

تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری و GIS در دشت یزد- اردکان

مهديه سلطانی گردهرامزی^۱

غلامعلی مظفری^۲

شهاب شفيعی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۱۸

چکیده

در سال‌های اخیر تغییرات جهانی اقلیمی در بسیاری از مناطق کشور خصوصاً فلات مرکزی ایران منجر به تشدید پدیده خشکسالی شده است. دشت یزد- اردکان در استان یزد نیز از این امر مستثنی نبوده و تکرار این پدیده منجر به بروز تغییراتی در کیفیت و کمیت منابع آب موجود دشت که عمدتاً چاه‌های آب زیرزمینی هستند؛ گردیده است. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر خشکسالی‌های دودهه اخیر بر شوری آب استحصالی از چاه‌های آب زیرزمینی منطقه می‌باشد. برای این کار از داده‌های هواشناسی دشت یزد- اردکان در دو دوره زمانی، بارش بلند مدت ۷ ایستگاه (۱۳۹۱-۱۳۴۶) و بارش کوتاه مدت ۴۱ ایستگاه (۱۳۹۱-۱۳۷۵) استفاده شده است. نتایج این مطالعه در ارزیابی مدل‌های واریوگرامی خشکسالی‌ها بهترین مدل را، مدل کروی و گوسین در خشکسالی و شوری و همچنین با توجه به روش زمین آماری بهترین مدل برونیابی را، کریجینگ و کوکریجینگ تشخیص داده است. در تحلیل همبستگی باهر سه آماره پیرسون، منکندال و اسپرمن بین بارش (spi) و شوری بر مبنای نمره Z روند منفی به همراه همبستگی معکوس مشاهده شده، که در هیچکدام سطح معنی‌دار مشاهده نمی‌شود. وجود همبستگی قوی بین این دو پارامتر با تأخیر یک سال از نتایج دیگر این پژوهش بوده است. به وسیله نرم افزار GIS و GS+ انتخاب بهترین مدل واریوگرامی، نقشه‌های خشکسالی و شوری آب زیرزمینی و نقشه تغییرات شوری نیز ترسیم گردید. به طور کلی در اکثر ایستگاه‌ها با روند منفی بارش، روند مثبت شوری آب زیرزمینی مشاهده می‌شود و همچنین کیفیت آب زیرزمینی در مناطقی که بیشتر مورد حمله خشکسالی قرار داشته است شدیدتر تغییر یافته و شوری آن نیز بیشتر شده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، آب زیرزمینی، شوری، زمین آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دشت یزد- اردکان

۱- کارشناس ارشد آب و هواشناسی کاربردی (نویسنده مسئول) m.soltani32@gmail.com

۲- دانشیار جغرافیا، دانشگاه یزد gmozafari@yazduni.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری دانشگاه یزد shafieshahab@gmail.com

۱- مقدمه

خشکسالی‌ها یکی از تغییرات معمول اقلیمی می‌باشند که بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا را با شدت‌های زیاد هر چند سال یکبار دربرمی‌گیرد.

در بسیاری از سال‌ها هم رخداد خشکسالی برای مدتی مشخص نیست از این رو شناسایی خشکسالی، خود یافته‌ای ارزشمند برای مدیریت منابع آبی مناطقی چون ایران که بخش اعظم آنرا مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد، محسوب خواهد شد. از بین متغیرهای اقلیمی نیز بارش به عنوان مهمترین متغیر تعیین کننده در شرایط خشکسالی است.

بارندگی مهمترین متغیری است که تغییرات آن به طور مستقیم در رطوبت خاک و جریان‌های سطحی، تغییرات مخازن زیرزمینی آب و غیره منعکس می‌شود. بنابراین سه چالش عمده جهانی شامل تغییر اقلیم، کاهش منابع آبی و بیابانزایی می‌باشد.

روند تغییرات منابع آبی نشان می‌دهد که علاوه بر کاهش منابع آبی، نحوه بهره‌برداری از آن نیز در مناطق خشک و نیمه خشک طی سالیان متمادی به تدریج باعث کاهش کیفیت آب و خاک شده است.

با توجه به این که منابع آب ایران هم‌اکنون نیز تحت محدودیت شدید قرار دارد، تلاش‌های اخیر در راستای خودکفایی در تولید، باز هم فشار بیشتری بر منابع آب وارد آورده است. قطعاً با روند کنونی، منابع آب بخش کشاورزی دچار آسیب جدی خواهد شد، به طوری که خشکسالی‌های اخیر باعث افت سطح و بدی کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است. از راهکارهای مقابله با این بحران استفاده از منابع آب شور، مدیریت آبیاری، بهره‌وری آب، تغییر الگوی کشت و طبقه‌بندی اقلیمی کشاورزی می‌باشد (کیانی و خوشر روش، ۱۳۹۰: ۲۴).

بخش عمده‌ای از آب‌های موجود صرف فعالیت‌های کشاورزی می‌شود. در کشور ما بیش از ۹۰٪ آب‌های موجود در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد. به همین

سبب با کم شدن میزان آب در اثر وقوع خشکسالی بیشترین آسیب متوجه این بخش از فعالیت‌های اقتصادی می‌گردد. پیرامون خشکسالی در سطح جهان و ایران مطالعات زیادی صورت گرفته و این نشانه اهمیت موضوع است و همچنین کمبود آب و شور شدن آن که از پیامدهای خشکسالی است پژوهشگران را ملزم به تحقیقات ارزشمندی در این زمینه می‌سازد. بلنکینسپ و فولر^۱ (۲۰۰۷)، با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو به بررسی خشکسالی‌های سال‌های آتی در انگلستان پرداختند. نتایج مطالعه ایشان حاکی از کاهش شدت و تداوم خشکسالی‌ها بوده است.

شفیلدو وود^۲ (۲۰۰۸)، نیز با استفاده از مدل‌های اقلیمی و سناریوهای A2، B1 و A1B افزایش خشکسالی‌ها را در جهان به اثبات رساندند.

هدف از این مطالعه بررسی تغییرات بارش دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت تأثیر تغییر اقلیم و ارزیابی شدت و فراوانی خشکسالی و اثرات آن بر بخش کشاورزی و جریان آب‌های سطحی در سال‌های آتی می‌باشد. دمیر و همکاران^۳ و نیز پلات^۴ (۲۰۰۹) در بررسی تغییرات مکانی عمق و شوری آب زیرزمینی؛ بیشترین خطر شوری برای مناطق مورد مطالعه، افزایش غلظت نیترات، کلراید و نیز افزایش معنی‌دار میزان هدایت الکتریکی را مهمترین نتایج تحقیق خود عنوان نمودند. مظفری و همکاران^۵ (۲۰۱۱)، در ارزیابی بهترین روش زمین آماری برای درون‌یابی شاخص بارش استاندارد و شاخص خشکی مؤثر در استان بوشهر به ترتیب، روش عکس فاصله وزنی با توان ۲ و روش کریجینگ را معمولی دانستند.

یزدانی و همکاران^۶ (۲۰۱۱)، به منظور پهنه‌بندی خشکسالی در کل کشور با استفاده از شاخص بارش استاندارد دو مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه و مدل‌های

1- Blenkinsop and Fowler

2- Sheffield and Wood

3- Demir, et al

4- polat

5-Mozafari, et al

6-Yazdani, et al

(بری/برقویی، ۱۳۹۳: ۱۳)، طی مطالعه‌ای اثرات خشکسالی را بر شوری آب زیرزمینی در دشت بهادران انجام داده و پدیده تغییر اقلیم را در دوره‌های آتی (۱۴۲۰-۱۳۹۱) به کمک مدل‌های جهانی اقلیمی (مدل HadCM3) بررسی نموده است. نتایج حاکی از این است که حتی در صورت عدم تغییر در میزان آب استحصالی از چاه‌های منطقه در آینده به دلیل تغییرات اقلیمی، کیفیت آن در منطقه تغییر خواهد نمود. این نوسانات بین ۱ تا ۲ دسی زیمنس بر متر در سال‌های مختلف متفاوت خواهد بود.

(رهنما و میراثی، ۱۳۹۳: ۱۳۹)، در مطالعه‌ای که تحت عنوان خشکسالی و بحران آب در دشت مرودشت و خان‌میرزا انجام دادند، نشان دهنده یک دوره خشک سالی ۶ ساله در دشت مرودشت استان فارس و یک دوره خشکسالی ۴ ساله در دشت خان‌میرزا استان چهارمحال و بختیاری بوده است. بر این اساس در صورت ادامه روند کنونی و عدم انجام اقدامات جدی و عملی در جهت کاهش برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در این دو منطقه، در آینده نزدیک شاهد بروز پیامدهای زیست‌محیطی و مشکلات اقتصادی و اجتماعی فراوان در این دو دشت خواهیم بود.

(چشمی، ۱۳۹۳: ۵۴)، تحقیقی را در دشت رامهرمز استان خوزستان انجام داده است، وی با استفاده از شاخص‌های اقلیمی، SPI و شبکه عصبی NARX به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی پرداخته به طوری که داده‌های بارش و دما توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند و بر اساس نتایج، معیار مجموع بزرگی خشکسالی (DM)، معیار مناسب‌تری برای نشان دادن وضعیت خشکسالی در منطقه تشخیص داده شده است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج کشور در زمینه خشکسالی بیشتر به شدت خشکسالی‌ها در مناطق مختلف و همچنین توزیع مکانی آن و بررسی کیفیت آب زیرزمینی در نواحی گوناگون می‌باشد در مواردی نیز به وضعیت خشکسالی بر منابع آب سطحی و همچنین سطح آب زیرزمینی پرداخته شده است. با توجه به

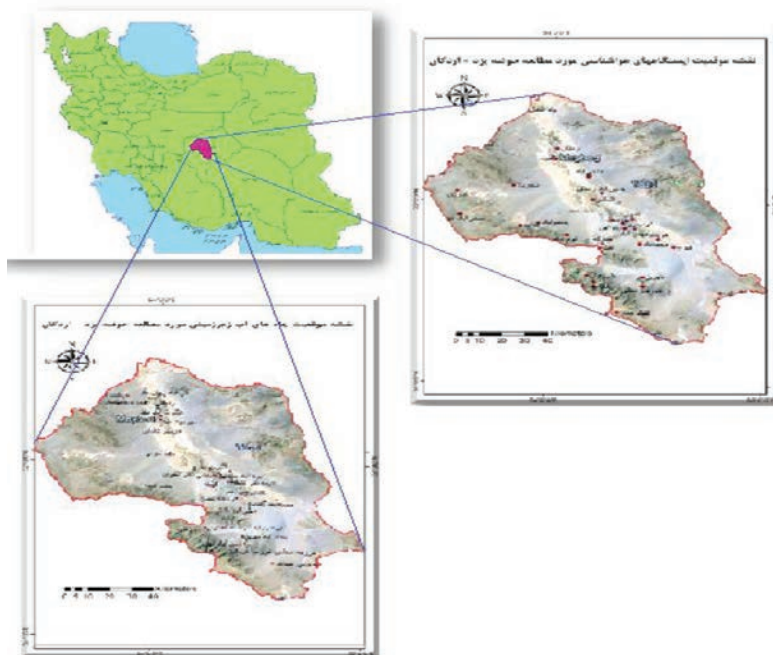
کروی، نمائی، گوسی و توانی در روش کریجینگ به این نتیجه رسیدند که در مقیاس ۱۲ ماهه مدل کروی و در مقیاس ۳ ماهه مدل نمائی نتایج قابل قبولی از خود نشان می‌دهند. ویجی و همکاران (۲۰۱۱)، مطالعه‌ای به منظور بررسی فعالیت‌های انسانی روی کیفیت آب زیرزمینی، از لحاظ آشامیدن، در شهر پوری هند انجام دادند.

نمونه‌های آب زیرزمینی جمع‌آوری شده با استفاده از تکنیک‌های ژئواستاتستیک در GIS^۲ مورد آنالیز قرار گرفت. کیفیت آب در کلاس‌های مناسب، متوسط و نامناسب طبقه‌بندی شد. آنها بیان نمودند که روش ژئواستاتستیک می‌تواند برای ارزیابی آب زیرزمینی به منظور اهداف دیگر نیز استفاده شود.

انورنو و همکاران^۲ (۲۰۱۲)، کیفیت آب زیرزمینی حوضه دنسو در غنا را با استفاده از GIS و روش‌های دراستیک مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق نشان داد که ۴۷ درصد از حوضه خطر ریسک بالا، ۴۳ درصد خطر ریسک متوسط و ۱۰ درصد خطر ریسک کمی دارد. آنها توصیه کردند رشد سریع شهری در مناطق با ریسک بالا نیاز به برنامه‌ریزی دارد و می‌توان از نتایج این تحقیق برای دیگر حوضه‌های غنا استفاده کرد.

