

## بررسی زمانی و مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت یزد - اردکان با استفاده از زمین‌آمار

اسماعیل حیدری علمدارلو<sup>۱\*</sup>، محمد اکرامی<sup>۲</sup>، سحرنسب‌پور<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۷

### چکیده:

دشت یزد - اردکان یکی از حوضه‌های واقع در مرکز ایران است که اکثر جمعیت استان یزد در آنجا قرار دارند. بنابراین بررسی زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی این دشت ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق با انتخاب ۳۰ چاه با پراکنش مناسب و با استفاده از روش کریجینگ ساده برای سه شاخص EC، SAR و TDS در طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹ پهنه‌بندی صورت گرفت. براساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، با حرکت از غرب و جنوب غرب به طرف شمال، شمال شرق و شرق، از کیفیت آب‌های زیرزمینی کاسته می‌شود. دلیل این امر وجود سازندهای نئوژن در شرق و شوره‌زارهای اطراف کویر سیاه‌کوه در شمال است. همچنین مسیر حرکت آب زیرزمینی نیز که به سمت خروجی حوضه در شمال است، به این امر کمک می‌کند و باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. بیشترین میانگین شاخص‌های EC، SAR و TDS نیز به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۱ رخ داده و کمترین مقدار میانگین شاخص‌های EC، SAR و TDS به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ است. بنابراین روند تغییرات این سه شاخص از الگوی نوسانات آب زیرزمینی و خشکسالی تبعیت می‌کند. هر سه شاخص مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ سیر صعودی و بعد از آن سیر نزولی داشته‌اند.

**کلمات کلیدی:** روند تغییرات کیفیت، دشت یزد - اردکان، هدایت الکتریکی، زمین‌آمار.

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه تهران / Esmailheidary@gmail.com

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب‌خیزداری، دانشگاه یزد

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه تهران

## مقدمه

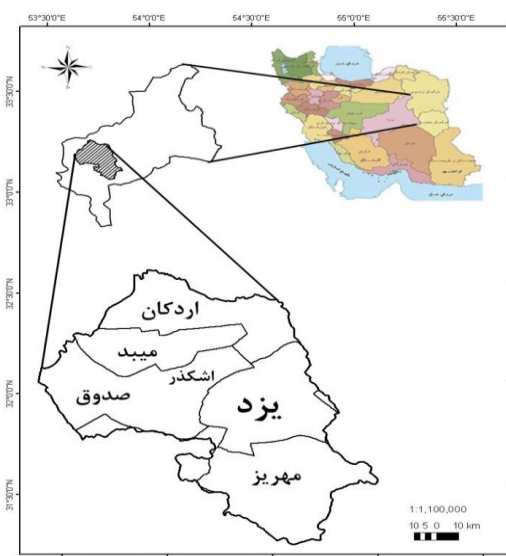
منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، از جمله مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب محسوب می‌شود. از سوی دیگر، خطر آلودگی کمتر این منابع نسبت به دیگر روش‌های استحصال آب، باعث شده است که حتی در مناطقی که کمبودی از لحاظ آب سطحی احساس نمی‌شود، استفاده از این منابع رونق داشته باشد. (شعبانی، ۱۳۸۸). کیفیت آب‌های زیرزمینی همچون آب سطحی دائماً در حال تغییر است (مهردی، ۱۳۸۴؛ علیزاده، ۱۳۸۶). البته شایان ذکر است که این تغییر نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب در حال حاضر، خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور به‌خصوص در اراضی خشک است. کیفیت آب‌های زیرزمینی در مقیاس مکانی و زمانی عمل کرده و نمی‌توان خواص آن را در طول زمان و مکان ثابت فرض کرد (مظفری‌زاده و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین تهیه نقشه‌های بهنگام تغییرات شوری و املاح می‌تواند گام مهمی در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. تحقیقات متنوعی درباره وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی در ایران و جهان صورت گرفته است. داکس و ایونس<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، تحقیقی درباره اثرات کشاورزی بر روی کیفیت آب سطحی رودخانه نوز در میانه دشت ساحلی کارولینای شمالی انجام دادند، نتایج نشان داد که غلظت مواد مغذی و رسوبات در طول مسیر جریان در زمین‌های کشاورزی افزایش یافته است. نتایج تحقیقات دنیل<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷) در بخش اور<sup>۳</sup> کشور فرانسه نشان داد که تغییرات زمانی کیفیت آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های کم‌عمق نسبت به آبخوان‌های عمیق متفاوت است. نورانی و همکاران (۲۰۰۸)

