

خشکسالی و تاثیر آن بر کیفیت منابع آب سطحی در استان سیستان و بلوچستان

پیمان محمودی^۱، تقی طاوسی و عبدالرئوف شاهوزئی

استادیار گروه جغرافیای طبیعی - اقلیم تناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی - اقلیم تناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

t.tavousi@gep.usb.ac.ir

کارتناس هواتناسی همدید، مرکز تحقیقات هراتناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

r_shahozaei@yahoo.com

چکیده

مواد و ترکیب های 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. در این تحقیق جهت تحلیل خشکسالی های استان سیستان و بلوچستان از شاخص نمره استاندارد که یکی از شاخص های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی می باشد بهره گرفته شده است. بر اساس این شاخص استان سیستان و بلوچستان در طول دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۷۶)، به نناوب خشکسالی ها و ترسالی های گوناگونی را با شدت های مختلف تجربه کرده است. به طوریکه بیشترین فراوانی خشکسالی ها مربوط به خشکسالی های ضعیف یا ۲۶/۷ درصد و خشکسالی های متوسط یا ۲۰ درصد بوده است. سپس بر اساس همین شاخص، سال های تر و خشک مشخص و در نهایت سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ به عنوان نماینده سال های خشک انتخاب گردید. در مطالعه کیفی جریان های سطحی نیز از نتایج آزمایش چهار ایستگاه هیدرومتری رودخانه های سیانجاء، هیرمند، یمپور و یاهوکلات طی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۶-۱۹۹۷) استفاده گردید. بیشترین تغییرات در غلظت کاتیون ها و آنیون ها در ایستگاه پایاب سد کهک مشاهده گردید که میزان آنها در حدود ۲۲ درصد بود. مقدار EC نیز در دوره شاخص خشکسالی دارای تغییراتی بود. به طوریکه در سال های شاخص خشکسالی نسبت به میانگین درازمدت در ایستگاه های پایاب سد کهک، دامن، لادیز و پیردان به ترتیب ۱۲/۷، ۲/۵، ۰/۹۵ و ۰/۰۳ درصد افزایش یافت. در واقع کاهش دبی پایه رودخانه و افزایش دما در اثر خشکسالی باعث افزایش مقدار EC شده بود. و در نهایت از لحاظ مقدار نسیت جذب سدیم نیز شاهد ۵/۵ درصد افزایش در دوره خشک بودیم.

واژه های کلیدی: شاخص نمره استاندارد، کیفیت منابع آب، نسبت جذب سدیم.

^۱ - آدرس نویسنده سئول، استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی سطحی، گروه جغرافیای طبیعی

* - دریافت، شهریور ۱۳۹۱ و پذیرش، اسفند ۱۳۹۳

مقدمه

دهد که خشکسالی‌ها از چند ماه تا چند سال ممکن است به درازا بکشد (فرد و حیدری، ۱۳۸۱: ۱۶). برای نمونه مطالعات نشان داده است که خشکسالی‌های سال ۱۹۷۶-۱۹۷۵ در شمال غربی اروپا فقط شش ماه طول کشیده است در حالی که خشکسالی‌های منطقه ساحل آفریقا، با شرایطی بسیار خشک‌تر از اروپا، حدود ۱۶ سال طول کشیده است (خالدی، ۱۳۸۰: ۱۰۸-۱۰۳). متأسفانه از تاریخ دقیق زمانی که پدیده خشکسالی به صورت علمی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است اطلاعات صحیحی در دست نیست و آنچه مسلم است آغاز بررسی آنرا می‌توان به اظهارات کلی در اوایل قرن بیستم مربوط دانست که به تدریج با پیشرفت علم آب و هوا شناسی این موضوع نیز بیشتر مورد توجه قرار گرفت (فرج زاده اصل، ۱۳۷۴: ۷).

مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳، شاخص SPI را در ایالات کلرادو مورد استفاده قرار دادند و به کمک آن خصوصیات مختلف خشکسالی‌ها را در مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۲۸ ماهه بررسی کردند (صفدری و همکاران، ۱۳۸۲: ۱۴). در سال ۲۰۰۳، نیتال و گان مطالعات خود را در شرق آفریقا آغاز نمودند و با استفاده از سه روش SPI^1 ، BMI^2 و $PDSI^3$ شدت خشکسالی را در این محدوده مورد بررسی قرار دادند که بر اساس بررسی‌های به عمل آمده در این منطقه، در بین هر سه شاخص، SPI برای نمایش خشکسالی در شرق آفریقا بسیار مناسب‌تر تشخیص داده شد (نیتال و گان، ۲۰۰۳: ۱۳۵۷-۱۳۳۵).

همچنین مطالعاتی که در سال ۲۰۰۶ در ایالات متحده انجام شده نشان می‌دهد که در ایالات متحده شرقی مقادیر SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت می‌تواند در پایش خشکسالی در هر فصلی مورد استفاده قرار بگیرد در حالیکه در غرب ایالت متحده به علت توزیع مشخص بارش فصلی آن، کاربرد مناسب این شاخص

کمبود آب و تامین آب یکی از چالش‌های قرن حاضر است که در آینده یکی از مشکلات عمده بشریت به حساب خواهد آمد. افزایش جمعیت، رشد روز افزون فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و گسترش بی‌رویه شهرها منجر به آلودگی منابع آب و ایجاد بحران‌های منطقه‌ای ناشی از توزیع ناهمگون منابع و مصارف در بسیاری از نقاط جهان شده است. این بحران‌ها در کنار تغییرات جری و نزدیک شدن به انتهای منابع غیر قابل احیا مانند نفت بیش از پیش مسئله مدیریت یکپارچه و جامع آب و استفاده بهینه از آن به عنوان یک منبع انرژی پایدار را مطرح کرده است (زاهدی کلاکی، ۱۳۸۳: ۵).

پدیده خشکسالی که به کمبود بارش در یک دوره بلند مدت گفته می‌شود به دلیل گستردگی مکانی و داشتن تبعات کوتاه مدت و بلند مدت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، یکی از مهمترین بلاهای طبیعی محسوب می‌شود. اگرچه امروزه به علت پیشرفت‌های علمی و گسترش ارتباطات و حمل و نقل، بروز آثار خشکسالی به شکل فحطی و مرگ دسته جمعی کمتر بروز می‌کند، اما آثار و تبعات دیگر ناشی از آن، همچنان پابرجاست؛ به طوریکه بروز این پدیده می‌تواند موجبات کاهش رطوبت خاک، جریان آب‌های سطحی و افت آب‌های زیرزمینی را به همراه داشته باشد (منیری، ۱۳۸۳: ۲).

بر اساس پارامترهای مورد مطالعه، خشکسالی به انواع مختلف اقلیمی، هیدرولوژی و کشاورزی تقسیم می‌شود. انواع خشکسالی‌ها با یکدیگر ارتباط زمانی و مکانی دارند، به طوریکه خشکسالی‌های هواشناسی پیش از انواع دیگر خشکسالی‌ها رخ داده و خشکسالی‌های کشاورزی و هیدرولوژیکی پس از آن به وقوع می‌پیوندد. خشکسالی‌های هواشناسی با تاخیر زمانی در یک مکان به خشکسالی‌های کشاورزی و سپس به خشکسالی‌های هیدرولوژی منجر می‌شود.

