Climate Change & Climate Disasters

Print ISSN: 2783-0551

University Zanjan

Assessment of geostatistical methods in providing salinity map, changes and limits of underground water in Yazd-Ardakan Plain.

Mahdieh Gord Faramarzi [1] | Ahmad Mazidi [2] | Vali Gord Faramarzi [3]

1.Mastrers Degrii climatology, University of Yazd
2. Faculty Department climatology University of Yazd
3.Masters and Researcher of the nationl Center for Salinity Research

Article Info:

Article type:
Research Article

history:
Received:2021/11/8
Received:2022/1/13
Accepted:2022/3/6
Published: 2022/6/5

Keywords:
Yazd Plain
Ardakan
geostatistical
Kriging
Quality underground water
Scribe changer

Abstract: The purpose of this research is to identify the most suitable interpolation method in order to investigate and spatially analyze the salinity of underground waters in the Yazd-Ardakan plain, the center of Yazd province. In order to investigate the changes in groundwater salinity in this region, a period of 18 - year salinity data (1376 to 1392) extracted from wells in the region were adopted. The best geostatistical model (Spherical and Gossin) were used to create maps. Finally, maps of salinity, changes and limits of underground water were drawn. The salinity maps showed that extremely high salinity (above 8 desi - Siemens / meter) occurred in the center, north and northeast parts of the plain due to existence of numerous wells and the water extraction from them. Parts of the south, in the east, the western and southwestern boundaries of the basin experienced low salinity (less than 2 desi - Siemens / meter) and the rest of the basin illustrated moderate to high salinity (4 to 8 desi - Siemens / meter).

Cite this article: Gord Faramarzi , M., Mazidi , A., & Gord Faramarzi , V. (2022). Assessment of geostatistical methods in providing salinity map, changes and limits of underground water in Yazd-Ardakan Plain. Climat Chenge and Climat Disasters, 1(1), 172-198.
© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.

دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی
شاپا چاپی: ۲۷۸۳-۰۵۵۱
دانشگاه زنجان

ارزیابی روش های زمین‌آمار در تهیه نقشه شوری، تغییرات و محدودیت آب زیرزمینی دشت یزد – اردکان

مهدیه سلطانی گردفرامرزی [۱] ✉ | احمد مزیدی [۲] | ولی سلطانی گردفرامرزی [۳]

۱. کارشناسی ارشد، اقلیم شناسی، دانشگاه یزد
۲. هیئت علمی گروه اقلیم شناسی، دانشگاه یزد
۳. کارشناس ارشد و محقق مرکز ملی تحقیقات شوری استان یزد

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:
دریافت:۱۴۰۰/۸/۱۷
بازنگری:۱۴۰۰/۱۰/۲۳
پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۱۵
انتشار:۱۴۰۱/۳/۱۵

واژگان کلیدی:
دشت یزد
اردکان
زمین آمار
کریجینگ
کیفیت آب زیرزمینی
تغییر نگار

چکیده: هدف از انجام این پژوهش تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی به منظور بررسی و تحلیل مکانی شوری آب‌های زیرزمینی دشت بزرگ یزد - اردکان واقع در مرکز استان یزد می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی این منطقه از داده‌های آماری ۱۸ ساله (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲) شوری چاه‌های آب منطقه استفاده و بهترین مدل تغییرنگاری انتخاب، و از بین روش‌های زمین آماری و تغییرنگاری حاوی آستانه(کروی و گوسین) استفاده و در نهایت نقشه‌های شوری، تغییرات و محدودیت آب زیرزمینی ترسیم گردید. نقشه‌های شوری نشان داد که شوری فوق‌العاده زیاد (بالاتر از ۸ دسی زیمنس بر متر) در قسمت های مرکز، شمال و شمال شرق به جهت احداث چاه‌های متعدد و طول مدت برداشت از آنها و نیز قسمت‌هایی از جنوب شرق قرار دارد و حاشیه غربی و جنوب غرب حوضه دارای شوری کم (کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر) و مابقی حوضه را شوری متوسط تا زیاد (۴ تا ۸ دسی زیمنس بر متر) شامل می‌شود.

استناد: سلطانی گردفرامرزی، مهدیه، مزیدی، احمد & سلطانی گردفرامرزی، ولی. (۱۳۹۹). ارزیابی روش های زمین‌آمار در تهیه نقشه شوری، تغییرات و محدودیت آب زیرزمینی دشت یزد – اردکان. دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۱(۲)، ۱۷۲-۱۹۸.

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان

Homepage: cccd.znu.ac.ir

CC BY

مقدمه

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 نیمه‌خشک طی سالیان متمادی به تدریج باعث کاهش کیفیت آب و خاک شده است. در حال حاضر و برای سال‌های آتی، محدودیت دسترسی به آب، در مناطق خشک و نیمه‌خشک و حتی مرطوب وجود دارد. مشکل آب آشامیدنی و قابل شرب در بسیاری از مناطق کشورمان و حتی برخی زیر حوضه‌های آبخیز، هنوز حل نشده و این مهم به قوت خود باقی مانده است که به مرور زمان نیز بحرانی می شود. هنوز هم در تعداد زیادی از شهرها و روستاهای کشور، آب با کیفیت نامطلوب و حتی در مواردی آب‌های آلوده و یا با شوری‌های متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسلماً مسأله تأمین آب در زیرحوضه خشک و نیمه-خشک دارای جوامع مختلف که کمبود آن به اقلیم منطقه (بارش جوی کم و پراکنده و نرخ تبخیر و تعرق بالا) بستگی دارد در صورت عدم چاره-اندیشی و جامع عمل پوشاندن به آن به صورت مشکلی بزرگ باقی می‌ماند. تهیه نقشه‌های روزآمد یا بهنگام از تغییرات شوری و املاح می تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. روش‌های زمین آمار برخلاف روش‌های کلاسیک، ضمن در نظرگرفتن ارتباط بین نقاط و موقعیت مکانی آنها، دقت مطلوبی نیز دارند و همچنین امکان استفاده از این روش‌ها در بسیاری از نرم افزارهای ArcGis وجود دارد و میتوان با استفاده از این روش‌ها و با دقت مناسب نقشه‌های خطوط هم‌ارزش را ترسیم نمود (وزارت نیرو، ۱۳۹۱).

(سانچز ،۲۰۰۱)[1] در مطالعه‌ای کیفیت آب زیرزمینی منطقه آندراکس واقع در جنوب شرقی اسپانیا را با استفاده از آنالیز های مولفه های اصلی (PCA) و زمین آمار پهنه بندی کرد و در این تحقیق تأثیر حرارتی و اثر دریایی را در ارتباط با فرایند شور شدن بررسی نمود. در همین زمینه مطالعات بیشتر پژوهشگران حاکی از دقت مطلوب روش های زمین آمار بویژه کرجینگ معمولی

[1] . Sanches F (2001).

در زمینه های مختلف آب و خاک است (بارکی و همکاران، ۲۰۰۸؛ نوم و تنیس، ۲۰۰۴[۲]؛ فیلیپ و همکاران، ۱۹۹۲[۳]). (فتانی و همکاران، ۲۰۰۸) در مطالعه ای به بررسی کیفیت آب‌های زیزمینی دشت تریفا در شمال شرق مراکش پرداخته و از روش کریجینگ برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند. (صاحب-جلال،۲۰۱۲)[۴] برای ارزیابی برخی از ویژگی‌های آب زیرزمینی از روش‌های زمین‌آماری در منطقه بهادران استفاده نموده‌است که در این تحقیق پارامترهای (SAR) نسبت جذب سدیم، (EC) شوری و (B) بورویون-های کلر تجزیه و تحلیل شدند نقشه کیفیت آب جداگانه استخراج شد. بهترین روش درون‌یابی در منطقه کریجینگ شناخته شده و نقشه‌های هر یک ازپارامترهای فوق و محدودیت شوری نیز ترسیم نمودند. (اسلامی و همکاران، ۲۰۱۳) در بررسی زمین-آماری توزیع کیفیت آب زیرزمینی در دشت شوشتر میناب دریافتند که روش کوکریجینگ از دقت بالاتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار است. (زهتابیان و مکاران، ۲۰۱۳) در دشت گرمسار برای تعیین منطقه‌بندی پارامترهای EC، TDS و TH آب زیرزمینی از روش‌های زمین‌آماری استفاده نمودند و در نهایت توسط مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی نتیجه گرفته شد که روش کوکریجینگ به عنوان روش مناسب برای نقشه نهایی منطقه توسعه EC، TDS و TH انتخاب شد. محمودی فرد (۲۰۱۴) در دشت اردبیل به بررسی توزیع مکانی و زمانی شوری و قلیاییت آب‌های زیرزمینی پرداخته و پس از برازش ارزش نیم تغییرنگار تجربی از بین مدل-های درون‌یابی مدل کریجینگ معمولی را بهترین مدل برای منطقه مورد مطالعه دانستند. جمال حسن (۲۰۱۴)[۵] در تحقیقی تحت عنوان روش مناسب زمین‌آماری برای نقشه‌برداری کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه تهسیل پاکستان انجام داد بهترین مدل را کریجینگ معمولی دانستند.