به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی دشت تبریز از تکنیک شبکه عصبی استفاده کردند. نتایج مطالعات منابع آب زیرزمینی در منطقه کوبین اوسیز توسط دهار<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که شبیه‌سازی دینامیکی زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) امکان‌پذیر است. دمیر<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، تغییرات مکانی عمق و شوری آب زیرزمینی مناطق کشاورزی در شمال ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که قسمت شرقی محدوده مورد مطالعه که دارای زهکشی ضعیفی است، دارای بیشترین خطر برای شوری است. زهتاییان و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی با عنوان بررسی و تحلیل مکانی ویژگی‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز گرمسار واقع در استان سمنان با استفاده از روش‌های میان‌یابی زمین‌آمار و معین با مقایسه RMSE و دیگر عامل‌های ارزیابی به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آماري نسبت به روش‌های معین دقتی بالاتر دارند. تقی‌زاده مهبجردی و همکاران (۲۰۰۸)، توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد - اردکان را با استفاده از روش‌های زمین‌آماري بررسی کردند، در این تحقیق، اطلاعات از ۷۳ حلقه چاه در دشت یزد - اردکان جمع‌آوری شد. سپس روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و معکوس فاصله برای درون‌یابی مکانی EC، TDS و SAR مورد مقایسه قرار گرفتند. در نهایت نتایج نشان داد که روش کریجینگ و کوکریجینگ برای میان‌یابی به روش معکوس فاصله ارجحیت دارد. شنگ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت پینگگانگ در تایوان را با استفاده از روش کریجینگ انجام دادند. شعبانی (۱۳۸۷) در تحلیل مکانی شاخص‌های pH و TDS دشت ارسنجان، مناسب‌ترین روش زمین‌آماري را مورد بررسی قرار

4. Dhar  
5. Demir  
6. Sheng

1. Dukes and Evans  
2. Daniele  
3. Eure

درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این منطقه، از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خراتق منتهی می‌شود. این دشت شهرهای اردکان، میبد، اشکذر، مهریز و یزد را در بر می‌گیرد. مساحت حوضه دشت یزد - اردکان ۱۱۷۷۵ کیلومتر مربع است که ۴۱۱۷ کیلومتر مربع آن، شامل دشت اصلی و ۳۰۰۰ کیلومتر مربع ارتفاعات و ۸۹۵ کیلومتر مربع نواحی تپه‌ماهور، شوره‌زار و تلماسه‌ها و بقیه دشت‌های منفرد حاشیه‌ای و میان‌کوهی تشکیل می‌دهد. گستره این دشت رسوبی از دامنه‌های شیرکوه (در جنوب) آغاز می‌شود و با شیبی ملایم و در بستری دره مانند تا کویر سیاه‌کوه (در شمال) بیش از ۱۲۰ کیلومتر ادامه می‌یابد (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت حوزه آبخیز دشت یزد - اردکان در ایران و استان یزد

### روش تحقیق

به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آبخوان دشت یزد - اردکان، آمار و اطلاعات سالانه سه شاخص SAR, EC و TDS مربوط به ۳۰ حلقه چاه انتخابی در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹ (به استثنای شاخص TDS که از سال ۱۳۸۲ به بعد مورد مطالعه قرار گرفته است) که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان

داد. در این تحقیق، از ۸۳ حلقه چاه نمونه‌برداری شد، سپس روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش‌های معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمین‌گر موضعی و تخمین‌گر عام مقایسه شدند. در نهایت، روش کریجینگ معمولی به عنوان بهترین روش، برای میان‌یابی پیشنهاد شد. رضایی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات مکانی بعضی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی استان گیلان را با استفاده از زمین‌آمار مورد بررسی قرار داد، در نهایت روش کریجینگ به عنوان بهترین روش برای میان‌یابی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی معرفی شد. لاله‌زاری و همکاران (۱۳۸۹) خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، ۱۰ حلقه چاه مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. سپس نقشه بعضی شاخص‌های کیفی با استفاده از خطوط کنتوری تهیه شد. سرانجام نتایج، نشان‌دهنده غلظت حداکثری بیشتر عناصر شیمیایی در جنوب این دشت بود که به فعالیت‌های کشاورزی و دفع فاضلاب نسبت داده شد.

کیفیت آب‌های زیرزمینی در مقیاس مکانی و زمانی عمل کرده و نمی‌توان خواص آن را در طول زمان و مکان ثابت فرض کرد (مظفری‌زاده و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین تهیه نقشه‌های بهنگام تغییرات شوری و املاح می‌تواند گام مهمی در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی و مکانی سه شاخص SAR, EC و TDS به عنوان سه شاخص مهم در کیفیت آب زیرزمینی، با استفاده از روش کریجینگ ساده به عنوان یکی از روش‌های زمین‌آمار در محیط نرم‌افزار ARC GIS است.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه مورد مطالعه

دشت یزد - اردکان یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان یزد است که در مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴

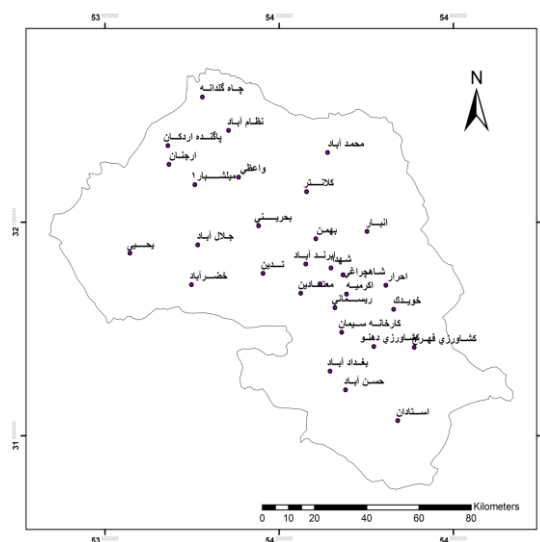
نمود. درحالی که در روش های کلاسیک این عملیات کارایی ندارد. استفاده از روش درونیابی کریجینگ برای مشاهدات دارای روند و همچنین دخالت موقعیت مکانی مشاهدات برای تعیین واریانس تخمین توصیه شده است. گفتنی است که واریانس تخمین در آن نیز حداقل است. شرط استفاده از تخمین گر کریجینگ این است که متغیر تابع، توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر توزیع نرمال نداشته باشد، باید با تبدیلی، توزیع متغیر را به توزیع نرمال تبدیل کرد و سپس از کریجینگ خطی استفاده نمود.

طبق نتایج بررسی های نرم افزارهای مختلف در زمینه زمین آمار در نشریه راهنمای روش های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده های نقطه ای (نشریه شماره ۵۸۵ نظام فنی و اجرایی کشور سال ۱۳۹۱) نرم افزار ARC GIS جدیدترین و کارآمدترین نرم افزار در زمینه زمین آمار است. بنابراین پس از آماده سازی، داده ها وارد نرم افزار ARC GIS شدند تا داده های کیفی آب های زیرزمینی برای هر دوره آماری پهنه بندی شوند.

