در سه ماه اول سال آبی برای i سال هیدرولوژیکی و k دوره مینا می‌باشد ($k=1$ مهر تا آذر، $k=2$ مهر تا اسفند، $k=3$ مهر تا تیر، $k=4$ مهر تا شهریور). شاخص خشکسالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI) براساس حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مینای (k) مربوط به i سال هیدرولوژیکی به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$SDI_{i,k} = \frac{v_{ik} - v_k}{s_k} \quad (4)$$

$i=1, 2, \dots$
 $k=1, 2, 3, 4$

که در آن v_k و s_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریان‌های تجمعی برای دوره مینا (k) در یک مدت طولانی می‌باشد. جدول (۲) حالت‌های مختلف خشکسالی را در روش SDI نشان می‌دهد.

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

این شاخص برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلندمدت بارندگی برازش داده می‌شود، معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود (Mckee et al, 1995; Sonmez et al, 2005). شدت و تداوم خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در مقیاس‌های بلندمدت توسط این شاخص برآورد می‌شود. چنانچه سری‌های زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه‌های منطقه به‌صورت P_{ij} معرفی شوند که در آن اندیس i سال هیدرولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی را مشخص کند ($j=1$ مهر و $j=12$ شهریور) سری‌های زمانی بارندگی با مدت‌های مختلف را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آورد.

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^k P_{ij} \quad (1)$$

$i=1, 2, \dots$
 $j=1, 2, \dots, 12$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

شاخص بارش استاندارد (SPI) براساس ارتفاع بارش تجمعی (R_{ik}) برای دوره مینا (k) مربوط به (i) سال هیدرولوژیکی به‌صورت رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$SPI_{ik} = \frac{R_{ik} - \overline{R_k}}{S_k} \quad (2)$$

$i=1, 2, \dots$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

به ترتیب میانگین ارتفاع بارش تجمعی و انحراف معیار ارتفاع بارش تجمعی برای دوره مینا (k) می‌باشد. طبقات

شاخص Q_{90}

افزایش نفوذ آب به داخل خاک می‌شود. از نظر آبیاری هر چه مقدار کلسیم محلول آب بیشتر باشد آن مطلوب‌تر خواهد بود. اما افزایش همین عنصر در آب باعث سختی آن می‌شود که استفاده از آن را برای آب شرب و صنعت محدود می‌سازد. منیزیم نیز به مقدار قابل‌توجهی در آب وجود داشته و رفتار آن در آب و خاک مشابه کلسیم است. نمک‌های سدیم و پتاسیم نیز در تمام آب‌های طبیعی به مقدار کم و زیاد وجود دارد (Alizadeh, 2005).

نتایج و بحث

نتایج شاخص خشکسالی هواشناسی SPI

شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای دو ایستگاه باران‌سنجی اصلی حوضه شامل ایلام و چنان که بیشترین تاثیر را بر رواناب و دبی حوضه دارند محاسبه شد که در ادامه نتایج این شاخص برای ایستگاه ایلام ارائه شده است (شکل ۲). البته نتایج ایستگاه چنان نیز بسیار مشابه با نتایج ایستگاه ایلام مشاهده گردید. دلیل به‌کارگیری مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت و طولانی مدت، تشخیص مقیاس زمانی مناسب برای بررسی تغییرات اقلیمی بر متغیرهای مورد بررسی می‌باشد. در مقیاس زمانی ۳ ماهه شاخص SPI نشان داد که شدیدترین خشکسالی‌ها در آبان ۷۵، آذر ۷۷، اردیبهشت ۷۸، اردیبهشت ۷۹، آبان ۸۶، دی ۸۶، فروردین ۸۷، اردیبهشت ۸۷، بهمن ۸۷، اسفند ۸۷، دی و بهمن ۱۳۹۰ می‌باشد. در مقیاس زمانی ۶ ماهه بیشترین تداوم خشکسالی‌ها در ۶ ماهه دوم سال ۸۶ و ۴ ماهه دوم سال ۱۳۹۰ مشاهده شد که در مهر ۹۱ نیز نمایان شده است. در مقیاس‌های زمانی بالاتر تحلیل دوره‌های تر و خشک شفاف‌تر صورت می‌گیرد. به‌طوری‌که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه شاهد افزایش خشکسالی‌ها بوده به‌عنوان مثال در سال ۸۶ تا ۸۷ این روند خشکسالی ادامه داشته است و یک دوره خشکسالی دیگر در سال ۹۰ و نیمه اول ۹۱ مشاهده گردید. در مقیاس ۲۴ ماهه شاهد خشکسالی‌هایی در سال ۸۷ و ۸۸ بوده و در مقیاس ۴۸ ماهه، در سال‌های ۸۹ تا ۹۰ خشکسالی اتفاق افتاده است.

منحنی تداوم جریان یکی از مفیدترین روش‌های نمایشی محدوده کاملی از دبی‌های جریان کم تا جریان‌های سیلابی می‌باشد. منحنی تداوم جریان رابطه بین مقدار دبی معین و درصد زمانی که این دبی برابر یا از حد معینی تجاوز می‌کند، را نشان می‌دهد. شکل و تفسیر عمومی هر منحنی تداوم جریان بستگی به مشخصات هیدرومتری و دوره آماری دارد (Reilly and Kroll, 2003). شکل منحنی تداوم جریان، شاخصی از شرایط هیدرولوژیک حوضه آبخیز می‌باشد. اگر شیب بخش جریان کم منحنی تداوم جریان کوچک باشد جریان کم پایدار می‌باشد و شیب تندتر بیانگر جریان پایه متغیر و کم می‌باشد. جریان‌های در محدوده ۷۰-۹۹ درصد احتمال تجاوز، معمولاً به طور وسیعی در جریان‌های کم مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعضی مثال‌های شاخص جریان عبارتند از: دبی‌های جریان ۱ یا n روزه با احتمال تجاوز ۷۵، ۹۰ و ۹۵ درصد. طولانی‌ترین دوره ثبت شده از روزهای پی در پی جریان صفر به عنوان شاخصی از خشکی شدید می‌باشد. مهمترین شاخص‌های جریان کم که از منحنی تداوم جریان به دست می‌آیند، عبارتند از: Q_{90} ، Q_{95} و Q_{75} . به طور مثال شاخص Q_{90} دبی است که ۹۰ درصد دوره آماری دبی‌ها بزرگتر از آن هستند (Eslamian et al, 2012).

