

ارزیابی اثرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی استان سیستان و بلوچستان

محی‌الدین احراری رودی

گروه اقیانوس‌شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

نویسنده مسئول: M.Ahrari@cmu.ac.ir *

دریافت: ۹۵/۱۲/۱۱ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۵

چکیده

دشت سیستان و بلوچستان در سال‌های اخیر با افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. یکی از بخش‌های متاثر شده از شرایط بلند مدت خشکسالی، منابع آب‌های زیرزمینی است. یکی از بهترین مقیاس‌ها برای ارزیابی خشکسالی و اثرات آن بکارگیری شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است. در این تحقیق با استفاده از این شاخص ابتدا شرایط بلند مدت خشکسالی در منطقه شرق استان سیستان و بلوچستان بررسی شد و سپس تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی مورد تحقیق قرار گرفت. به منظور تعیین دوره‌های خشکسالی از داده‌های بارش ۵ ایستگاه از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ و داده‌های کیفی ۲۷ حلقه چاه مشاهده‌ای در دو مقطع زمانی ۱۳۸۹ و سال ۱۳۹۲ که دارای پراکندگی مناسبی در استان می‌باشند، استفاده شده است. جداول‌های هم‌ارزش Na, Cl, TDS, EC و با استفاده از روش آماری جهت بیان تغییرات کیفی تهیه شد. نتایج نشان داد با توجه به کاهش بارندگی، میانگین کل عناصر و مواد در آب‌های زیرزمینی طی دوره مورد نظر ۲۰ تا ۲۵ درصد در آب افزایش یافته است. بدهی است علاوه بر عامل طبیعی که خشکسالی است عوامل انسانی نظیر افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی، افزایش کارخانه‌ها، افزایش استفاده از کود شیمیایی و سموم دفع آفات در این تغییر کیفیت آب نقش زیادی داشته است. ادامه این روند کاهش بارندگی و برداشت بیش از اندازه می‌تواند وضعیت این دشت را به حالت بحرانی نزدیک نماید. هم‌چنین مناطق مرکزی، غربی و شمالی در مقایسه با مناطق غربی و جنوبی استان سیستان و بلوچستان با خشکسالی بیش‌تر مواجه بوده یا خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی؛ سیستان و بلوچستان؛ شاخص بارش استاندارد؛ دشت سیلابی

مقدمه

را می‌دهد، ایجاد بارش‌های قابل‌توجه می‌باشد. علاوه بر این، سیستم یاد شده منشأ اصلی ایجاد بارندگی‌های شمال ایران نیز محسوب می‌شود. حال ضرورت دارد این موضوع در استان سیستان و بلوچستان بررسی شود. استان سیستان و بلوچستان به عنوان پهناورترین استان کشور دارای منابع آب فراوانی بوده است که در حال حاضر دچار افت شدید این منابع شده است. در گذشته نه چندان دور رودخانه هیرمند و دریاچه‌های هامون و بزمان یکی از اصلی‌ترین منابع آب شیرین کشور محسوب می‌شده است که در حال حاضر رو به نابودی است. از طرفی بنابر آمار اخیر سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی در این استان تا ۸ متر افت داشته است که قابل‌توجه است (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۹). تعاریف خشکسالی بخصوص در رابطه با میزان تأثیر آن بر محیط طبیعی و اجتماعی همیشه در حال تغییر است. بر اساس تعریف مفهومی از کالو و همکاران (۱۹۹۹) اصطلاح خشکسالی آب‌های زیرزمینی برای توصیف وضعیت

کشور ما به خاطر قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی که در ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی واقع شده است، از شرایط آب و هوایی برخوردار است که جزو مناطق کم باران جهان بشمار می‌آید. در فصول سرد، همزمان با عقب‌نشینی سیستم پرفشار جنب حاره، تحت تاثیر سیستم‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای از غرب و سودانی از جنوب‌غرب قرار می‌گیرد که سیستم‌های مذکور در بستر بادهای غربی ایران را جولانگاه فعالیت خود قرار داده و بارش‌های عمده‌ای را سبب می‌شوند. در این زمان سیستم پرفشار سبیری نیز به خاطر عقب‌نشینی پرفشار جنب حاره، پیشروی نموده و بخش‌های شمالی و مرکزی ایران را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. جریان‌های شمالی و شمال‌شرقی که افت دمایی و هوای سرد و خشک را به همراه دارد و از خصوصیات بارز این سیستم که در تلاقی با جریان‌های هوای غربی تشکیل جبهه‌هایی

خشکسالی هستند) و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی (این مرحله آخرین مرحله خشکسالی محسوب می‌شود به طوری که کمبود منابع آب بر زندگی انسان‌ها تأثیر منفی می‌گذارد). افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی بوده و اگر مداخله بشر در سامانه آب زیرزمینی نبود، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به طور عمده مربوط به کاهش بارندگی‌ها بود (شهید و هزاریکا، ۲۰۰۹؛ یزدانی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ادھیکاری، ۲۰۱۳). بارش از جمله داده‌هایی است که بطور گسترده در ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد و معیار مناسبی برای اندازه‌گیری منابع آبی است، هم‌چنین تأثیرات خشکسالی را در دوره‌های زمانی و مکانی مختلف نشان می‌دهد (اسینمن و همکاران، ۲۰۰۶؛ پیتر و همکاران، ۲۰۰۶؛ دانشور و همکاران، ۲۰۱۳). از آنجایی‌که بارش برای مقیاس‌های زمانی کمتر از ۱۲ ماه نرمال پراکنده نمی‌شود، یک سازگاری و روشی ایجاد می‌شود که به شاخص بارش استاندارد شده اجازه می‌دهد تا به صورت نرمال توزیع شود. بنابراین متوسط شاخص بارش استاندارد شده برای یک مقیاس زمانی، صفر و انحراف معیار یک است. این یک مزیت است برای اینکه شاخص بارش استاندارد شده، نرمال می‌شود، بنابراین اقلیم‌های مرطوب‌تر و خشک‌تر می‌توانند از طریق مشابهی ارائه شوند.