در ایران نیز افراد چندی در این زمینه فعالیت داشته‌اند که بدین شرح می

[2] . Naoum S., Tsanis L.K (2004).
[3] . Phillips D.L. Dolph J. and Marks D (1992).
[4] . Sahebjalal, E (2012).
[5] . Hassan, J. (2014).

باشد: قهرمان (۱۳۸۲) در ارزیابی شبکه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی شهر مشهد از روش زمین‌آمار استفاده نموده در این پژوهش نقشه‌های توزیع مقدار و خطای تخمین این پارامترهای کیفی تهیه شده به روش کریجینگ معمولی و نقطه‌ای، نشان دادند که به طور کلی نیترات از تغییرپذیری بالاتری نسبت به هدایت الکتریکی برخوردار بوده‌است. شعبانی (۱۳۸۷) برای تهیه نقشه تغییرات PH وTDS آب‌های زیرزمینی در دشت ارسنجان از روش زمین‌آمار استفاده نمود و در بین روش-های معین مورد استفاده ، روش زمین آمار کریجینگ ساده و معمولی را به عنوان مناسبترین روش انتخاب نمود. (تقی زاده ،۱۳۸۷) جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب-های زیرزمینی در رفسنجان از روش-های درون‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ و IDW استفاده‌کردند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بر روش IDW ارجحیت دارد. (کوهی چله‌کران و همکاران، ۱۳۸۸) در ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین پارامتر شوری آب زیرزمینی در منطقه داراب از تعداد ۱۲۲ حلقه چاه استفاده و طی مقایسه روش-های زمین‌آماری به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ به همراه متغیر کمکی TDS نسبت به سایر روش‌های استفاده شده برتری داشته است. رضایی (۱۳۸۹) با بررسی تغییرات کیفی آب-های زیرزمینی در دشت گیلان با استفاده از روش کریجینگ به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب‌های استان از نظر شاخص SAR مناسب می‌باشد ولی از نظر هدایت الکتریکی در بخشی از استان در محدوده آستانه کاهش عملکرد برنج قرار دارد. شعبانی (۱۳۹۰) در دشت نی‌ریز نیز از روش‌های زمین-آماری برای تهیه نقشه‌های کیفی آب زیرزمینی استفاده نموده و ا به این نتیجه رسیده‌است که روش کریجینگ ساده (SK) نسبت به روش تابع شعاعی (RBF) برتری داشته و به عنوان روش مناسب جهت تهیه نقشه نهایی تغییرات شوری و نیترات در دشت نی‌ریز انتخاب نمود همچنین از نظر شرب نیز، بر اساس دیاگرام شولر در شش گروه خوب، قابل قبول، نامناسب، بد، موقتاً قابل شرب و غیر قابل شرب و از نظر کیفیت، جهت استفاده کشاورزی در پنج گروه عالی، خوب، قابل قبول،

مشکوک و بد قرار داد. (طباطبایی و غزالی،۱۳۹۰) در ارزیابی دقت روش-های میان‌یابی در تخمین سطح ایستابی آب‌زیرزمینی آبخوان‌های فارس - جونقان و سفیددشت به این نتیجه رسیدند که نمی‌توان یک روش را به عنوان بهترین روش برای کل دشت‌ها تعمیم داد و سه عامل اصلی پراکنش نقاط نسبت به مرکز ثقل دشت مؤثر است. بنابراین این تحقیق باید در هر دشت جداگانه صورت گیرد. وزارت صنعت و معدن (۱۳۹۲) در بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت بروجرد از تخمین-گرهای زمین‌آماری استفاده نموده و نتایج حاصله نشان داد که روش عکس وزن دهی فاصله با توان ۱ در ماه‌های خشک و تر با کمترین جذر میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا در اولویت قرار گرفت. (دلبری و همکاران، ۱۳۹۲) با استفاده از روش‌های زمین-آماری در دشت کرمان به پهنه‌بندی فراسنج‌های کیفی(شوری و سدیمی) آب زیرزمینی پرداخت و به این نتیجه رسید که هر دو روش کریجینگ معمولی و لاگ کریجینگ از دقت مشابهی برای تخمین فراسنج‌های شوری و سدیمی برخوردارند و بر اساس نقشه‌های EC و SAR تهیه شده با کاربرد روش کریجینگ معمولی و معیارهای موجود، وضعیت منطقه از لحاظ شدت نفوذ آب به خاک مورد پیش‌بینی قرار گرفت. امید اسدی نلیوان و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی که در خصوص کاربرد و مقایسه معین و زمین آماری برای پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب در دشت کبودر آهنگ در استان همدان انجام دادند بهترین مدل ارزیابی میانگین مربع خطا انتخاب شد و نتایج بدست آمده از نقشه های زمین آمارنشان داد که شوری در جنوب غربی دشت دارای محدودیت و در بقیه دشت بدون محدودیت است. جهانشاهی (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای در دشت شهر بابک، به ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار پرداخته و پارامترهای TDS ، EC و CL را با کمترین میزان RMSE در روش کریجینگ معمولی با مدل کروی محاسبه نموده است. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳)، در دشت اردبیل به تخمین توزیع مکانی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل‌های جبری و زمین‌آماری پرداخت و و از بین