مطالعه بارندگی در برخی از مناطق جهان که از ۴۰۰ سال قبل سابقه اندازه‌گیری باران را دارند نشان می‌دهد

² - Standardized Precipitation Index

³ - Bhalme & Moolley Index

⁴ - Palmer Drought Severity Index

وجود ندارد و خشکسالی به طور غیر مستقیم بر منابع آب زیر زمینی اثر می گذارد. مطالعه خوشحال و همکاران (۱۳۹۱) در دشت دهگلان استان کردستان نیز نشان داد که با توجه به برداشت بیش از اندازه از سفره های آب زیرزمینی، خشکسالی های طولانی مدت، تاثیر مخرب تری در مقایسه با دوره های کوتاه تر در افت سطح ایستابی داشته اند. کرمی و کاظمی (۱۳۹۱) در یک مطالعه موردی نشان دادند میزان آب های زیرزمینی شور و خیلی شور در دشت تبریز در سال شاخص خشکسالی ۲۸/۲ درصد و آب های زیرزمینی با قلیابیت زیاد ۲۵/۳۵ درصد بوده در حالیکه در سال شاخص ترسالی آب های زیرزمینی شور و خیلی شور ۱۸/۱۵ درصد و با قلیابیت زیاد ۴/۹۲ درصد آب های زیرزمینی را تشکیل می دهد.

با کنکاش و بررسی که در منابع موجود صورت گرفت مشاهده گردید که کارهای انجام شده در خصوص اثر خشکسالی بر کیفیت منابع آب سطحی بسیار کم و در حد چند مقاله و پایان نامه بوده است که می توان به کارهای چهاردولی (۱۳۸۳) و زاهدی کلاکی (۱۳۸۳) در این زمینه اشاره نمود.

در این دو کار اثر خشکسالی بر روی کمیت و کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی شهرستان های بهشهر و ملایر توجه شده است که نتیجه هر دو تحقیق اثر این پدیده اقلیمی را بر منابع آبی این دو شهرستان هم از لحاظ کمی و هم از لحاظ کیفی تایید می کند. لذا در این تحقیق اثرات خشکسالی های اخیر استان سیستان و بلوچستان و تاثیراتی که این خشکسالی ها بر روی کیفیت آب های جاری داشته است مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران بین ۵۸ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و سه دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. وسعت آن ۱۸۷۰۵۲ کیلومتر مربع است. این استان بیش از ۱۱ درصد از وسعت

بیچیده تر است (هونگ و همکاران، ۲۰۰۶: ۷۹-۶۵). در سال ۱۹۹۹، گاتمن، توزیع گاما را با پیرسون تیپ سه مقایسه کرد، یک آزمون از این نتایج نشان داد که توزیع گاما اولاً از نظر شدت خشکسالی و در ثانی از نظر مقدار و طول مدت به خوبی و معادل پیرسون تیپ سه می باشد (گیدینگز و همکاران، ۲۰۰۵: ۵۶-۳۳).

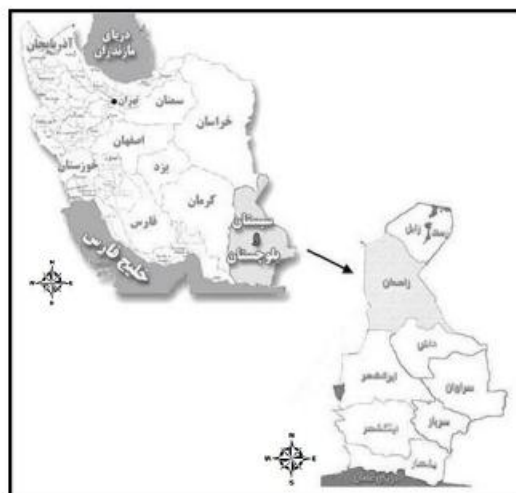
در ارتباط با خشکسالی های ایران، فرج زاده (۱۳۷۴)، خوش اخلاق (۱۳۷۷)، غیور (۱۳۷۵) و عزیزی (۱۳۷۸) مطالعات جامعی را انجام داده اند که بیشتر آنها نه از دیدگاه کاربردی بلکه از دیدگاه شناختی بوده است. اما از مطالعاتی که اختصاصاً بر روی استان سیستان و بلوچستان و یا قسمتی از آن متمرکز بوده است می توان به کارهای مهدویان و همکاران (۱۳۸۰)، مقدم و همکاران (۱۳۸۰)، ناظم السادات و قاسمی (۱۳۸۰)، رضائی پزند و مهدی پور (۱۳۸۰)، کیخانی و محمدی (۱۳۷۹)، محمودی و شاهزونی (۱۳۸۶) و در نهایت نگارش و همکاران (۱۳۸۹) اشاره نمود.

این تحقیقات نیز همچون دیگر تحقیقاتی که در زمینه خشکسالی در ایران انجام شده است اغلب بنیادی بوده و تنها جنبه های اقلیمی خشکسالی ها را مورد بررسی قرار داده اند، در حالیکه تاثیر خشکسالی ها بر روی کیفیت منابع آب چه آب های سطحی و چه آب های زیرزمینی حائز اهمیت است به خصوص تاثیراتی که این تغییرات می توانند بر روی کیفیت منابع آب شرب، آب مورد استفاده در کشاورزی و صنعت بگذارند. عزیزی (۱۳۸۲) با بررسی ویژگی های زمانی-مکانی خشکسالی های دشت قزوین و اثرات آن بر منابع آب زیرزمینی این دشت به این نتیجه رسید که تاثیر خشکسالی ها در آب های زیرزمینی با دو الی سه ماه تاخیر نسبت به خشکسالی های اقلیمی بروز می کند.

محمدی و شمسی پور (۱۳۸۲) نیز با بررسی رابطه بین خشکسالی ها و افت منابع آب زیرزمینی در دشت های شمال همدان نتیجه گرفتند که بین کاهش بارش و افت سطح ایستابی ضریب همبستگی معناداری

اثر جبهه‌های مدیترانه‌ای نسبت به سایر نقاط کشور سبب شده که این منطقه از رطوبت کمتری برخوردار باشد و در نتیجه همواره با خطرات و عوارض ناشی از خشکسالی مواجه شده باشد.

کل کشور را در بر می‌گیرد و بزرگترین استان کشور است. از شمال به خراسان جنوبی، از غرب به استان کرمان و هرمزگان و از جنوب به دریای عمان و از مشرق به افغانستان و پاکستان محدود است (شکل ۱). قرارگیری این استان در عرض‌های پایین و دور بودن از محدوده



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان

منابع آب سطحی استفاده شده است. نوع و مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (۱) و پراکنش آنها در سطح استان در شکل (۲) آورده شده است. داده‌های خام مورد استفاده در این تحقیق داده‌های سالانه، فصلی و ماهانه بارش برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۵) بوده است. داده‌های مورد استفاده دارای نواقص فراوانی بودند که ابتدا با استفاده از روش نسب‌ها اقدام به بازسازی آنها گردید، سپس همگنی و مستقل بودن داده‌ها با استفاده از روش گردش حول میانه مورد آزمون قرار گرفت و همگنی و وابستگی آنها در سطح معناداری پذیرفته شد.