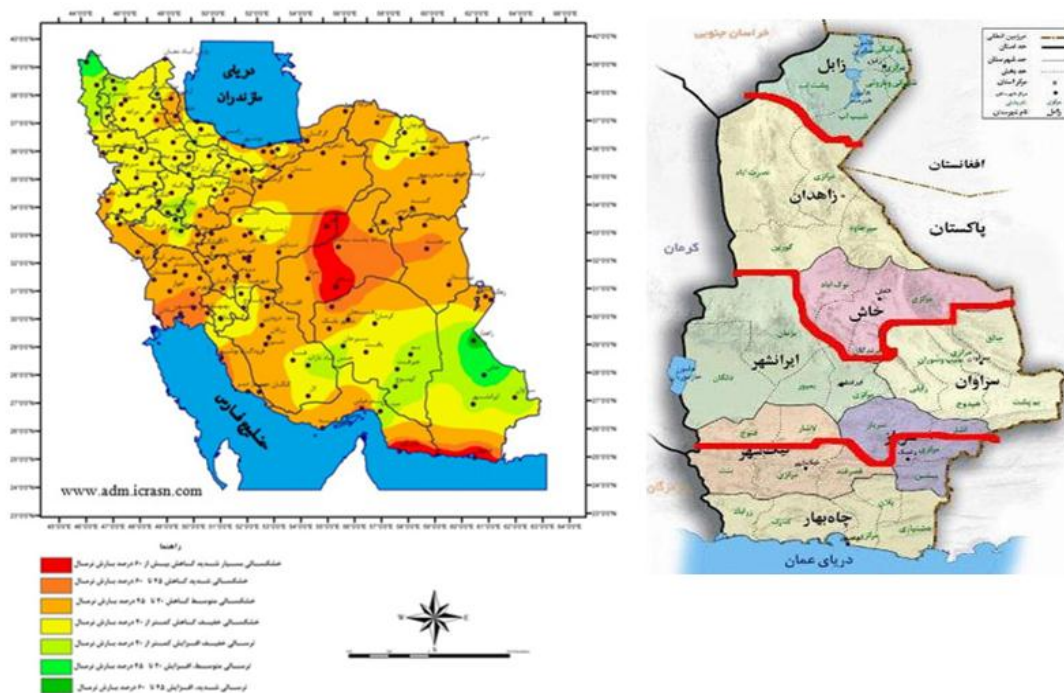
موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان با وسعت ۱۸۷۵۰۲ کیلومتر مربع در موقعیت ۵۸ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). وسعت آن ۱۸۷۰۵۲ کیلومتر مربع بوده و متجاوز از ۱۱/۴ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. حدود ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع مربوط به سیستان و ۱۷۲۳۰۵ کیلومتر مربع مربوط به بلوچستان است. استان سیستان و بلوچستان از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی در ناحیه اقلیمی بیابانی و خشک می‌باشد. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان گفت مناطق ایران‌شهر، زابل و باهوکلان، آب و هوای بیابانی و ناحیه زاهدان در مرز بین اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی قرار گرفته

مکانی است که سطح منابع آب زیرزمینی به عنوان پیامد مستقیم خشکسالی، افت پیدا می‌کند. زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی واقع می‌شود ابتدا آبیگری، سپس سطح و در نهایت آبدهی سفره آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. چنین خشکسالی را خشکسالی آب زیرزمینی می‌نامند (ون لنین و همکاران، ۲۰۰۰؛ یزدانی و طلائی، ۲۰۰۵). در هر حال برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص مانند (شاخص پالمیر، شاخص منابع آب‌های سطحی شافر و دزمان، شاخص بالمه و مولی، شاخص جانویک و دیگران و شاخص SPI که توسط مک کی و دیگران در سال ۱۹۹۳ معرفی گردید) جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (سیلوا، ۲۰۰۳؛ ایمانی و طلائی، ۲۰۱۱). ارزیابی اثرات خشکسالی‌های رخ داده شده در استان سیستان و بلوچستان طی دوره زمانی حداقل ۳۰ ساله، فاکتورهای کنترل‌کننده آبخوان‌ها را در حین انجام این پژوهش کلان مشخص خواهد نمود. این ارزیابی همه‌جانبه بوده و به ارائه راه حل منجر خواهد شد. خشکسالی یکی از مخاطرات اصلی مرتبط با هواشناسی است. این مخاطره طبیعی تمام جوانب زندگی ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۹). در سطح بین‌المللی تعریف واحدی از خشکسالی که مورد قبول همه باشد، وجود ندارد. بطور کلی خشکسالی زمانی روی می‌دهد که کاهش چشم‌گیر آب، هم در مکان و هم در زمان ویژه‌ای روی دهد (کروشیا و همکاران، ۱۹۹۹). هر خشکسالی با سه خصوصیت شدت، طول دوره و پهنای تحت تأثیر شناخته می‌شود. خشکسالی انواع مختلفی دارد که با توجه به طول دوره خشکسالی به وجود می‌آیند و به شرح ذیل تعریف می‌شوند (بک کونسولوتیگ، ۲۰۰۷): خشکسالی هواشناسی (هنگامی رخ می‌دهد که بارندگی کمتر از حدود ۷۵ درصد از نرمال سه ماهه یا حتی ۶ ماهه بالاتر باشد)، خشکسالی کشاورزی (رطوبت خاک در این مرحله بسیار کم است بخصوص جایی که گیاهان به صورت فشرده قرار دارند و بیومس خاک کم شده است. کاهش آب برای چهارپایان نیز از دیگر ویژگی‌های این مرحله است)، خشکسالی هیدرولوژیکی (کاهش جریان‌ات رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی از آشکارترین نشانه‌های این مرحله از

کوهستانی (کوه‌های بزمان، تفتان، بیرک، ملک سلیمان، مریخی، بن پشت و غیره)، دشت (دشت لوت که بخشی از آن در سیستان و بخشی در بلوچستان می‌باشد) و ساحلی (جنوب استان) تشکیل شده و با توجه به این ساختار توپوگرافی متفاوت، شرایط اقلیمی مختلفی در آن به وجود آمده است (احمدی کرویچ، ۱۳۹۳).