(پورمحمدی، ۲: ۱۳۸۱)، اثرات تغییر اقلیم را بر منابع آب در حوضه آبخیز منشاد مورد بررسی قرار داده و راهکارهای مدیریتی را ارائه داده و به این نتیجه رسیده که افزایش دما و کاهش بارش در طی یک دوره آماری باعث کاهش دبی جریان‌های سطحی در منطقه شده است.

(خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۹)، در سال آبی ۸۷ - ۱۳۸۶ خشکسالی و اثرات آن را بر منابع آب و کشاورزی در شهر مرودست بررسی کردند و بیان نمودند که خشکسالی در این سال از شدت بسیار بالایی برخوردار بوده و اثرات منفی شدیدی بر منابع آب و کشاورزی شهر داشته و میزان محصول نیز در واحد سطح کاهش زیادی نسبت به دوره‌های قبل دارد.



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان یزد، پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و چاه‌های گمانه آب زیرزمینی دشت یزد - اردکان.

پراکنش ایستگاه‌ها در این حوضه، در مجموع از داده‌های سالانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی دشت یزد- اردکان طی دو دوره بلند مدت ۷ ایستگاه هواشناسی (۱۳۹۱-۱۳۴۶) و مشترک کوتاه مدت بارش و شوری ۴۱ ایستگاه هواشناسی و ۴۷ چاه آب زیرزمینی (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۱) استفاده شده است (جدول ۱ و ۲). روش مطالعه توصیفی- تحلیلی با هدف کاربردی- توسعه‌ای در این دشت که به طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی بوده است (نگاره ۱). با استفاده از نرم افزار Excel شاخص خشکسالی استاندارد شده بارش برای تعیین وضعیت خشکسالی و روش‌های آمار توصیفی در نرم‌افزار SPSS، برای تشریح وضعیت شوری آب زیرزمینی به کار برده شده است. تحلیل‌های همبستگی پیرسون و من کندال و اسپرمن نیز برای تعیین رابطه بین خشکسالی و وضعیت میزان شوری آب زیرزمینی استفاده گردید. در نهایت از سیستم اطلاعات جغرافیایی نیز برای ترسیم نقشه پهنه‌بندی وضعیت شوری آب زیرزمینی بهره برده شد.

شرایط ویژه استان یزد از نظر خشکسالی و خسارات ناشی از آن و نقش حیاتی آب (به ویژه آب زیرزمینی که تنها منبع تأمین کننده کشاورزی و توسعه آن می‌باشد) به عنوان مهمترین زیرساخت توسعه و فعالیت‌های عمرانی و آبادانی، به منظور مدیریت ریسک و کاهش خسارات ناشی از آن، شناسایی ویژگی‌های خشکسالی در سطح منطقه و پیش‌بینی قابل اطمینان آن و همچنین شناسایی کیفیت آب زیرزمینی (به ویژه شوری که در ایران مرکزی و به تبع آن استان یزد) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو هدف از انجام این تحقیق بررسی بهترین روش میانبایی خشکسالی در سطح دشت یزد - اردکان، شناخت مناطق تحت خطر این پدیده و شناسایی توزیع مکانی آن می‌باشد. همچنین به بررسی ارتباط بین خشکسالی و میزان شوری آب زیرزمینی و پراکنش مکانی آب‌های شور در دشت بزرگ یزد - اردکان پرداخته شده است (سلطانی گردفرامرزی، ۱۳۹۳: ۱۷).

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش با توجه به عدم برخورداري دوره آماری طولانی مدت برخی از ایستگاه‌ها و با در نظر گرفتن رعایت

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان ... / ۱۸۳

۱۷	۱۲۳۳	۳۱ ۵۱	۵۴ ۲۳	مهدی آباد
۱۷	۲۲۹۶	۳۱ ۳۲	۵۴ ۱۲	منشاد
۱۷	۱۴۸۷	۳۱ ۳۵	۵۴ ۲۶	مهریز
۱۷	۱۴۴۹	۳۱ ۴۶	۵۴ ۱۴	مبارکه
۱۷	۱۲۵۵	۳۱ ۴۶	۵۴ ۲۵	محمد آباد
۱۷	۱۹۹۴	۳۲ ۰۳	۴۷ ۳۴	ندوشن
۱۷	۱۲۳۶	۳۱ ۵۱	۵۴ ۲۰	راه آهن
۱۷	۲۱۸۴	۳۱ ۵۵	۵۳ ۳۵	صدر آباد ندوشن
۱۷	۲۰۹۰	۳۲ ۰۹	۴۷ ۲۵	سورک
۱۷	۱۵۰۰	۳۱ ۴۵	۵۴ ۱۴	تفت
۱۷	۲۲۷۰	۳۱ ۲۳	۵۴ ۱۹	تنگ چنار
۱۷	۲۲۴۷	۳۱ ۳۶	۵۴ ۱۰	طزرجان
۱۷	۱۳۸۷	۳۲ ۳۲	۵۴ ۲۵	توت

مأخذ: سازمان هواشناسی استان یزد، ۱۳۹۳.

جدول ۲: مشخصات چاه‌های آب زیرزمینی مورد مطالعه

دوره آماری مورد مطالعه (سال)	ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض	طول	نام چاه و قنات
		جغرافیایی (درجه- دقیقه)	جغرافیایی (درجه- دقیقه)	
۱۸	۱۲۳۴	۳۱ ۵۱	۵۴ ۲۴	اکرمیه
۱۸	۱۲۰۶	۳۱ ۵۵	۵۴ ۱۹	کارخانه افشار (بلوار)
۱۸	۱۲۱۴	۳۲ ۱۹	۴۷ ۴۸	ارجنان اردکان
۱۸	۱۱۹۳	۳۱ ۵۷	۵۴ ۱۷	انبار اداره راه
۱۸	۱۲۶۱	۳۱ ۴۷	۵۴ ۳۴	شرکت احرار
۱۸	۱۲۱۳	۳۱ ۵۴	۵۴ ۲۲	اتان گاز
۱۸	۱۱۹۵	۳۱ ۵۷	۵۴ ۲۰	آجر فرد
۱۸	۱۰۱۴	۳۲ ۲۱	۴۷ ۵۷	نظام آباد میرشاه
۱۸	۲۰۲۷	۳۱ ۳۷	۵۴ ۱۱	نوهنزا
۱۸	۱۰۴۰	۳۲ ۲۰	۴۷ ۵۵	شماره ۱میلشبار
۱۸	۱۲۶۳	۳۱ ۴۶	۵۴ ۲۵	محمد آباد (قنات)

جدول ۱: مختصات جغرافیایی و ارتفاعی ایستگاه‌های مورد

مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه- دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه- دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (m)	دوره آماری مورد مطالعه (سال)
مزرعه نو	۴۷ ۲۹	۳۲ ۲۳	۱۳۳۷	۱۷ و ۴۵
مزرعه آقا	۵۴ ۳۶	۳۲ ۲۰	۱۹۱۱	۱۷ و ۴۵
حسین آباد	۵۴ ۱۴	۳۲ ۰۲	۱۱۸۴	۱۷ و ۴۵
حاجی آباد	۵۴ ۱۰	۳۲ ۰۸	۱۱۴۲	۱۷ و ۴۵
خویدک	۵۴ ۳۰	۳۱ ۴۷	۱۲۵۵	۱۷ و ۴۵
اردکان	۵۴ ۰۱	۳۲ ۱۷	۱۰۴۸	۱۷ و ۴۵
آبشور یزد	۵۴ ۲۲	۳۱ ۵۴	۱۲۰۹	۱۷
علی آباد چهل گری	۵۴ ۱۶	۳۱ ۱۷	۱۹۶۰	۱۷
اشکذر	۵۴ ۱۱	۳۲ ۰۰	۱۱۶۵	۱۷
بهداران	۵۴ ۵۵	۳۱ ۱۹	۱۴۶۰	۱۷
بنادک سادات	۵۴ ۱۲	۳۱ ۳۳	۲۱۸۹	۱۷
بیداخوید	۴۷ ۵۵	۳۱ ۳۳	۲۶۶۳	۱۷
چاه افضل	۴۷ ۵۲	۳۲ ۳۰	۹۸۰	۱۷
درب رز	۵۴ ۲۰	۳۱ ۵۳	۱۲۲۶	۱۷
ابراهیم آباد	۵۴ ۲۰	۳۱ ۳۷	۱۶۰۹	۱۷
اشنیز	۴۷ ۴۹	۳۲ ۰۵	۱۸۱۲	۱۷
فخرآباد	۴۷ ۴۰	۳۲ ۱۹	۱۴۸۳	۱۷
فهرج	۵۴ ۳۴	۳۱ ۴۵	۱۲۷۲	۱۷
گاریز	۵۴ ۰۶	۳۱ ۱۸	۲۰۳۲	۱۷
گردکوه	۵۴ ۴۷	۳۱ ۳۰	۱۴۵۷	۱۷
قوام آباد	۵۴ ۰۴	۳۱ ۴۹	۱۶۴۳	۱۷
هفتادر	۴۷ ۴۱	۳۲ ۲۷	۱۰۹۶	۱۷
کذاب	۴۷ ۵۲	۳۱ ۰۵	۱۸۸۰	۱۷
خرانق	۵۴ ۴۱	۳۲ ۲۰	۱۸۱۵	۱۷
خضر آباد	۴۷ ۵۷	۳۱ ۵۳	۱۶۳۷	۱۷
خورمیز	۵۴ ۲۶	۳۱ ۳۲	۱۵۰۹	۱۷
میبد	۵۴ ۰۱	۳۲ ۱۴	۱۰۹۲	۱۷

۱۸	۱۶۴۲	۳۱ ۳۸	۵۴ ۱۹	ابراهیم آباد - رحمت
۱۸	۱۲۷۸	۳۱ ۵۲	۵۴ ۱۶	معتادین
۱۸	۱۲۷۰	۳۱ ۴۶	۵۴ ۳۵	باقری فهرج
۱۸	۱۵۴۴	۳۱ ۳۵	۵۴ ۲۵	بغداد آباد مهریز
۱۸	۱۰۹۵	۳۲ ۲۲	۴۷ ۵۰	پاگنده اردکان
۱۸	۱۲۱۹	۳۱ ۵۳	۵۴ ۲۰	ترمه بلقی قانعان
۱۸	۱۰۲۲	۳۲ ۲۲	۵۴ ۰۱	تقی آباد زمان آباد
۱۸	۱۰۲۹	۳۲ ۲۰	۵۴ ۰۱	چهار بازار اردکان
۱۸	۱۱۱۵	۳۲ ۱۰	۵۴ ۰۶	رستم کاشانی
۱۸	۱۱۵۱	۳۲ ۰۲	۵۴ ۰۴	قند هاری
۱۸	۱۱۸۰	۳۱ ۵۸	۵۴ ۱۳	ملت زارچ

مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای استان یزد، ۱۳۹۳.

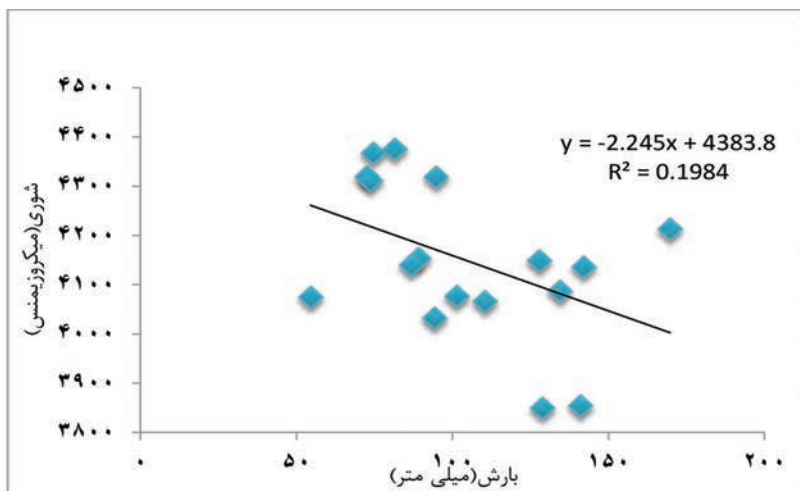
۳- نتایج و بحث

پس از تعیین میانگین شوری آب زیرزمینی در سال‌های مشاهداتی، اقدام به تعیین ارتباط آن با بارندگی سالانه حوضه به عنوان مهمترین و مؤثرترین پارامتر اقلیمی در منطقه مطالعاتی شد. نگاره ۲ نشان دهنده رابطه رگرسیونی بین این دو پارامتر است.