به علت اینکه رخداد خشکسالی جزء پدیده‌های نادر طبیعی به شمار می‌آید همانند مطالعات آب و هوایی دیگر، مستلزم وجود آمار دراز مدت جهت تحلیل است و هر قدر آمارهای مورد استفاده، سال‌های بیشتری را در بر بگیرد، تحلیل‌های صورت گرفته بیشتر با واقعیت منطبق خواهند بود. گزارش سازمان هواشناسی جهانی حداقل سال‌های آماری مورد نیاز برای اینگونه بررسی‌ها را ۳۰ سال عنوان می‌کند (فرج‌زاده، ۱۳۷۴: ۶۶). بر همین اساس در این تحقیق از آمار هشت ایستگاه سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی استان سیستان و بلوچستان جهت تجزیه و تحلیل خشکسالی‌ها و تاثیر آنها بر روی کیفیت

جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	طول دوره آماری	نوع ایستگاه
زابل	۳۱° ۱۳'	۶۱° ۲۹'	۴۸۹	۱۹۷۶-۲۰۰۵	سینوپتیک
زاهدان	۲۹° ۲۸'	۶۰° ۵۳'	۱۳۷۰	۱۹۷۶-۲۰۰۵	سینوپتیک
خاش	۲۸° ۱۳'	۶۱° ۱۲'	۱۳۹۴	۱۹۷۶-۲۰۰۵	سینوپتیک
ایرانشهر	۲۷° ۱۲'	۶۰° ۴۲'	۵۹۱	۱۹۷۶-۲۰۰۵	سینوپتیک
چابهار	۲۵° ۱۴'	۶۰° ۳۰'	۸	۱۹۷۶-۲۰۰۵	سینوپتیک
سرباز	۲۶° ۳۸'	۶۱° ۱۶'	۸۸۰	۱۹۷۶-۲۰۰۵	اقلیم‌شناسی
نصرت‌آباد	۲۹° ۵۱'	۵۹° ۵۸'	۱۰۰۰	۱۹۷۶-۲۰۰۵	اقلیم‌شناسی
جالق	۲۷° ۳۷'	۶۲° ۴۷'	۸۶۰	۱۹۷۶-۲۰۰۵	باران‌سنجی



شکل ۲ نوع و پراکنش ایستگاه های مورد مطالعه در سطح استان سیستان و بلوچستان

$$Z = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

که در آن:

P_i : بارش در زمان مشخص، \bar{P} : میانگین بارش و SD : انحراف معیار است. بنابراین این شاخص از نظر مقایسه ای بین ایستگاه های مختلف می تواند کاربرد زیادی داشته باشد. جدول شماره (۲) توصیف کیفی خشکسالی ها و ترسالی ها را بر اساس شاخص نمره استاندارد (Z) نشان می دهد.

جدول ۲- توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص نمره استاندارد (Z) (فرج زاده اصل، ۱۳۷۴)

نمره شاخص	توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی
$Z > 1/75$	ترسالی بسیار شدید
$1/25 < Z < 1/75$	ترسالی شدید
$0/75 < Z < 1/25$	ترسالی متوسط
$0/25 < Z < 0/75$	ترسالی ضعیف
$-0/25 < Z < 0/25$	نرمال
$-0/75 < Z < -0/25$	خشکسالی ضعیف
$-1/25 < Z < -0/75$	خشکسالی متوسط
$-1/75 < Z < -1/25$	خشکسالی شدید
$Z < -1/75$	خشکسالی بسیار شدید

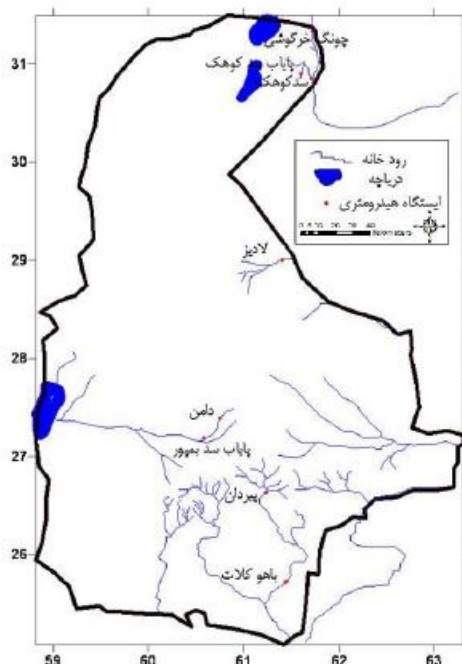
در مطالعه کیفی جریان های سطحی، از نتایج آزمایش چهار ایستگاه هیدرومتری رودخانه های سیانجه، هیرمند، بمپور و باهوکلالت با نام های پایاب سد کهک، لادیز، دامن و پیردان طی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۶-۱۹۹۷) که از سازمان آب منطقه ای استان سیستان و

بلوچستان نیز جهت تجزیه و تحلیل خشکسالی ها از شاخص نمره استاندارد استفاده شد. این شاخص یکی از شاخص های اصلی تعیین خشکسالی ها و ترسالی های یک منطقه بوده و از شاخص های اصلی در مطالعه تغییرات گرایش به مرکز می باشد و یکی از روش های پیشنهادی سازمان هواشناسی برای تحلیل بارش نیز می باشد (زاهدی کلای، ۱۳۸۳: ۳۵). این شاخص از رابطه زیر بدست می آید (فرج زاده، ۱۳۸۴: ۴۲):

سپس بر اساس همین شاخص، سال های تر و خشک مشخص و در نهایت سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ به عنوان نماینده سال های خشک انتخاب گردید شکل (۴) و این دوره پنج ساله با استفاده از نرم افزار SURFER و با استفاده از روش کریجینگ پهنه بندی شد شکل (۵).

موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در شکل (۳) آورده شده است. در خصوص کیفیت آبها و نحوه طبقه بندی آبها در بخش‌های مختلف صنعت، شرب و کشاورزی به منبع عزیزاده (۱۳۸۳) مراجعه شود.

بلوچستان اخذ شده بود، استفاده گردید. از دیگر رودخانه های استان به دلیل تازه تاسیس بودن و نقص آماری چشم پوشی شد. عناصر و ترکیباتی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از: آنیون ها و کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم. پراکنش و



شکل ۳ رودخانه ها و پراکنش ایستگاه های هیدرومتری مورد مطالعه در سطح استان

گروه گواه (در مطالعه حاضر ۱۰ سال)، S_1^2 : واریانس گروه آزمایشی (دوره پنج ساله خشکسالی ۲۰۰۴-۲۰۰۰)، S_2^2 : واریانس گروه گواه (دوره ده ساله مورد مطالعه ۲۰۰۶-۱۹۹۷). لازم به ذکر است که این آزمون در سطح معنی داری پنج درصد صورت گرفته است.