است. مناطق سراوان، خاش و چابهار آب و هوای نیمه بیابانی دارد. ناحیه کوهستانی بم پشت در جنوب سراوان و امتداد آن به طرف مشرق تا کوه‌های بشاگرد، آب و هوای نیمه بیابانی معتدل دارند. اقلیم مشرق ارتفاعات و فلات‌های مرتفع و کم وسعت میان آن، نیمه بیابانی با زمستان‌های سرد است. این استان از سه بخش متمایز



شکل ۱. نقشه خشکسالی کشور که موقعیت جغرافیایی و وضعیت بارندگی کم در استان سیستان و بلوچستان

هواشناسی مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور مطالعه پدیده خشکسالی، از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده مورد مطالعه با در نظر گرفتن معیارهایی از جمله داشتن آمار طولانی مدت و پراکنش مناسب در منطقه، انتخاب و دوره آماری سالانه به عنوان مبنای مطالعه انتخاب گردید. همچنین از روش رگرسیون خطی و کمترین مربعات برای بازسازی آماری در ایستگاه‌های مورد مطالعه، که در آن داده گمشده به عنوان متغیر وابسته و داده‌های موجود در سایر ایستگاه‌ها به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود، استفاده گردید. با استفاده از این شاخص ابتدا شرایط بلند مدت خشکسالی در منطقه شرق استان سیستان و بلوچستان بررسی شد و سپس تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی مورد تحقیق قرار گرفت. به منظور تعیین دوره‌های خشکسالی از داده‌های بارش ۵ ایستگاه از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ و داده‌های کیفی ۲۶ حلقه چاه مشاهده‌ای در دو مقطع زمانی ۱۳۸۹ و سال ۱۳۹۲ که دارای پراکندگی مناسبی

داده‌ها و روش تحقیق

در این پژوهش مراحل زیر انجام گرفته است:

- ۱- جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مانند نقشه‌های زمین‌شناسی، هواشناسی، آب‌شناسی، کتب، پایان‌نامه‌ها، مقالات، گزارشات و تحقیقات انجام شده مرتبط با موضوع و غیره از طریق مراجعات حضوری، غیر حضوری، کتابخانه‌ای و اینترنتی.
 - ۲- مطالعات میدانی و صحرایی با بررسی وضعیت زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی منابع آب و تعیین سطح پیزومتری چاه‌های موجود در مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان به روش‌های ژئوفیزیکی.
 - ۳- مطالعات آزمایشگاهی با انجام تحلیل و پردازش داده‌های آماری
 - ۴- در آخر تحلیل و تفسیرهای لازم، نتیجه‌گیری و ارائه راه‌حل‌های مناسب و جامع
- به این معنی که ابتدا مطالعات جامع زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی انجام گرفته است و سپس فاکتورهای

در استان می‌باشند، استفاده شده است. برای بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب ۲۷ حلقه چاه استفاده شد. جداول هم‌ارزش

در استان می‌باشند، استفاده شده است. برای بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب ۲۷ حلقه چاه استفاده شد. جداول هم‌ارزش

جدول ۱. مقادیر تجزیه شیمیایی نمونه‌های منابع طبیعی محدوده استان (سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲)