همان طور که گفته شد، شرط استفاده از تخمین گر کریجینگ این است که متغیر تابع، توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر توزیع نرمال نداشته باشد، باید با تبدیلی، توزیع متغیر را به توزیع نرمال تبدیل کرد و سپس از کریجینگ خطی استفاده نمود. لذا در مرحله اول وضعیت داده ها از دیدگاه نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت و برای نرمال سازی داده های غیر نرمال از روش های موجود در نرم افزار ARC GIS استفاده شد. پس از نرمال سازی داده ها، نقشه های پهنه بندی شاخص های کیفیت آب زیرزمینی در دشت یزد - اردکان با استفاده از نرم افزار ARC GIS تهیه شد.

در نهایت با استفاده از امکانات نرم افزار ARC GIS، متوسط شاخص ها برای هر دوره زمانی به دست آمد و نمودار تغییرات زمانی شاخص ها ترسیم شد.

یزد نمونه برداری شده و تجزیه شیمیایی کامل آن ها انجام گرفته است، مورد استفاده قرار گرفت. شایان ذکر است که انتخاب این چاه ها به گونه ای صورت گرفت که دارای پراکنش یکنواختی در سطح منطقه باشند. موقعیت مربوط به این چاه ها در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): موقعیت چاه های مورد مطالعه

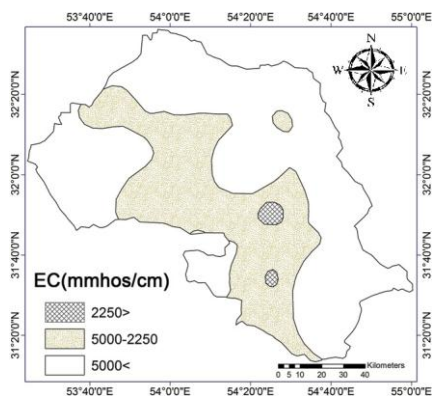
همچنین در تعدادی از چاه ها خلأ آماری وجود داشت که باید بازسازی می شد. به منظور بازسازی آمار با استفاده از توابع آماری موجود در نرم افزار EXCEL (تابع CORREL و تابع FORECAST)، میزان ضریب همبستگی چاه ها که دارای خلأ آماری بودند، با همه چاه های مذکور محاسبه شد. سپس خلأ آماری با توجه به داده های چاهی که بهترین ضریب همبستگی را با آن داشت، ترمیم شد.

در این تحقیق، به منظور تهیه نقشه کیفیت آب های زیرزمینی از روش کریجینگ ساده استفاده شده است. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است. یکی از مهم ترین ویژگی های کریجینگ این است که به ازای هر تخمین، خطای مرتبط با آن را می توان محاسبه کرد و معمولاً تعداد نقاط همسایگی در حدود ۱۰ نقطه مناسب تشخیص داده شده است. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده، می توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه

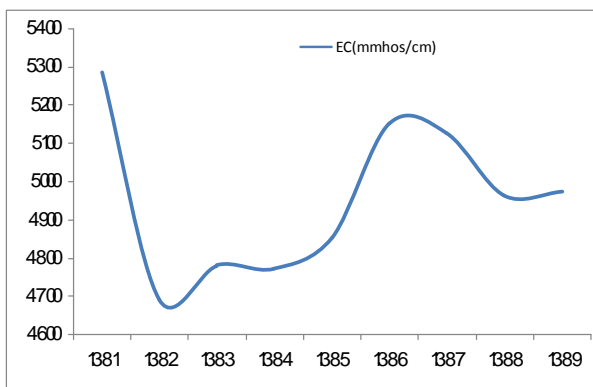
**نتایج**

بیشترین میانگین شاخص‌های EC، SAR و TDS به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۱ رخ داده است که پهنه‌بندی مربوط به آن نیز به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۸) و (۱۱) نشان داده شده است. همچنین کمترین مقدار میانگین شاخص‌های EC، TDS و SAR به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ رخ داده است که پهنه‌بندی مربوط به آن نیز به ترتیب در شکل‌های (۷)، (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