در نهایت جهت آزمون معنی دار بودن تفاوت بین مقادیر دوره خشکسالی (۲۰۰۴-۲۰۰۰) با مقادیر دوره بلندمدت (۲۰۰۶-۱۹۹۷) عناصر و ترکیبات شیمیایی آب از آزمون t بهره گرفته شد. لازمه انجام آزمون t آن است که نسبت بین واریانس آزمایشی (تفاوت مشاهده شده بین میانگین دو نمونه) و واریانس خطا (عامل مربوط به خطای نمونه گیری) محاسبه شود. این نسبت به شکل زیر محاسبه می شود:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}} \quad (2)$$

که در آن:

M_1 : میانگین گروه آزمایشی (دوره پنج ساله خشکسالی ۲۰۰۴-۲۰۰۰)، M_2 : میانگین گروه گواه (دوره ده ساله مورد مطالعه ۲۰۰۶-۱۹۹۷)، N_1 : تعداد افراد گروه آزمایشی (در مطالعه حاضر پنج سال)، N_2 : تعداد افراد

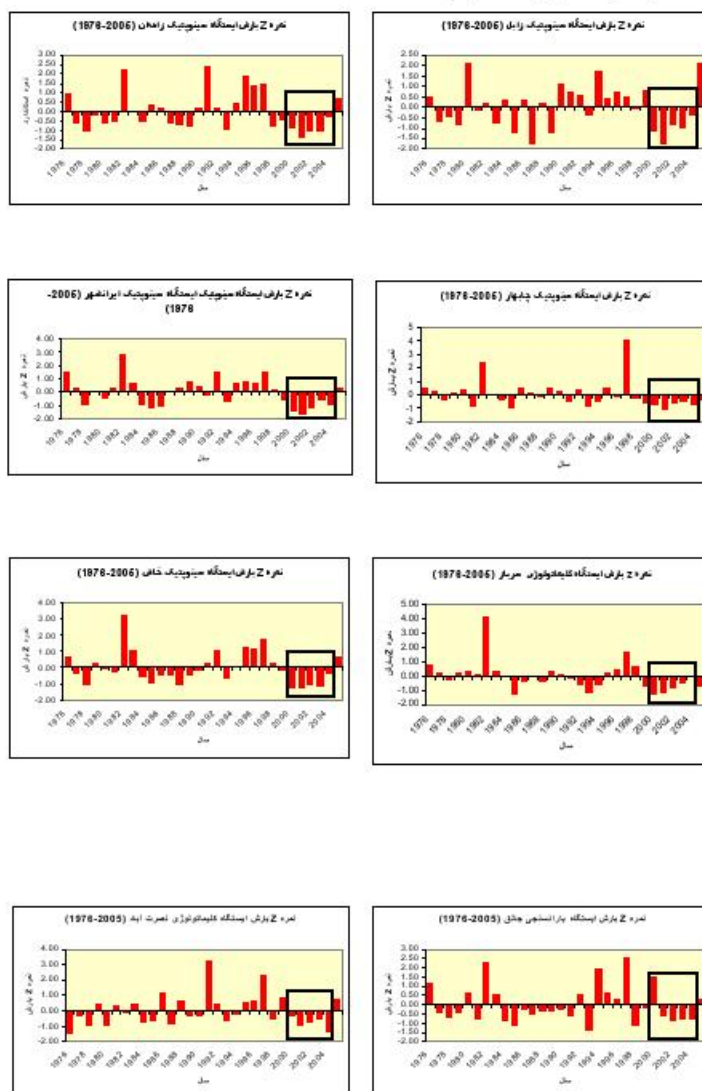
نتایج

تجزیه و تحلیل خشکسالی ها

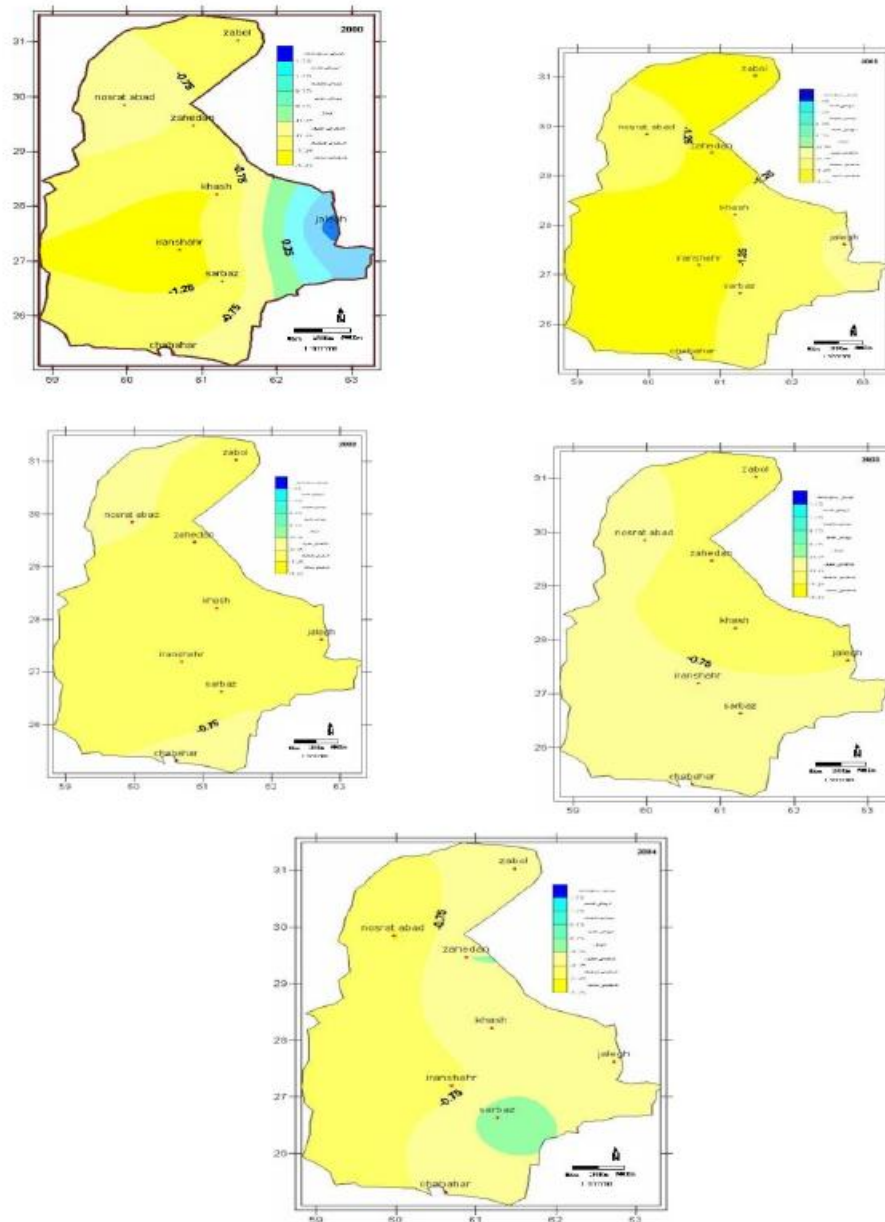
بر اساس شاخص نمره استاندارد، استان سیستان و بلوچستان در طول سی سال مورد مطالعه (۲۰۰۵-۱۹۷۶)، به تناوب خشکسالی ها و ترسالی‌های گوناگونی را با شدت های مختلف تجربه کرده است. به طوریکه بیشترین فراوانی خشکسالی ها به ترتیب مربوط به خشکسالی های ضعیف با ۲۶٪ درصد و خشکسالی های متوسط با ۲۰ درصد بوده است. وقوع خشکسالی