ردیف	محل نمونه	۱۳۸۹				۱۳۹۲			
		EC	TDS	Na ⁺	Cl	EC	TDS	Na ⁺	Cl
۱	لاوری	۶۴۲	۳۶۱	۲.۶	۱.۰۱	۹۲۲	۵۶۰	۲.۹	۱.۳۵
۲	تلخاب	۴۹۱	۳۱۹	۱.۱۸	۰.۴	۶۰۲	۳۶۰	۱.۰۶	۰.۴۷
۳	ماشکل	۳۷۵	۲۴۴	۱.۳۶	۰.۳۹	۴۵۵	۲۸۰	۱.۴۲	۰.۳
۴	کاجو	۹۶۰	۶۲۴	۵.۶۲	۱.۴	۸۲۶	۵۰۰	۲.۵۸	۰.۹۷
۵	زرآباد	۵۸۷	۳۸۲	۱.۴۶	۰.۶۹	۶۵۳	۳۹۰	۱.۳۵	۰.۵
۶	انجیرک	۳۱۸	۲۰۷	۰.۹۲	۰.۳۴	۴۰۴	۲۵۰	۱.۰۹	۰.۳۶
۷	بیدلنگ	۱۰۴۷	۶۸۰	۲.۰۸	۱.۴	۴۴۴	۲۷۰	۱.۲۸	۰.۴۴
۸	جیگولی	۴۳۹	۲۸۵	۰.۹۷	۰.۵۵	۶۱۲	۳۸۰	۱.۷۹	۰.۴۴
۹	شه دوست	۳۲۳	۲۱۰	۰.۷۷	۰.۴۵	۴۲۲	۲۶۰	۱.۱۲	۰.۳۹
۱۰	گوریک	۵۹۳	۳۸۵	۲.۸۸	۰.۵۷	۶۷۶	۴۱۰	۲.۲	۰.۵۸
۱۱	دلدار	۵۶۸	۳۶۹	۲.۲۴	۰.۸۵	۷۷۶	۴۷۰	۲.۵۸	۰.۸۶
۱۲	تمین	۱۰۸۲	۷.۳	۴.۴	۰.۷۸	۲۱۲۰	۱۲۶۰	۵.۶۷	۲.۸۷
۱۳	برکت	۴۳۳	۴۷۶	۱.۸	۰.۸۱	۶۵۴	۴۰۰	۲.۲۹	۱.۰۵
۱۴	جیرکوته	۴۱۱	۲۶۷	۱.۳۶	۰.۵۲	۴۳۹	۲۷۰	۱.۳۵	۰.۴۱
۱۵	تهرود	۶۵۹	۴۲۸	۱.۵۸	۰.۶۲	۷۴۸	۴۵۰	۱.۹	۰.۷۵
۱۶	جوری	۱۰۴۱	۶۷۷	۶.۶۸	۱.۹۸	۱۳۸۸	۸۶۰	۵.۷	۱.۴۹
۱۷	بورگر	۹۳۹	۶۱۰	۴.۵۵	۱.۲۷	۱۱۳۵	۴۲۰	۴.۴	۱.۱
۱۸	بورتا	۵۴۲	۳۵۲	۲.۶۸	۰.۷۸	۶۷۲	۴۲۰	۳.۰۳	۰.۵
۱۹	جش	۷۹۵	۵۱۷	۴.۲۵	۰.۸۹	۱۱۳۸	۷۲۰	۴.۴	۱.۱
۲۰	گنج	۶۸۶	۴۴۶	۲.۵	۰.۹۵	۸۳۸	۵۰۰	۲.۴۳	۰.۸۸
۲۱	بکجود	۶۲۹	۴۰۹	۱.۷۲	۰.۷۸	۸۰۶	۴۹۰	۱.۹۸	۰.۵۸
۲۲	آبک	۱۱۰۷	۷۱۹	۶.۰۵	۲.۲۸	۱۱۷۲	۷۴۰	۴.۷۷	۱.۳۸
۲۳	آبسد	۳۷۳	۲۴۲	۰.۸۲	۰.۳۴	۴۷۱	۲۸۰	۰.۹۶	۰.۰۳۶
۲۴	بپی	۳۷۲	۲۴۲	۰.۹۲	۰.۵۱	۴۲۲	۲۶۰	۱.۱۵	۰.۹۴
۲۵	برزبار	۶۴۲	۴۱۷	۲.۴۲	۱.۱۱	۵۷۴	۳۵۰	۱.۶۷	۰.۳۶
۲۶	ال‌گری	۵۷۶	۳۷۴	۳.۱۸	۰.۷۳	۶۸۴	۴۲۰	۳.۰۳	۰.۷۲
۲۷	پکیر	۴۴۰	۲۸۶	۰.۹۷	۰.۳۸	۶۳۱	۳۸۰	۱.۹	۰.۶۱

از سویی دیگر نظر به اینکه اطلاعات نقطه‌ای این شاخص در ایستگاه‌ها برای پایش خشکسالی کفایت نمی‌کند و بسط و گسترش آن‌ها به صورت مکانی و منطقه‌ای لازم می‌باشد. لذا نیاز به روش‌های درون‌یابی می‌باشد. از این رو از سه روش درون‌یابی، فاصله وزنی معکوس^۱ (IDW)، توابع پایه‌ای شعاعی^۲ (RBF) و کریجینگ^۳ (Kriging)

برای تجزیه و تحلیل خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های باران-سنجی دشت از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده گردید. با وارد کردن مقادیر بارندگی ماهانه در نرم‌افزار DIP که توسط مرید و همکاران تهیه و تدوین گردیده است، مقادیر SPI داده‌ها محاسبه شده است. از آنجا که شاخص بارش استاندارد ۲۴ ماهه امکان پایش منابع آب زیرزمینی را می‌دهد، در این تحقیق به بررسی شاخص SPI ۲۴ ماهه علاوه بر دوره ۱۲ ماهه پرداخته شده است.

^۱ Inverse Distance Weighted

^۲ Radial Basis Function

^۳ Kriging

خشکسالی بر منابع آب استان صورت گیرد. لذا از بین تحقیقات داخلی دو مقاله علمی - پژوهشی بطور خلاصه ارائه می‌گردد:

رضیئی و همکاران در سال ۱۳۸۶ طی تحقیقی تحت عنوان "بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف" موضوع خشکسالی را در استان سیستان و بلوچستان مورد مطالعه قرار داده است که در این تحقیق وقوع پدیده خشکسالی را در نواحی مرکزی استان با احتمال ۷۰ درصد و در نواحی شرقی با احتمال کمتر از ۵۰ درصد تخمین زده است. هم‌چنین محمدی و همکاران در تحقیقی تحت عنوان توسعه پایدار منابع آب دشت حرمک در استان سیستان و بلوچستان مورد بررسی قرار داده است تا منابع آب برای نسل‌های آینده نیز برنامه‌ریزی گردد. مرور منابع اشاره به این نکته دارد که به دلیل تغییرات خصوصیات فیزیوگرافیک و اقلیمی در مناطق مختلف استان پدیده خشکسالی گسترش مکانی و درجات شدت متفاوتی را نشان می‌دهد. عدم تطابق خشکسالی در بخش مختلف استان موضوع مهمی است. از نظریه پردازی‌های موجود در سابقه تحقیق می‌توان گفت شرایط اقلیمی و به ویژه ارتفاع از سطح دریا از جمله این عوامل محسوب می‌شود (شکل ۲).

استفاده گردید. ارزیابی روش‌ها و انتخاب بهترین مدل در این تحقیق با استفاده از شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) براساس رابطه زیر انجام شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}{n}}$$

در این فرمول، مقدار تخمینی متغیر در موقعیت x_i ، تعداد مشاهدات و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر i است.