نمودار ارائه شده در نگاره ۲ بیانگر این مسئله است که میزان بارش در هر سال، با مقدار شوری سفره آب زیرزمینی هماهنگ است یعنی تغییرات کیفی آب زیرزمینی متأثر از عامل اقلیمی (بارش) است و یا به عبارت دیگر با افزایش نزولات جوی به خصوص بارش، شوری آب زیرزمینی کاهش می‌یابد.

با توجه به آماره من‌کندال و ضریب همبستگی پیرسون و اسپرمن بین شاخص خشکسالی مورد مطالعه SPI و شوری آب زیرزمینی بر مبنای نمره Z دشت یزد - اردکان مشاهده می‌شود که در هر سه آماره فوق بارش دارای روند منفی

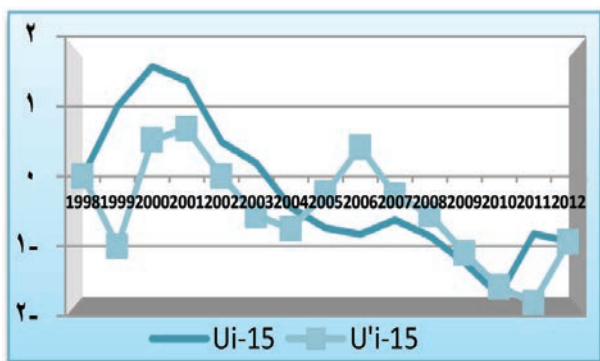
۱۸	۱۴۳۱	۳۱ ۳۱	۵۴ ۳۷	مزرعه استادان
۱۸	۱۰۹۰	۳۲ ۱۴	۵۴ ۰۰	مهرجرد میند
۱۸	۱۲۱۷	۳۱ ۵۳	۵۴ ۲۲	میدان شهدا
۱۸	۱۱۹۷	۳۱ ۵۶	۵۴ ۱۸	دکتر میرجلیلی
۱۸	۱۰۲۷	۳۲ ۲۰	۴۷ ۵۶	شماره ۵ میلشبار
۱۸	۱۲۱۱	۳۱ ۴۳	۵۴ ۲۸	علی آباد دشتی
۱۸	۱۰۶۰	۳۲ ۱۶	۵۴ ۰۰	عشرت آباد میند
۱۸	۱۰۱۶	۳۲ ۲۳	۵۴ ۰۰	عیش آباد اردکان
۱۸	۱۶۰۴	۳۱ ۳۱	۵۴ ۲۴	غربالیز
۱۸	۱۰۳۷	۳۲ ۱۸	۵۴ ۱۴	واعظی
۱۸	۱۰۳۶	۳۲ ۲۲	۵۴ ۰۱	قاسم آباد اردکان
۱۸	۱۰۲۲	۳۲ ۱۹	۵۴ ۰۱	قطب آباد اردکان
۱۸	۱۲۴۵	۳۱ ۴۹	۵۴ ۲۵	کشاوری دهنو
۱۸	۱۱۸۳	۳۱ ۵۷	۵۴ ۱۵	شیرین زارچ
۱۸	۱۱۷۳	۳۱ ۵۸	۵۴ ۱۵	شور زارچ
۱۸	۱۲۰۱	۳۱ ۵۵	۵۴ ۱۷	ابرنده آباد سکنایی
۱۸	۱۲۵۳	۳۱ ۴۸	۵۴ ۲۴	کارخانه سیمان
۱۸	۱۲۹۰	۳۱ ۵۱	۵۴ ۱۵	شحنه
۱۸	۱۷۴۱	۳۱ ۳۸	۵۴ ۱۴	طنج
۱۸	۱۲۶۹	۳۱ ۴۶	۵۴ ۳۳	ذوب روی
۱۸	۱۵۵۳	۳۱ ۲۶	۵۴ ۳۴	مزرعه حاجی عبدالله
۱۸	۱۵۲۸	۳۱ ۳۳	۵۴ ۲۵	حسن آباد مهریز
۱۸	۱۲۴۱	۳۱ ۵۰	۵۴ ۲۵	حسین آباد ریسمانی
۱۸	۱۷۱۷	۳۱ ۵۱	۴۷ ۵۷	خضرآباد
۱۸	۱۲۶۳	۳۱ ۴۷	۵۴ ۳۱	خویدک



نگاره ۲: ارتباط بین بارندگی و شوری سالانه آب زیرزمینی دشت یزد - اردکان در دو دهه اخیر

تأثیرپذیری بیشتر نسبت به چاه‌های اطراف، با نزدیکترین چاه اطراف مقایسه می‌شود. به طور کلی از مقایسه روند بلندمدت و کوتاه‌مدت ایستگاه‌ها به این نتیجه می‌رسیم که تغییرات در ارزیابی روند کوتاه مدت مشخص و محسوس‌تر به نظر می‌رسد.

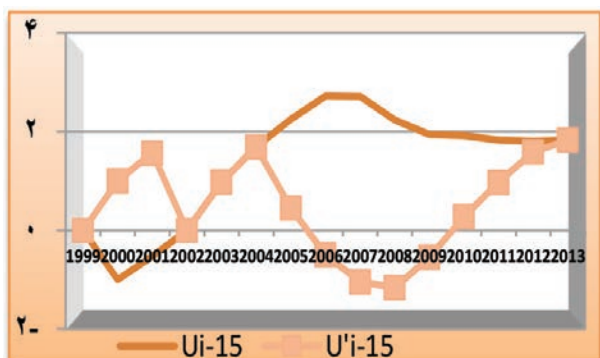
می‌باشد و همبستگی بین دو پارامتر ذکر شده معکوس است اما معنی‌دار نمی‌باشد. به دلیل اینکه اثر خشکسالی بر روی منابع آب با تأخیر صورت می‌گیرد و نیز چون محدودیت و فقدان داده‌های ماهانه شوری آب زیرزمینی وجود داشته، دوره زمانی سالیانه مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین اثر خشکسالی را یک بار با همان سال و بار دیگر با تأخیر یک ساله همبستگی گرفته و برای هر سه روش ضرایب پیرسون، من‌کنندال و اسپیرمن، همبستگی قوی‌تری در بررسی با یک سال تأخیر قابل مشاهده می‌باشد. در هیچ‌کدام از ضرایب سطح معنی‌دار مشاهده نمی‌شود و همبستگی معکوس می‌باشد (جدول ۳).



نگاره ۳: روند بارش کوتاه مدت ایستگاه هواشناسی یزد

جدول ۳: همبستگی بین میزان SPI و شوری آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان بر مبنای نمره Z و نیز با تأخیر یک ساله دوره (۱۳۷۵ - ۱۳۹۱)

ضرایب همبستگی	SPI و شوری بر مبنای نمره Z سال بعد	SPI و شوری بر مبنای نمره Z
پیرسون	-۰/۱۸۴	-۰/۱۰۶
من-کنندال	-۰/۲۲۹	-۰/۳۷
اسپیرمن	-۰/۳۰۰	-۰/۱۲۸



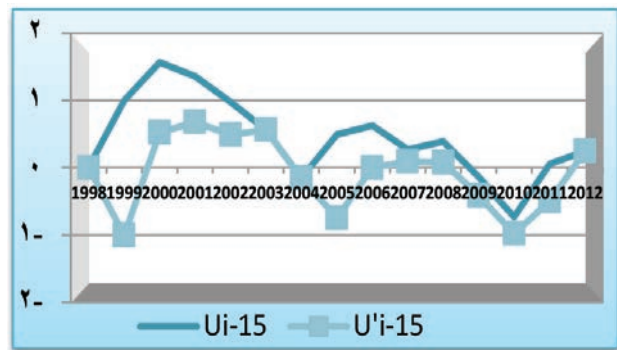
نگاره ۴: روند شوری آب زیرزمینی کارخانه افشار

در بررسی آماره من‌کنندال بارش و میزان شوری آب، برای هر ایستگاه بارشی از نزدیکترین چاه‌هایی که شوری آن سنجیده شده به عنوان نمونه استفاده شده است. به طور مثال ایستگاه هواشناسی یزد و فهرج به سبب نزدیکی و

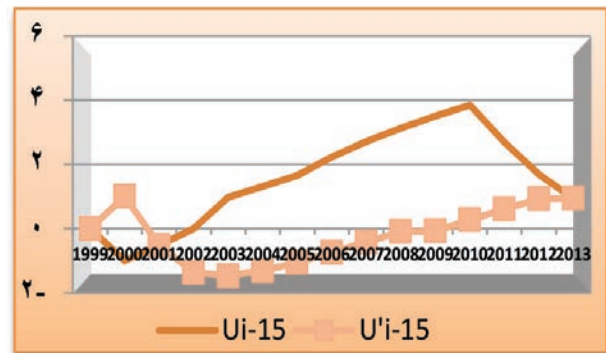
است (نگاره ۴). بارش ایستگاه فهرج دارای نوسان و از سال ۲۰۰۸ به بعد با روند منفی و از سال ۲۰۱۰ تا کنون روند مثبت داشته است (نگاره ۵). شوری باقری فهرج، با شیب بسیار زیاد افزایش و از سال ۲۰۱۰ به بعد کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است (نگاره ۶).

برای تعیین نوع و زمان تغییر در سری‌های زمانی از آزمون گرافیکی من-کندال استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل نمودارهای گرافیکی برای ایستگاه‌های منتخب بارش و آب زیرزمینی در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ ذکر گردیده است. در این پژوهش وجود روند آرام با حرف T، تغییر ناگهانی در محل تقاطع منحنی‌های U و U' با حرف C مشخص شده است. همچنین حرف دوم I برای افزایش و D برای کاهش روند به کار برده شده است.

در سری داده‌های بلند مدت ۴۵ ساله (۱۳۴۶ تا ۱۳۹۱) ایستگاه‌های جدول ۴ به جز ایستگاه حاجی آباد، روند افزایشی وجود داشته است. همچنین در ایستگاه اردکان نیز روند خاصی مشاهده نمی‌شود. تغییرات بارش در بقیه نقاط از نوع کاهشی می‌باشد. همچنانکه قبلاً اشاره شد، برای مقایسه بهتر بارش و آب زیرزمینی، چاه‌های نزدیک به هر ایستگاه هواشناسی انتخاب گردید و تغییرات آنها مورد بررسی قرار گرفت. به طور مثال ایستگاه یزد تا سال ۲۰۱۱ روند منفی را طی نموده است. در حالی که در بررسی نزدیکترین چاه‌های اطراف آن، کارخانه افشار و سکنایی ابرندآباد تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ روند مثبت را تجربه نمودند، که اثر کمبود بارش روی شوری را اگر چه نمی‌توان تنها علت



نگاره ۵: روند بارش کوتاه مدت ایستگاه هواشناسی فهرج



نگاره ۶: روند شوری آب زیرزمینی باقری فهرج

در ایستگاه یزد روند از سال ۲۰۰۲ شروع شده و تا سال ۲۰۰۵ با روند کاهشی ادامه یافته است و در سال ۲۰۱۱ افزایش محسوسی را در روند بارش ملاحظه می‌کنیم (نگاره ۳). کیفیت شوری آب زیرزمینی کارخانه افشار از سال ۲۰۰۰ به بعد به طور قابل ملاحظه‌ای روند افزایشی داشته تا سال ۲۰۰۴ با تغییر شیب جهشی با روند مثبت روبرو بوده و در سال ۲۰۱۰ به بعد تاکنون این روند ثابت مانده

جدول ۴: نوع و زمان تغییرات سالانه بارش بر اساس نمودارهای گرافیکی من کندال در دوره بلند مدت ایستگاه‌های دشت یزد - اردکان.