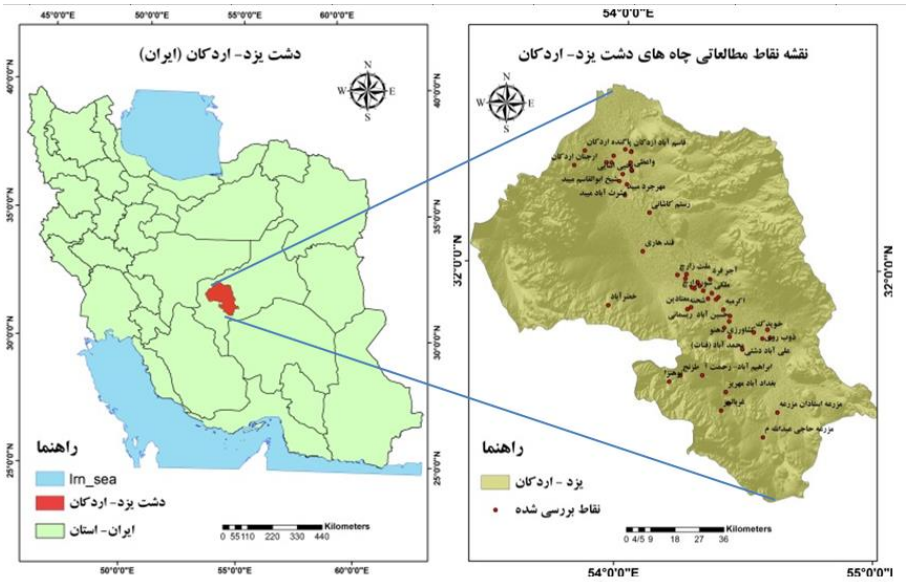
مدل‌های مختلف مدل Completely Regularized spline که یکی از مدل‌های توابع شعاعی محسوب می شود را نسبت به سایر مدل ها با دقت بالاتری تشخیص داد. قاسمی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روش‌های زمین آمار در دشت اراک فراهان تحقیقی در مورد EC و PH آب زیرزمینی انجام دادند که دقیق‌ترین روش را کریجینگ با مدل کروی دانسته و بیشتریت تغییرات شوری در نواحی تالاب میقان مشاهده نمودند. بامری و همکاران (۱۳۹۴) در دشت بجستان جهت مصارف کشاورزی ارزیابی در زمینه آلودگی آب‌های زیرزمینی انجام دادند که نتایج حاصل از تحقیقات نشان داد شوری بیشتر چاه‌ها از حد استاندارد بالاتر بوده و بیشترین محدودیت شوری مربوط به آب‌های زیرزمینی است. بخشنده مهر و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تناسب آب زیرزمینی برای آبیاری و تغییرات آن در اراضی کشاورزی دشت گرمسار پرداخته و روش کریجینگ با مدل برازش گوسی بهترین مدل برای میان‌یابی و آب های زیرزمینی دشت گرمسار نامناسب و غیر استفاده برای کشاورزی ارزیابی شد. محمد یاری و همکاران (۱۳۹۵) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران از لحاظ کشاورزی به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ به لحاظ دقت بالا و خطای پایین برتری داشته و ۳۸ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه برای کشاورزی مناسب و نسبتا مناسب و ۶۲ درصد نامناسب می‌باشد. رحیم پور و همکاران (۱۳۹۵) در دشت شیرامین استان آذربایجان شرقی، روش زمین آماری برای تهیه نقشه تغییرات شوری آب های زیرزمینی روش کریجینگ ساده را به دلیل R بالاتر و RMSE پایین‌تر نسبت به سایر روش-ها مناسب‌ترین روش دانستند. تقوی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی تغییرات مکانی پراکنش سرب و کادمیوم با استفاده از تکنیک‌های زمین آمار و GIS در اراضی اطراف مجتمع فولاد مبارکه مدل کروی را مدلی مناسب برای بررسی تغییرات مکانی سرب و کادمیوم تشخیص دادند. پناهی و همکاران (۱۳۹۶) طی مقایسه روش-های درون‌یابی برای برآورد و پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در دشت تهران – کرج انجام دادند به این نتیجه رسیدند که روشRBF (تابع پایه شعاعی)

نسبت به دو روش IDW (وزن دهی معکوس فاصله)و OK (کریجینگ معمولی) از دقت بیشتری برخوردار است. برای برآورد توزیع فضایی آلاینده‌های هوای تهران نیز حلیمی و همکاران (۱۳۹۶) از مدل‌های زمین آماری استفاده نموده‌اند که مدل کوکریجینگ معمولی با نیم تغییر نمای گاوسین، به عنوان مدل بهینه برآورد این دو آلاینده انتخاب شد. پودینه و دلبری (۱۳۹۶) در برآورد عمق آب زیرزمینی در دشت ایرانشهر – بمپور به مقایسه برخی از روش های میان‌یابی زمین آماری پرداختند که روش کریجینک با مدل نیم تغییرنمای کروی و روش UK با مدل نیم تغییر نمایی -J bessel بالاترین دقت را داشتند. مرآتی و همکاران (۱۳۹۶) نیز برای پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز سلیمان‌شاه از روش‌های زمین آماری و GIS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ معمولی-نمایی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد. دربسیاری از تحقیقات انجام شده از روش‌های زمین‌آماری برای تغییرات مکانی وکیفی آب زیرزمینی استفاده شده‌است لذا در این پژوهش سعی شده‌است تا مناس-بترین روش‌های زمین‌آماری جهت تهیه نقشه‌های شوری، محدودیت و تغییرات آب زیرزمینی تعیین و نقشه‌های مذکور به تفکیک سال ترسیم گردد.

۲- داده ها و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مطالعه در این پژوهش منطقه مورد دشت یزد- اردکان، یکی از وسیعترین های واقع در مرکز استان یزد می دشت مربع باشد و با وسعت ۱۱۶۶۹ کیلومتر ، جزء کویر سیاهکوه می‌باشد و در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی قرار دارد. از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خرانق منتهی می‌شود. این دشت شهر-های اردکان، میبد، صدوق، یزد و مهریز را در بر می‌گیرد. شکل شماره (۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت دشت یزد - اردکان در استان یزد و پراکنش چاه های گمانه مورد مطالعه

ارتفاع متوسط حوضه دشت یزد – اردکان حدود ۱۵۶۵متر که به کویر- سیاه‌کوه و کویر نمک اردکان منتهی می‌گردد. اقلیم این منطقه خشک بیابانی و متوسط بارندگی حوضه ۱۰۴میلیمتر وحجم نزولات جوی حدود ۱/۴ میلیارد متر مکعب در سال است. هر چند این حوضه اصولاً از جریان‌های دائمی بی‌بهره است اما چند رشته از بزرگترین رواناب‌های دره‌ها و دامنه‌های شمالی شیرکوه از دو مسیر عمده تفت و مهریز و دشت‌های اطراف وارد این حوضه می‌گردد. در این حوضه تعداد ۶۶۴ حلقه چاه عمیق، ۴۸۹ حلقه چاه نیمه عمیق، ۱۵۰۰ حلقه چاه خانگی، ۹۶۵ رشته قنات، ۳ دهنه چشمه وجود دارد که تخلیه سالانه آنها بالغ بر ۴۶۵ میلیون متر مکعب است. کسری تراز سالانه حدود ۱۸۸ میلیون متر مکعب محاسبه گردیده‌است. برای انجام این پژوهش، آمار کیفیت آب زیرزمینی چاه‌های مختلف این دشت از شرکت آب منطقه‌ای استان یزد اخذ گردید و یک دوره مشترک ۱۸ ساله (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲) انتخاب گردید.

۲-۲- داده ها و روش ها

در ابتدا جهت بررسی نرمال‌بودن داده-های کیفی (شوری) ۴۷ چاه گمانه دشت یزد- اردکان از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف توسط نرم افزار

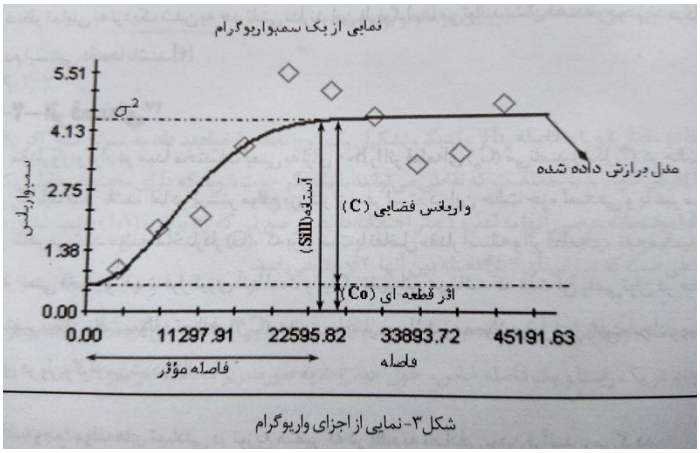
تحلیل آماری SPSS استفاده شد، که مشخص شد پارامترهای شوری آب غیر نرمال بوده لذا به کمک لگاریتم‌گیری بوسیله نرم افزارهای GS^+ و ArcGIS علاوه بر نرمال‌شدن داده‌ها، چولگی به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و از لگاریتم داده‌ها استفاده شد. در نرم‌افزار زمین‌آماری GS^+ و ترسیم تغییرنگار اولیه، انتخاب گزینه مدل این امکان را می‌دهد که در هر نوع تغییرنگار مقادیر اثر قطعه‌ای، آستانه و دامنه داده‌ها را نشان داده و بهترین نوع مدل تغییرنگار انتخاب شد. همچنین مقادیر به همراه ضرایب آماری برازش داده شده را ارائه می‌دهد. مبنای انتخاب در نوع تغییرنگار در این قسمت بالا بودن مقدار (R^2ر) و کم‌بودن مجموع مربعات باقیمانده (RSS) می‌باشد. در این پژوهش مدل‌های تغییرنگاری محاسبه شده با گروه حاوی آستانه مطابقت دارد که به تفصیل به آن پرداخته می‌شود.