جهت آشکارسازی میزان تأثیر خشکسالی بر آب زیرزمینی ابتدا به بررسی هیدروگراف ماهانه‌ی معرف دشت و سپس به محاسبه میزان همبستگی خشکسالی آب‌های زیرزمینی و بارش پرداخته شده است (جدول ۲). پس از تحلیل داده‌ها و آمار موجود، شاخص بارش استاندارد شده برای کلیه ایستگاه‌های منتخب محاسبه می‌گردد. برای مطالعه ارتباط خشکسالی‌ها با نوسان آب زیرزمینی و انجام محاسبات و تحلیل‌های لازم از روش‌های همبستگی، رگرسیون خطی با استفاده از نرم‌افزارهایی نظیر اکسل و SPSS استفاده شد.

پیشینه تحقیق

در خصوص موضوع طرح حاضر تحقیقاتی انجام شده ولی نیاز است تا بطور جامع و دروهای زمانی و مکانی منابع آب استان ارزیابی شود و این موضوع با محوریت اثرات

جدول ۲. طبقات خشکسالی بر اساس مقادیر مختلف SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی	مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
-۱.۵ تا -۱.۹۹	خشکسالی شدید	۰ تا -۰.۹۹	خشکسالی ملایم
۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید	۱- تا -۱.۴۹	خشکسالی متوسط



شکل ۲. پدیده خشک شدن تالاب پارک بشیر در جنوب استان سیستان و بلوچستان

بحث و نتیجه‌گیری

جریان‌های جوی متعدد مانند جریان بادی شبه قاره هند و به تبع آن باران‌های موسمی اقیانوس هند است و از طرف دیگر تحت تأثیر فشار زیاد عرض‌های متوسط قرار دارد که گرمای شدید مهم‌ترین پدیده مشهود اقلیمی آن است. در وضعیت هواشناسی این منطقه بادهای شدید موسمی، طوفان شن، رگبارهای سیل‌آسا، رطوبت زیاد و مه صبحگاهی پدیده‌های قابل توجه می‌باشند. این استان دو فصل متمایز تابستان گرم و طولانی و زمستان کوتاه دارد. زمستان با درجه حرارت معتدل و خنک در ماه‌های آذر، دی و بهمن و تابستان گرم در بقیه ماه‌های سال تداوم دارد. بارندگی در استان عمدتاً در ماه‌های زمستان صورت می‌گیرد و میزان متوسط سالیانه آن حدود ۷۰ میلی‌متر و بسیار نامنظم است. بیش‌ترین نزولات جوی در شهرستان‌های خاش و زاهدان و کمترین مقدار در شهرستان زابل روی می‌دهد. میزان متوسط رطوبت نسبی در سواحل دریای عمان، حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد در تابستان کاهش می‌یابد. در نواحی ساحلی دریای عمان به علت رطوبت ناشی از مجاورت با دریا، آب و هوای گرم با رطوبت بیش‌تری همراه است. میانگین دمای سالانه استان سیستان و بلوچستان از ۲۲ الی ۳۷ درجه سانتی‌گراد در نوسان است. در اکثر شهرهای استان حداکثر دمای سالانه، بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. میانگین حداقل دمای سردترین ماه سال بین حدود ۱۲ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد متغیر است. سردترین شهر استان، زاهدان و گرم‌ترین شهر آن ایرانشهر است و حداقل دما به ندرت به صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد (البته در شهرهای زاهدان، زابل و خاش گاهی منفی نیز می‌شود) به طور کلی می‌توان گفت استان سیستان و بلوچستان از اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی برخوردار می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از نظر سنگ مخزن آب زیرزمینی غنی است، زیرا سنگ‌های رسوبی و رسوبات آبرفتی دشت سیستان و بلوچستان خصوصیات هیدرودینامیکی (هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و ضریب نگهداری) و تخلخل موثر از وضعیت نسبتاً خوبی برخوردار است. در نتیجه نزولات جوی و به دنبال آن آب‌های جاری به راحتی به سفره‌های آب زیرزمینی دشت نفوذ می‌کنند. جهت بررسی تاثیر خشکسالی‌ها بر آب‌های زیرزمینی استان ابتدا با استفاده از شاخص SPI تعداد خشکسالی‌ها در دو بازه ۱۲ و ۲۴ ماهه برای ۵ ایستگاه از