کیفیت آب رودخانه

در مطالعه کیفی جریان‌های سطحی، از نتایج آزمایش ایستگاه هیدرومتری رودخانه گدارخوش طی یک دوره ۲۶ ساله (۱۳۹۱-۱۳۶۵) اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان ایلام استفاده گردید. عناصر و ترکیباتی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند عبارت‌اند از آنیون‌های کلر (Cl)، سولفات (SO_4)، بی‌کربنات (HCO_3) و از مهم‌ترین کاتیون‌ها می‌توان سدیم (Na)، منیزیم (Mg) و کلسیم (Ca) را نام برد که طی سال‌های خشکسالی ممکن است تغییراتی در غلظت آن‌ها ایجاد شود. افزایش یا کاهش هر کدام از این عناصر به‌نوبه خود بر روی کیفیت آب تأثیرگذار هستند، به‌طوری‌که وجود کلسیم در آب باعث

جدول ۱- طبقه‌بندی SPI (Mckee et al, 1993)

طبقه	شدیداً مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب متوسط	مرطوب ملایم	تقریباً نرمال	خشک ملایم	خشک متوسط	خیلی خشک
مقادیر SPI	> 2	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱ تا ۱/۴۹	۰/۵ تا ۰/۹۹	۰/۴۹ تا ۰/۴۹	۰/۵ تا ۰/۹۹	۱- تا ۱/۴۹	۱/۵ تا ۱/۹۹

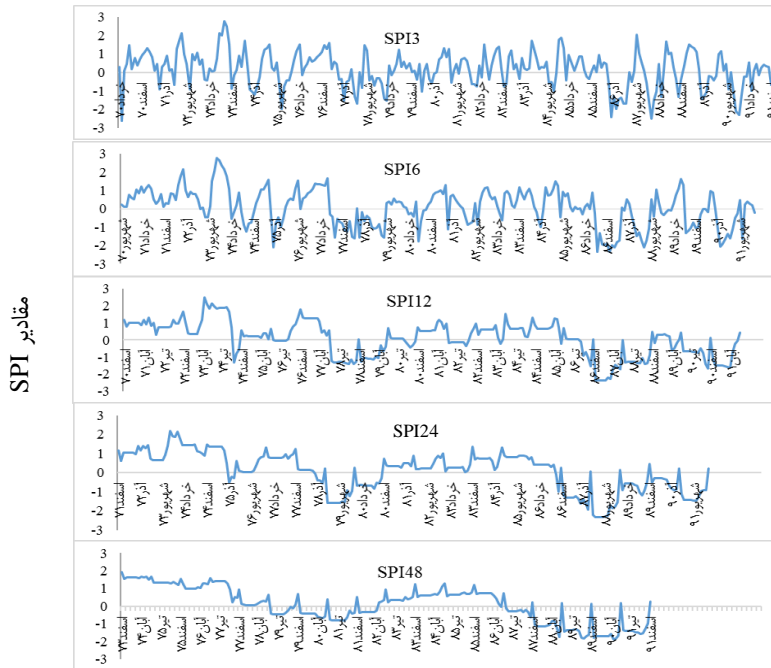
جدول ۲- طبقه‌بندی SDI (Nalbantis and Tsakiri, 2008)

درصد احتمال	محدوده	وضعیت خشکسالی	حالت
۵۱/۶	$0 \leq SDI$	فاقد خشکسالی	۰
۲۵	$-1 \leq SDI < 0$	خشکسالی ملایم	۱
۱۲/۵	$-1/5 \leq SDI < -1$	خشکسالی متوسط	۲
۱۰/۹	$-2 \leq SDI < -1/5$	خشکسالی شدید	۳
۰	$SDI < -2$	خشکسالی خیلی شدید	۴

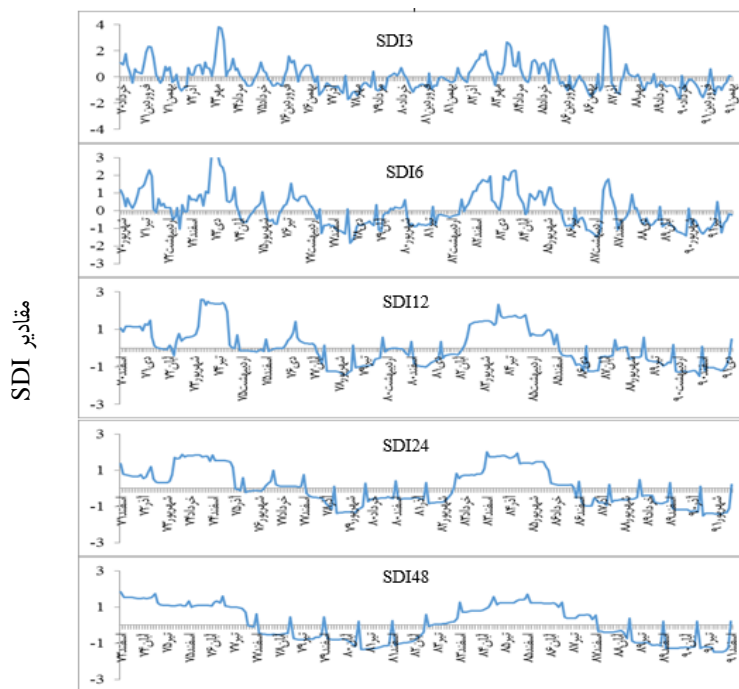
است. به طوری که در سال‌هایی که خشکسالی هواشناسی وجود نداشته است خشکسالی هیدرولوژیک همچنان رخ داده است و یک روند نزولی دارد. به عنوان مثال در سال ۱۳۸۶ که خشکسالی هواشناسی رخ داده است تا سال بعد یعنی ۸۷ خشکسالی هیدرولوژیک ادامه داشته است.