گروه حاوی آستانه

در این گروه با افزایش h تا یک مقدارمعین مقدار $(h)^{\gamma}$ افزایش می‌یابد و پس از آن به حد ثابتی که همان سقف می‌باشد، نزدیک می‌شود، برخی از مدل‌های این گروه عبارتند از :

- مدل کروی
- مدل گوسین

بعد از محاسبه نیم تغییرنگار در گام‌های مختلف، تغییرنگار ترسیم شد و سپس مدلی که دارای حداقل مجذور خطا بود به نقاط سمی تغییرنگار برازش داده‌شد و عملیات درون‌یابی صورت گرفت. در روش مورد استفاده برای انجام این تحقیق، جهت انجام تصحیحات مکانی به صورت خودکار و تجزیه و تحلیل ساختار، مقیاس و شدت تغییرات مکانی متغیرها از مدل کروی و گوسین طبق معادلات ذکر شده فوق استفاده گردید. شکل ۲ تغییرنگار و پارامترهای آنرا نشان می‌دهد.



شکل ۲- تغییرنگار و پارامترهای آن

پارامترهای این مدل‌ها عبارتند از : co (اثر قطعه‌ای): درصورتیکه مقدار تغییرنگار برای فاصله h=0، دقیقا صفر باشد، عواملی مانند خطای نمونه‌برداری یا تغییرات در مقیاس کوچک در مقادیر نمونه‌برداری شدهٔ نزدیک به هم، می‌تواند باعث عدم شباهت همبستگی گردد و این عامل باعث عدم پیوستگی تغییرنگار در نقطه شروع می‌شود. به این مقدار تفاوت عمودی از عدد صفر در نقطه شروع تغییرنگار اثر قطعه‌ای گفته می‌شود. a (محدوده): هر چه فاصله دو زوج نقطه افزایش یابد، تغییرنگار آن دو نقطه هم افزایش می‌یابد امّا از یک فاصله به بعد دیگر افزایشی در تغییرنگار مشاهده نمی‌شود. فاصله ای که در آن مقدار تغییرنگار به حداکثر میزان خود می‌رسد، محدوده نامیده می‌شود(ایساک، ۱۹۸۹).

C0 + C1 (سیل): مقدار حداکثر تغییرنگار. (h): فاصله بین نقطه مشاهده شده و نقطه برآورد شده.

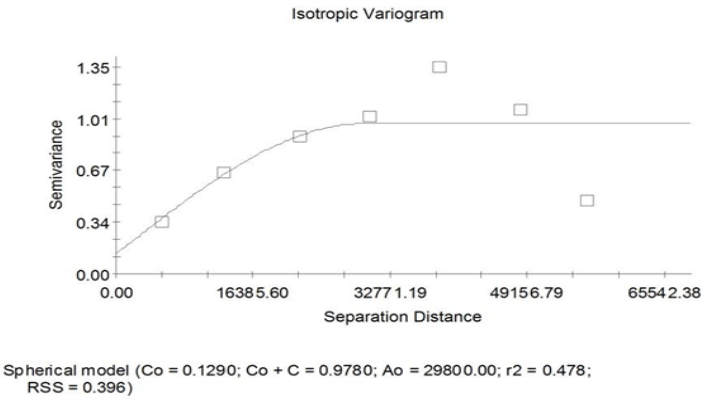
۳-یافته ها و نتایج

با توجه به توضیحات فوق و محاسبات انجام‌شده در این پژوهش از مدل کروی، گوسین و نمایی استفاده و با بکارگیری نتایج آن در محیط ژئواستاتیستیک GIS با روش‌های پهنه‌بندی که درذیل بیان می شود نقشه‌های شوری آب زیرزمینی ترسیم گردید. در این پژوهش برای سال‌های منتخب مدل تغییرنگاری همسانی محاسبه و بهترین مدل ارائه گردید.جداول و شکل‌های ذیل ارزیابی

مدل تغییرنگاری ومدل تغییرنگاری مناسب سال‌های(۱۳۷۶- ۱۳۹۰و ۱۳۹۲) را نشان می‌دهد. همینطور که در جدول های (۱، ۲ و ۳) و (۳، ۴ و۵) مشاهده میشود مدل کروی و گوسین با بالاترین میزان R^2 (۰/۴۷۸، ۰/۵۸۷ و ۰/۷۱۸) و همچنین پایین بودن خطای RSS (۰/۳۹۶، ۰/۳۲۰ و ۰/۱۲۶) در نرم افزار GS^+ محاسبه و ترسیم شده است.

جدول ۱- ارزیابی مدل‌های مختلف تغییرنگار (شوری آب زیرزمینی، سال ۱۳۷۶)

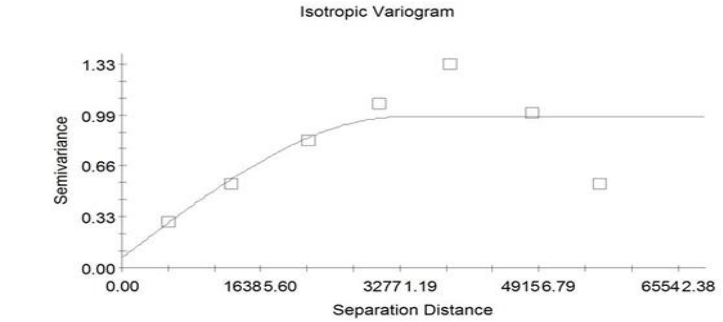
مدل	اثر قطعه ای (Co)	سیل Co+C	دامنه پارامتر Ao	دامنه تأثیرگذار	تناسب C/(Co+C)	R2	RSS
کروی	۰.۱۲۹۰۰	۰.۹۷۸۰۰	۲۹۸۰۰	۲۹۸۰۰	۰.۸۶۸	۰.۵۷۸	۰.۳۹۶
نمایشی	۰.۰۰۱۰۰	۰.۹۸۲۰۰	۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۰.۹۹۹	۰.۴۴۸	۰.۴۲۴
خطی	۰.۶۲۰۱۰	۱.۰۰۵۰۴	۵۶۲۹۳.۲۷	۵۶۲۹۳.۲۷	۰.۳۸۳	۰.۱۲۷	۱.۰۶
خطی به سیل	۰.۶۱۴۰۰	۱.۵۳۰۰۰	۱۳۱۰۰۰	۳۱۰۰۰	۰.۵۹۹	۰.۱۲۷	۰.۶۶۱
گوسین	۰.۷۱۶۰۰	۱.۴۳۳۰۰	۸۱۱۰۰	۴۰۴۶۹.۳۲	۰.۵۰۰	۰.۰۴۶	۰.۷۲۷



شکل ۳- مدل تغییرنگاری مناسب (شوری آب زیرزمینی، سال ۱۳۷۶)

جدول ۲- ارزیابی مدل‌های مختلف تغییرنگار (شوری آب زیرزمینی، سال ۱۳۹۰)

مدل	اثر قطعه ای (Co)	سیل Co+C	دامنه پارامتر Ao	دامنه تأثیرگذار	تناسب C/(Co+C)	R2	RSS
کروی	۰.۰۶۵۰۰	۰.۹۸۲۰۰	۳۳۰۰۰	۳۳۰۰۰	۰.۹۳۴	۰.۵۸۷	۰.۳۲۰
نمایشی	۰.۰۰۱۰۰	۰.۹۹۱۰۰	۱۱۹۰۰	۳۵۷۰۰	۰.۹۹۹	۰.۵۲۹	۰.۳۷۲
خطی	۰.۵۳۳۲۴	۱.۰۲۹۱۵	۵۶۲۹۳.۲۷	۵۶۲۹۳.۲۷	۰.۴۸۲	۰.۲۰۷	۱.۲۸
خطی به سیل	۰.۵۴۱۰۰	۱.۶۷۱۰۰	۱۳۱۱۰۰	۳۱۱۰۰	۰.۶۷۶	۰.۲۰۷	۰.۶۱۵
گوسین	۰.۲۰۶۰۰	۰.۹۸۲۰۰	۱۶۱۰۰	۲۷۸۸۶.۰۱	۰.۷۹۰	۰.۵۸۱	۰.۳۲۵