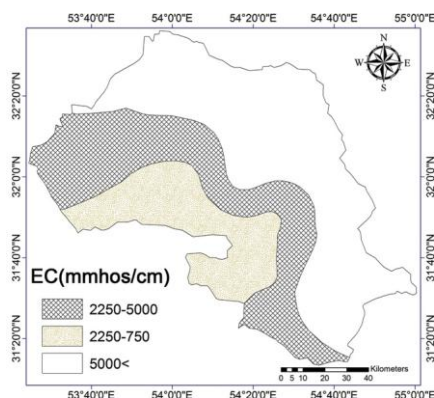
همان‌طور که گفته شد، پهنه‌بندی سه شاخص EC، SAR و TDS نرم‌افزار ARC GIS انجام شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS میانگین هر شاخص در دشت یزد - اردکان برای هر سال محاسبه شد و نمودار تغییرات زمانی برای هر شاخص رسم شد. نمودار تغییرات این شاخص‌ها در شکل‌های (۳) و (۴) و (۵) نشان داده شده است.



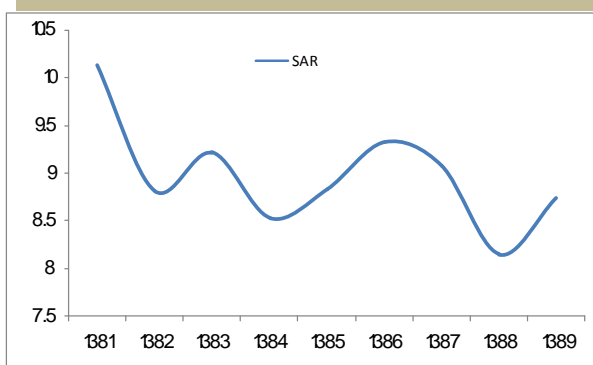
شکل (۶): پهنه‌بندی EC - سال ۱۳۸۱



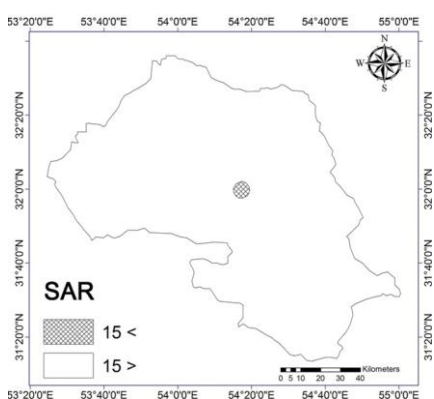
شکل (۳): نمودار تغییرات زمانی متوسط شاخص EC