ایستگاه	یزد	مزرعه نو	مزرعه آقا	حسین آباد	حاجی آباد	خویدک	اردکان
سری زمانی ۴۵ ساله	TD2002	CI1970	CD1971	CD 1911	CD 1970	CI 1972	CI 1973
	TI2009	CI1986	CI1988	CI 1976	CD 1980	TD 2002	CD1986
	CI2011	CD1994	CD2002	TD 2001	TI 1987	CD 2010	CI1993
			CD2011	CD2011	CD2011	CI 2002	CI 2011

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان ... / ۱۸۷

جدول ۵: نوع و زمان تغییرات سالانه بارش بر اساس نمودارهای گرافیکی من کندال در دوره کوتاه مدت ایستگاه‌های منتخب دشت یزد - اردکان

فهرج		چاه افضل	اشکذر	اردکان	خویدک	حاجی آباد	یزد	ایستگاه سری زمانی	
TD 2000 TI 2004 TD 2008 TI 2010		TD 2004 TI 2009 CI 2011	TD 2003 CI 2010	TI 1999 TD 2008 TI 2010	TD2000 TD2006 TI 2010	CI 2000 TI2002	TD 2002 CD 2005 CI 2011 CD 2012	۱۵ ساله	
طرزجان		محمدآباد	مهریز	مهدی آباد	میبد	خورمیز	خضراآباد	گردکوه	ایستگاه سری زمانی
TD2002 CI 2007 TI 2010		TD2004 TI 2010	TD 2001 TI 2004	TD 2002 CD2006 CI 2010	TD 2002 CD2004 CI 2008 TI 2011	TD2002 CD2003 CD2005 CI 2009	CI 2000 CD 2003 TI 2006 TD 2008 CI 2011	TD 2007 TI 2010	۱۵ ساله

جدول ۶: نوع و زمان تغییرات سالانه شوری آب زیرزمینی بر اساس نمودارهای گرافیکی من کندال در چاه‌های منتخب دشت یزد - اردکان

علی آباد دشتی	مهرجرد میبد	مزرعه استادان	نوهنزا	شرکت احرار	کارخانه افشار	اکرمیه	محل سری زمانی
CI 2004 TD 2007	TD 2002 TI 2007	TI 2004 TD 2011	TD 2002 TD 2009 TD 2012	TC 2003	TI 2000 CI 2002 CI 2004 TD 2010	TI 2001 TI 2010	۱۵ ساله
شور زارچ	شیرین زارچ	قطب آباد اردکان	واعظی	غربالبیز	عیش آباد اردکان	عشرت آباد میبد	محل سری زمانی
TI 2006 CI 2007 CD 2010	CI 2001 CI 2003 TD 2007	TD 2000 TI 2005 TD 2010 TI 2012	TI 2002 TD 2004 TI 2007	CD 2001 CD 2006 CD 2008 TI 2010	TD 2003 TD 2009	TD 2002 CD 2003 TI 2007	۱۵ ساله
ادامه جدول ۶:							
خضراآباد	حسین آباد ریسمانی	حسن آباد مهریز	مزرعه حاجی عبدالله	ذوب روی	کارخانه سیمان	سکنایی ابرند آباد	محل سری زمانی
CD 2003 TI 2006 CI 2013	TI 2000	TD 2002 CD 2003 TI 2006 CD 2008 CI 2010 TD 2011	TD 2002 TI 2006 TD 2011	TD 2000 CI 2005 TI 2010	CI 2002 TD 2004 CI 2009 TD 2010	TI 2000 TD 2010	۱۵ ساله
ملت زارچ	قند هاری	چهاربازار اردکان	پاگنده اردکان	بغدادآباد مهریز	باقری فهرج	خویدک	محل سری زمانی
TI 2002 TD 2010	TD 2003	CD 2001 TI 2007 TD 2011	TD2002 TD 2006	TD2002 CD 2008	CI 2001 TD 2010	TI 2002	۱۵ ساله

جدول ۷: مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی بلند مدت ۴۵ ساله در دشت یزد - اردکان

سال	۱۳۴۶	۱۳۴۷	۱۳۴۸	۱۳۴۹	۱۳۵۰	۱۳۵۱	۱۳۵۲	۱۳۵۳	۱۳۵۴
میانگین خشکسالی دشت	۰/۴	-۰/۴	-۱/۵	۱/۰	-۰/۳	-۰/۶	-۱/۲	۰/۳	۰/۷
سال	۱۳۵۵	۱۳۵۶	۱۳۵۷	۱۳۵۸	۱۳۵۹	۱۳۶۰	۱۳۶۱	۱۳۶۲	۱۳۶۳
میانگین خشکسالی دشت	۲/۳	-۰/۴	۰/۴	-۰/۵	-۰/۴	۰/۵	۰/۴	-۰/۴	۰/۱
سال	۱۳۶۴	۱۳۶۵	۱۳۶۶	۱۳۶۷	۱۳۶۸	۱۳۶۹	۱۳۷۰	۱۳۷۱	۱۳۷۲
میانگین خشکسالی دشت	۰/۴	۰/۲	-۱/۰	-۰/۶	۰/۱	۰/۳	۱/۱	-۰/۲	-۰/۴
سال	۱۳۷۳	۱۳۷۴	۱۳۷۵	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱
میانگین خشکسالی دشت	۰/۹	-۰/۳	-۰/۱	۱/۳	-۰/۹	-۰/۴	-۰/۴	۰/۴	۰/۳
سال	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
میانگین خشکسالی دشت	۰/۲	-۰/۳	۰/۱	-۰/۵	-۰/۲	۰/۱	-۰/۶	-۰/۸	۰/۸
سال	۱۳۹۱	-	-	-	-	-	-	-	-
میانگین خشکسالی دشت	-۰/۱	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول ۸: مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی کوتاه ۱۷ ساله در دشت یزد - اردکان.

سال	۱۳۷۵	۱۳۷۶	۱۳۷۷	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳
میانگین خشکسالی دشت	۰/۴	۱/۶	-۱/۲	-۰/۳	۰/۱	۰/۷	۰/۷	۰/۰	-۰/۷
سال	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	-
میانگین خشکسالی دشت	۰/۰	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۲	-۰/۷	-۰/۸	۰/۸	-۰/۲	-

(IDW)، نقشه‌های شدت خشکسالی و روش کریجینگ، نقشه‌های شوری آب زیرزمینی در محیط ArcGIS ترسیم گردید و جهت تعیین طبقات مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد از طبقه‌بندی شاخص بارش استاندارد استفاده شد. در نرم افزار زمین آماری ژئوس پلاس (+GS) و ترسیم واریوگرام اولیه، انتخاب گزینه مدل این امکان را می‌دهد که در هر نوع واریوگرام مقادیر اثر قطعه‌ای، آستانه و دامنه داده‌ها را نشان داده و بهترین نوع مدل واریوگرام انتخاب شود. همچنین مقادیر به همراه ضرایب آماری برازش داده شده را ارائه می‌دهد. مبنای انتخاب در نوع واریوگرام در این قسمت بالا بودن مقدار (r²) و کم بودن خطای (RSS) می‌باشد. در این پژوهش برای هر سال مدل واریوگرامی همسانی خشکسالی و شوری آب زیرزمینی محاسبه و بهترین مدل انتخاب گردید (نگاره‌های ۷ الی ۲۲).

دانست ولی حاکی از تأثیر قابل ملاحظه می‌باشد. بقیه موارد در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. شایان ذکر است که در اکثر ایستگاه‌ها تا سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ روند منفی و با بارش قابل ملاحظه‌ای که در این سال‌ها رخ داده است روند شوری نیز کمتر یا ثابت مانده است. در ادامه با استفاده از نرم افزار اکسل شاخص استاندارد شده بارش برای داده‌های بارش دشت مورد مطالعه محاسبه شد و اقدام به بررسی شدت خشکسالی در سطح دشت یزد - اردکان شد (جدول‌های ۷ و ۸). در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس مقادیر شاخص بارش استاندارد به صورت لایه نقطه‌ای در محیط +GS و GIS وارد گردید. پس از تعیین بهترین روش میانبایی براساس فاکتور خطا و تعمیم خشکسالی‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای و با استفاده از روش‌های درونبایی کوکریجینگ و عکس فاصله وزنی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان ... / ۱۸۹

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input checked="" type="radio"/> Spherical	0.1190	1.0440	30700.0000	30700.0000	0.886	0.506	0.430
<input type="radio"/> Exponential	0.0010	1.0520	10600.0000	31800.0000	0.999	0.475	0.463
<input type="radio"/> Linear	0.6281	1.0862	56293.2771	56293.2778	0.422	0.157	1.30
<input type="radio"/> Linear to sill	0.6270	1.6970	131000.0000	31000.0000	0.631	0.157	0.733
<input type="radio"/> Gaussian	0.2580	1.0430	14700.0000	25461.1469	0.753	0.504	0.431

نگاره ۱۱: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (شوری سال ۱۳۷۷)

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input type="radio"/> Spherical	100.00000	311000.0000	101800.0000	01800.00000	1.000	0.967	2.377E+08
<input type="radio"/> Exponential	100.00000	311200.0000	47500.00000	42500.00000	1.000	0.981	4.523E+08
<input type="radio"/> Linear	100.00000	311200.0000	75400.00000	75400.00000	1.000	0.942	2.744E+08
<input type="radio"/> Linear to sill	100.00000	311200.0000	75400.00000	75400.00000	1.000	0.942	2.744E+08
<input checked="" type="radio"/> Gaussian	100.00000	258300.0000	34500.00000	59755.7529	1.000	0.995	2.972E+08

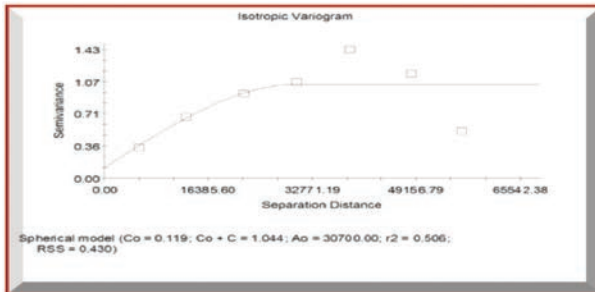
نگاره ۷: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (خشکسالی سال ۱۳۷۶)

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input type="radio"/> Spherical	0.6160	1.2330	129700.0000	29700.00000	0.500	0.116	0.790
<input checked="" type="radio"/> Exponential	0.0010	0.9790	8900.00000	26700.00000	0.999	0.406	0.529
<input type="radio"/> Linear	0.6880	1.0161	67493.2480	67493.2483	0.323	0.101	1.16
<input type="radio"/> Linear to sill	0.6800	1.4510	153300.0000	53300.00000	0.531	0.101	0.797
<input type="radio"/> Gaussian	0.7910	1.5830	131400.0000	27591.4761	0.500	0.032	0.858

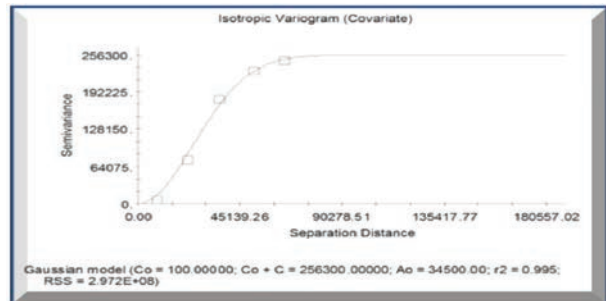
نگاره ۱۲: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (شوری سال ۱۳۷۸)

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input type="radio"/> Spherical	100.00000	202000.0000	60900.00000	60900.00000	1.000	0.854	3.310E+08
<input type="radio"/> Exponential	100.00000	210200.0000	28500.00000	85500.00000	1.000	0.677	5.774E+08
<input type="radio"/> Linear	119515.0500	220952.8500	143013.6300	43013.6321	0.459	0.291	2.446E+10
<input type="radio"/> Linear to sill	120800.0000	372300.0000	360800.0000	60800.00000	0.676	0.291	1.142E+10
<input checked="" type="radio"/> Gaussian	100.00000	204700.0000	29000.00000	50229.4734	1.000	0.858	2.503E+08

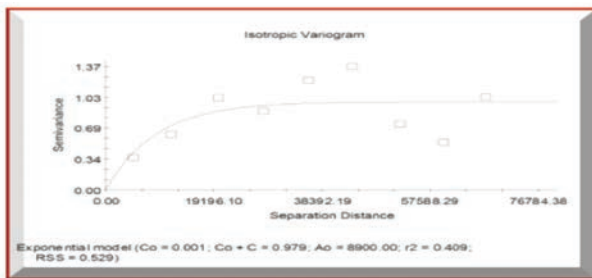
نگاره ۸: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (خشکسالی سال ۱۳۷۷)



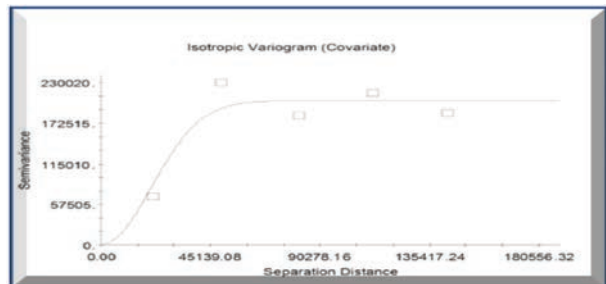
نگاره ۱۳: مدل واریوگرامی مناسب (شوری، سال ۱۳۷۷)



نگاره ۹: مدل واریوگرامی مناسب (خشکسالی سال ۱۳۷۶)



نگاره ۱۴: مدل واریوگرامی مناسب (شوری، سال ۱۳۷۸)



نگاره ۱۰: مدل واریوگرامی مناسب (خشکسالی سال ۱۳۷۷)