وضعیت آب‌های سطحی براساس نمایه خشکسالی هیدرولوژیک (SDI)

بر اساس شاخص خشکسالی هیدرولوژیک کاهش دبی رخ داده است، که در نمودار شکل (۳) تغییرات ناگهانی از سال‌های ۱۳۷۳ به بعد شروع شده و کاهش دبی در سال‌هایی که خشکسالی وجود داشته است به صورت یک روند چند ساله ادامه پیدا کرده

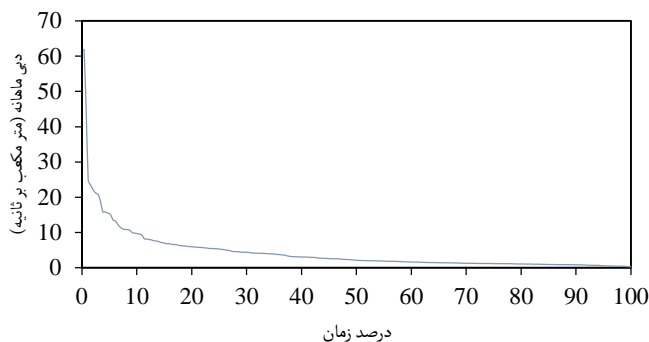


شکل ۲- تغییرات شاخص بارش استاندارد در مقیاس های زمانی مختلف برای ایستگاه باران سنجی ایلام

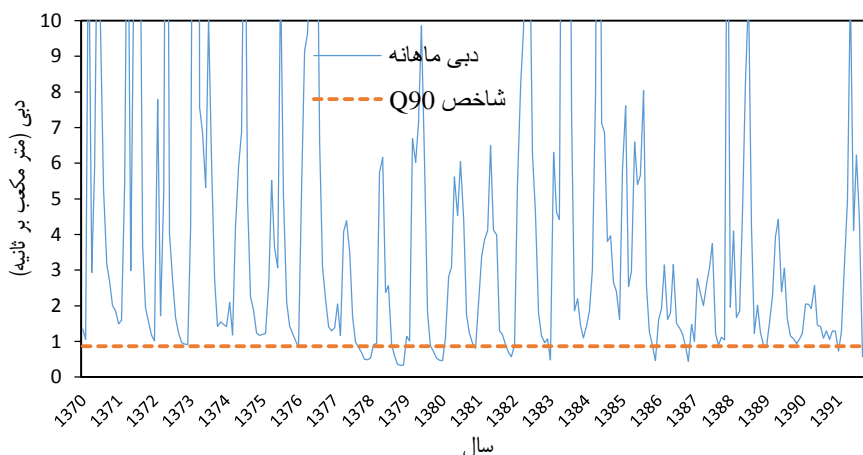


شکل ۳- مقادیر شاخص SDI در مقیاس زمانی مختلف برای ایستگاه هیدرومتری گدارخوش

قیصوری و همکاران: ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ...



شکل ۴- منحنی تداوم جریان



شکل ۵- تعیین دوره خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص Q_{90}

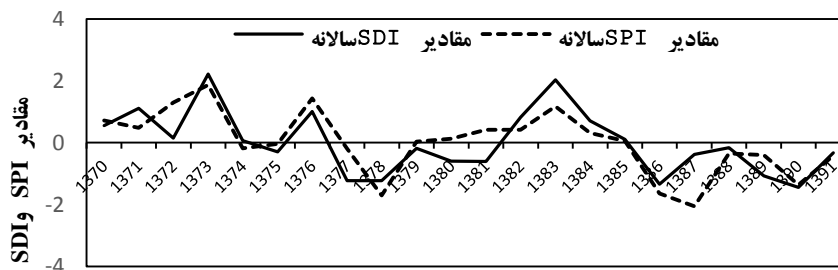
در جدول (۳) دوره‌های خشکسالی با توجه به شاخص SPI و خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص‌های SDI و Q_{90} حوضه مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول، بر اساس شاخص SPI مجموع دوره‌های خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه ۴۴ ماه می‌باشد و مجموع دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص‌های SDI و Q_{90} به ترتیب ۳۸ و ۲۷ ماه می‌باشد. مقایسه دوره‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر اساس شاخص‌های SPI و SDI نشان می‌دهد که در طول ۲۱ ماه هر دو نوع خشکسالی در حوضه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۵۵ درصد خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در زمان خشکسالی‌های هواشناسی که بارندگی‌ها شرایط نرمالی را نداشته‌اند، اتفاق افتاده است. همچنین بر اساس شاخص‌های SPI و Q_{90} دوره‌های مشترک خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ۱۱ ماه می‌باشد.