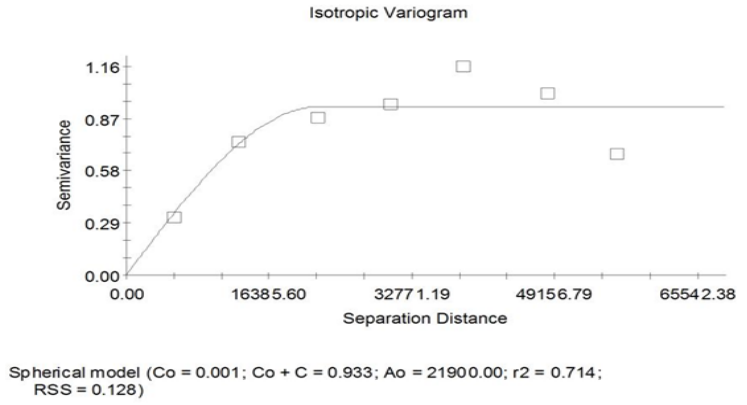


Spherical model (Co = 0.0650; Co + C = 0.9820; Ao = 33000.00; r2 = 0.587; RSS = 0.320)

شکل ۴ - مدل تغییرنگاری مناسب (شوری آب زیرزمینی، سال ۱۳۹۰)

جدول ۳- ارزیابی مدل‌های مختلف تغییرنگار (شوری آب زیرزمینی، سال ۱۳۹۲)

مدل	اثر قطعه ای (Co)	سیل Co+C	دامنه پارامتر Ao	دامنه تأثیرگذار	تناسب C/(Co+C)	R2	RSS
کروی	۰.۰۰۱۰	۰.۹۳۳۰	۲۱۹۰۰	۲۱۹۰۰	۰.۹۹۹	۰.۷۱۴	۰.۱۲۸
نمایشی	۰.۰۰۱۰	۰.۹۶۲۰	۹۷۰۰	۲۹۱۰۰	۰.۹۹۹	۰.۶۹۵	۰.۱۴۱
خطی	۰.۵۸۲۹	۱.۰۱۵۴	۵۶۲۹۳.۲۷	۵۶۲۹۳.۲۷	۰.۴۲۶	۰.۲۷۱	۰.۸۳۴
خطی به سیل	۰.۵۸۸۰	۱.۵۷۶۰	۱۳۰۸۰۰	۳۰۸۰۰	۰.۶۲۷	۰.۲۷۱	۰.۳۲۷
گوسین	۰.۱۷۹۰	۰.۹۳۹۰	۱۱۵۰۰	۱۹۹۱۸.۵۸	۰.۸۰۹	۰.۷۱۸	۰.۱۲۶

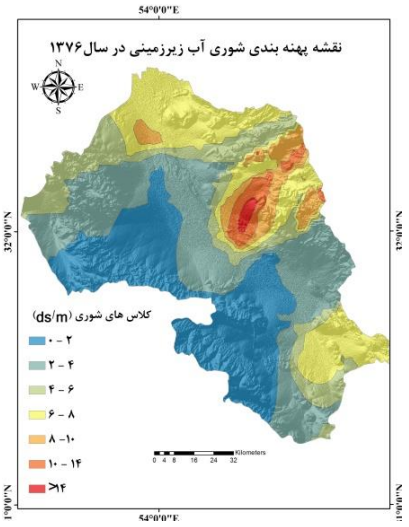


شکل۵ - مدل تغییرنگاری مناسب (شوری آب زیرزمینی، سال ۱۳۹۲)

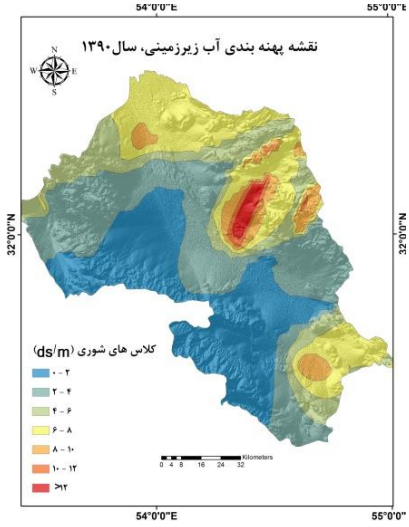
نقشه‌های پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی

در تحقیق حاضر برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی و شوری آب و انجام طبقه‌بندی کیفی، از روش درون-یابی و تخمینگر آماری کریجینگ و کوکریجینگ استفاده گردید. در این دو روش با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در مکان های مشخص و وزن دهی خطی به نمونه‌های موجود، مقادیر اندازه‌گیری نشده پیش‌بینی می‌گردد و با استفاده از تغییرنگار، مقدار خطای مقادیر پیش‌بینی شده به حداقل میزان خود می‌رسد.

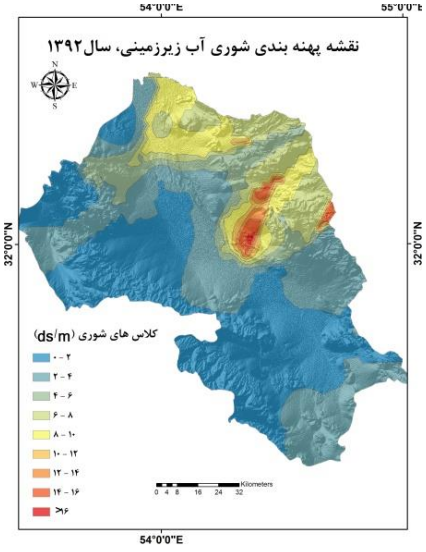
همانگونه که در نقشه شوری آب زیرزمینی سال ۱۳۷۶ ملاحظه می‌شود، بالاترین درجه شوری در جنوب شرق، مرکز و شمال شرق حوضه مشاهده می‌شود و کلاس شوری زیاد وسعت قابل توجهی از منطقه را فراگرفته و آب‌های زیرزمینی با شوری کم و متوسط در قسمت شرق و جنوب شرقی حوضه می‌باشد و قسمت‌هایی از خضرآباد، ندوشن، اطراف تفت و مهریز را شامل می‌شود. وسعت مناطق تحت شوری در سال ۱۳۹۰ نیز تغییرات جزیی نموده تفاوت عمده ای با دوره قبل ندارد، سال ۱۳۹۲ وسعت شوری زیاد محدودتر از سال‌های قبل بوده و وسعت مناطق آب با شوری کم و لب-شور زیادتر شده است.



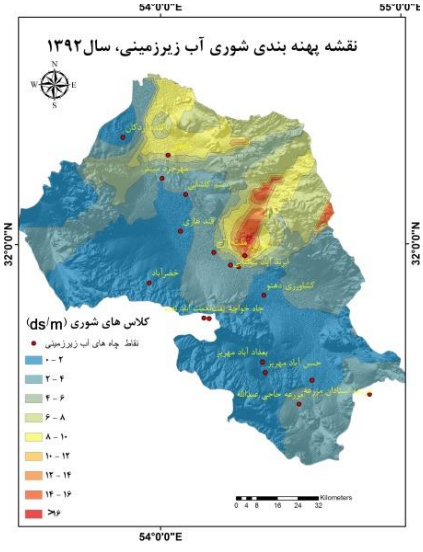
شکل ۶- شوری آب زیرزمینی سال۱۳۷۶



شکل ۷- شوری آب زیرزمینی سال۱۳۹۰



شکل ۸- شوری آب زیرزمینی سال ۱۳۹۲



شکل۹- نقاط مورد مطالعه شوری آب زیرزمینی

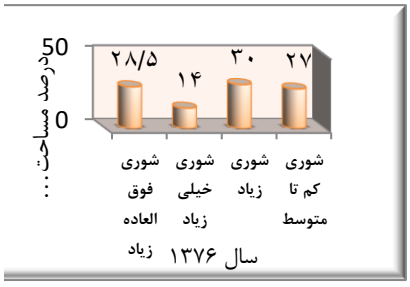
در جدول شماره ۴ از شش کلاس شوری استفاده شده که بیشترین وسعت شوری ۰ تا ۲ متعلق به سال ۹۲ و و کمترین وسعت متعلق به سال ۷۶ می باشد تغییرات کلاس‌های شوری در جدول فوق نشان داده شده است و به

طور کلی حوضه یزد - اردکان با افزایش درصد شوری زیاد و فوق العاده زیاد در سال ۹۲ مواجه می باشد.