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input checked="" type="radio"/> Spherical	0.0500	1.0760	33700.0000	33700.0000	0.946	0.570	0.429
<input type="radio"/> Exponential	0.0010	1.0890	12300.0000	36900.0000	0.999	0.518	0.492
<input type="radio"/> Linear	0.5640	1.1320	56293.2771	56293.2778	0.502	0.210	1.66
<input type="radio"/> Linear to sill	0.5710	1.8720	131200.0000	31200.0000	0.695	0.210	0.788
<input type="radio"/> Gaussian	0.2070	1.0740	16200.0000	28059.2231	0.807	0.565	0.434

نگاره ۱۹: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (شوری سال ۱۳۸۹)

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input checked="" type="radio"/> Spherical	0.007700	0.136800	411000.0000	11000.0000	0.944	0.982	3.350E-05
<input type="radio"/> Exponential	0.006300	0.222600	400200.0000	00600.0000	0.972	0.974	4.744E-05
<input type="radio"/> Linear	0.008245	0.071142	138831.631	38831.6386	0.884	0.986	8.259E-03
<input type="radio"/> Linear to sill	0.008400	0.171400	361000.0000	61000.0000	0.951	0.986	2.573E-05
<input type="radio"/> Gaussian	0.020500	0.203500	234700.0000	06512.3245	0.899	0.996	6.445E-06

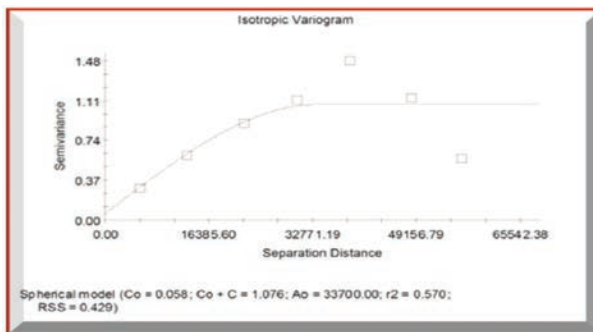
نگاره ۱۵: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (خشکسالی ۱۳۸۸)

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input checked="" type="radio"/> Spherical	0.0470	0.9830	32400.0000	32400.0000	0.952	0.617	0.289
<input type="radio"/> Exponential	0.0010	0.9950	12000.0000	36000.0000	0.999	0.555	0.344
<input type="radio"/> Linear	0.5285	1.0355	56293.2771	56293.2778	0.490	0.222	1.28
<input type="radio"/> Linear to sill	0.5360	1.6930	131200.0000	31200.0000	0.683	0.222	0.588
<input type="radio"/> Gaussian	0.1990	0.9840	15900.0000	27539.6078	0.798	0.611	0.294

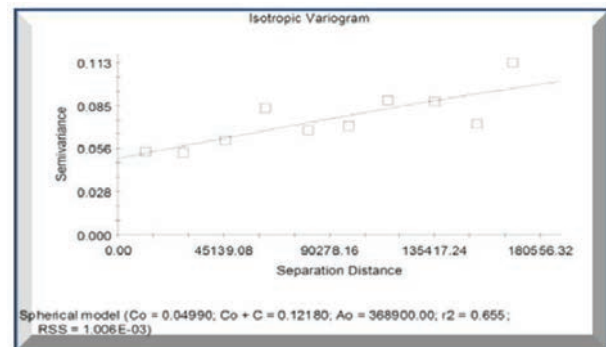
نگاره ۲۰: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (شوری سال ۱۳۹۱)

Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range Parameter Ao	Effective Range	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
<input checked="" type="radio"/> Spherical	0.049900	0.121800	368900.0000	68900.0000	0.590	0.655	1.006E-03
<input type="radio"/> Exponential	0.049000	0.180000	387500.0000	62500.0000	0.728	0.654	1.008E-03
<input type="radio"/> Linear	0.050607	0.096657	168333.231	68333.2349	0.476	0.656	9.985E-03
<input type="radio"/> Linear to sill	0.050800	0.148600	359600.0000	59600.0000	0.658	0.656	9.938E-04
<input type="radio"/> Gaussian	0.059400	0.268800	362200.0000	27348.8025	0.779	0.638	1.056E-03

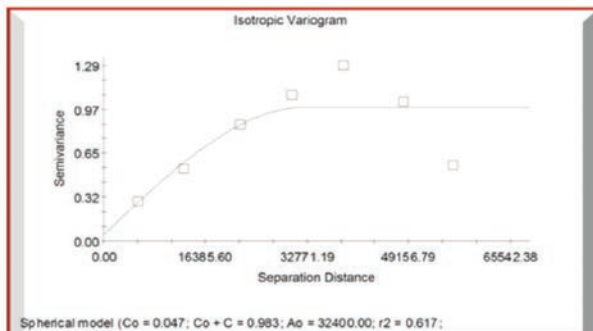
نگاره ۱۶: ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام (خشکسالی ۱۳۹۰)



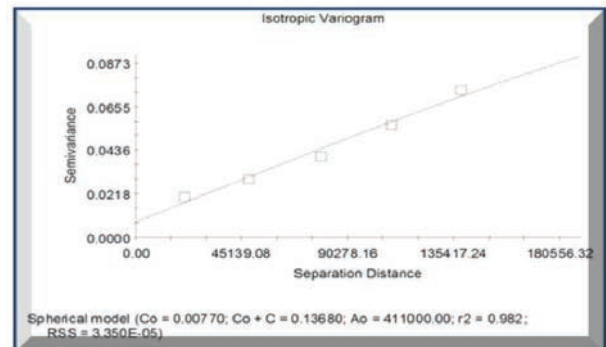
نگاره ۲۱: مدل واریوگرامی مناسب (شوری سال ۱۳۸۹)



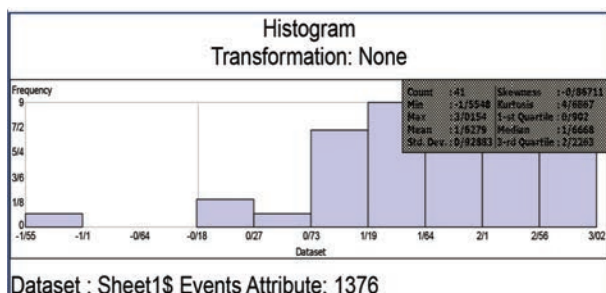
نگاره ۱۷: واریوگرامی مناسب (خشکسالی سال ۱۳۸۸)



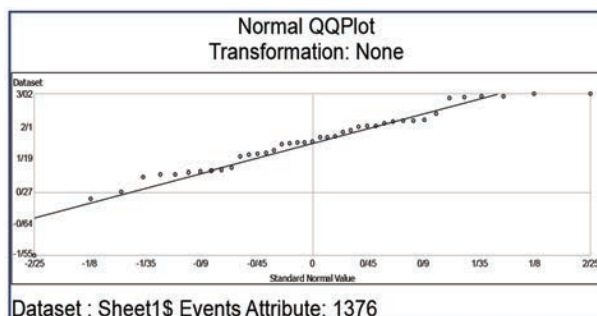
نگاره ۲۲: مدل واریوگرامی مناسب (شوری سال ۱۳۹۱)



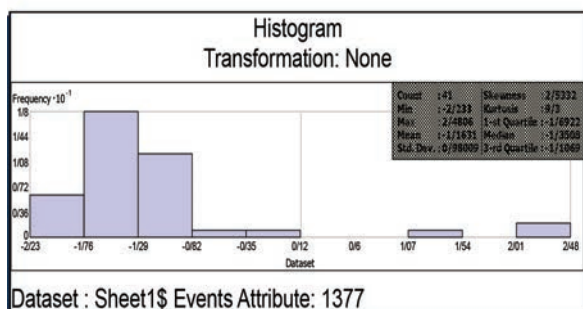
نگاره ۱۸: مدل واریوگرامی مناسب (خشکسالی سال ۱۳۹۰)



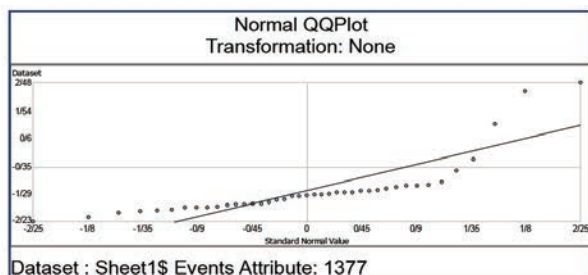
نگاره ۲۳: هیستوگرام داده‌ها جهت تحلیل آماری spi (سال ۱۳۷۶)



نگاره ۲۴: نمودار نرمالیزه داده‌های توصیفی spi (سال ۱۳۷۶)



نگاره ۲۵: هیستوگرام داده‌ها جهت تحلیل آماری spi (سال ۱۳۷۷)



نگاره ۲۶: نمودار نرمالیزه داده‌های توصیفی spi (سال ۱۳۷۷)

روش‌های درونیابی برای ارائه بهترین برازش منطقه‌ای با توجه به توزیع نرمال داده‌های خام استفاده می‌شود. کلیه داده‌های خام در صورت داشتن چولگی بایستی با استفاده از توابع تحلیلی تبدیل به نرمال شوند.

ابزار هیستوگرام در توابع توزیعی یک متغیره برای هر خصوصیت جهت برازش نرمال بودن داده‌ها به کار برده می‌شود. این نمودار می‌تواند نقاط پرت را در یک توزیع احتمالاتی نشان دهد و با انتخاب و حذف آن توزیع بهتری را برای پهنه‌بندی در اختیار قرار دهد (کاردان مقدم و خاشعی، ۱۳۹۱: ۴۲).

نرمال بودن داده‌ها شرط استفاده از روش زمین آماری است. با بررسی دو روش هیستوگرام و QQPlot، مشخص شد که داده‌های شوری از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. به همین دلیل داده‌ها به لگاریتم داده‌ها منتقل گردید تا از این طریق داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت کنند.

همانطور که هیستوگرام لگاریتم داده‌ها نشان می‌دهد، میانگین و میانه داده‌ها بسیار نزدیک می‌باشد.

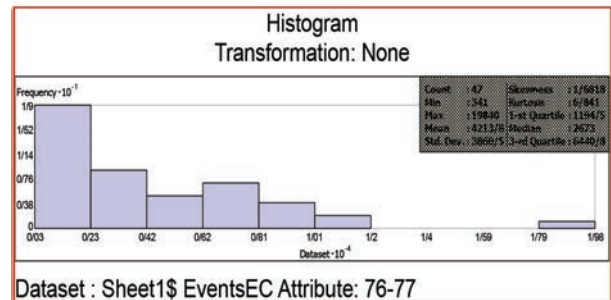
به عنوان نمونه میانگین خشکسالی دشت در سال ۱۳۷۶ برابر با $1/62$ و میانه آن نیز برابر با $1/66$ بوده است). بنابراین داده‌ها با تبدیل لگاریتمی به توزیع نرمال تبدیل شده و از این طریق شرط نرمال بودن توزیع داده‌ها برای استفاده از روش زمین آمار صورت پذیرفت.

برای مقایسه توزیع فراوانی داده‌ها با توزیع نرمال استاندارد از منحنی NormalQQPlot استفاده می‌شود. در این روش با توجه به خط راست ترسیم شده، نرمال بودن داده‌ها بر اساس فاصله با این خط سنجیده می‌شود.

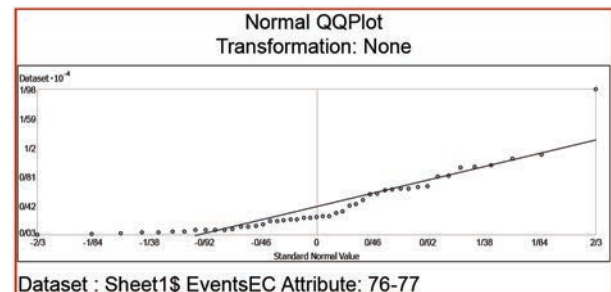
بنابراین در پژوهش حاضر، بر حسب منحنی Normal QQPlot تقریباً داده‌های شاخص خشکسالی ما در سال‌های مورد مطالعه نرمال بوده ولی در سال ۱۳۷۷ به نظر می‌رسد که نسبت به بقیه سال‌ها تفاوت دارد و نزدیک به نرمال است (نگاره‌های ۲۳ الی ۳۰).