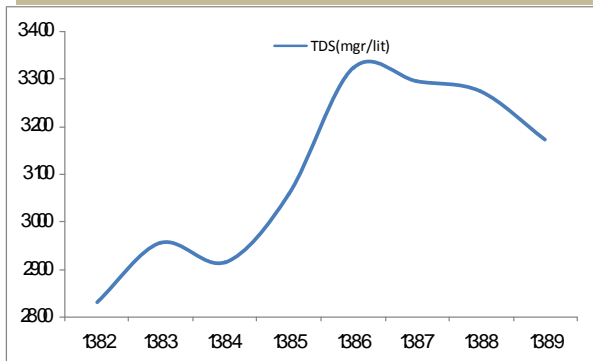
شکل (۷): پهنه‌بندی EC - سال ۱۳۸۲



شکل (۴): نمودار تغییرات زمانی متوسط شاخص SAR



شکل (۸): پهنه‌بندی SAR - سال ۱۳۸۱

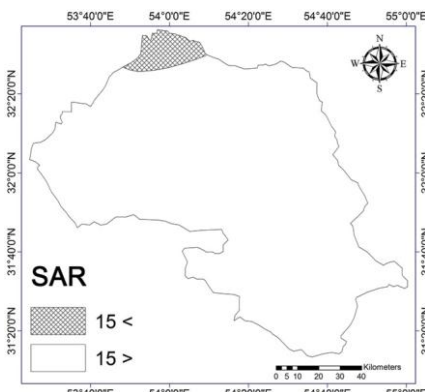


شکل (۵): نمودار تغییرات زمانی متوسط شاخص TDS

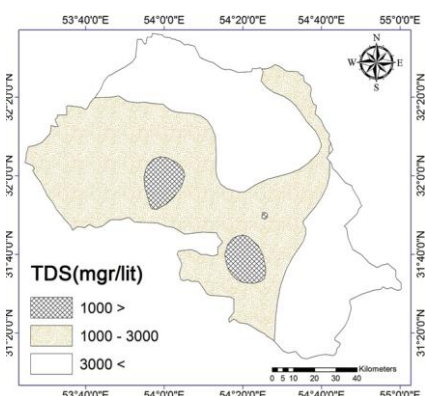
براساس نتایج به دست آمده از نمودار تغییرات شاخص‌ها،

بازه زمانی ۱۳۸۹-۱۳۸۱ مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به نتایج این تحقیق، در دشت یزد - اردکان، هرچه از غرب به شرق و همچنین از جنوب غرب و غرب به طرف شمال و شمال شرق برویم، از کیفیت آب‌های زیرزمینی کاسته می‌شود. دلایل این امر آن است که از طرفی، خروجی حوزه دشت یزد - اردکان در نقطه شمالی دشت قرار دارد و شیب هیدرولیکی آن به سمت شمال است و از طرف دیگر در شمال و بخش‌هایی از مرکز دشت یزد - اردکان شوره‌زارهای کویر سیاه‌کوه قرار دارد و همچنین در شرق، سازندهای نئوژن وجود دارد که هر دوی این‌ها باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی در این مناطق شده است. بنابراین کاهش کیفیت در مناطق شرقی و شمالی دشت نسبت به جنوب و غرب دشت به دلیل وضعیت توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه است که این امر با تحقیقات محمدی و همکاران (۱۳۹۰)، جباری و همکاران (۱۳۹۱)، حشمتی و همکاران (۱۳۹۱) که در تحقیقات خود، عامل زمین‌شناسی را برای تغییرات کیفیت آب زیرزمینی برجسته خوانده‌اند، هم‌خوانی دارد.

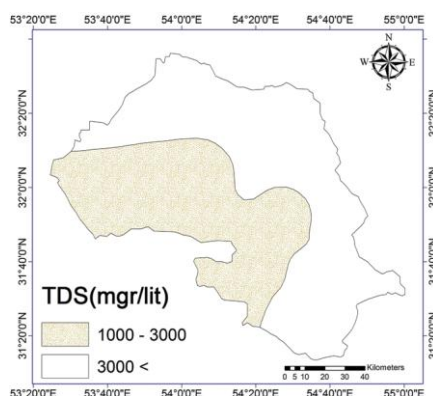
با توجه به نمودارهای موجود در شکل‌های (۳) و (۴) و (۵)، روند تغییرات شاخص‌های SAR، EC و TDS دارای نوسان بوده و گاهی صعودی و گاهی نزولی است. هر سه شاخص مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ سیر صعودی و بعد از آن سیر نزولی داشته‌اند. به نظر می‌رسد این نوسانات تابع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها باشد. این نتایج با تحقیقات سربازی (۱۳۸۸) و بوستانی و همکاران (۱۳۸۶) هم‌خوانی دارد. گفتنی است که بیان دقیق این موضوع به مطالعه و بررسی با داده‌های بیشتر در بازه زمانی طولانی‌تر نیازمند است.



