

## بررسی تناسب آب زیرزمینی برای آبیاری و تغییرات آن در اراضی کشاورزی دشت گرمسار

لیلا بخشنده مهر<sup>1\*</sup> - محمدرضا یزدانی<sup>2</sup> - علی اصغر ذوالفقاری<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1393/07/15

تاریخ پذیرش: 1395/04/22

### چکیده

در سال‌های اخیر، تغییر اقلیم و کاهش آب‌های سطحی، موجبات بهره‌برداری هر چه بیشتر از آب‌های زیرزمینی را فراهم آورده و آن‌ها را به اصلی‌ترین منابع تأمین کننده نیاز آبیاری تبدیل نموده است. رشد جمعیت و تقاضای بیشتر برای محصولات کشاورزی، اهمیت کیفیت و کمیت منابع آبی را دو چندان نموده است. به منظور بررسی روند کیفی منابع آب زیرزمینی دشت گرمسار، در این تحقیق، پهنه‌بندی دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی، با تکیه بر روش‌های زمین‌آمار، نرم‌افزارهای آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. طبقه‌بندی کیفیت آب با استفاده از طبقه‌بندی ویلکاکس در یک دوره زمانی ده ساله با فواصل زمانی دو سال صورت گرفت. با مقایسه خطای حاصل از میان‌یابی شاخص‌ها، روش کریجینگ با مدل برازش گوسی، بهترین مدل برای میان‌یابی هر دو شاخص تعیین شد. بر طبق نتایج، آب‌های زیرزمینی مورد استفاده برای آبیاری در هیچ نقطه از دشت گرمسار، مناسب آبیاری نبوده و در کلاس نامناسب و غیرقابل استفاده قرار می‌گیرند. سطح تحت تأثیر کلاس‌های نامناسب آب آبیاری و آب‌های غیرقابل استفاده در دوره زمانی 1385 الی 1388 افزایش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** زمین‌آمار، کریجینگ، کیفیت آب زیرزمینی، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی

### مقدمه

پمپ‌های برقی از دهه 1960 صورت گرفت، موجب کاهش سطح این منابع آبی، فرونشست دشت‌ها، شور شدن آب و به تبع آن شور شدن خاک گردید (2).

تأمین منابع آبی مناسب از مهمترین گام‌هایی است که باید در جهت تولید محصولات استاندارد و نیل به اهداف توسعه کشاورزی پایدار مدنظر قرار گیرد. این هدف مستلزم ارزیابی و کیفیت سنجی آب‌های مورد استفاده جهت آبیاری است.

دشت آبرفتی گرمسار به لحاظ موقعیت جغرافیایی و واقع شدن در یکی از نقاط خشک همواره با کمبود آب مواجه بوده است. با این وجود، یکی از دشت‌های بارز کشور است که در آن کشاورزی سنتی به کشاورزی مدرن تبدیل شده و انواع نظام‌های بهره‌برداری را تجربه نموده است. از طرفی، گسترش بی‌رویه اراضی طی چهار دهه گذشته از یک سو و بهره‌برداری ناهماهنگ از آب‌های زیرزمینی از سوی دیگر، باعث افزایش فشار بیش از حد به سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش شوری آب شده است (23). لذا بررسی و ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی در این منطقه و مطالعه تناسب آن‌ها برای آبیاری از مهمترین گام‌هایی است که باید پیش از برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آبی این منطقه صورت گیرد.