شاخص جریان کم Q_{90}

به منظور محاسبه شاخص Q_{90} ابتدا آمار دبی ماهانه به صورت نزولی مرتب شد. سپس درصد زمان تجاوز از دبی‌های موجود محاسبه گردید، بدین ترتیب که بیشترین دبی ماهانه مشاهده شده در کل دوره آماری کمترین درصد زمان تجاوز و کمترین دبی مشاهده شده در کل دوره آماری بیشترین درصد زمان تجاوز (۱۰۰ درصد) را به خود اختصاص می‌دهد. در مرحله بعد با قرار دادن درصد زمان‌های تجاوز محاسبه شده در مقابل دبی‌های مربوطه، منحنی تداوم جریان ترسیم می‌گردد (Eslamian et al, 2012). در شکل (۴) منحنی تداوم جریان نشان داده شده است. در آخرین مرحله از روی این منحنی مقدار شاخص Q_{90} ، ۰/۸۶ متر مکعب بر ثانیه بدست آمد. جهت تعیین دوره‌های خشکسالی نیز شاخص Q_{90} به عنوان آستانه خشکسالی در نظر گرفته شد و با توجه به شکل (۵) دوره‌های خشکسالی تعیین گردید. قابل ذکر است که در شکل (۵) برای نمایش بهتر دوره‌های خشکسالی دبی‌های بیشتر از ۱۰ متر مکعب بر ثانیه نمایش داده نشده است.

جدول ۳- دوره های خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI و خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس شاخص های SDI و Q₉₀ در حوضه مورد مطالعه

شاخص Q ₉₀		شاخص SDI		شاخص SPI	
سال آماری	طول دوره (ماه)	سال آماری	طول دوره (ماه)	سال آماری	طول دوره (ماه)
۱۳۷۴-۷۵	۱	۱۳۷۷-۷۸	۶	۱۳۷۴-۷۵	۱
۱۳۷۷-۷۸	۴	۱۳۷۸-۷۹	۶	۱۳۷۷-۷۸	۵
۱۳۷۸-۷۹	۵	۱۳۸۰-۸۱	۱	۱۳۷۸-۷۹	۶
۱۳۸۶-۸۷	۳	۱۳۸۶-۸۷	۶	۱۳۸۶-۸۷	۷
۱۳۸۷-۸۸	۲	۱۳۸۹-۹۰	۶	۱۳۸۷-۸۸	۱۱
۱۳۸۸-۸۹	۲	۱۳۹۰-۹۱	۱۰	۱۳۸۸-۸۹	۴
۱۳۹۰-۹۱	۱	۱۳۹۱-۹۲	۳	۱۳۹۰-۹۱	۸
۱۳۹۱-۹۲	۱			۱۳۹۱-۹۲	۲
	۲				
	۱				
	۵				



شکل ۶- تطبیق زمانی خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک در دوره آماری ۲۲ ساله

طولانی مدت مشاهده گردید (جدول ۵). یکی دیگر از راههای ارزیابی شاخصهای خشکسالی مقایسهی عمق شدت خشکسالی توسط شاخصهای خشکسالی در هر یک از سالهای آماری می باشد. برای ارزیابی سنجهای خشکسالی از نقطه نظر کلاس شدت خشکسالی می بایست توصیف کیفی مقادیر عددی سنجها را کمی نمود، یعنی به هر یک از کلاسهای شدت خشکسالی عددی ثابت که معرف آن طبقه شدت باشد منتسب نمود. به منظور ارزیابی دقیق فراوانی نسبی طبقات هر یک از شاخصها در بازه های زمانی مختلف استفاده شد. شکل (۷) هیستوگرام مربوط به هر شاخص در مقیاسهای زمانی مختلف را نشان می دهد. با توجه به شکل (۷) تفاوت معنی داری بین فراوانی نسبی هر دو شاخص دیده نمی شود. طبقه نرمال در هر دو شاخص SPI و SDI دارای فراوانی بیشتری می باشد، ولی از طرفی دیگر در شاخص SDI طبقه های خشکسالی دارای فراوانی بیشتری نسبت به SPI می باشند. از دلایل این امر می تواند برداشت های بی رویه و تأثیرپذیری جریانهای رودخانه ای از بارندگی باشد که در سالهای اخیر رودخانه گدارخوش با کاهش این بارندگی ها مواجه بوده است که تأثیر خود را به صورت طولانی بودن زمان خشکسالی ها و افزایش فراوانی آنها در این شاخص شده است.

بررسی تطبیق زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک

بر اساس شکل (۶) می توان دریافت که هرچند بین خشکسالی هواشناسی SPI و هیدرولوژیک SDI تطابق زمانی وجود دارد، ولی شدت تأثیر خشکسالی هواشناسی بر هیدرولوژیک از سال ۱۳۷۸ به بعد تغییر کرده است. تغییر شکل ریزش های جوی از شکل بارش برف به بارش باران و افزایش بهره برداری از جریانهای رودخانه ای در بالادست ایستگاههای هیدرومتری می تواند از دلایل این تغییر روند باشد. به منظور بررسی نظم زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک، میانگین وزنی SPI و SDI منطقه در ۵ مقیاس زمانی مقایسه گردید و ضریب همبستگی پیرسون آنها به دست آمد. نتایج نشان دهنده بیشترین همبستگی بین مقیاسهای زمانی ۱۲ و ۲۴ و ۴۸ ماهه بود که می تواند حاکی از بالا بودن همبستگی شاخصهای مربوطه در مقیاس زمانی سالانه در بررسی خشکسالی در حوضه مورد مطالعه باشد (جدول ۴). به منظور بررسی رابطه بارندگی و دبی آبهای سطحی در حوضه آبخیز گدارخوش از بارش شش ایستگاه درون و بیرون حوضه و دبی ایستگاه گدارخوش استفاده شد. نتایج نشان داد که رابطه معنی داری در سطح ۹۰ درصد بین بارندگی و دبی وجود دارد و بیشترین همبستگی در تأخیر زمانی ۱۲ ماهه برای دوره های