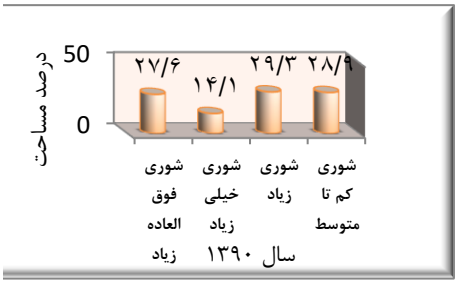
جدول شماره ۴- درصد مساحت اختصاص یافته به هر یک از عرصه‌های آب زیرزمینی در دشت یزد - اردکان

سال	کلاس	۰ - ۲	۲ - ۴	۴ - ۶	۶ - ۸	۸ - ۱۰	>۱۰

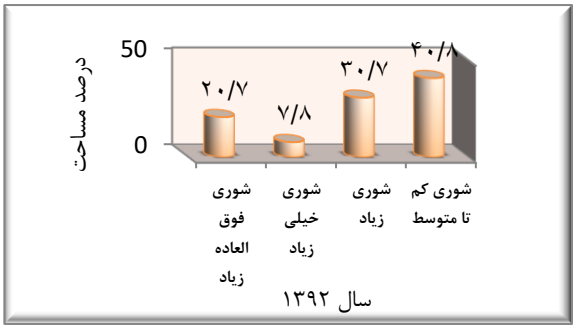
	واحد مساحت	شوری کم تا متوسط	شوری زیاد	شوری خیلی زیاد	شوری فوق العاده زیاد		
۱۳۷۶	کیلومتر مربع	۳۱۸۵	۳۴۷۸/۸	۱۶۸۰/۱	۲۳۶۸/۶	۶۰۹/۹	۳۴۶/۴
	درصد	۲۷	۳۰	۱۴	۲۰	۵/۵	۳
۱۳۹۰	کیلومتر مربع	۳۳۷۴/۴	۳۴۲۲/۳	۱۶۵۰/۶	۲۴۳۰/۹	۵۵۷/۷	۲۳۳
	درصد	۲۸/۹	۲۹/۳	۱۴/۱	۲۰/۸	۴/۸	۲
۱۳۹۲	کیلومتر مربع	۴۷۵۷/۸	۳۵۸۷	۹۱۰/۲	۱۲۰۰/۵	۸۷۸/۷	۳۳۴/۶
	درصد	۴۰/۸	۳۰/۷	۷/۸	۱۰/۳	۷/۵	۲/۹



شکل۱۰- درصد مساحت شوری، سال ۱۳۷۶



شکل۱۱- درصد مساحت شوری، سال ۱۳۹۰



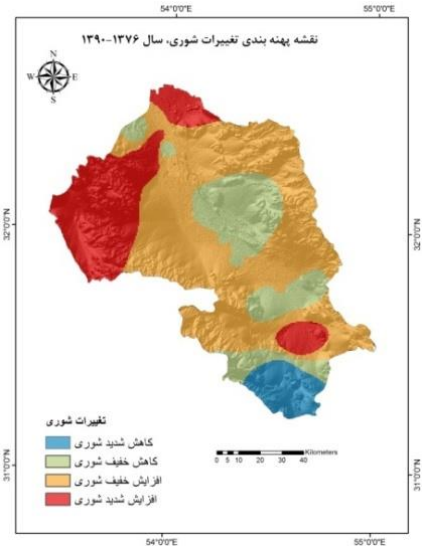
شکل۱۲- درصد مساحت شوری، سال۱۳۹۲

سال ۱۳۷۶ که سال مرطوب دوره آماری حوضه مورد مطالعه به حساب می‌آید کمترین وسعت شوری را کلاس شوری خیلی زیاد و بیشترین مساحت را طبقه شوری زیاد به خود اختصاص داده‌است. 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 ملاحظه می‌کنیم. 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 دو طبقه دیگر یعنی شوری و فوق العاده زیاد به نسبت سال قبل کمتر می‌باشد.

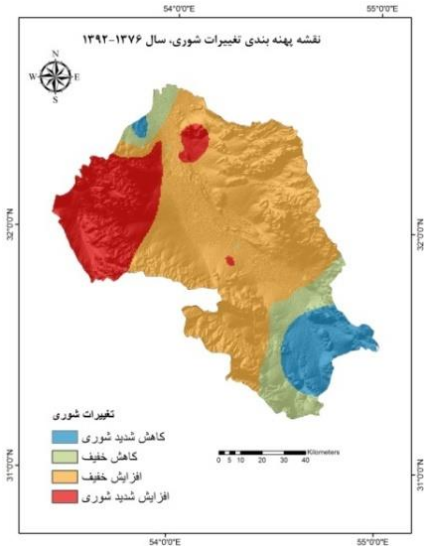
پهنه‌بندی تغییرات شوری آب زیرزمینی

برای تهیه نقشه‌های تغییرات شوری در دشت یزد- اردکان از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۹۰ و ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲ استفاده شد که یک بار تغییرات تا سال مرطوب ۱۳۹۰ و بار دیگر تا جدیدترین سال آماری یعنی ۱۳۹۲ سنجیده شد، بطوریکه ابتدا نقشه‌های شوری سال-های مورد نظر ترسیم و در نهایت با اعمال روش تفریق نقشه تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی در این دو دوره ترسیم گردید. شکل‌های ۱۳و ۱۴ طبقه‌بندی نقشه‌های تغییرات شوری را نشان می‌دهد. این طبقه‌بندی کاهش قابل توجه شوری طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰ در جنوبی‌ترین نقطه حوضه، کاهش خفیف شوری در شمال منطقه مذکور و قسمت‌هایی از مرکز، افزایش

خفیف شوری در اکثر نقاط و افزایش شدید شوری در قسمت شرق و شمال حوضه نشان می‌دهد. در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲ از وسعت افزایش شدید شوری کاسته و منطقه کاهش شوری به نسبت دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰ گسترده‌تر شده است.



شکل ۱۳- تغییرات شوری سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰



شکل ۱۴- تغییرات شوری سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲

نقشه‌های پهنه‌بندی محدودیت شوری آب زیرزمینی

با استفاده از راهنمای طبقه‌بندی فائو، نقشه‌های پهنه‌بندی محدودیت شوری آب زیرزمینی تهیه گردید. جدول ۵ نتیجه حاصل از بررسی و کیفیت آب-های زیرزمینی از نظر شوری را نشان می‌دهد.

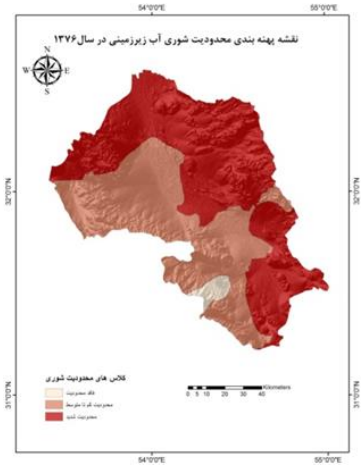
در سال های ۷۶ ، ۹۰ و ۹۲ اراضی این حوضه با محدودیت کم تا متوسط با روند صعودی همراه است ودر محدودیت شدید اراضی روند کاهشی در این سالها قابل مشاهده می باشد.