تاکنون روش‌ها، جداول طبقه‌بندی و نمودارهای مختلفی جهت

در سال‌های اخیر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، به ویژه در کشت آبی، به دلیل قابلیت اطمینان و دسترسی در محل مورد نیاز و مقرون به صرفه بودن، به شدت افزایش یافته است. با توجه به کاهش آب‌های سطحی، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، تنها گزینه باقیمانده برای تأمین تقاضای روزافزون آب آبیاری است (4). از طرفی، بسیاری از سفره‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل طبیعی یا فشارهای انسانی، از کیفیت مناسبی برای استفاده برخوردار نیستند. با این وجود، در اغلب کشورهای در حال توسعه، آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی و با کیفیت نامناسب تأمین می‌شود که بر رشد گیاه اثر منفی دارد و با ایجاد شرایط نامطلوب، تولید کشاورزی را کاهش می‌دهد. رشد جمعیت و بالا رفتن استاندارد زندگی، موجب افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی بیشتر و با کیفیت بهتر شده است (28). از سوی دیگر، افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی که به واسطه دسترسی به

1 و 2 - دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی و استادیار، گروه بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان  
(\*) نویسنده مسؤله: \_\_\_\_\_  
Emial: l.bakshandehmeh@students.semnan.ac.ir  
3- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک، دانشگاه سمنان

مورد بررسی در هر روش طبقه‌بندی است. این امر با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و مدل‌های مختلف میان‌یابی امکان‌پذیر است. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش وزن‌دهی معکوس فاصله ( $IDW^9$ )، تابع شعاعی ( $RBF^{10}$ )، کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی اشاره کرد.

شعبانی (19) به منظور پهنه‌بندی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت ارسنجان از روش‌های زمین‌آمار استفاده کرد. بررسی و تحلیل مکانی میزان شوری و نیترات آب‌های زیرزمینی نشان داد که دو روش کریجینگ ساده و تابع شعاعی (RBF) مناسب‌ترین روش‌ها در میان روش‌های مختلف زمین‌آمار بوده‌اند. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (25) روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را بر روش وزن‌دهی معکوس فاصله ارجح دانستند و هاشمی و همکاران (9)، روش کوکریجینگ را به دلیل داشتن خطای جذر میانگین مربعات ( $RMSE^{11}$ ) کمتر، انتخاب نمودند.

طلباطبایی و غزالی (22) به منظور انتخاب بهترین روش میان‌یابی، از فن اعتبارسنجی متقابل<sup>12</sup> استفاده نمودند. بر طبق نتایج ایشان، سه عامل اصلی پراکنش نقاط نسبت به مرکز ثقل دشت، تعداد نقاط و اختلاف ارتفاع مطلق دشت در میزان دقت روش‌های میان‌یابی مؤثرند. تقی‌زاده مهرجردی (24) نیز فن اعتبارسنجی متقابل را برای انتخاب بهترین مدل برازش در متغیرهای مختلف به کار برد و نقشه عوامل شیمیایی آب زیرزمینی را در منطقه ارومیه تهیه کرد.

سوراکالیچ (17) کیفیت آب زیرزمینی منطقه غرب استرالیا را با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار (روش کریجینگ) مورد بررسی قرار داد. او چهار مدل تغییرنما، شامل مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی را بر روی داده‌های منطقه مورد مطالعه‌اش برازش داد. در نهایت عنوان نمود که مدل تغییرنمای نمایی بهترین نتیجه را برای میان‌یابی مؤلفه‌های کیفی آب زیرزمینی ارائه می‌کند. سینتی و همکاران (6) نیز همین مدل تغییر نما را بهترین روش برای میان‌یابی عنصر رادون در سفره‌های آب زیرزمینی دانستند.

بر اساس مطالعات موجود (20 و 23)، افت سطح آب زیرزمینی دشت گرمسار و کاهش کیفیت آن به چند دلیل اتفاق افتاده است. اولین و مهم‌ترین عامل، کاهش دسترسی به آب رودخانه حبله‌رود به دلیل برداشت‌های بی‌رویه در بالادست (شهرستان‌های فیروزکوه و دماوند) است. این رودخانه که تنها منبع سطحی مطمئن تأمین آب در دشت گرمسار است، در بالا دست از کیفیت خوبی برخوردار است، اما قبل از ورود به دشت گرمسار با عبور از سازندهای شور، موجب افزایش میزان املاح و کاهش کیفیت آب می‌شوند. به نحوی که