میانگین ۲۲ ساله برابر با ۰/۵ میلی‌اکی‌والانت می‌باشد که در طی سال‌های خشکسالی ۴/۰۹ درصد افزایش داشته است. همچنین طی این دوره مقدار کاتیون‌ها نیز ۸/۰۴ درصد افزایش داشته است. شکل ۸ (الف) و (ب) مقدار افزایش آنیون‌ها و کاتیون‌های سال‌های شاخص خشکسالی را نسبت به میانگین درازمدت نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل کیفیت آب رودخانه گدارخوش

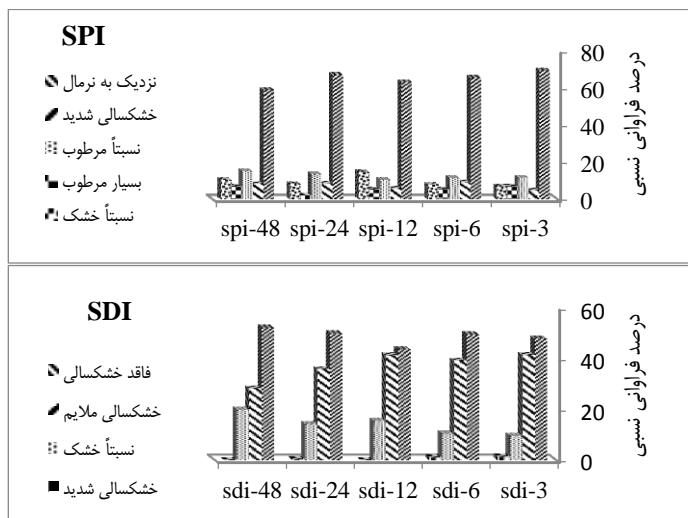
جدول (۶) وضعیت کیفی آب رودخانه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود متوسط مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌ها در طی ۶ سال خشکسالی با میانگین ۲۲ ساله مورد مقایسه قرار گرفته و اختلاف و درصد افزایش آن‌ها در جدول (۶) نشان داده شده است. با توجه به این جدول، در ایستگاه گدارخوش اختلاف مجموع آنیون‌های سال‌های شاخص خشکسالی نسبت به

جدول ۴- ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک جریان‌های رودخانه‌ای

شاخص‌ها و دوره‌ها	SDI ۳ ماهه	SDI ۶ ماهه	SDI ۱۲ ماهه	SDI ۲۴ ماهه	SDI ۴۸ ماهه
SPI ۳ ماهه	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۳۲
SPI ۶ ماهه	۰/۴۱	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۵۰
SPI ۱۲ ماهه	۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۶۷
SPI ۲۴ ماهه	۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۷۷
SPI ۴۸ ماهه	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۸۸

جدول ۵- ضریب همبستگی بین بارندگی و دبی با میانگین متحرک متفاوت (در سطح معنی‌دار ۰/۹۹)

نام ایستگاه	۱۲ ماهه	۹ ماهه	۶ ماهه	۳ ماهه
ایستگاه ایلام	۰/۹۱	۰/۵۱	۰/۸۰	۰/۸۴
ایستگاه چنان	۰/۹۴	۰/۵۷	۰/۸۱	۰/۸۷



شکل ۲- درصد فراوانی نسبی طبقات شاخص‌های خشکسالی SPI و SDI در مقیاس‌های زمانی مختلف

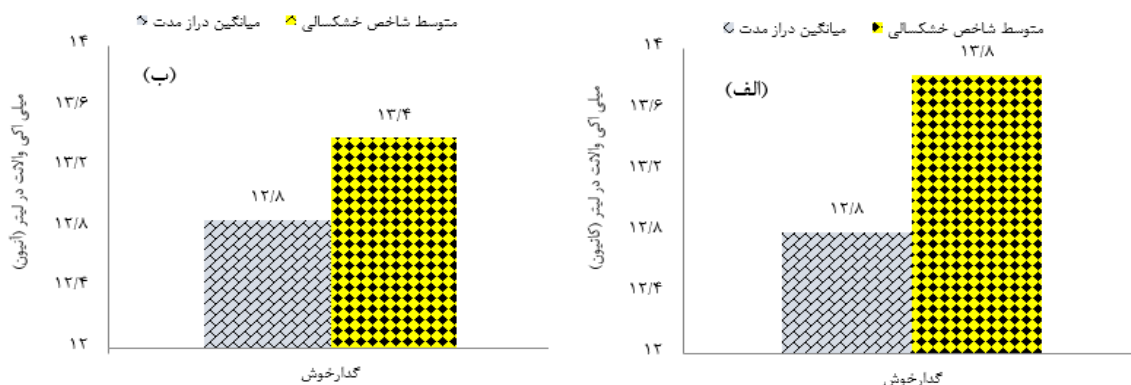
جدول ۶- مقایسه آنیون‌ها و کاتیون‌های متوسط سال‌های خشکسالی به میانگین درازمدت ایستگاه گدارخوش

ایستگاه	ترکیبات	کاتیون			آنیون			
		میلی اکی‌والانت بر لیتر	میلی اکی‌والانت بر لیتر	میلی اکی‌والانت بر لیتر	مجموع آنیون‌ها	میلی اکی‌والانت بر لیتر	میلی اکی‌والانت بر لیتر	
مجموع کاتیون‌ها		Na	Mg	Ca		HCO ₃	CL	SO ₄
میانگین		۳/۳	۲/۸	۷/۳	۱۲/۸۵	۳/۵	۲/۱	۷/۲
دوره خشک		۳/۴۱	۳/۱۵	۷/۲۵	۱۳/۳۹	۳/۲۰	۲/۵۱	۷/۶۸
اختلاف		۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۵	۰/۳	۰/۴۱	۰/۴۸
گدارخوش	درصد افزایش	۳/۳۳	۱۲/۵	۰/۶	۴/۰۹	۸/۵۷	۱۹/۵۲	۶/۶۶