همانطور که در هیستوگرام‌های مورد مطالعه مشاهده می‌گردد، داده‌های spi نرمال می‌باشد ولی داده‌های کیفیت آب زیرزمینی (ec) نرمال نبوده که برای ترسیم واریوگرام و نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزارها (GIS+GS) به لوگ نرمال تبدیل شد. میانبایی به روش کریجینگ و کوکریجینگ و پس از آن روش عکس فاصله وزنی، نیم تغییرنماها نقش مهمی در ارزیابی دقت میانبایی دارند و افزون بر تعیین میانگین خطاها، توزیع تحلیل آنها نیز قابل بررسی است و به کمک آنها می‌توان بخش‌های با خطای بالا را تشخیص داد. لذا پهنه‌بندی با این روش، خطاهای احتمالی را کاهش داده و نقشه‌های با دقت بالایی را تولید می‌کند. با توجه به برآورد بهترین مدل و کمترین خطا که جدول‌های آن قبلاً برای هر سال ارائه شد به ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی و منابع آب پرداخته شده است (نگاره‌های ۳۱ الی ۳۷).

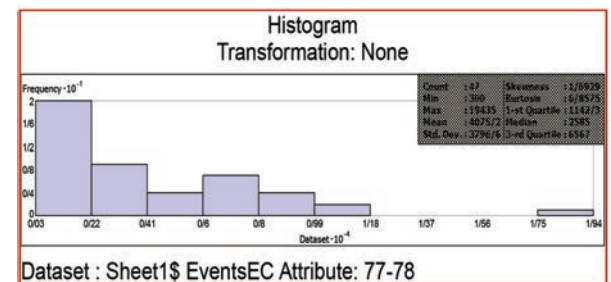
برای ترسیم نقشه‌های خشکسالی از سال‌های دارای شاخص خشکسالی بارش استاندارد، استفاده شد و کلاس‌های مختلف شدت خشکسالی در سطح دشت یزد- اردکان مورد طبقه‌بندی قرار گرفت. در این بررسی سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ به عنوان سال مرطوب (ترسالی) و سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۳، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ سال‌های خشک در نظر گرفته و بقیه سال‌های آماری نرمال و یا نزدیک به نرمال بودند. در سال ۱۳۷۶ به عنوان سال مرطوب، ترسالی متوسط قسمت‌هایی از شمال غرب و نیمه وسیعی از مرکز و جنوب شرق را فرا گرفته و قسمت‌هایی از گوشه شمال شرق تحت پوشش کلاس نرمال دیده می‌شود. در سال ۱۳۷۷ نیز همانطور که در نقشه مشاهده می‌شود خشکسالی شدیدی حکمفرماست که نمود کلاس خشکسالی در تمام حوضه بوده است و تنها در گوشه شمال غرب و پهنه کوچکی در مرکز و شمال شرق منطقه خشکسالی خفیف رخ داده است (نگاره ۳۱). در سال ۱۳۸۰ نیز از نظر خشکسالی سال مرطوب محسوب می‌شود بطوری که بیشترین وسعت منطقه در کلاس نرمال و ترسالی خفیف دیده می‌شود و در گوشه شمال شرق منطقه ترسالی متوسط و در قسمت شمال غرب وسعت کمی را به کلاس



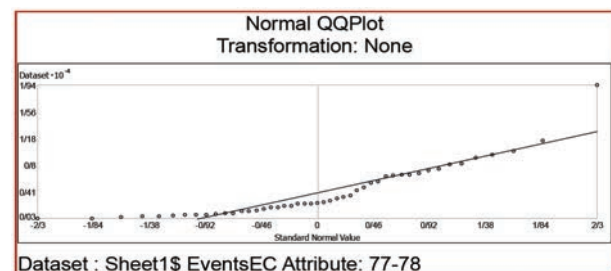
نگاره ۲۷: هیستوگرام داده‌ها جهت تحلیل آماری شوری (سال ۱۳۷۷)



نگاره ۲۸: نمودار نرمالیزه داده‌های توصیفی شوری (سال ۱۳۷۷)

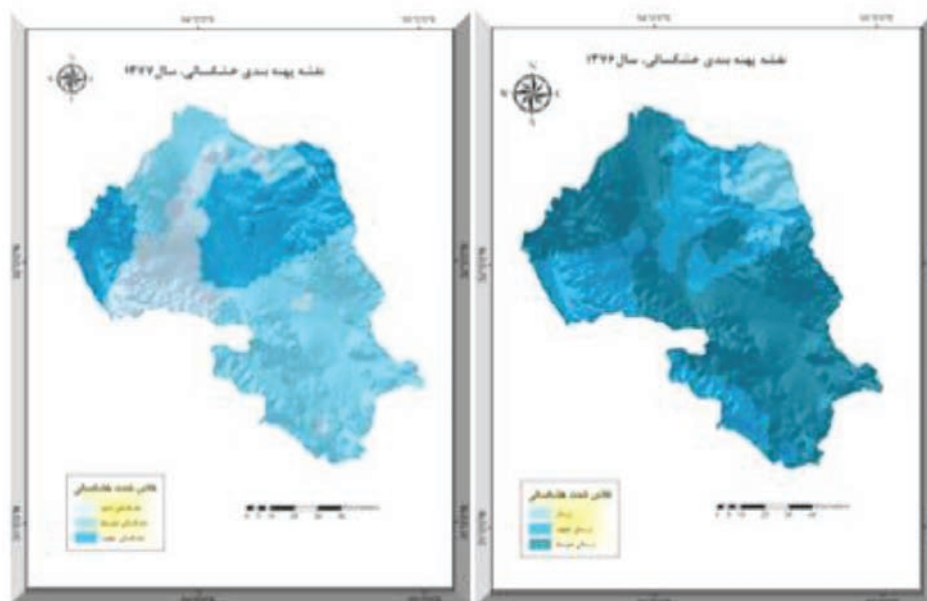


نگاره ۲۹: هیستوگرام داده‌ها جهت تحلیل آماری شوری (سال ۱۳۷۸)

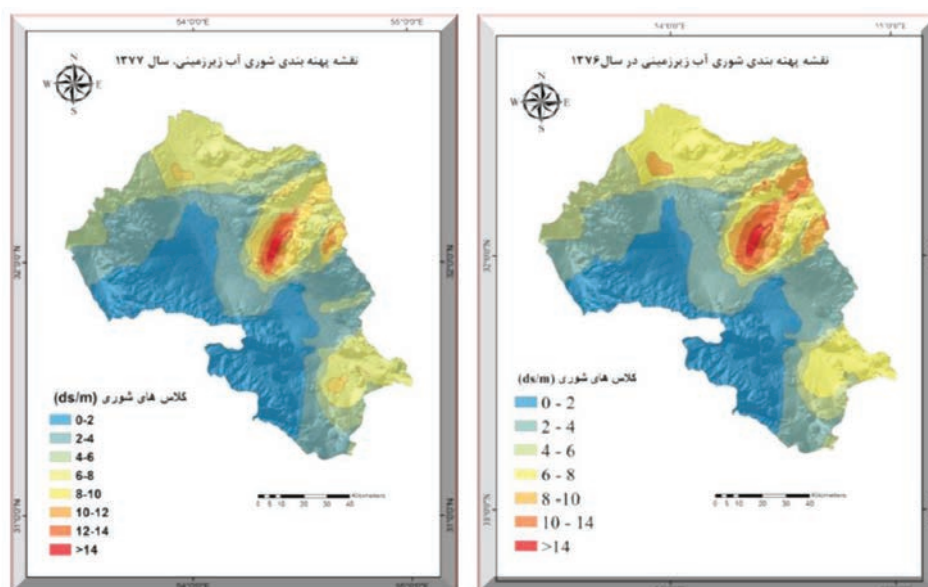


نگاره ۳۰: نمودار نرمالیزه داده‌های توصیفی شوری (سال ۱۳۷۸)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)
 تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان ... / ۱۹۳



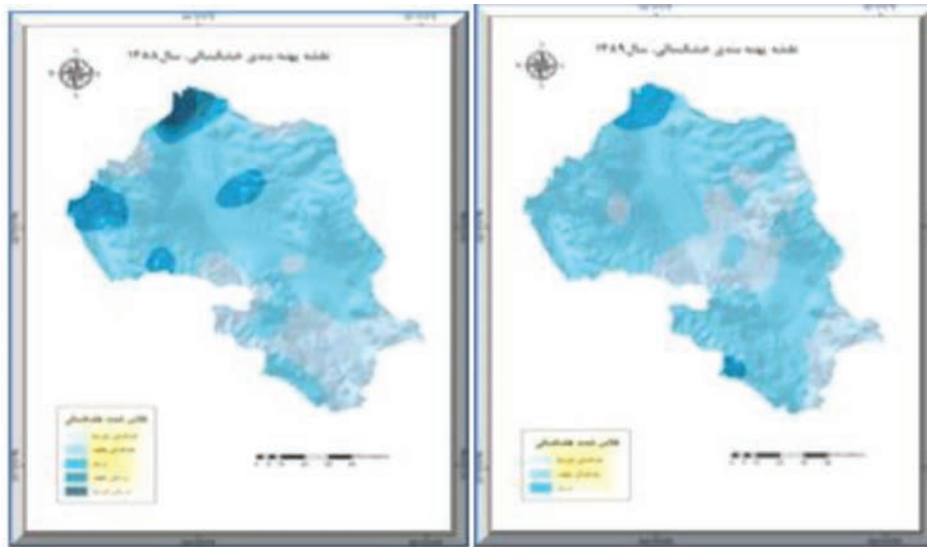
نگاره ۳۱: نقشه پهنه‌بندی
 خشکسالی دشت یزد-
 اردکان، سال ۱۳۷۶ و ۱۳۷۷



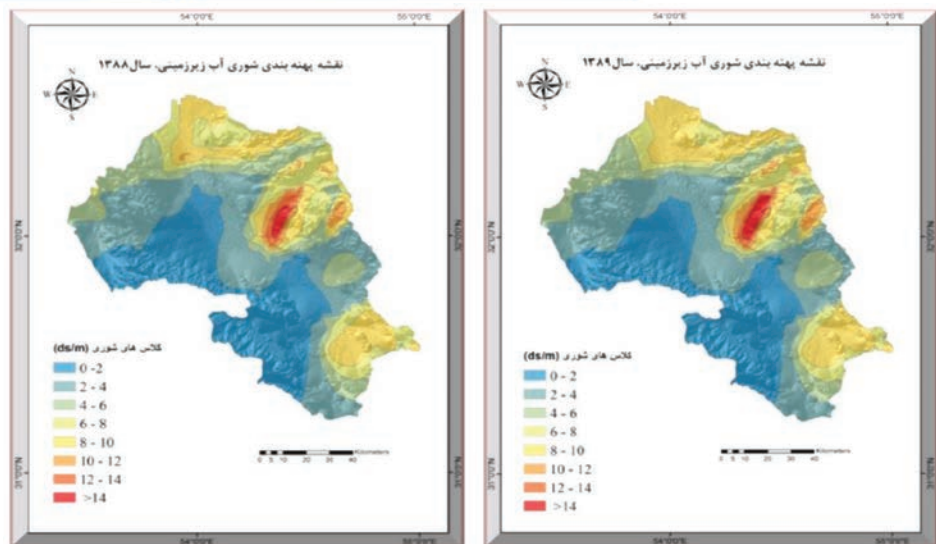
نگاره ۳۲: نقشه پهنه‌بندی
 شوری آب زیر زمینی دشت
 یزد- اردکان، سال ۱۳۷۶ و
 ۱۳۷۷

افزایش یافته و تقریباً تمام منطقه تحت سیطره خشکسالی می‌باشد، بجز قسمتی از شمال که وضعیت آن نرمال است (نگاره ۳۳). سال ۱۳۹۰ همانطور که در نقشه ملاحظه می‌شود سال ترسالی و مرطوب به حساب می‌آید که به جز در نیمه جنوبی و قسمت‌های کوچکی از غرب، مرکز، شمال و شمال شرق دشت در کلاس ترسالی قرار گرفته‌اند و در سال ۱۳۹۱ دوباره کاهش بارش و بروز خشکسالی در قسمت‌های وسیعی از حوضه رخ داده است (نگاره ۳۵).