تعیین کیفیت و تناسب منابع آبی برای کاربری‌های مختلف ارائه شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به نمودارهای پایپر<sup>1</sup> (14)، ویلکاکس<sup>2</sup> (29)، شولر<sup>3</sup> (18) اشاره نمود. نمودار ویلکاکس که برای تعیین تناسب آب برای استفاده آبیاری به کار می‌رود، بر مبنای طبقه‌بندی دو شاخص شیمیایی هدایت الکتریکی<sup>4</sup> (EC) و نسبت جذب سدیم<sup>5</sup> (SAR)، 16 کلاس کیفی برای آب آبیاری تعیین می‌نماید. هدایت الکتریکی معیار مناسبی برای سنجش خطر شوری است چرا که رشد گیاه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین بر ساختمان خاک، نفوذپذیری و تهویه خاک نیز مؤثر است. لذا، هدایت الکتریکی تأثیرگذارترین شاخص کیفیت آب در تولید محصول است. واکنش سدیم در خاک موجب پراکندگی<sup>6</sup> ذرات خاک و پر شدن منافذ خاک با ذرات ریز شده و در نهایت سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. سدیم خاک اغلب با نسبت جذب سدیم (SAR) یا درصد سدیم قابل تبادل بیان می‌شود (28).

با توجه به اهمیت موضوع کیفیت سنجی آب مورد استفاده و مکان‌یابی آن، محققان بسیاری در پی ارائه روش‌ها و شاخص‌های دقیق و مقرون به صرفه برای ارزیابی کیفی این منابع بوده‌اند. لذا مطالعات بسیاری در این رابطه صورت گرفته است که در بسیاری از آن‌ها از نمودار ویلکاکس برای تعیین تناسب آب برای آبیاری استفاده شده است. ونکاتس واران<sup>7</sup> و همکاران (27) و همچنین کومار و همکاران (13) از جمله محققانی بودند که این نمودار را مبنای طبقه‌بندی و تعیین کلاس کیفی آب در تحقیق خود قرار دادند. سلیمانی ساردو و همکاران (21) با استفاده از روش‌های مذکور، متغیرهای کیفیت شیمیایی رودخانه چم انجیر خرم‌آباد را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. دلبری و همکاران (7) در مکان‌یابی آب‌های زیرزمینی مناسب آبیاری تحت فشار، آستانه‌هایی را برای هر مؤلفه شیمیایی تعیین نموده و نقشه مناطق مناسب برای آبیاری تحت فشار را تهیه کردند. غریبا<sup>8</sup> و همکاران (8) در نوار غزه با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی کیفیت آب‌های زیرزمینی را ارزیابی نمودند. نقشه کیفیت آب این منطقه با تکیه بر روش‌های زمین‌آمار تهیه شد. مکان‌یابی مناطقی که دارای کیفیت آب مناسب برای آبیاری و دیگر کاربری‌ها هستند، مستلزم پهنه‌بندی شاخص‌ها و مؤلفه‌های

- 1- Piper
- 2- Wilcox
- 3- Schoeller
- 4- Electrical conductivity
- 5- Sodium Adsorption Ratio
- 6- Dispersion
- 7- Venkatesvaran
- 8- Gharbia

9- Inverse Distance Weighting  
10- Radial Basis Functions  
11- Root Mean Square Error  
12- Cross Validation

داده است.

این مخروط افکنه بخشی از فلات مرکزی ایران است و آب و هوایی مشابه با سایر نقاط این فلات دارد و همچون دیگر بخش‌های جنوبی استان سمنان، در تابستان هوای بیابانی و گرم و خشک و در زمستان هوای سرد دارد. میانگین درجه حرارت سالانه 17/8 درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه آن 119/5 میلی‌متر می‌باشد. متوسط تبخیر سالانه بالغ بر 2539 میلی‌متر در سال و متوسط رطوبت نسبی 45/7 درصد است.