خشکسالی یک پدیده برگشت‌پذیر است که تقریباً در تمام مناطق اقلیمی رخ می‌دهد. اثرات خشکسالی صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نبوده و می‌تواند اثرات زیان‌آوری بر منابع آب زیرزمینی هر منطقه داشته باشد. با توجه به توپوگرافی استان و وجود منابع آب سطحی (مانند رودخانه‌های هیرمند، باهو کلات، کاجو، بمپور، سرباز، ماشکید، رایج یا فنود و سیانجان و نیز دریاچه‌های طبیعی هامون و غابی و سایر آب‌های سطحی در استان) و سفره‌های زیرزمینی در مناطق مختلف استان، ضرورت دارد این منابع مدیریت گردد. از طرفی تغییر اقلیم و گرم شدن دمای کره زمین و نیز برداشت بی‌رویه از آب‌ها، این منابع رو به زوال می‌باشند بطوری که سطح ایستایی در اکثر آبخوان‌های این استان دچار افت شدید گردیده است. این موضوعات و رشد جمعیت اهمیت این تحقیق را دو چندان می‌نماید. کاهش ذخائر آب زیرزمینی و جبران کسری مخزن حادث شده و جلوگیری از کاهش کیفیت آب آبخوان‌ها، بررسی وضعیت آبخوان‌ها از نظر تأثیر بهره‌برداری منابع آب بردشت‌ها و حوضه‌های آبریز استان، شناسایی فرایندهای تغذیه و تخلیه منابع آب در اثر اقدامات سازه‌ای، لزوم بررسی علمی و دقیق دلایل کاهش رواناب‌ها، بالا بودن تبخیر از منابع آب سطحی، پیش‌بینی‌های بلندمدت اهمیت زیادی در بهبود وضعیت بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب و آمادگی برای شرایط بحرانی دارند، امکان مدیریت بهینه منابع آب از نظر کمی و کیفی در استان، مشکل خشکی احتمالی دریاچه‌های هامون و هیرمند، افت سطح آبخوان‌ها و شور شدن آن‌ها در استان، مدیریت منابع آب و مدیریت مسائل اجتماعی و اقتصادی استان، تأمین امنیت غذایی در استان، شناسایی ساز و کار مدیریت منابع آب استان، شبکه‌های کمی و کیفی در استان یا وجود ندارند یا نیازهای فعلی برای تدوین الگوهای مدیریتی را تأمین نمی‌کنند، پیشنهاد راهکارهای مفید برای افزایش راندمان چاه‌ها، حفظ ذخایر منابع آب زیرزمینی و استفاده بهینه از منابع آب باران و سیلاب، دستیابی به منابع آب جدید، کمبود آب و خشکسالی متوالی در استان و ده‌ها دلیل دیگر اهمیت و ضرورت این تحقیق را نشان می‌دهد. منطقه سیستان و بلوچستان با توجه به موقعیت جغرافیایی، از یک طرف تحت تأثیر

بیش‌ترین مدت خشکسالی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ می‌باشد. نتیجه این خشکسالی‌ها نه تنها افت سطح آب زیرزمینی بلکه تغییر کیفیت آب در محدوده استان می‌باشد. بررسی خشکسالی و ترسالی و پیش‌بینی تغییر اقلیم در منطقه سیستان و بلوچستان با توجه به شاخص‌های فوق‌الذکر و با استفاده از آمار ماهانه بارش و دمای شهرستان‌های استان در دوره آماری ۱۳۶۳-۱۳۹۳ و کاربرد روش‌های آماری چند متغیره وضعیت تغییرات بارش و دما در ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان‌های مختلف استان را آشکار نمود. به این معنی که اثر تغییرات رطوبت و بارندگی را بر پوشش گیاهی و مراتع در مناطق این نتیجه حاصل شد که در سال‌های اخیر با کاهش میزان بارندگی و در نتیجه کاهش آب‌های زیرزمینی موجب کاهش تراکم پوشش گیاهی در این منطقه شده است (شکل ۳).

سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ محاسبه شد که نتایج آن در جدول شماره ۳ آورده شده است. طبق جدول شماره ۳ فراوانی خشکسالی‌های حادث شده در دوره آماری ۱۳۶۳-۱۳۹۳ در بازه ۱۲ ماهه تنها ۴ درصد خشکسالی‌های بسیار شدید و ۸ درصد خشکسالی‌ها شدید و در بازه ۲۴ ماهه تنها ۲/۵ درصد خشکسالی‌های بسیار شدید و ۶ درصد خشکسالی‌ها شدید بوده است. از ۴۳۲ مورد SPI در بازه ۱۲ ماهه کمترین خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه آپکجوشان و بیش‌ترین در ایستگاه‌های جیرگوته و هورشی حادث شده است. هم‌چنین از ۴۲۰ مورد SPI در بازه ۲۴ ماهه کمترین خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه آپکجوشان و بیش‌ترین در ایستگاه جاروک حادث شده است. بنابراین منطقه در طول دوره آماری ۴۹ درصد دچار خشکسالی است. با بررسی طبقات SPI بدست آمده نتیجه حاصله این است که از کل دوره در پنج ایستگاه مورد مطالعه،

جدول ۳. خشکسالی‌های حادث شده در دوره آماری ۱۳۶۳-۱۳۹۳ در دو بازه ۱۲ و ۲۴ ماهه

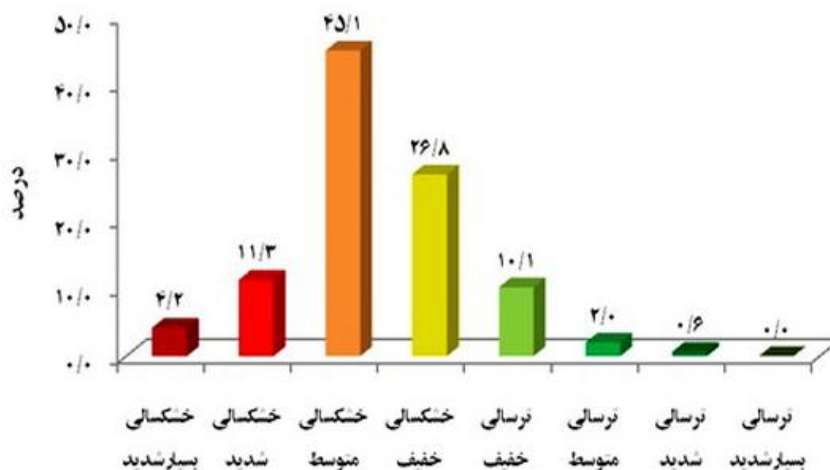
بازه زمانی	طبقات SPI	آپکجوشان	جیرگوته	بکجود	هورشی	جاروک	جمع کل SPI
۱۲ ماهه	خشکسالی بسیار شدید	۷	۱۹	۱۴	۲۰	۱۵	۴۳۲
	خشکسالی شدید	۳۴	۸	۲۰	۱۶	۲۶	۴۳۲
	خشکسالی متوسط	۳۲	۲۷	۴۸	۴۰	۳۹	۴۳۲
	خشکسالی ضعیف	۱۳۴	۱۵۶	۱۰۷	۱۰۹	۱۱۲	۴۳۲
جمع طبقات SPI	*	۲۰۷	۲۱۰	۱۸۹	۱۸۵	۱۹۲	جمع کل SPI
۲۴ ماهه	خشکسالی بسیار شدید	۱	۱۲	۷	۱۴	۱۹	۴۲۰
	خشکسالی شدید	۲۵	۱۰	۲۴	۳۲	۲۲	۴۲۰
	خشکسالی متوسط	۵۳	۴۲	۵۹	۳۹	۲۳	۴۲۰
	خشکسالی ضعیف	۱۲۵	۱۲۰	۹۲	۸۳	۱۳۶	۴۲۰
جمع طبقات SPI	*	۲۰۴	۱۸۴	۱۸۲	۱۶۸	۲۰۰	*