حد فاصل سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ رخ داده است و همین دوره هم به عنوان دوره شاخص خشکسالی جهت تحلیل اثر خشکسالی ها بر روی کیفیت منابع آب سطحی استان سیستان و بلوچستان انتخاب گردید و در نهایت نقش های پهنه بندی به تفکیک برای هر کدام از سال های شاخص تهیه گردید شکل (۵).

های با درجه شدید نیز فقط ۳/۳ درصد از کل خشکسالی ها را به خود اختصاص داده است که آنهم مربوط به دو ایستگاه ایرانشهر و نصرت آباد با دو بار تکرار بوده است. خشکسالی های بسیار شدید نیز فقط یکبار و آنهم در ایستگاه زابل رخ داده است. شکل (۴) نمرات شاخص استاندارد (Z) ایستگاه های مورد مطالعه را به تفکیک ایستگاه نشان می دهد. از لحاظ تداوم خشکسالی ها نیز بیشترین تداوم مربوط به تداوم های یکساله بوده است. تداوم های چهار سال و بیشتر فقط یکبار و آنهم در



شکل ۴ نمودار نمرات Z یارش ایستگاه های مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان (۲۰۰۰-۲۰۰۴)



شکل ۵ نقشه پهنه بندی سال های شاخص خشکسالی (۲۰۰۴-۲۰۰۰) استان سیستان و بلوچستان

سال های شاخص خشکسالی (۲۰۰۰-۲۰۰۴) مورد بررسی قرار می گیرد.

آنیون ها و کاتیون ها

از مهمترین آنیون های موجود در آب می توان از بی کربنات (HCO_3)، سولفات (SO_4)، کلر (Cl)، نیترات (NO_3) و سیلیکات و از مهمترین کاتیونها می توان از کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na) و پتاسیم

تجزیه و تحلیل کیفیت آب های جاری

عناصر و ترکیب های 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 (زاهدی کلاکی، ۱۳۸۳: ۲۶۸). در زیر روابط موجود بین آنیون ها و کاتیون ها و دیگر عوامل کیفی آب در

بین میانگین بلندمدت و دوره کوتاه مدت خشکسالی توسط آزمون t است.

با توجه به این جدول در ایستگاه پایاب سد کهک اختلاف مجموع آنیون های سال های شاخص خشکسالی نسبت به میانگین ده ساله برابر با (۱/۵۹) میلی‌اکی والانت می باشد که در واقع در طی سال‌های خشکسالی حدود ۲۲ درصد افزایش را نشان می دهد. همچنین مقدار کاتیون ها نیز در طی سال‌های خشکسالی حدود ۲۳ درصد افزایش داشته است. این افزایش در اثر خشکسالی توسط آزمون t تأیید گردیده است.

در ایستگاه لادیز نیز در طی سال های شاخص خشکسالی مقدار آنیون ها و کاتیون ها دارای تغییراتی بوده است. به طوریکه در سال های شاخص خشکسالی مجموع آنیون ها ۲/۴ درصد و کاتیون ها ۲/۳ درصد را نشان می دهند که در این بین بیشترین افزایش در بین آنیون‌ها مربوط به SO_4 با ۸/۹ درصد و در بین کاتیون‌ها مربوط به K با ۷/۱ درصد بوده است.

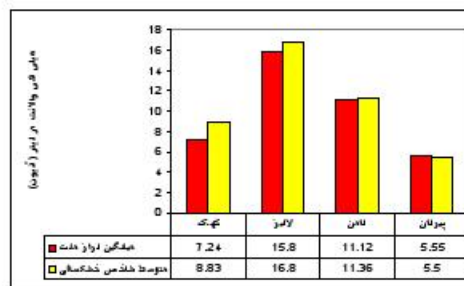
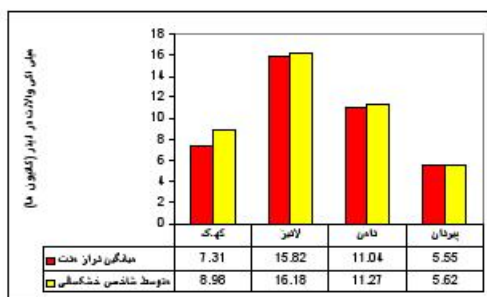
ایستگاه های دامن و پیردان نیز همچون دو ایستگاه دیگر در سال‌های شاخص خشکسالی شاهد افزایش در میزان آنیون‌ها و کاتیون ها بوده است ولی این مقدار کمتر بوده است به طوریکه در ایستگاه دامن آنیون ها ۲/۳ درصد و کاتیونها ۲/۱ درصد افزایش داشته اند. برای ایستگاه پیردان نیز شاهد یک درصد افزایش در آنیون ها و ۱/۳ درصد افزایش در کاتیونها بوده ایم. نمودارهای (۶) و (۷) مقدار افزایش آنیون‌ها و کاتیون‌ها - های سال های شاخص خشکسالی را نسبت به میانگین دراز مدت نشان می دهد.

(K) نام برد که طی سال های خشکسالی ممکن است تغییراتی در غلظت آنها در آب ایجاد شود.

افزایش یا کاهش هر کدام از این عناصر به نوبه خود بر روی کیفیت آب تأثیر گذار هستند به طوریکه وجود کلسیم در آب باعث افزایش نفوذ آب به داخل خاک می شود. از نظر آبیاری هرچه مقدار کلسیم محلول آب بیشتر باشد آن مطلوب‌تر خواهد بود. اما افزایش همین عنصر در آب باعث سختی آن می شود که استفاده از آن را برای آب شرب و صنعت محدود می سازد. منیزیم نیز به مقدار قابل توجهی 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 موجود است (علیزاده، ۱۳۸۳: ۷۵۶-۷۵۵).

بی کربنات مهمترین آنیون موجود در آب‌های طبیعی است. بی کربنات سدیم و پتاسیم به صورت جامد موجودند اما بی کربنات های کلسیم و منیزیم تنها به صورت محلول وجود دارند. از دیگر آنیون‌هایی که در تمام آب‌های طبیعی یافت می شود کلر است. در صورتیکه غلظت کلر در آب زیاد شود به لحاظ رشد گیاه سمی خواهد بود. وجود سولفات نیز در آب باعث از بین بردن سازه های آبی می گردد.