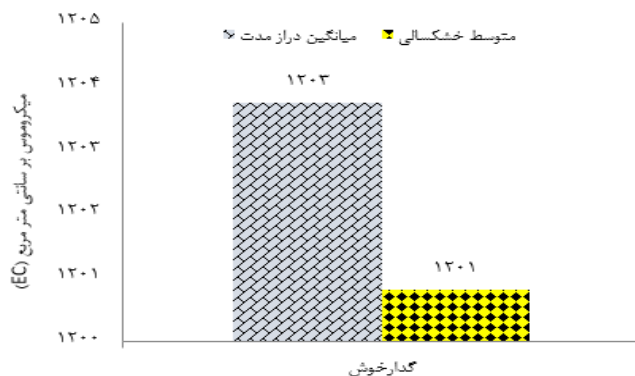
که EC افزایش پیدا کند. در واقع تغییرات دبی رودخانه‌ها در افزایش یا کاهش مقدار EC نقش به‌سزایی دارا می‌باشند (Zahedi-Kalaki, 2004). در منطقه مورد مطالعه نیز با توجه به داده‌های جدول (۶) در سال‌های وقوع خشکسالی EC افزایش داشته است. به طوری که در سال‌های خشکسالی نسبت به میانگین درازمدت در ایستگاه گذارخوش به میزان ۰/۲۴ درصد EC افزایش یافته است. در واقع کاهش دبی رودخانه و افزایش دما از عوامل اصلی افزایش مقدار EC می‌باشد (شکل ۹).

هدایت الکتریکی

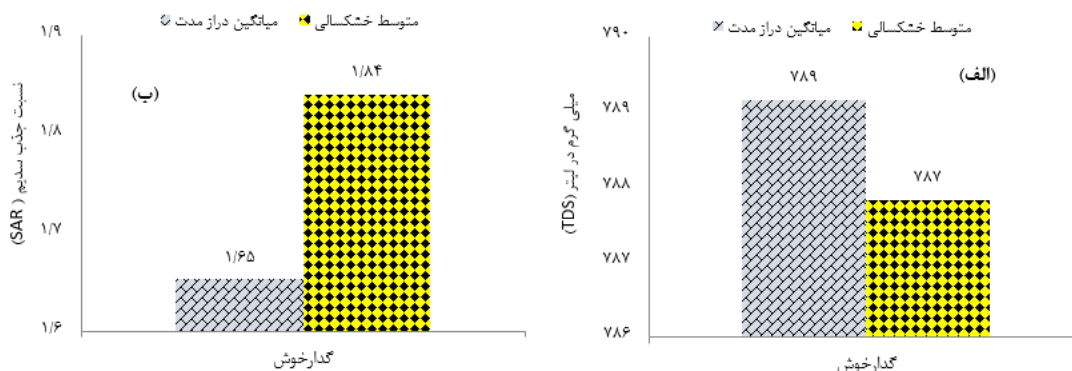
یکی از مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازد. با توجه به نقش درجه حرارت در میزان هدایت الکتریکی آب، به ازای افزایش یک درجه سانتی‌گراد، تقریباً دو درصد EC افزایش می‌یابد (Alizadeh, 2005). بنابراین در طی سال‌هایی که خشکسالی رخ می‌دهد و دمای هوا نیز افزایش می‌یابد، می‌توان انتظار داشت



شکل ۸- نمودار مقایسه‌ای متوسط جمع کاتیون‌ها (الف) و آنیون‌های (ب) سال‌های خشکسالی به میانگین درازمدت



شکل ۹- نمودار مقایسه‌ای متوسط EC نسبت به متوسط سال‌های خشکسالی به میانگین درازمدت ایستگاه