تجزیه و تحلیل شوری بیانگر این می باشد که در بخش اعظم قسمت‌های شمالی و شمال شرقی و جنوب شرقی منطقه (سال ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰) و شمال

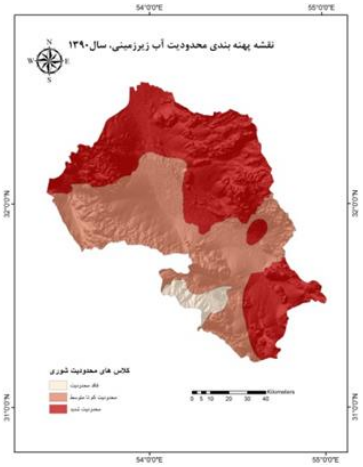
و شمال شرق (۱۳۹۲)، آب زیرزمینی دارای محدودیت شدید بوده و مابقی منطقه دارای کم تا متوسط و محدوده کوچکی ازجنوب‌غربی (قسمت هایی ازمنشاد خورمیز و تنگ چنار) این حوضه فاقد محدودیت می‌باشد. به طور کلی ۴۳/۷، ۴۷/۳ و ۶۳ درصد منطقه مورد مطالعه به ترتیب در سال‌های (۱۳۷۶، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲) دارای محدودیت کم تا متوسط و ۵۶/۳، ۵۲/۷ و ۳۷ درصد در طی سال‌های فوق دارای محدودیت شدید می‌باشد. اشکال ۱۵تا ۱۷محدودیت شوری را نشان می‌دهند.

جدول ۵- نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شوری و توزیع مکانی آن درمنطقه

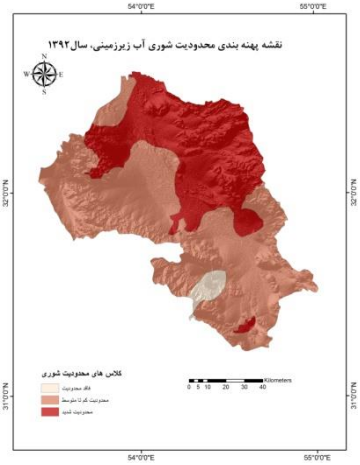
سال	مساحت(درصد)	مساحت (هکتار)	کلاس محدودیت	محدوده EC	معیار مورد استفاده برای تعیین محدودیت	نوع محدودیت
۱۳۷۶	۴۳/۷	۵۰۹۷۸۸/۵	محدودیت کم تا متوسط	۳ - ۰/۷	EC (ds/m)	شوری
۱۳۹۰	۴۷/۳	۵۵۱۶۳۳/۹				
۱۳۹۲	۶۳	۷۳۵۴۳۳/۱				
۱۳۷۶	۵۶/۳	۶۵۷۱۲۷/۱	محدودیت شدید	۳>		
۱۳۹۰	۵۲/۷	۶۱۵۲۸۱/۷				
۱۳۹۲	۳۷	۴۳۱۴۸۲/۵				



شکل ۱۵- محدودیت شوری سال۱۳۷۶



شکل ۱۶- محدودیت شوری سال۱۳۹۰



شکل ۱۷- محدودیت شوری سال۱۳۹۲

نتیجه‌گیری

مدیریت بهینه منابع آبی و همچنین حفظ و بهبود کیفیت آنها در زمینه‌ی موقعیت، مقدار و پراکندگی کیفیت آب در هر منطقه نیازمند به وجود منابع و نتایج دقیق مطالعاتی می‌باشد. نتایج بدست‌آمده از اشکال۳ ، ۴ و۵ نشان می‌دهد که بهترین مدل تغییرنگاری برای این حوضه به دلیل داشتن (R^2) بالاتر و (RSS) کمتر مدل کروی و

گوسین می‌باشد، همچنین جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شوری از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی استفاده شده است. نقشه‌های شوری مشخص می‌کند که شوری فوق‌العاده زیاد در قسمت‌های مرکز، شمال و شمال شرق و نیز قسمت‌هایی از جنوب شرق قرار دارد و حاشیه غربی و جنوب غرب حوضه دارای شوری کم و مابقی حوضه را شوری متوسط تا زیاد شامل می‌شود. نقشه‌های تغییرات در دو دوره آماری(۱۳۷۶ تا۱۳۹۰) و (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲) ترسیم شده‌است، که ما افزایش تغییر را در شمال و شمال شرق مشاهده و کاهش آن را در دوره آماری (۱۳۷۶ تا۱۳۹۰) در جنوب و در دوره آماری (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲) در جنوب شرق و گوشه کوچکی از شمال مشاهده می‌شود. به طور کلی در قسمت شمال دشت یزد- اردکان که در منطقه چاه افضل (شمال اردکان) قرار دارد شوری آب زیرزمینی حدود ۴ تا ۱۰ دسی زیمنس بر متر و در قسمت‌هایی ازمرکز و شمال شرق شوری زیادی مشاهده می‌شود. شورترین ناحیه درمرکز حوضه (چاه شرکت آجر فرد) واطراف آن (قسمت‌هایی از یزد و زارچ) بوده که شوری آن ۸ تا ۱۶ دسی زیمنس بر متر که حتی در مواقع خشکسالی به ۱۸، ۱۹ نیز می‌رسد. سومین مکانی که آب های زیرزمینی شور این دشت در آن قرار دارد قسمتی از جنوب شرقی حوضه بخصوص چاه‌های مزرعه استادان و مزرعه حاجی عبدالله اطراف منطقه گردکوه را شامل می‌شود. ولی شوری آن نسبت به مرکز و شمال شرق کمتر است. در این دشت کمترین شوری بین ۰ تا ۲ دسی زیمنس بر متر در حواشی غرب و جنوب غربی حوضه، اطراف خضرآباد و دامنه‌های شرقی شیرکوه و همچنین منطقه طزرجان، بنادک سادات، منشاد، خورمیز، مهریز و غربالبیز مشاهده می‌شود. مرز بین قسمت‌های بسیار شور و کم شور، آب- هایی با شوری متوسط و زیاد (شوری حدود ۲ تا ۶ دسی زیمنس) را تشکیل می‌دهد. چاه‌های نواحی اردکان و میبد نیز دارای شوری ۲ تا ۶ دسی زیمنس می باشد. به طور کلی محدودیت شوری در شمال و شمال شرق و قسمت‌هایی از جنوب غرب به طور شدید مشاهده می‌شود و تقریبا بیش از نیمی از وسعت منطقه را شامل می‌شود و در سال

۱۳۹۲ شوری کمتری نسبت به سال-های قبل ملاحظه شده‌است. همچنین نقشه‌های محدودیت تهیه شده، علاوه براین که پیش‌بینی روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی را امکان-پذیر می سازد، می‌توانند با در نظرگرفتن خصوصیات محصولات کشاورزی، نوع الگوی کشت را نیز مشخص نمایند.

منابع

- اسدی نلیوان ، امید و فتاحی، احمد و سقازاده، نرگس(۱۳۹۲)، کاربرد و مقایسه معین و زمین آماری برای پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، نشریه مهندسی اکوسیستم های بیابان، سال دوم، شماره سوم، صفحه ۶۵-۵۵.
- اسفندیاری درآباد، فریبا و عالی جهان، مهدی و رحیمی، مسعود(۱۳۹۳)، ارزیابی مدل های جبری و زمین آماری در تخمین توزیع مکانی سطح ایستابی دشت اردبیل. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. سال سوم. شماره ۲. صص ۶۲-۴۴.
- بامری ، ابوالفضل و پیری، حلیمه و گنجی ، فاطمه (۱۳۹۴)، ارزیابی آلودگی آب های زیرزمینی دشت بجستان جهت مصارف کشاورزی با استفاده از روش کریجینگ شاخص، ، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و دوم، شماره اول، صص۲۱۱-۲۲۲.
- بخشنده مهر، لیلا و یزدانی، محمدرضا و ذولفقاری، علی اصغر(۱۳۹۵) ، بررسی تناسب آب زیرزمینی برای آبیاری و تغییرات آن در اراضی کشاورزی دشت گرمسار، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۳۰، شماره۶، صفحه ۱۷۸۶-۱۷۷۳.
- تقی زاده، روح الله(۱۳۸۷)، بررسی روش های درون یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی های کیفی آب های زیرزمینی دشت رفسنجان. مجله علوم و آبخیز داری ایران ۲(۵) صص۶۳-۷۰.
- جهانشاهی، افشین(۱۳۹۳)، ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین آمار (مطالعه موردی: آبخوان دشت شهر بابک). نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴. شماره۲. صص ۱۸۳-۱۹۷.
- دلبری، معصومه و افراسیاب، پیمان و سالاری، مژده (۱۳۹۲)، پهنه بندی فراسنج های کیفی (شوری و سدیمی) آب با استفاده از روش های زمین آماری مطالعه موردی: دشت کرمان. مجله مهندسی منابع آب. سال ششم، صص ۲۴-۱۱.
- رضایی، مجتبی(۱۳۸۹)، بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص های کیفی آب های زیرزمینی استان گیلان

با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک۲۴(۵). صص۹۴۱-۹۳۲.