دشت گرمسار بین رشته کوه البرز در شمال و ارتفاعات سیاه کوه در جنوب واقع گردیده است. از نظر روندهای ساختمانی، چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی منطقه مشابه ایران مرکزی است. کهن‌ترین واحدهای قابل مشاهده در این ناحیه واحدهای ائوسن سازند کرج هستند (10). در منطقه گرمسار، دیابیرهایی (شامل توده‌های بزرگ تبخیری گچ و نمک، رس ارغوانی قرمز و شیل) از زمین‌های مجاور اندکی ارتفاع گرفته و به طور وسیع سازندهای قرمز بالایی، سازند قم و سازندهای جوانتر را به صورت گسل قطع می‌کند و باعث در هم ریختگی نظم چینه‌شناسی و ساختمانی منطقه شده است. نمک در داخل دیابیر و در امتداد گسل‌ها و دره‌ها که سنگ پوشش شسته شده، بیرون‌زدگی دارد (26).

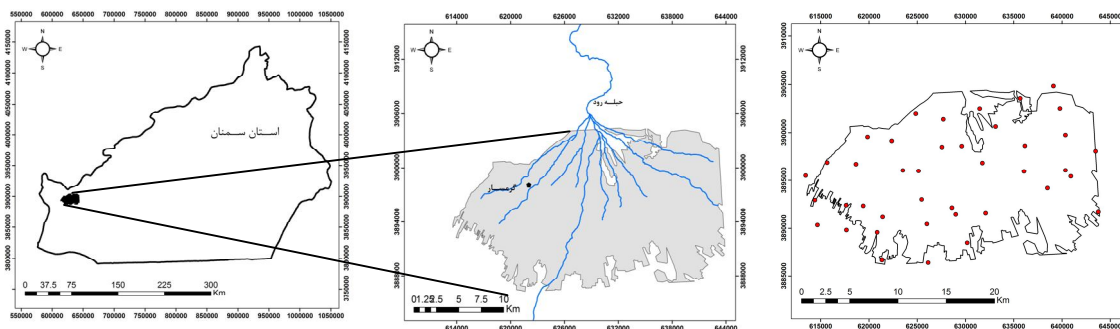
منطقه با بحران آب مواجه شده و این امر منجر به افزایش میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی و حفر تعداد قابل توجهی چاه عمیق و نیمه عمیق برای دسترسی به آب شده است. همراه با پایین رفتن سطح سفره، کیفیت آن‌ها نیز کاهش یافته و بر میزان شوری و املاح آن افزوده می‌شود (23).

در این تحقیق، پس از بررسی روش‌های مختلف میان‌یابی و تعیین بهترین روش برای پهنه‌بندی شاخص‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت گرمسار، کیفیت و تناسب آب زیرزمینی برای آبیاری در طی چند سال متوالی تعیین شده و روند بهبود یا افت کیفیت آب‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شامل محدوده اراضی کشاورزی شهر گرمسار و حومه آن می‌باشد که بر روی مخروط افکنه گرمسار و در غرب استان سمنان قرار گرفته است. این منطقه با مساحتی بالغ بر 37570 هکتار، ما بین طول‌های 52° 14' و 52° 35' شرقی و عرض‌های 35° 7' و 35° 16' شمالی واقع شده است (شکل 1). در شمال منطقه کوه‌های البرز مرکزی مشاهده می‌شود، که رود جبله‌رود با حفر دره‌ای از آن‌ها خارج شده و مخروط افکنه گرمسار را شکل



شکل 1- موقعیت محدوده مطالعاتی و چاه‌های نمونه‌برداری  
Figure 1- Location of study area and sampling wells

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

رابطه 1:

که غلظت یون‌های سدیم، منیزیم و کلسیم بر حسب میلی‌اکی‌والن بر لیتر می‌باشد.