شکل ۳. مقایسه درصد تغییرات میزان بارش از ابتدای مهرماه تا تیرماه ۱۳۹۴ با متوسط دراز مدت آن در استان سیستان و بلوچستان

زاهدان و زابل نیز مشاهده می‌گردد. در سومین جایگاه، خشکسالی شدید با ۱۱/۳ درصد مشاهده می‌گردد که از ناحیه شرقی ایران‌شهر آغاز گردیده و پس از در بر گرفتن زراباد به نیکشهر می‌رسد، هم‌چنین این خشکسالی بخش جنوبی استان شامل شهرهای چابهار، کنارک و سرباز را درگیر نموده است. اما خشکسالی بسیار شدید با ۴/۲ درصد کم‌ترین طبقه یا کلاس خشکسالی را به خود اختصاص داده که این خشکسالی به صورت نواری کرانه دریای عمان را احاطه نموده است. در شمال غربی‌ترین نقطه استان و در نیمه جنوب، جنوب‌شرقی همچنان ترسالی حاکم می‌باشد، اما متأسفانه از وسعت آن کاسته شده به طوری که در مجموع در کل استان شاهد ۱۲/۷ درصد ترسالی هستیم که ۱۰/۱ درصد به ترسالی ملایم، ۲ درصد ترسالی متوسط و ۰/۶ درصد به ترسالی شدید اختصاص یافته است.

در تیرماه سال آبی ۹۴-۹۳ تعداد کلاس‌های خشکسالی و ترسالی مشابه با ماه گذشته (خردادماه) می‌باشد و همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد چهار کلاس خشکسالی بسیار شدید، شدید، متوسط و ملایم غلبه یافته و سه کلاس ترسالی ملایم، متوسط و شدید نیز به چشم می‌خورد. خشکسالی متوسط با مساحتی در حدود ۴۵/۱ درصد استان در جایگاه اول قرار گرفته و به صورت کمربندی ناحیه غربی را به ناحیه شمال‌شرقی و شرق پیوند می‌دهد، هم‌چنین این کلاس خشکسالی به مانند نواری از ناحیه غربی در امتداد کرانه‌های دریای عمان و خلیج فارس به گوشه جنوب‌شرقی کشور می‌رسد. خشکسالی ملایم در حدود ۲۶/۸ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده که در بخش جنوب‌شرقی، ترسالی متوسط و شدید را در بر گرفته و بر بخش عظیمی از گوشه شمال غربی کشور حاکم شده است. این خشکسالی در نیمه شمالی شهرهای



شکل ۴. درصد هر یک از کلاس‌های خشکسالی از ابتدای مهرماه تا تیرماه ۱۳۹۴ در استان سیستان و بلوچستان

طبق جدول شماره ۱ دامنه تغییرات مولفه‌های مختلف شیمیایی نمونه‌ها در ایستگاه‌های انتخابی، کاتیون‌های کلسیم از ۲۷/۲ تا ۱۲۹/۴ ppm، منیزیم از ۶/۷۲ تا ۹۳/۴۸ ppm، سدیم از ۲۲/۸ تا ۱۳۱/۱ ppm و پتاسیم از ۰/۳۹ تا ۳/۳۴ ppm در تغییر هستند. این تغییرات در آنیون‌های بی‌کربنات از ۱۶۸/۳۶ تا ۹۱۲/۵۶ ppm، کلر از ۱۰/۶۵ تا ۱۰۱/۸۹ ppm و سولفات از ۱۲ تا ۳۶۸/۱۶ ppm می‌باشند. هم‌چنین میزان هدایت الکتریکی در منابع انتخابی بین ۴۰۴ تا ۲۱۲۰ میکروزیمنس می‌باشد. از طرفی میزان حداقل ضریب تغییرات مربوط به کلسیم (۴۶/۰۴) و حداکثر آن در سولفات (۹۶/۷۷) می‌باشد. هم‌چنین در املاح موجود حداقل دامنه تغییرات مربوط

با توجه به رشد صنایع مختلف، تراکم جمعیت، افزایش جهانی دمای کره زمین و نیاز روز افزون به منابع آب می‌طلبد تا با ارزیابی منابع آب، پدیده خشکسالی و ارائه راه حل مدیریت صحیح از این مواهب الهی صورت گیرد، چرا که این منابع متعلق به یک دوره خاص نیست بلکه با این رشد جمعیت، نسل‌های آتی نباید از این منابع بی‌بهره یا کم بهره باشند. به منظور به حداقل رساندن خشکسالی واضح است که انتقال مدیریت بحران به مدیریت ریسک امری اجتناب‌ناپذیر است و نظارت و ارزیابی خشکسالی از ضروریات است و برای نظارت و ارزیابی خشکسالی نیز شاخص‌های خشکسالی از اهمیت بخصوصی برخوردار می‌باشد.