در این صورت سازه های آبی بایستی با مصالح ضد سولفات ساخته شوند (علیزاده، ۱۳۸۳: ۷۵۶). جدول (۷) وضعیت کیفی آب رودخانه های مورد مطالعه را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود متوسط مقدار آنیون ها و کاتیون ها در طی پنج سال خشکسالی با میانگین ده ساله مورد مقایسه قرار گرفته و اختلاف و درصد افزایش آنها در جدول (۷) نشان داده شده است. در جدول ذکر شده خانه های رنگی حاکی از تأیید اختلاف



شکل ۷ نمودار مقایسه ای متوسط جمع کاتیون های سال های خشکسالی به میانگین دراز مدت

شکل ۶ نمودار مقایسه ای متوسط جمع آنیون های سال های خشکسالی به میانگین دراز مدت

جدول ۷ مقایسه آنیون ها و کاتیون های متوسط سال های خشکسالی به میانگین دراز مدت چند ایستگاه منتخب در استان سیستان و بلوچستان

ایستگاه	ترکیبات	SO4	Cl	HCO3	sum Anion	Ca	Mg	Na	K	sum Cation
میانگین		۲/۸۷	۲/۴۵	۲/۲۱	۷/۲۷	۱/۱۶	۲	۴/۰۹	-/۰۷	۷/۳۱
پایاب سد کوهک	دوره خشک	۴/۲۱	۳/۲۱	۱/۲۱	۸/۸۳	۱/۰۷	۲/۱۴	۵/۶۹	-/۰۷	۸/۹۸
	اختلاف	+۱/۳۴	+۰/۷۶	-	+۱/۵۹	-/۰۹	+۰/۱۴	+۱/۶	-----	+۱/۶۷
	درصد افزایش	%۴۶/۷	%۳۱	%۴۵/۲*	%۲۲	%۷/۷*	%۷	%۳۹/۱	----	%۲۲/۸۴
میانگین		۴/۰۶	۷/۲۷	۴/۳۱	۱۵/۸	۲/۱۷	۲/۰۵	۱۱/۴۷	-/۱۴	۱۵/۸۲
لاذیز	دوره خشک	۴/۴۲	۷/۸۳	۳/۷۳	۱۶/۱۸	۲/۰۳	۱/۹۶	۱۲/۰۳	-/۱۵	۱۶/۱۸
	اختلاف	+۰/۳۹	+۰/۵۶	-/۱۵۸	+۰/۳۸	-/۰۱۴	-/۰۹	+۰/۵۶	+۰/۰۱	+۰/۳۶
	درصد افزایش	%۸/۹	%۷/۷	%۱۳/۵*	%۲/۴	%۶/۵*	%۴/۴*	%۴/۹	%۷/۱	%۲/۳
میانگین		۱/۸۹	۵/۶۵	۴/۰۲	۱۱/۱	۱/۷۵	۱/۵۹	۷/۵۹	-/۱۱	۱۱/۰۴
دامن	دوره خشک	۱/۲۳	۶/۴۳	۳/۷۸	۱۱/۳۶	۱/۹۱	۱/۵	۷/۷۵	-/۱۱	۱۱/۲۷
	اختلاف	-/۰/۶۶	+۰/۷۸	-/۰/۲۴	+۰/۲۶	+۰/۱۶	-/۰۹	+۰/۱۶	-----	+۰/۲۳
	درصد افزایش	%۳۴/۹*	%۱۳/۸	%۶*	%۲/۳	%۹/۱	%۵/۷*	%۲/۲	-----	%۲/۱
میانگین		۰/۹۱	۱/۸۸	۳/۰۵	۵/۵۵	۱/۱۸	۱/۲۷	۳/۰۷	-/۰۶	۵/۵۵
پیردان	دوره خشک	۰/۳۸	۲/۰۸	۳/۱۵	۵/۵	۱/۳۱	۰/۹۳	۳/۳۱	-/۰۷	۵/۶۲
	اختلاف	-/۰/۵۳	+۰/۲۰	+۰/۱	-/۰/۰۵	+۰/۱۳	-/۰/۳۴	+۰/۲۴	+۰/۰۱	+۰/۰۷
	درصد افزایش	%۵۸/۲*	%۱۰/۱۶	%۳/۳	%۰/۹*	%۱۱	%۲۶/۸*	%۷/۸	%۱۶/۷	%۱/۳

آب، به ازای افزایش یک درجه سانتی گراد، تقریباً دو درصد EC افزایش می یابد. بنابراین در طی سالهایی که خشکسالی رخ می دهد و دمای هوا نیز افزایش می یابد، می توان انتظار داشت که EC افزایش پیدا کند. در واقع تغییرات دبی رودخانه ها در افزایش یا کاهش مقدار EC نقش به سزایی را دارا می باشند (زاهدی کلاکی، ۱۳۸۳). در منطقه مورد مطالعه نیز با توجه به داده های

هدایت الکتریکی

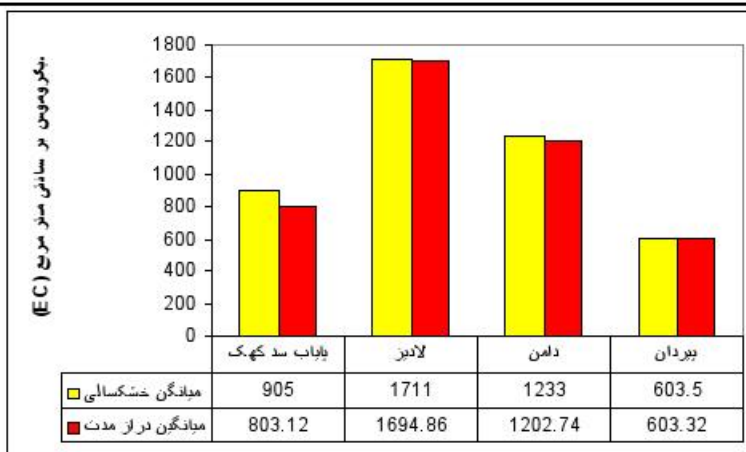
یکی از مهمترین معیارهای کیفی در طبقه بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می باشد. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه موثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تاثیر آن بر نفوذ پذیری خاک مشخص می سازد (علیزاده، ۱۳۸۳: ۷۶۲) با توجه به نقش درجه حرارت در میزان هدایت الکتریکی

است. در واقع کاهش دبی پایه رودخانه و افزایش دما در اثر خشکسالی باعث افزایش مقدار EC شده است. این افزایش برای سه ایستگاه پایاب سد کهک و لادیز و دامن توسط آزمون T تائید شده است.