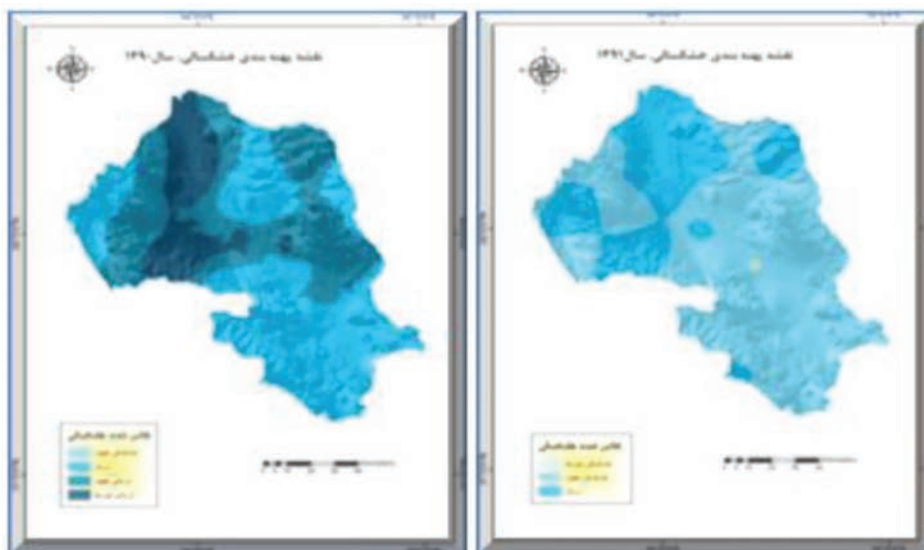
خشکسالی خفیف اختصاص داده است. در سال ۱۳۸۸ نیز شاهد نوسانات زیادی در کلاس‌های خشکسالی این منطقه از خشکسالی متوسط و خفیف گرفته تا ترسالی خفیف و متوسط می‌باشیم، ولی وسعت زیاد خشکسالی در سرتاسر این ناحیه و وسعت ناچیز ترسالی فقط در شمال این حوضه (منطقه چاه افضل) بیانگر حاکمیت خشکسالی در این سال در دشت یزد- اردکان می‌باشد. در سال ۱۳۸۹ در این حوضه شدت خشکسالی‌ها



نگاره ۳۳: نقشه پهنه بندی خشکسالی دشت یزد - اردکان، سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹



نگاره ۳۴: نقشه پهنه بندی شوری آب زیر زمینی دشت یزد- اردکان، سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹

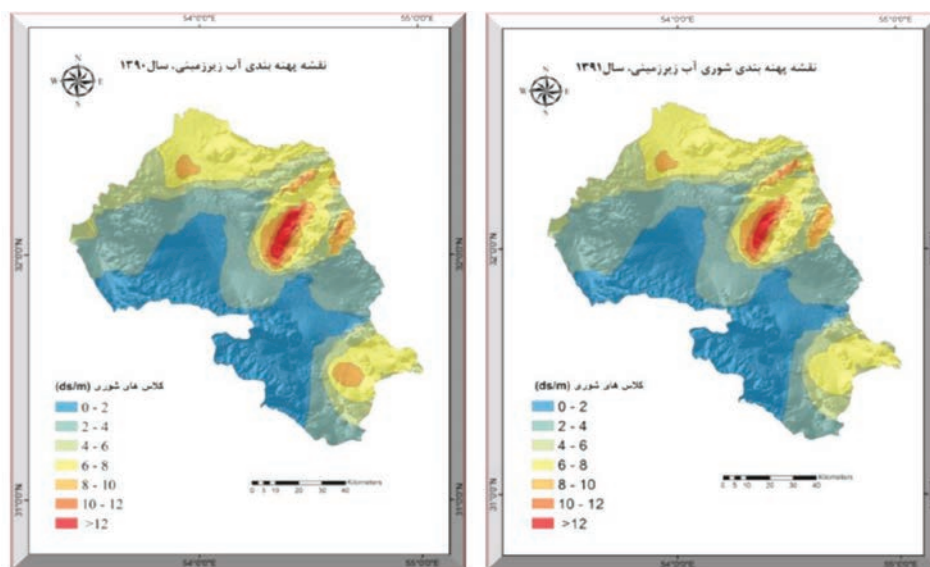


نگاره ۳۵: نقشه پهنه بندی خشکسالی دشت یزد - اردکان، سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان ... / ۱۹۵

همان طور که در جدول‌های ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است، در سال ۱۳۷۶ تمام حوضه فاقد خشکسالی بوده و ترسالی متوسط و وسعت زیادی را به خود اختصاص داده است. در حالی که یک سال بعد یعنی سال ۱۳۷۷ خشکسالی شدیدی اتفاق افتاده و تمام حوضه تحت سیطره خشکسالی (شدید، متوسط و خفیف) قرار گرفته است.

سال ۱۳۸۸ با ۶۵ درصد مساحت بیشترین وسعت با خشکسالی خفیف بوده، در حالی که بیشترین کلاس خشکسالی را از خشکسالی متوسط گرفته تا ترسالی متوسط در این سال می‌توان مشاهده نمود. در سال ۱۳۸۹ نیز خشکسالی خفیف بیش از ۷۵ درصد وسعت مشاهده می‌شود، در حالی که کلاس ترسالی را در این سال نداشته است.



نگاره ۳۶: نقشه پهنه‌بندی شوری آب زیر زمینی دشت یزد- اردکان، سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱

جدول ۹: مساحت و درصد گسترش وضعیت خشکسالی در بازه زمانی سالانه بر اساس شاخص بارش استاندارد دشت یزد- اردکان

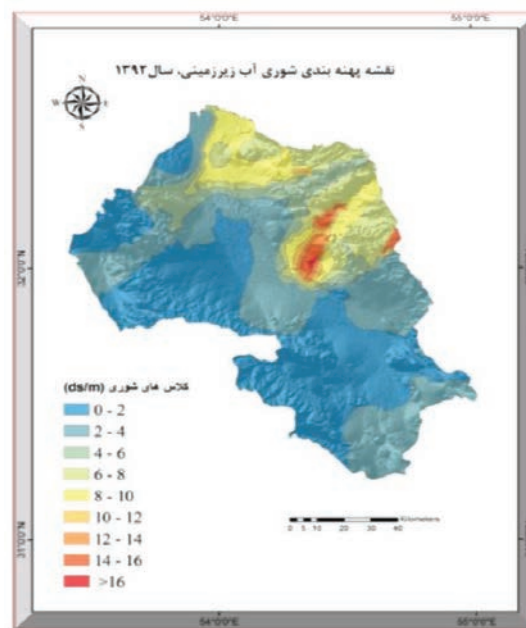
سال	واحد	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی خفیف	نرمال	ترسالی خفیف	ترسالی متوسط	ترسالی شدید
۱۳۷۶	کیلومتر مربع	۰	۰	۰	۶۷۴/۱	۳۷۸۸/۴۹۳	۷۲۰۶/۵۲	۰
	درصد	۰	۰	۰	۵/۸	۳۲/۵	۶۱/۷	۰
۱۳۷۷	کیلومتر مربع	۱۹۵۴/۸	۶۳۹۲/۹	۳۳۲۱/۳	۰	۰	۰	۰
	درصد	۱۶/۶	۵۵	۲۸/۴	۰	۰	۰	۰
۱۳۸۸	کیلومتر مربع	۰	۲۷۳۰/۸	۷۶۲۵/۹	۱۰۰۰/۷	۱۴۸/۸	۱۶۲/۷	۰
	درصد	۰	۲۳/۴	۶۵/۳	۸/۶	۱/۳	۱/۴	۰
۱۳۸۹	کیلومتر مربع	۰	۲۷۶۲/۳	۸۴۶۸/۳	۴۳۸/۵	۰	۰	۰
	درصد	۰	۲۳/۷	۷۲/۵	۳/۸	۰	۰	۰
۱۳۹۰	کیلومتر مربع	۰	۰	۶۴/۶	۵۶۶۰/۸	۴۱۸۰/۹	۱۷۶۲/۷	۰
	درصد	۰	۰	۰/۵	۴۸/۵	۳۵/۹	۱۵/۱	۰
۱۳۹۱	کیلومتر مربع	۰	۲۴	۸۱۴۳/۴	۳۵۰۱/۶	۰	۰	۰
	درصد	۰	۰/۲	۶۹/۸	۳۰	۰	۰	۰

جدول ۱۰: درصد مساحت اختصاص یافته به هر یک از عرصه‌های آب زیرزمینی شوری کم تا متوسط، شوری زیاد، شوری خیلی زیاد و شوری فوق العاده زیاد در دشت یزد - اردکان

سال	کلاس	۰ - ۲	۲ - ۴	۴ - ۶	۶ - ۸	۸ - ۱۰	۱۰ >
	واحد مساحت	شوری کم تا متوسط	شوری زیاد	شوری خیلی زیاد	شوری فوق العاده زیاد		
۱۳۷۶	کیلومتر مربع	۳۱۸۵/۰	۳۴۷۸/۸	۱۶۸۰/۱	۲۳۶۸/۶	۶۰۹/۹	۳۴۶/۴
	درصد	۲۷	۳۰	۱۴	۲۰	۵/۵	۳
۱۳۷۷	کیلومتر مربع	۳۴۳۶/۲	۳۲۳۴/۴	۱۶۷۸/۳	۲۴۵۵/۱	۵۴۹/۶	۳۱۵/۳
	درصد	۲۹/۴	۲۷/۷	۱۴/۴	۲۱/۰	۴/۷	۲/۷
۱۳۸۸	کیلومتر مربع	۳۳۱۴/۳	۳۱۴۶/۵	۱۶۶۹/۲	۱۶۵۲/۲	۱۵۴۳/۹	۳۴۲/۸
	درصد	۲۸/۴	۲۷/۰	۱۴/۳	۱۴/۲	۱۳/۲	۲/۹
۱۳۸۹	کیلومتر مربع	۳۲۲۱/۲	۳۱۶۹/۹	۱۷۵۰/۹	۱۲۶۶/۰	۱۸۶۱/۴	۳۹۹/۵
	درصد	۲۷/۶	۲۷/۲	۱۵/۰	۱۰/۸	۱۶/۰	۳/۴
۱۳۹۰	کیلومتر مربع	۳۳۷۴/۴	۳۴۲۲/۳	۱۶۵۰/۶	۲۴۳۰/۹	۵۵۷/۷	۲۳۳/۰
	درصد	۲۸/۹	۲۹/۳	۱۴/۱	۲۰/۸	۴/۸	۲/۰
۱۳۹۱	کیلومتر مربع	۳۳۵۴/۹	۳۵۵۶/۱	۱۷۰۶/۶	۲۴۴۷/۲	۳۹۷/۱	۲۰۶/۹
	درصد	۲۸/۸	۳۰/۵	۱۴/۶	۲۱/۰	۳/۴	۱/۸
۱۳۹۲	کیلومتر مربع	۴۷۵۷/۸	۳۵۸۷/۰	۹۱۰/۲	۱۲۰۰/۵	۸۷۸/۷	۳۳۴/۶
	درصد	۴۰/۸	۳۰/۷	۷/۸	۱۰/۳	۷/۵	۲/۹

سال ۱۳۹۰ بیشترین وسعت با طبقه‌بندی کلاس نرمال و ترسالی خفیف بوده است و درصدی از وسعت نیز ترسالی متوسط را نشان می‌دهد. در نهایت در سال ۱۳۹۱ خشکسالی خفیفی در سطح وسیعی از حوضه رخ می‌دهد، که درصد قابل توجهی نیز به طبقه‌بندی کلاس نرمال اختصاص یافته است. به منظور تعیین وسعت و درصد مساحت اختصاص یافته به هر یک از عرصه‌های خشکسالی و آب زیرزمینی شور و شیرین دشت یزد- اردکان، در نرم افزار GIS مساحت را محاسبه و برای تعیین درصد به محیط اکسل باز خوانی شد (جدول ۹ و ۱۰) و سپس نمودارهای درصد مساحت شوری ترسیم شد (نگاره ۳۸ و ۳۹).