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از روش‌های آماری، شاخص‌های آماری داده‌های شیمیایی 42 حلقه چاه موجود در منطقه مطالعاتی در محیط نرم‌افزار SPSS ver.22 محاسبه شد. با تجزیه و تحلیل این

### روش مطالعه

به منظور ارزیابی و بررسی شاخص‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی (EC و SAR) دشت گرمسار، از آمار و داده‌های 42 حلقه چاه در طول دوره ده ساله 91-81 (اخذ شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان) استفاده شده است. موقعیت مکانی چاه‌ها در شکل 1 ارائه شده است. محاسبه SAR، با استفاده از غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم و بر اساس رابطه یک انجام شد.

$Z(x_i)$ : ارزش مشاهداتی متغیر  $x_i$ ،  $Z(x_i+h)$ : ارزش مشاهداتی متغیر با فاصله  $h$  از متغیر  $x_i$  تغییرنا در واقع واریانس نقاط مختلف با فاصله  $h$  از همدیگر است.

برای انتخاب بهترین مدل نیم‌تغییرنا، در ابتدا، مدل‌های نیم‌تغییرناهای مختلفی (مانند مدل دایره‌ای، کروی و گوسی) در محیط نرم افزار GS+ ver.9 بر داده‌ها برازش داده شد و مدل نیم‌تغییرنا که دارای کمترین میزان مجموع مربعات باقیمانده ( $RSS^2$ ) و بیشترین بیشترین ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و اثر قطعه‌ای کمتر از 0/5 بود، انتخاب شد (5).

در نهایت پس از انتخاب بهترین روش پیش‌بینی، پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از روش مذکور انجام شد.

پس از تهیه لایه‌های پهنه‌بندی دو شاخص EC و SAR به منظور تعیین رده کیفی آب برای کشاورزی از نمودار و طبقه‌بندی ویل کاکس استفاده شد (29). اساس این طبقه‌بندی در جدول 1 و تعیین کلاس کیفی آب در جدول 2 آمده است.

در تهیه نقشه کیفیت در مورد نمونه‌هایی که مقادیر EC و SAR بسیار بالاتر از دامنه طبقه‌بندی بود، دو رده C5 و S5 در نظر گرفته شده است، که عبارت از آب‌هایی است که برای کشت هیچ نوع گیاهی (به استثنای گیاهان شورپسند کویری) مناسب نیستند. رده C5 با هدایت الکتریکی بیش از 5000 میکروموس بر سانتی‌متر و رده S5 نسبت جذب سدیم بیش از 32 را پوشش می‌دهد. نقشه کلاس‌های کیفی آب زیرزمینی به روش ویل کاکس از تلفیق دو نقشه طبقه‌بندی هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم تهیه و به منظور مکان‌یابی مناطق با کیفیت آب زیرزمینی خوب تا نامناسب و غیرقابل استفاده طبقه‌بندی گردید. این نقشه‌ها برای یک دوره 10 ساله (91-81) با فواصل زمانی دو سال تهیه شده و در نهایت مساحت تحت تأثیر هر کلاس تناسب در طی سال‌ها با هم مقایسه گردید.

## نتایج و بحث

آمار توصیفی دو شاخص شیمیایی هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در 42 حلقه چاه دشت گرمسار، به عنوان نمونه برای سال 90-91 (که نتایج آن مشابه دیگر سال‌های مورد بررسی است)، در جدول 3 آمده است. در توزیع نرمال قدر مطلق ضریب کشیدگی کمتر از 0/1 می‌باشد.

چنانچه قدر مطلق ضریب کشیدگی بیش از 0/5 باشد، توزیع داده‌ها به طور چشمگیری با توزیع نرمال استاندارد فاصله دارد (5). بر طبق جدول 3 میزان کشیدگی و چولگی بیش از 0/5 است. لذا داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. نتایج حاصل از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نیز این مسئله را تأیید می‌کنند.