- Imani, M. and Talebi, A (2011) The effect of drought on groundwater changes using SPI and GRI (Case Study: Bahabad Plain, Yazd). 4th Iran water resources management conference, Tehran, 3-4 May.
- Lancaster, N (2013) Sand seas and dune fields. Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, Aeolian Geomorphology, 11: 219-245.
- Mahmoudi, F (2005) Drought: from concept to solution. Armed Forces Geographical Organization, 120p.
- Peters, E., Bier, G., van Lanen, H, A, J., Torfs, P (2006) Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. Journal of Hydrology, 321: 257-275.
- Sabetraftar, A (2003) Study and analysis of drought environmental impacts with emphasis on role of water management to mitigate consequences of drought In Iran. 4th International R&D conference of Water and Energy for 21st century, proceedings (Vol.4), page: CP34-CP45
- Sabetraftar, A, M. Abbaspour (2003) Study and Analysis of Drought Environmental Impacts, International Workshop on Drought Management Strategies, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, pub. NO. 79, page: 59-68
- Silva. V.P.R (2003) On climate variability in northeast Brazil, Journal of Arid Environment, 54(2), 256-367.
- Shahid, Sh., Hazarika, M. K (2009) Groundwater drought in the northwestern district of Bangladesh. Water Resources Management, 24(10): 1989-2006.
- Steinemann, A.C., Cavalcanti, L.F.N (2006) Developing multiple indicators and triggers for drought plans. J. Water Resour. Plann. Manage. ASCE 132 (3), 164-174.
- Wang, X., Wang, T., Dong, Z., Liu, X. and Qian, G (2006) Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China. Journal of Arid Environments, 65: 129-141.
- Yazdani, M., Talaei, H (2005) Assessment of nutritional status of groundwater aquifers for water resources management. 2sd National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman, 29-30 February.
- Yasemni, S., Mohammad Zadeh, H. and Mosaedi, A (2012) Studying the effect of drought on groundwater level changes of Torbatjam-Fariman plain by using SPI and GRI. 16th Symposium of Geological Society of Iran, Shiraz, 5-6 September.
- به پتاسیم (۱/۹۵) و حداکثر آن مربوط به بی‌کربنات (۷۴۴/۲) می‌باشد.

منابع

- احمدی‌کروبیق، ح (۱۳۹۳) جغرافیای طبیعی تاریخی سیستان، انتشارات نازیار، ۶۲۴ صفحه.
- خزانه‌داری، ل؛ کوهی، م؛ زابل‌عباسی، ف؛ قندهاری، شهزاد و ملیوسی، ش (۱۳۸۹) بررسی روند خشکسالی در ایران طی ۳۰ سال آینده (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹)، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران، ایران.
- کردوانی، پ (۱۳۷۱) منابع و مسائل آب در ایران، ۲۹۰ صفحه.
- ولایتی، س (۱۳۸۷) هیدرولوژی سازندهای نرم و سخت، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۳۹۶ صفحه.
- عباس‌پور، م و ثابت‌رستا، ع (۱۳۸۳) تحلیل خشکسالی‌های گذشته در ایران، پیش‌بینی خشکسالی‌های آینده و چالش‌های پیش‌روی مدیریت منابع آب در برنامه توسعه چهارم کشور، پنجمین همایش دو سالانه انجمن متخصصان محیط زیست ایران.
- Adhikary, S., Das, K., Saha, S. K. and Chaki, T (2013) Groundwater drought assessment for Barind irrigation Project in Northwestern Bangladesh, 20th International Congress on Modeling and Simulation. Adelaide, Australia, 1-6 December.
- Ahmadi, H (2008) Applied Geomorphology, Vol. 2, Third Edition, Tehran University publication, Tehran.
- Amini, A., Moussavi-Harami, R., Lahijani, H. and Mahboubi, A (2010) Morphometry and Sedimentology of Miankaleh's Nebkha in southeast of the Caspian sea, the second national conference of wind erosion and dust storms, Yazd University.
- Calow, R., Robins, N., Macdonald, A., Nicol. A (1999) Planning for groundwater drought in Africa. In: Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lessons for Sub-Saharan Africa. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 35, 255-270.
- Daneshvar, f., Dinpashoh, T., Aalami, m., Jhajharia, D (2013) Trend analysis of groundwater using nonparametric methods (case study: Ardabil plain), Stoch Environ Res Risk Assess 27: 547-559.

Assessment the effects of drought on groundwater quantity and quality of Sistan and Baluchistan Province

M. Ahrari-Roudi

Dept., of Oceanography, Marine Sciences Faculty, Chabahar

* M.Ahrari@cmu.ac.ir

Recieved: 2017/3/2 Accepted: 2018/2/14

Abstract

Sistan and Baluchistan plain has been faced with significant reduction of groundwater level in recent years. One of the long-term drought conditions affected groundwater resources. One of the best measures for assessing drought and its effects is the use of the Standardized Precipitation Index (SPI). In this research, using this index, firstly, the long-term drought conditions in the eastern province of Sistan and Balouchestan were investigated and then the effects of drought on groundwater resources were investigated. In order to determine the drought periods, the data from 5 station stations from 1363 to 1393 and the qualitative data of 27 observation wells were used in two periods of 1389 and 1392, which have a good dispersion in the province. Tables of Cl, TDS, EC and Na values were prepared using statistical method to express qualitative changes. The results showed that, due to the decrease in rainfall, the average total of elements and materials in groundwater during the given period increased by 20 to 25 percent in water. Obviously, in addition to the natural factor that is drought, human factors such as population growth, land use change, plant growth, increased use of chemical fertilizers and pesticides have contributed greatly to this change in water quality. The continuation of this process of overburdening of rainfall and overtaking can bring the state of the plain closer to a critical state. Also, the central, western and northern regions will face more drought compared to the western and southern provinces of Sistan and Baluchestan.

Keywords: Drought; Sistan & Baluchistan; Standard rainfall index; floodplain