شکل (۹): پهنه‌بندی SAR - سال ۱۳۸۸



شکل (۱۰): پهنه‌بندی TDS - سال ۱۳۸۲



شکل (۱۱): پهنه‌بندی TDS - سال ۱۳۸۶

## بحث و نتیجه‌گیری

در بررسی شاخص‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت یزد - اردکان شاخص‌های EC، TDS و SAR مورد استفاده قرار گرفت. به استثنای شاخص TDS که در بازه زمانی ۱۳۸۲-۱۳۸۹ مورد مطالعه قرار گرفت، دو شاخص دیگر در

## مراجع

1. Alizadeh, A., 2009. Applied Hydrology., publication of Astan Qods Razavi.
2. Boustani, R., Company Zare, M., Noshadi, M., 2007. Effect of salt domes on water resources in the Dehram region of Fars province, 4th National Conference on Science and Engineering of watershed management.karaj.
3. Daniele, V., Jean, P.D., Benoit, L. 2007. A spatial analysis of structural controls on karst groundwater geochemistry at a regional scale. Journal of hydrology, 2007; 244-255.
4. 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.
5. Dhar, R.K., Zheng, Y., Stute, M, et al. 2008. Temporal variability of groundwater chemistry in shallow and deep aquifers of Arai hazar, bangladesh. Journal of contaminat hydrology. 2008 ; 99 (1-4):97-111.
6. Dukes MD and Evans RO, 2006. Impact of agriculture on water quality in the North Carolina middle coastal plain. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 132:250-262.
7. Heshmati, S., Begay Harchgani, H., 2012. Mapping of the aquifer of Shahrkord qualitative indicators to be used in the design of irrigation systems. Journal of agricultural water, B, Volume 26, Issue 1, 2012, 43-59.
8. Jabari, M., Shrai, H., Ahmadi, P., Kshavarz, M., 2012. Evaluation of quantitative restrictions and development of Plain water resources Zahedan Fasa. Journal of Water Resources, the fifth year, spring 2012.79-85.
9. Lalehzari,R, Tabatabai ,S,H, 2010.chemical properties of groundwater Shahrkord. Environmental Studies, Volume 36 , Number 53; 55-62.
10. Mahdavi, M., M., 2005. Applied Hydrology, Volume II, Tehran University Publication
11. Mohammadi, M., Abraham, K., Araghi Nzhad, n., 2011. Qualitative and quantitative assessment of groundwater resources (Case study: Saveh and Arak groundwater aquifers). Journal of Soil and Water Science, 21 (2): Volume 21, Number 2,93-108.
12. Mozaffarizadeh, c., Chitsazan, M., 2007.Effect of geological formations on the quality of groundwater resources Gotvand. Conference environmental geology medical, Shahid Beheshti University of Tehran.
13. Nourani, V., Asghari, MA.,Nadiri, AO., 2008. An ANN-based model for spatiotemporal groundwater level forecasting, Hydrological Processes 22: 5054-5066.
14. Rezaei, M., Davatgar, N. Tajdari,KH, Abol Poor ,B.2010.Spatial analysis of groundwater water quality parameters with the use of geostatistics province, Journal of Soil and Water, 24 (5): 932-941. Volume 24, Issue 5, pp. 932- 941
15. Sarbazi, M, Ghzelosoflo, A., 2009.check the wet period and its effects on changes in water catchment areas of Mashhad.7th National Conference on Science and Management Engineering Iran, Isfahan University of Technology.
16. Sheng, Ye., Pin Lin, M.Y. Pin Lin and Cheng, L., Cheng. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial kriging and genetic algorithms, Environmental Geology, 50: 101-121.
17. Shabani, M. 2009.Evaluation of groundwater quality changes Arsanjan plain. Quarterly Physical Geography, 1 (3): the first year, No. 3, 2009.
18. Shabani, M., 2008. geostatistical method to determine the best maps of changes in PH and TDS groundwater (CASE STUDY: plain Arsanjan)., Journal of Hydraulic Engineering, 1: 47-58. The first year, 47 - 58.
19. Taghizade-Mehrjardi, R.M., Zareian Mahmodi, S.h., and Heidari, A., 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain)., World Applied Science Journal, 4 (1): 9-17.
20. Zehtabiyani, Gh., Mohammadaskari, H., 2007.

Research projects to study and analyze the spatial quality of groundwater in the basin

Branch, Tehran University.