- شعبانی ، محمد(۱۳۹۰)، ارزیابی روش های زمین آماری در تهیه نقشه های کیفی آب زیرزمینی و پهنه بندی آنها (مطالعه موردی: دشتنی ریز، استان فارس). فصل نامه جغرافیای طبیعی لار. سال چهارم. شماره ۱۳. صص۹۶-۸۳.
- شعبانی، محمد(۱۳۸۷)، تعیین مناسب ترین روش زمین آمار در تهیه نقشه ی تغییرات PH و TDS آب های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب. سال اول، صص۵۷-۴۷.
- طباطبایی، سید حسن و غزالی، محبوبه(۱۳۹۰)، ارزیابی دقت روش های میان یابی در تخمین سطح ایستابی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان های فارسان-جونقان و سفید دشت). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. سال پانزدهم. شماره پنجاه و هفتم. صص۱۱ - ۲۲.
- قاسمی، سمیرا و گنجی خرم دل ، ناصر و مردیان، مهدی (۱۳۹۴)، تحلیل احتمال تجاوز از آستانه EC و PH آب زیرزمینی با استفاده از روش های زمین امار در دشت اراک – فراهان، نشریه پژوهش های کاربردی علوم آب، شماره اول صص، ۶۲-۵۱.
- قهرمان، بیژن و حسینی، سید محمود و عسگری، حمیدرضا(۱۳۸۲)، کاربرد زمین آمار در ارزیابی شبکه های پایش کیفی آب زیرزمینی. امیر کبیر. سال چهاردهم. شماره ه-۵۵(مهندسی عمران). ص۹۷۱.
- کاردان مقدم، حمید و خاشعی سیوکی، عباس(۱۳۹۱)، پهنه بندی در علوم آب با استفاده از زمین آمار. انتشارات قدس رضوی. ص ۴۲.
- کوهی چله کران، نادر و اسدی، رسول و لجمیری، پوریا (۱۳۸۸)، ارزیابی روش های زمین آمار جهت تخمین پارامتر شوری آب زیرزمینی (مطالعه موردی: منطقه داراب). همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
- انسیه مرآتی، عبدالله طاهری تیزرو ، نصرالله پارسافر. ۱۳۹۶. پهنه بندی کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آمار و GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سلیمانشاه). نشریه

دانش آب و خاک. جلد ۲۷. شماره ۲. صص ۲۳۷-۲۴۳.

- وزارت نیرو. دفتر مهندسی و معیار های فنی آب و آبفا. ۱۳۹۱. راهنمای روش های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده ار داده های نقطه ای. نشریه شماره ۵۸۵.ص۷۹.
- لعبت تقوی، شقایق خالدان، پروانه پیکان پورفرد. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مکانی پراکنش سرب و کادمیوم با استفاده از تکنیک های زمین آمار و GIS (مطالعه موردی: اراضی اطراف مجتمع فولاد مبارکه). مجله سلامت و محیط زیست. فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. دوره دهم. شماره دوم. صص ۱۵۱-۱۶۴.
- محمد رضا پناهی، سید مرتضی موسوی، مجید رحیم زادگان. ۱۳۹۶. مقایسه روش های درونیابی برای برآورد و پهنه بندی سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت تهران – کرج). دومین کنفرانس بین المللی منابع طبیعی، مهندسی کشاورزی و محیط زیست و توسعه روستایی.
- منصور حلیمی، زهرا زارعی چقابلکی، وحید صیاد، حسن جمس. ۱۳۹۶. کاربست مدل های زمین آماری برآورد توزیع فضایی آلاینده های هوای شهر تهران. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم ویژه نامه شماره ۵.
- ام البنین پودینه و معصومه دلبری . ۱۳۹۶. مقایسه برخی از روش های میانیابی زمین آماری و قطعی در براوردن عمق آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ایرانشهر – بمپور). مجله مهندسی منابع آب . سال دهم. ص۸۳.
- توحید رحیم پور، خلیل ولیزاده کامران، شهرام روستایی، مهسا نخستین روحی. ۱۳۹۵. تعیین مناسبترین روش زمین آماری برای تهیه نقشه تغییرات شوری آب های زیرزمینی، هیدروژئومورلوژی، شماره ی ۶، صص ۳۲-۱۷.
- محمد یاری ، فاطمه و توکلی، مرتضی و اقدر، حسین(۱۳۹۵)، ارزیابی و پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران از لحاظ کشاورزی با روش های زمین امار، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۴.
- وزارت صنعت و معدن و تجارت(۱۳۹۲)، بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی با استفاده از تخمینگر آماری (مطالعه

موردی: دشت بروجرد). سازمان زمین شناسی واکتشافات معدنی کشور. سی ودومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین.

- وزارت نیرو، ۱۳۹۱، راهنمای روشهای توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده های نقطه ای، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، نشریه شماره ۵۸۵، صص ۱۱۵- ۷۹
- Barcae E., Passarella G., 2008, Spatial Evaluation of the Risk of Groundwater Quality Degradation: Acomparison between Disjunctive Kriging and Geostatistical Simulation, Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 133: 261-273.
- Eslami, H. Dastorani, J. Javadi, M. R. Chamheidar, H. (2013). Geostatistical Evaluation of Ground Water quality Distribution with GIS (Case Study: Mianab-Shoushtar Plain). Bull. Env. Pharmacol. Life Sci., Vol 3 (1) December 2013:pp. 78-82
- Fetouani S., Sbaa M., Vanclooster M., Bendra, B., 2008, Assessing Groundwater Quality in the Irrigated Plain of Triffa (Northeast Morocco), Journal of Agricultural Water Management 95: 133-142
- Hassan, J. (2014). A Geostatistical approach for mapping groundwater quality (Case Study: Tehsil Sheikhupura). International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online): pp.2319-7064.
- Isaaks and Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics.Oxford University Press.
- Mahmoodifard, Z. Nazemi, A. H. Sadraddini, S. A. Shahbazi, F.(2014). Assessment of Spatial and Temporal Distribution of Groundwater Salinity and Alkalinity Using Ordinary Kriging; Case Study: Ardabil Plain Aquifer. Agric. sci.

Applied Sciences Journal 18 (1): pp.135-141.

- Sanches F. 2001. Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics : a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. 46(2):227-242.
- Zehtabian, GH. Azareh, A. NazariSamani, A. Rafei, J. (2013). Determining the Most Suitable Geo-Statistical Method to Develop Zoning Map of Parameters EC، TDS and TH Groundwater (Case Study: Garmsar Plain, Iran). International Journal of Agronomy and Plant Production. Vol., 4 (8) pp.1855-1862.

dev., Vol (3), No (7), July, 2014. pp. 244-250.

- Nanos, N., R. Calama G. Montero and L. Gil (2004). Geostatistical prediction of height/diameter models. For. Ecol. Manage. 195:pp.221-235.
- Naoum S., Tsanis L.K., 2004, Ranking Spatial Interpolation Techniques Using a GISbased DSS, Global Nest, 6 (1):1-20.
- Phillips D.L. Dolph J. and Marks D, 1992, A Comparison of Geostatistical Procedure for Spatial Analysis of Precipitation in Mountainous Terrain, Agr forest meteoral, 58: 119-141.
- Sahebjalal, E. (2012). Application of Geostatistical Analysis for EvaluatingVariation in Groundwater Characteristics. World