جدول شماره (۸) در سال های وقوع خشکسالی مقدار EC افزایش را نشان می دهد. به طوریکه در سال های شاخص خشکسالی نسبت به میانگین درازمدت در ایستگاه های پایاب سد کهک، دامن، لادیز و پیردان به ترتیب ۱۲/۷، ۲/۵، ۰/۹۵ و ۰/۰۳ درصد افزایش یافته

جدول ۸ - مقایسه EC متوسط سال های خشکسالی به میانگین دراز مدت چند ایستگاه منتخب در استان سیستان و بلوچستان

نام ایستگاه	میانگین	دوره خشک	اختلاف	درصد افزایش
پایاب سد کهک	۸۰۳/۱۲	۹۰۵	۱۰۱/۸۸	۱۲/۷
لادیز	۱۶۹۴/۸۶	۱۷۱۱	۱۶/۱۴	-/۹۵
دامن	۱۲۰۲/۷۴	۱۲۳۳	۳۰/۲۶	۲/۵
پیردان	۶۰۳/۳۲	۶۰۳/۵	-/۱۸	-/۰۳



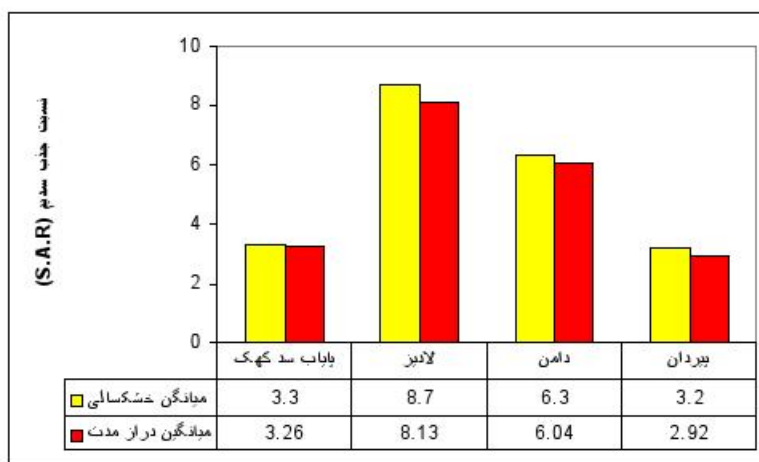
شکل ۸ نمودار مقایسه ای EC متوسط سال های خشکسالی به میانگین دراز مدت چند ایستگاه منتخب در استان سیستان و بلوچستان نسبت جذب سدیم S.A.R. مورد مطالعه گشته است. به طوری که در چهار ایستگاه

مورد نظر به طور متوسط ۵/۵ درصد افزایش را نسبت به میانگین دراز مدت نشان می دهد. با توجه به جدول (۹) در بین چهار ایستگاه مورد نظر طی پنج سال شاخص خشکسالی بیشترین درصد افزایش مربوط به ایستگاه پیردان با ۹/۶ درصد می باشد.

این شاخص یکی از مهمترین عوامل در تعیین کیفیت آب زراعی می باشد که افزایش آن کیفیت بد آب را جهت کشاورزی به همراه دارد. این عامل نیز مانند عوامل دیگر کیفیت آب، طی سال های شاخص خشکسالی دچار تغییراتی در ایستگاه های هیدرومتری

جدول ۹ مقایسه S.A.R. متوسط سال های خشکسالی به میانگین دراز مدت

نام ایستگاه	میانگین	دوره خشک	اختلاف	درصد افزایش
پایاب سد کهک	۳/۲۶	۳/۳	-/۰۴	۱/۲
لادیز	۸/۱۳	۸/۷	-/۵۷	۷
دامن	۶/۰۴	۶/۳	-/۲۶	۴/۳
پیردان	۲/۹۲	۳/۲	-/۲۸	۹/۶



شکل ۹. نمودار مقایسه ای S.A.R. متوسط سال های خشکسالی به میانگین دراز مدت چند ایستگاه منتخب در استان سیستان و بلوچستان

ویل کاکس (مراجعه شود به منبع شماره ۱۷ صفحه ۳۳۵)

جزء طبقه سوم یعنی آب های با کیفیت مناسب که تنها برای زمین های درشت بافت و با زهکشی خوب مناسب می باشند قرار می گیرند و تنها رودخانه سرباز در طبقه دوم یعنی آب های خوب که برای کشاورزی تقریباً مناسب می باشند قرار می گیرد.

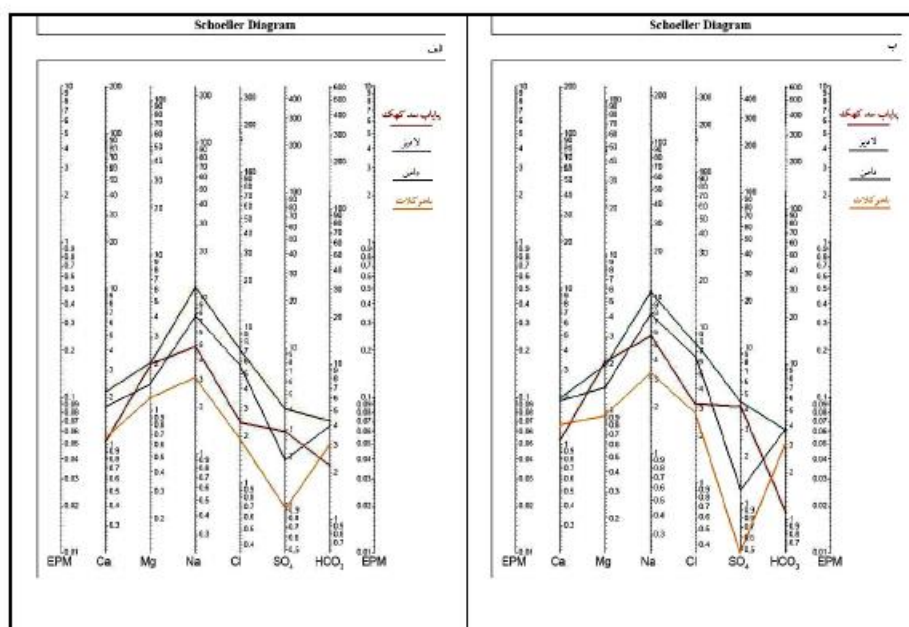
برحسب کل جامدات محلول هم در دوره خشک به جز رودخانه سیانجه که در طبقه آب های لب شور قرار می گیرد سه رودخانه دیگر در طبقه اول یعنی آب های شیرین واقع می شوند (مراجعه شود به منبع شماره ۱۷ صفحه ۳۱۵).

بیشترین تغییرات در غلظت کاتیون ها و آنیون ها در ایستگاه پایاب سد کهک مشاهده گردید که میزان آنها در حدود ۲۲ درصد بود. نمودار شولر تغییرات آنیون ها و کاتیون ها را به خوبی در مقام مقایسه دو دوره بلند مدت آماری و دوره شاخص خشکسالی را نشان میدهد.

بحث

عناصر و ترکیب های 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 (زاهدی کلاکی، ۱۳۸۳: ۲۶۸). بر اساس شاخص نمره استاندارد، استان سیستان و بلوچستان در طول دوره آماری مورد مطالعه، به تناوب خشکسالی ها و ترسالی های گوناگونی را با شدت های مختلف تجربه کرده است. به طوریکه بیشترین فراوانی خشکسالی ها مربوط به خشکسالی های ضعیف با ۲۶/۷ درصد و خشکسالی های متوسط با ۲۰ درصد بوده است.