سال ۱۳۷۶ که سال مرطوب دوره آماری حوضه مورد مطالعه به حساب می‌آید (نگاره ۳۸، ۶۱/۷٪ مساحت ترسالی متوسط)، کمترین وسعت شوری را در کلاس شوری خیلی زیاد و بیشترین مساحت را در طبقه شوری

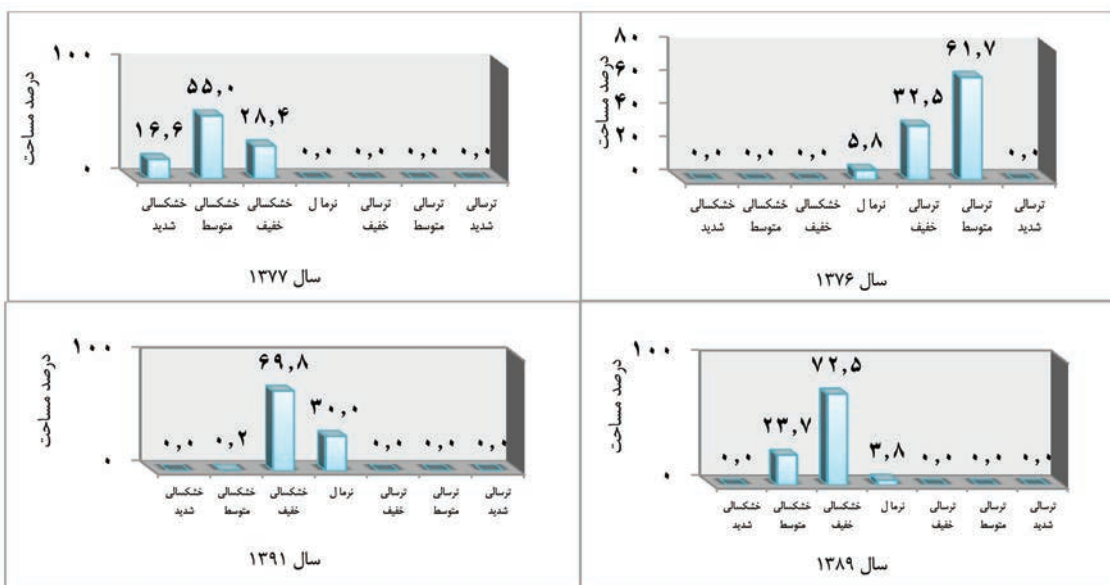


نگاره ۳۷: نقشه پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی دشت یزد - اردکان، سال ۱۳۹۲

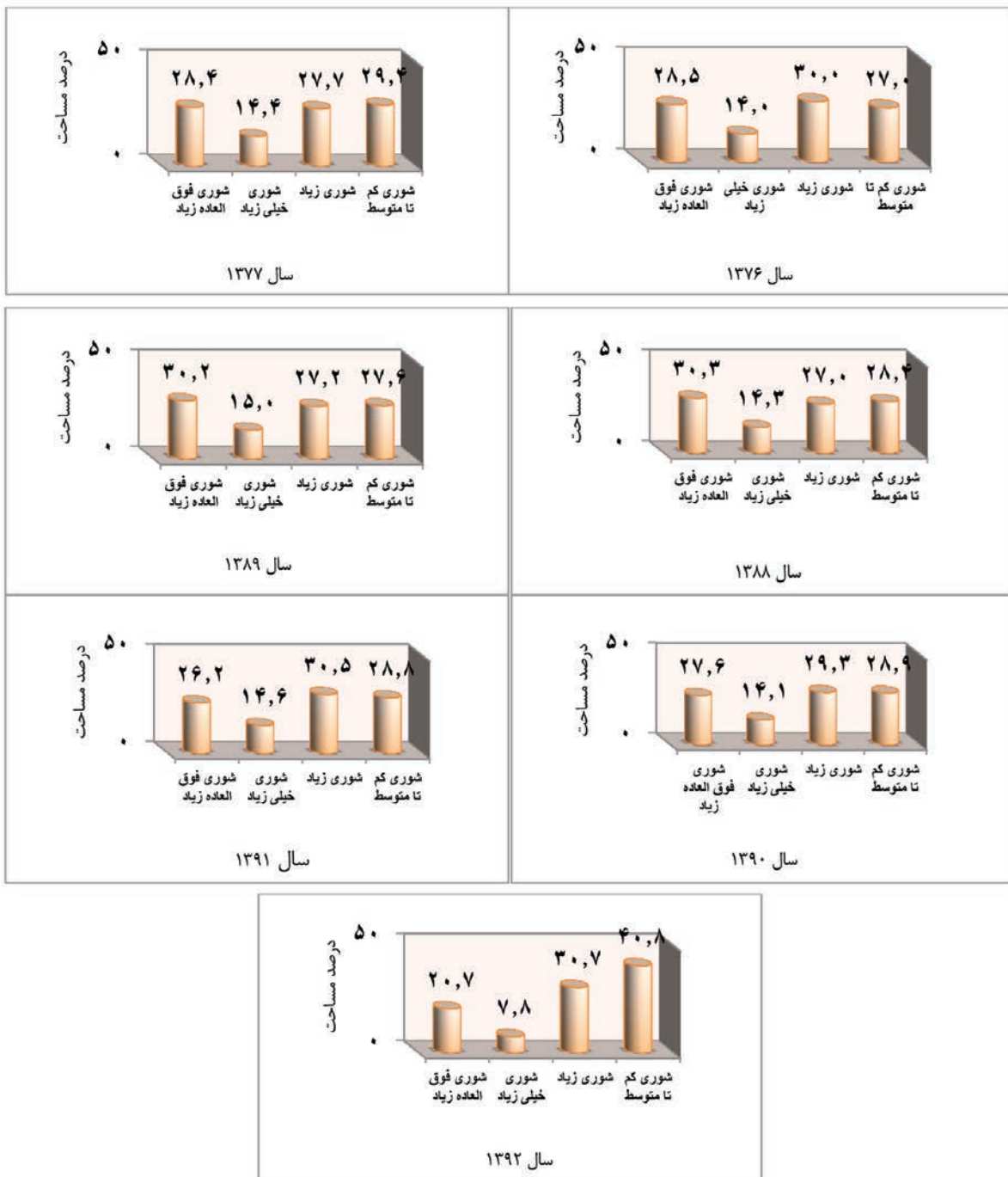
۴- نتیجه‌گیری

وقوع خشکسالی از یک طرف، افزایش تقاضای آب در منطقه و از سوی دیگر کمبود و نیاز به آب را تشدید می‌نمایند. لذا بایستی پایش خشکسالی‌ها و ترسالی‌های آینده را بسیار مهم و در خور توجه از نظر راهبردهای مدیریتی منطقه محسوب نمود. عبور از چنین بحران‌هایی مستلزم مدیریت کارآمد منابع آب در شرایط حاضر و خصوصاً در هنگام بروز خشکسالی‌ها است. معمولاً در چنین ایامی کسری آب منطقه برای تأمین نیازهای اساسی نظیر شرب، از منابع آب زیرزمینی و از طریق افزایش استحصال آب از چاه‌ها انجام می‌شود. لذا در چنین شرایطی موضوع کیفیت آب استحصالی از این چاه‌ها اهمیت دوچندان می‌یابد. آمارهای موجود نشان می‌دهد که در دشت یزد - اردکان کیفیت آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی) تابعی از میزان بارندگی سالانه (به عنوان مهمترین مشخصه خشکسالی‌های منطقه) است و با کم و زیاد شدن بارش‌های سالانه، کیفیت آب زیرزمینی نیز دستخوش تغییراتی می‌گردد. مسلماً این روند در سال‌های آتی نیز تکرار خواهد شد. در جمع‌بندی کلی آنالیز پارامترهای مورد مطالعه می‌توان اذعان نمود که اقلیم

زیاد به خود اختصاص داده است (نگاره ۳۹). با توجه به نمودارهای مذکور همچنان مشاهده می‌شود در سال ۱۳۷۷ درصد وسعت گروه شوری کم تا متوسط، زیاد شده و از ۲۷ درصد به ۲۹/۴ درصد رسیده است و مساحت منطقه شوری زیاد و فوق‌العاده زیاد نیز کمتر از سال قبل می‌باشد. این به علت ترسالی سال ۱۳۷۶ بوده که در کاهش شوری مؤثر بوده است. سال ۱۳۸۸ نیز سال خشک به حساب می‌آید و در سال ۱۳۸۹ نیز به دلیل افزایش وسعت شوری زیاد، خیلی زیاد و فوق‌العاده نسبت به سال قبل تغییرات مساحت‌ها به وضوح قابل مشاهده است. سال ۱۳۹۰ که سال مرطوب می‌باشد وسعت شوری در طبقه کم تا متوسط و شوری زیاد افزایش یافته و در طبقه زیاد و فوق‌العاده زیاد درصد کمتری را نسبت به سال قبل در بر داشته است. سال ۱۳۹۱ بیشترین وسعت را در طبقه شوری زیاد و وسعت طبقه شوری فوق‌العاده زیاد به مراتب کمتر نشان می‌دهد. در نهایت سال ۱۳۹۲ که آخرین سال آماری مورد مطالعه می‌باشد، دو طبقه اول یعنی شوری کم تا متوسط و شوری زیاد وسعت بیشتری را نشان می‌دهد و وسعت دو طبقه دیگر یعنی شوری فوق‌العاده زیاد به نسبت سال قبل کمتر می‌باشد.



نگاره ۳۸: نمودارهای درصد مساحت خشکسالی دشت یزد- اردکان سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۷۷، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱



نگاره ۳۹: نمودارهای درصد مساحت شوری آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان سالهای ۱۳۷۶، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲.

دشت یزد- اردکان با روند کاهش بارش که یکی از عوامل مهم خشکسالی می باشد همراه بوده است. به طوری که تبعات آن سطح و کیفیت منابع آب را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است. در این پژوهش مشاهده شده است که خشکسالی ها بر شوری آب زیرزمینی در اکثر نقاط تأثیر قابل ملاحظه ای داشته است. لذا به طور کلی بیان می شود که کیفیت آب زیرزمینی در مناطقی که بیشتر مورد هجوم خشکسالی قرار داشته است شدیدتر تغییر یافته و شوری آن نیز بیشتر شده است.

امنیت غذایی، مجله علمی تخصصی کشاورزی، سال سی و یکم، شماره ۲۱۵.

9. Anornu, G.K., Amos Tiereyangn Kabo-bah and M. Anim-Gyampo. 2012. Evaluation of Groundwater Vulnerability in the Densu River Basin of Ghana, *American Journal of Human Ecology*, 1 (3): 79-86.
10. Blenkinsop S., H. J. Fowler, 2007. Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models, *Journal of Hydrology*, 342:50 - 71.
11. Demir Y, Sahin S, Güler M, Cemek B, Günal H and Arslan H, 2009. Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluents in the Middle Black Sea Region of Turkey, *Environ Monit Assess*, 158:279-294.
12. Mozafari, Gh. A., Khosravi, Y., Abbasi, E. and Tavakoli F, 2011. Assessment of Geostatistical Methods for Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices, *World Applied Sciences Journal* Vol.15, No.4, pp:474-482.
13. Polat, R. 2009. Spatial and temporal assessment of groundwater quality for the nif mountain karstic aquifer. M.Sc. Thesis. Graduate School of Natural and Applied Sciences.
14. Sheffield Eric F. Wood, 2008. projected changes in drought occurrence under future global warming from multi- model, multi- scenario, IPCC AR4 simulations. *Clim Dyn* J.31, 79-105.
15. Vijay, R., Samal, D.R., and Kumar Mohapatra, P. 2011. GIS Based Identification and Assessment of Groundwater Quality Potential Zones in Puri City, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 3, 440-447.
16. Yazdani, V., Zare Abiyane, H. and Shadmani, M. 2011. Drought Frequency Analysis and Zoning of Iran Using the Standard Precipitation Index and the Geographical Information System, *Iranian Journal of water Engineering*, Vol. 64, No. 8, pp:31-43.

۵- منابع و مآخذ

۱. بری ابرقویی، حسین، ۱۳۹۳، بررسی اثرات خشکسالی‌های اخیر بر شوری آب زیرزمینی و پیش‌بینی این اثرات در سه دهه آینده، مطالعه موردی: دشت بهادران، فصلنامه بین المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره ۱، پیاپی ۴، صص ۱-۱۴.
۲. پورمحمدی، سمانه، ۱۳۸۸، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و ارائه راهکارهای مدیریتی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد-استان یزد)، همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت. صص ۱۱-۱.
۳. چشمی، آتنا، ۱۳۹۳، ارزیابی اثر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های اقلیمی، GIS و شبکه عصبی NARX (مطالعه موردی: دشت رامهرمز- استان خوزستان)، فصلنامه بین المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره ۱، پیاپی ۴، صص ۷۰-۵۴.
۴. خوش اخلاق، رنجبر، طولابی؛ فرامرز، فیروز، سجادی؛ ۱۳۸۹، بررسی خشکسالی در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ و اثرات آن بر منابع آب و کشاورزی در شهر مرودست، فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال هشتم، شماره ۲۴، صص ۱۳۶-۱۱۹.
۵. رهنما؛ میراثی؛ حسین، سهراب، ۱۳۹۳، خشکسالی و بحران آب در دشت‌های ایران، مطالعه موردی: مرودشت و خان‌میرزا در استان فارس و چهار محال و بختیاری، فصلنامه بین المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره ۱، پیاپی ۴، صص ۱۵۴-۱۳۹.
۶. سلطانی گرد فرامرزی؛ مهدیه، ۱۳۹۳، تحلیل خشکسالی‌های اقلیمی بر میزان شوری منابع آب زیرزمینی دشت یزد - اردکان، مظفری؛ غلامعلی، دانشگاه یزد، گروه جغرافیا.
۷. کاردان مقدم، خاشعی سیوکی؛ حمید، عباس؛ ۱۳۹۱، پهنه‌بندی در علوم آب با استفاده از زمین آمار، انتشارات قدس رضوی، ص ۴۲.
۸. کیانی، خوش روش؛ علیرضا، مجتبی، ۱۳۹۰، آب و