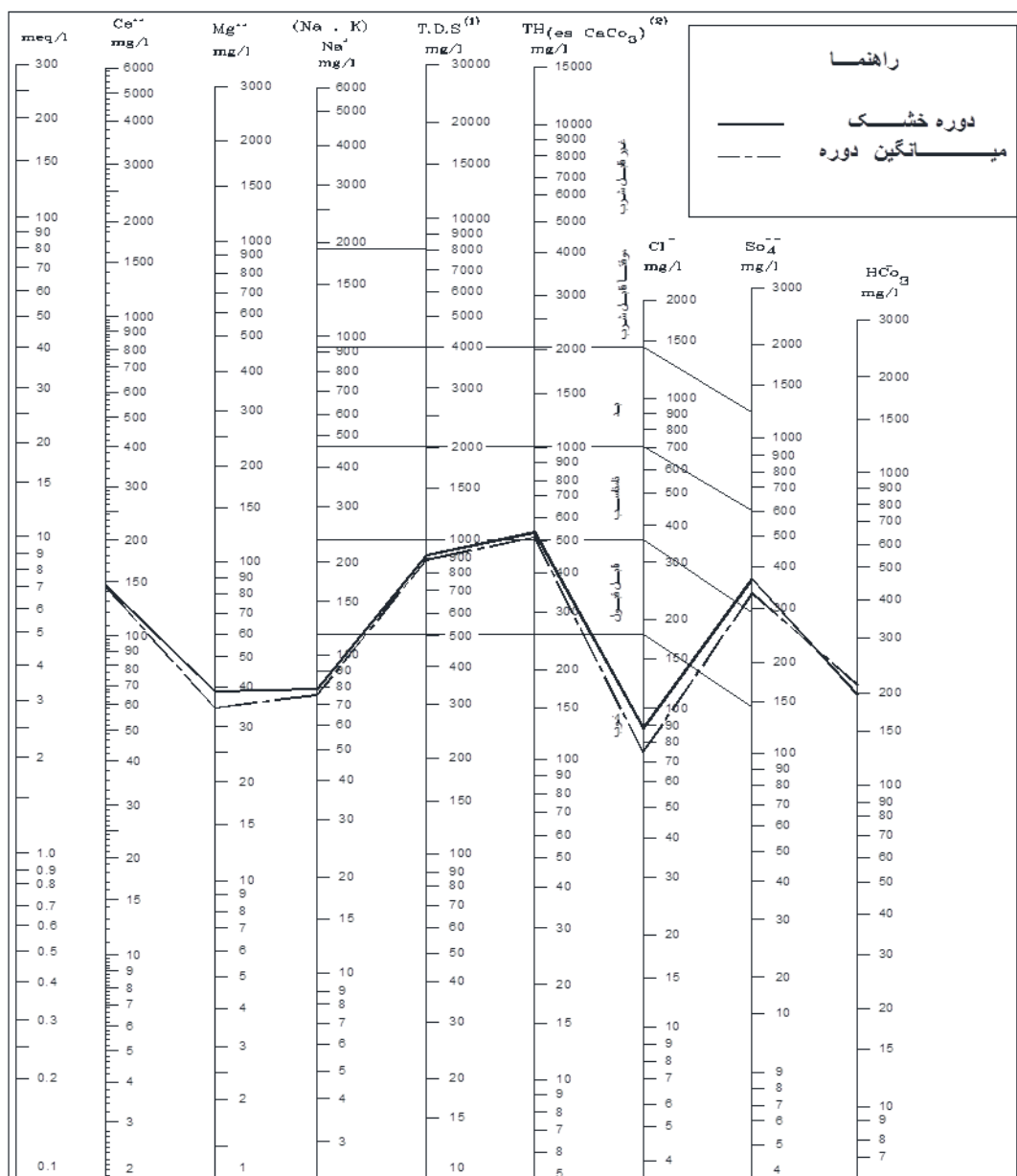


شکل ۱۰- نمودار مقایسه‌ای TDS (الف) و SAR (ب) و نسبت به متوسط سال‌های خشکسالی به میانگین درازمدت ایستگاه

موجود در آب می‌باشد. مواد محلول در آب ممکن است از نظر ماهیت «آلی» یا «معدنی» باشند. مواد حاصل از تجزیه گیاهان، مواد شیمیایی آلی و گازهای آلی، اجزای آلی محلول در آب را تشکیل می‌دهند. این دو عامل نیز مانند عوامل دیگر کیفیت آب، طی سال‌های شاخص خشکسالی دچار تغییراتی در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه گشته‌اند. با توجه به جدول (۶) در ایستگاه مورد مطالعه به ترتیب برای SAR و TDS به میزان ۵/۸۸ و ۰/۱۷ درصد افزایش را نسبت به میانگین درازمدت نشان می‌دهد. شکل ۱۰ (الف و ب) تغییرات شاخص‌ها را نسبت به میانگین درازمدت نشان می‌دهد.

نسبت جذب سدیم و میزان املاح محلول

شاخص SAR (Sodium Adsorption Ratio) یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین کیفیت آب زراعی می‌باشد که افزایش آن کیفیت بد آب را برای کشاورزی به همراه دارد. از طرفی اندازه‌گیری محتوای ترکیبی از تمام مواد آلی و غیر آلی موجود در یک مایع در مولکولی، یونیزه و یا میکرو گرانول (سلول کلوئیدی) است. تی دی اس را نمی‌توان به‌عنوان معیار اصلی مشخص کننده کیفیت آب در نظر گرفت و بیشتر درجه شفافیت آب را مشخص می‌کند. منظور از Total Dissolved Solids (TDS) کل مواد جامد محلول در آب است که برابر مجموع غلظت همه یون‌های



شکل ۱۱- نمودار شولر آب رودخانه گدارخوش در دوره خشکسالی و میانگین دوره (Hajrasouliha and Dahi, 2003)

نتیجه گیری

مطالعه هرچند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک بر کیفیت آب تأثیرگذار بوده است ولی تغییرات زیادی مشاهده نگردید و بر اساس نمودار شولر کیفیت آب این حوضه آبخیز در حد نسبتاً قابل قبول به دست آمد (شکل ۱۱). نتایج این مطالعه با نتایج تحقیقات Zahedi-Kalaki (2004) مشابه می باشد. وی بیان کرد عناصر و ترکیب‌های مختلفی در آب وجود دارند که روی کیفیت شیمیایی و فیزیکی آب مؤثر می باشند که در اثر شرایط خاصی چون افزایش و کاهش دبی دچار تغییراتی می شوند. یکی از این شرایط خشکسالی می باشد که کاهش دبی و تغییرات کیفی آب را به همراه دارد. Lashti-Zand et al (2011) بررسی اثرات تغییرات بارش بر وضعیت کمی و کیفی آب رودخانه سزار لرستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کاهش کیفیت آب در اثر نتیجه کاهش دبی است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. همچنین Mahmoudi et al (2015) نتایج مشابه این تحقیق را به دست آوردند و تغییرات غلظت نیون‌ها و کاتیون‌ها را دلیل خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه شان دانستند. آگاهی از این مسئله می تواند به مدیران و برنامه ریزان برای مدیریت بهینه منابع آب کمک زیادی بکند. در نهایت می توان با تغییر الگوی کشت و به کارگیری روش‌های نوین جهت آبیاری و بهره برداری از منابع آب سطحی به یک مدیریت صحیح و پایدار دست یافت که علاوه بر حفظ آب و خاک اکوسیستم منطقه در سال‌های خشک نیز پایدار بماند.