کیفیت آب از لحاظ کشاورزی، در دوره خشک دارای تغییراتی در کیفیت می شود به طوریکه کیفیت آب رودخانه های کارواندر، سیستان و سیانجه، طبق نمودار



شکل ۱۰ نمودار شولر نمونه آب های رودخانه های اسنان سیستان و بلوچستان الف: میانگین ده ساله ب: میانگین شاخص سال های خشک

نهایت از لحاظ مقدار نسبت جذب سدیم نیز شاهد ۵/۵ درصد افزایش در دوره خشک بوده ایم. به طور کلی تغییرات در شمال استان در مقایسه با جنوب استان بیشتر می باشد که دلیل آن را می توان در خشک تر بودن آب و هوا در شمال استان در مقایسه با جنوب و مرکز استان دانست.

مقدار EC نیز در دوره شاخص خشکسالی دارای تغییراتی بوده است. به طوریکه در سال های شاخص خشکسالی نسبت به میانگین درازمدت در ایستگاه های پایاب سد کهک، دامن، لادیز و پیردان به ترتیب ۱۲/۷، ۲/۵، ۰/۹۵ و ۰/۰۳ درصد افزایش یافته است. در واقع کاهش دبی پایه رودخانه و افزایش دما در اثر خشکسالی باعث افزایش مقدار EC شده است. و در

فهرست منابع

۱. چهاردولی، مجتبی (۱۳۸۳). اثرات خشکسالی بر منابع آب شهرستان ملایر. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۲. خالدی، شهریار (۱۳۸۰): بلایای طبیعی. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
۳. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۷): تحقیق در خشکسالی های فراگیر ایران با استفاده تحلیل های سینوپتیکی، رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
۴. خوشحال، جواد، حسنعلی غیور و مسعود مرادی (۱۳۹۱). بررسی تاثیر خشکسالی بر آبهای زیرزمینی در حوضه آبی دهگلان-کردستان. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹.
۵. رضائی پزند، حجت و میترا مهدی پور (۱۳۸۰): تحلیل خشکسالی و پیش بینی بارندگی چهار سال آینده شهر زابل؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد سوم، دانشگاه زابل.

۶. زاهدی کلاکی، ابراهیم (۱۳۸۳): بررسی اثرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب شهرستان بهشهر. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
۷. صفدری، علی اکبر، محسن ساروی و بهرام ثقفیان (۱۳۸۲): خشکی و خشکسالی. فصلنامه علمی و ترویجی خشکی و خشکسالی، کمیته ملی مدیریت خشکی و خشکسالی، شماره ۷.
۸. عزیز، قاسم (۱۳۷۸): ال نینو و دوره های خشکسالی - ترسالی در ایران؛ پژوهش های جغرافیایی، شماره ۳۸، مؤسسه جغرافیای دانشگاه تهران.
۹. عزیز، قاسم (۱۳۸۲). ارتباط خشکسالی های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۶.
۱۰. عزیززاده، امین (۱۳۸۳): اصول هیدرولوژی کاربردی؛ مشهد: دانشگاه امام رضا.
۱۱. غیور، حسینی (۱۳۷۵): شدت، مساحت و فراوانی خشکسالی در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵، مشهد.
۱۲. فرج زاده، منوچهر (۱۳۷۴): تحلیل و پیش بینی خشکسالی در ایران. رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۳. فرج زاده، منوچهر (۱۳۸۴): خشکسالی از مفهوم تا راهکار. تهران: انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
۱۴. فرد، سیمین و نادر حیدری (۱۳۸۱): تأثیر خشکسالی بر وضعیت کشاورزی برخی از مناطق استان اصفهان. فصلنامه خشکی و خشکسالی، وزارت جهاد کشاورزی، شماره ۶.
۱۵. کرمی، فریبا و هانیه کاظمی (۱۳۹۱). پایش مکانی شوری آب های زیرزمینی در سال شاخص خشکسالی و ترسالی مورد: دشت تبریز. جغرافیا و توسعه، شماره ۲۸.
۱۶. کیخانی، فاطمه و کورش محمدی (۱۳۷۹): جایگاه خشکسالی در سیستان و بررسی روند آن از دیدگاه کشاورزی؛ اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، جلد دوم، جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۱۷. محمدی، حسینمراد و علی اکبر شمسی پور (۱۳۸۲). تأثیر خشکسالی های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشتهای شمال همدان. پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۵.
۱۸. محمودی، پیمان و عبدالرئوف شاهوزنی (۱۳۸۶): تجزیه و تحلیل خشکسالی های شهرستان ایرانشهر با استفاده از شاخص نمره استاندارد و ارائه راهکاری مدیریتی جهت کاهش اثرات آن: همایش خشکسالی، پیامدها و راهکارهای مقابله با آن - دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند - اسفند.
۱۹. مقدم، حسین، جواد بذاق جمالی، سهیلا جوانمرد، عبدالرضا مهدویان و لیلی خزانه داری (۱۳۸۰): پایش خشکسالی بر اساس نمایه SPI، دهکها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد سوم، دانشگاه زابل.
۲۰. منیری، جلال (۱۳۸۳): مطالعه ویژگی های آب و هوایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه جهت تحلیل دوره های خشکسالی. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
۲۱. مهدویان، عبدالرضا، جواد بذاق جمالی، حسین موقر مقدم، سارا خجسته، علی قیامی، جواد احمدیان، حسن عراقی، حمید عظیمی و فاطمه فدائی وطن (۱۳۸۰): بررسی روش های مختلف پهنه بندی اقلیمی

- استان سیستان و بلوچستان و ارتباط آن با خشکسالی؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد سوم، دانشگاه زابل.
۲۲. ناظم السادات، سید محمد جعفر و احمد رضا قاسمی (۱۳۸۰)؛ خشکسالی و بارندگی مازاد استان سیستان و بلوچستان و ارتباط آن با پدیده ال نینو - نوسان جنوبی؛ مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد سوم، دانشگاه زابل.
۲۳. نگارش، حسین، محمود خسروی، منصوره شاه حسینی و پیمان محمودی (۱۳۸۹). مطالعه خشکسالی های کوتاه مدت شهرستان زاهدان. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۸.
24. Hong, Wu., M. D. Svodg, J. Micheal, D. Hayes, A. Wilhite and F. Wen., (2006) appropriate application of Standardized precipitation Index in arid locations and dry seasons, *International Journal of climatology*, Vol.27:65-79.
25. Giddings, L., M. Soto, B. M. Rutherford and A. Maarouf., (2005) Standardized Precipitation Index zone for Mexico, *Atmosfera*, 33-56.
26. Ntale.H.K, and T.Y.Gan., (2003). Drought Indices and Application to East Africa. *International Journal of climatology*, Vol.23:1335-1357