شاخص‌های آماری از قبیل حداکثر، حداقل، میانگین، میانه، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار نحوه توزیع و دامنه تغییرات داده‌های کیفی چاه‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. استفاده از داده‌هایی با توزیع نرمال می‌تواند سبب بهبود نتایج پیش‌بینی‌ها با استفاده از روش زمین‌آمار شود (16 و 19)؛ لذا نرمال بودن داده‌ها، از طریق آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و در محیط این نرم‌افزار مورد سنجش قرار گرفت. همچنین شناسایی داده‌های پرت نیز با استفاده از ترسیم نمودارهای جعبه‌ای برای داده‌های EC و SAR، شناسایی شدند. بر طبق نتایج حاصل از ترسیم این نمودارها دو داده پرت در هر سری از داده‌ها شناسایی شدند که از تجزیه و تحلیل‌ها حذف شدند. خداکرمی و همکاران (12) نیز برای پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین خاک‌های سه زیر حوزه استان همدان، از همین روش برای آزمون نرمال بودن و شناسایی داده‌های پرت استفاده نمودند.

در صورت عدم تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از روش‌های مختلفی از قبیل استفاده از لگاریتم داده‌ها و یا مجذور داده‌ها انجام شد.

در این پژوهش میان‌یابی شاخص‌های مورد بررسی با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ، انجام شد. کریجینگ یک روش پیش‌بینی است که ارزش متغیرها را در نقاط نمونه‌برداری نشده، به عنوان یک ترکیب خطی از ارزش‌های متغیر  $Z$  در تعداد  $n$  نقطه اندازه‌گیری شده به صورت زیر توصیف می‌کند:

$$Z = (z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)) \quad \text{رابطه 2}$$

برآورد  $Z$  در نقطه  $x_0$  با استفاده از کریجینگ به صورت زیر تعریف می‌شود (30):

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad \text{رابطه 3}$$

به منظور بررسی همبستگی مکانی و ساختار مکانی متغیرها، با استفاده از نرم‌افزار تخصصی زمین‌آمار GS+ نیم‌تغییرنا<sup>1</sup> داده‌ها ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

روش تجزیه و تحلیل تغییرنا یک تکنیک مناسب برای برآورد تغییرپذیری مکانی متغیرهاست (30). محاسبه نمودار تغییرنا یکی از ضروری‌ترین مراحل زمین‌آمار محسوب می‌گردد که به صورت معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad \text{رابطه 2}$$

که در آن:

$\gamma(h)$ : ارزش تغییرنا برای جفت داده متناظر با فاصله  $h$ ،

$n(h)$ : تعداد جفت داده متناظر با فاصله  $h$

جدول 2- ارزیابی کیفیت آب به روش ویل کاکس (29)  
Table 2- Evaluation of groundwater quality in Wilcox method

هدایت الکتریکی Electrical Conductivity					نسبت جذب سدیم Sodium Absorption Ratio
C5	C4	C3	C2	C1	
-	****	***	**	*	S1
-	****	***	**	**	S2
-	****	***	***	***	S3
-	****	****	****	****	S4
-	-	-	-	-	S5

جدول 1- مبنای طبقه‌بندی کیفیت آب به روش ویل کاکس (29)  
Table 1- Classification of groundwater quality in Wilcox method

نسبت جذب سدیم Sodium Absorption Ratio		هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	
SAR	رده	EC ( $\mu\text{mhos/cm}$ )	رده
0-10	S1	100-250	C1
10-18	S2	250-750	C2
18-26	S3	750-2250	C3
26-32	S4	2250-5000	C4
>32	S5	>5000	C5

جدول 3- آمارهای توصیفی دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم قبل از نرمال‌سازی (سال 90-91)

Table 3- Descriptive statics of Electrical Conductivity and Sodium absorption Ratio data before normalization (2011-2012)

متغیر Variables	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	چولگی Skewness	کشدگی Kurtosis	میانه Median	چارک اول First Quartile	چارک سوم Third Quartile
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	1903	7760	4039.02	1367.34	0.932	0.553	3745	3110	4697.5
نسبت جذب سدیم Sodim Absorption Ratio	3.74	15.14	7.67	2.7	1.27	1.3	6.64	5.9	9.1

بیش از سطح معنی‌داری مبنا (پنج درصد) باشد (5)، که در رابطه با هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم به ترتیب 0/003 و 0/006 است. لذا توزیع هیچکدام از سری داده‌ها نرمال نبود.