بررسی‌ها نشان داد که بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک ارتباط معنی داری وجود دارد به نحوی که وقوع خشکسالی هواشناسی سبب کاهش حجم آبدهی سطحی شده است که این روند کاهشی در سال‌های بعد هم ادامه داشته است. نتایج بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک حاکی از افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به ویژه خشکسالی هیدرولوژیک در سال‌های بعد خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی ۱۲ ماهه می باشد. بر اساس تحقیقات Bhuiyan (2004) خشکسالی هواشناسی سبب کاهش حجم آبدهی سطحی در سال ۱۹۸۷ در حوضه آروالی هند شده است که این روند کاهشی در سال‌های بعد هم ادامه داشته است. اما خشکسالی هیدرولوژیک و تنش آب در سال بعد یعنی از سال ۱۹۸۹ شروع شده و تا ۱۹۹۶ ادامه داشته است، که با نتایج تحقیق حاضر مشابه است. بررسی دوره‌های زمانی خشکسالی با شاخص‌های خشکسالی در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده افزایش خشکسالی‌ها در طی دهه ۷۰-۸۰ و ۸۰-۹۰ می باشد. از طرفی حدود ۵۵ درصد خشکسالی‌های هیدرولوژیک در زمان خشکسالی‌های هواشناسی که بارندگی‌ها شرایط نرمالی را نداشته‌اند، اتفاق افتاده است. همچنین بر اساس شاخص‌های SPI و Q₉₀ دوره‌های مشترک خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک ۱۱ ماه به دست آمد. وقوع یک سال بسیار کم باران حتی با نرمال بودن بارش در سال بعد از آن، می تواند تأثیرات منفی درازمدتی بر منابع آب سطحی بگذارد. در منطقه مورد

منابع

- 1- Alizadeh, A., 2005. *Principles of applied hydrology*, Ferdowsi University of Mashhad, 500 p. (In Persian)
- 2- Bhuiyan, C., 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. *In twentieth ISPRS Congress*, pp. 12-23.
- 3- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M., and Thomas, O., 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35(8), pp. 1225-1233.
- 4- Dupigny, L., and Giroux, A., 2001. Towards characterizing and planning for drought environment-part, Climatological persecute. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(3), pp. 505-525.
- 5- Eslamian, S. S., Ghasemi, M., Soltani Gerdefaramarzi, S., 2012. Computation and Regionalization of Low Flow Indices and Determination of Hydrological Drought Durations in Karkhe Watershed. *JWSS - Journal of Water and Soil Science*, 16 (59), pp. 1-14. (In Persian).
- 6- Eskandari-Damaneh, H., Zehtabian, Gh., Khosravi, H., Azareh, A., 2016. Investigation and Analysis of Temporal and Spatial Relationship between Meteorological and Hydrological Drought in Tehran Province, *Scientfc - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(96), pp. 113-120. (In Persian).
- 7- Faghani, M., 2015. *Time and Spatial Analysis of Meteorological drought*, Master's thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 80 p. (In Persian).

- 8- Fathi-Osboukalaie, R., 2015. *Analysis of Hydrological Drought Time (Case Study of Araz-kouseh Station in Golestan Province)*. Master's thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 97 p. (In Persian).
- 9- Hajrasouliha, Sh., Dahi, M., 2003. *Water quality for agriculture*. Jahad University Press, 264 p. (In Persian).
- 10-Heidari, M., Farokhi, A., Tanian, V., Hesari, B., 2009. Meteorological Drought Analysis (Using DIP Software) and Hydrological: A Case Study of Urmia and Khoy. *5th Iranian Watershed Science and Engineering Conference*, 114 p. (In Persian).
- 11-Hong, X., Guo, S. H., and Zhou, Y., 2015. Uncertainties in assessing hydrological drought using stream flow drought index for the upper Yangtze River basin, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 26, pp. 1235- 1247.
- 12-Lashtie-zand, M. Parvaneh, B., Moradi, M., 2011. Investigating the Effects of Rainfall Changes on the Quantitative and Qualitative Status of Sezar River for Drinking and Farming, *Proceedings of the National Conference on Watershed Engineering Sciences of Isfahan University*. (In Persian).
- 13-Liu, L., Bednarczyk, C.N., Yong, B., Hocker, J.E. and Shafer, M.A., 2011. Hydro-climatological Drought Analyses and Projection Using Meteorological and Hydrological Drought Indices, *Water Resources Management*, 26, pp. 2761- 1779.
- 14-Mahmoudi, P., Tavousi, T., Shahozaie, A., 2015. Drought and its effect on surface water quality in Sistan and Balouchestan Province, *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(1), pp. 21-35. (In Persian).
- 15-McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), pp. 179-183.
- 16-McKee, T.B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *In Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology*, pp. 233-236.
- 17-Mosley, L. M., 2015. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews*, 140, pp. 203-214.
- 18-Nalbantis, G., and Tsakiri, S., 2008. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 23(5), pp. 881-891.
- 19-Nosrati, K., 2011. The effects of hydrological drought on water quality. Assessment of water quality under changing climate conditions. *IAHS Publ, Wallingford*, pp. 51-57.
- 20-Reilly, C.F. and Kroll, C.N., 2003. Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. *Water Resources Research*, 39(9), pp. 1-10.
- 21-Smakhtin, V.U. and Hughes, D.A., 2006. Automated estimation and analysis of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Journal of Environmental Modeling and Software*, 22(6), pp. 880- 890.
- 22-Soleimani, F., and Bahremand, A., 2014. Hydrological Drought Analysis Using SDI Index in Halilrud Basin of Iran, *Environmental Resources Research*, 2, pp. 47- 56.
- 23-Sonmez, F.K., Komuscu, A.U., Erkan, A., and Turgu, E., 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35, pp. 243-264.
- 24-Zahedi-Kalaki, A., 2004. *Investigating the effects of drought on quantity and quality of water resources in Behshahr*. Master's thesis of Climatology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, 75 p. (In Persian).