نتایج حاصل از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف بر داده‌های دشت گرمسار در سال 90-91 به عنوان نمونه در جدول 4 ارائه شده است. در این آزمون برای تأیید نرمال بودن داده‌ها، سطح معنی‌داری باید

جدول 4- نتایج آزمون کلوموگروف - اسمیرنوف

Table 4- Result of Kolmogrov-Smirnov test

	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	نسبت جذب سدیم Sodium Absorption Ratio
Kolmogrov-Smirnov Z	0.172	0.180
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.006	0.003

تغییرنا در دامنه تأثیر به آن می‌رسد، خطای ریشه میانگین مربعات و ضریب همبستگی مربوط به مدل‌های مختلف تغییرنا اعم از خطی، کروی، نمایی و گوسی ارائه شده است. در میان مدل‌های تغییرنمای مختلف، بهترین مدل، مدلی است که واجد هر دو شرط RSS کمتر و ضریب همبستگی بیشتر باشد.

با توجه به نتایج ذکر شده در جدول 7، بهترین روش و مدل برازش برای هر دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم، روش کریجینگ معمولی با مدل برازش گوسی است که به ترتیب دارای ضریب همبستگی 0/896 برای هدایت الکتریکی و 0/87 برای

نتایج نشان داد که استفاده از لگاریتم داده‌ها، سبب نرمال شدن آن‌ها می‌شود. آمار توصیفی داده‌ها پس از نرمال‌سازی در جدول 5 و نتایج حاصل از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف پس از نرمال‌سازی در جدول 6 نشان داده شده است. سطح معنی‌داری بیش از 0/05 در رابطه با هر دو شاخص حاکی از پذیرش فرض صفر و نرمال بودن داده‌هاست.

پس از نرمال‌سازی، عمل برازش و تعیین مدل تغییرنمایی با استفاده از نرم‌افزار GS+ ver.9 انجام شد. در جدول 7 واریانس قطعه‌ای (مقدار تغییرنا در مبدأ مختصات)، آستانه (مقدار ثابتی که

گرفته نیز کارایی و دقت بیشتر روش کریجینگ را تأیید کرده‌اند (1)، (3، 9 و 11).

نسبت جذب سدیم است. تغییرنمای این شاخص‌ها با مدل گوسی با استفاده از نرم‌افزار GS+ ترسیم و در شکل 2 نشان داده شده است. نتایج مطالعات دیگری که در رابطه با روش‌های میان‌یابی انجام

جدول 5- آمارهای توصیفی دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم پس از نرمال‌سازی به روش لگاریتمی (سال 90-91)

Table 5- Descriptive statics of Electrical Conductivity and Sodium absorption Ratio data after normalization (2011-2012)

متغیر Variables	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	چولگی Skewness	کشدگی Kurtosis	میانه Median	چارک اول First Quartile	چارک سوم Third Quartile
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	7.55	8.96	8.25	0.33	0.17	-0.2	8.22	8.45	8.40
نسبت جذب سدیم Sodium Absorption Ratio	1.32	2.7	1.98	0.33	0.4	-0.06	1.89	1.78	2.21

جدول 6- نتایج آزمون کلوموگروف - اسمیرنوف پس از نرمال‌سازی

Table 6- Result of Kolmogrov-Smirnov test after normalization

	نسبت جذب سدیم	هدایت الکتریکی
Kolmogrov-Smirnov Z	0.135	0.11
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.078	0.2

جدول 7- شاخص‌های اندازه‌گیری شده در مدل‌های مختلف تغییرنما برای شاخص‌های EC و SAR پس از نرمال‌سازی (سال 90-91)

Table 7- Measuring indices in different models of variograms for EC and SAR indic after normalization (2011-2012)

مدل تغییرنما Variogram Models	شاخص Indice	واریانس قطعه‌ای Nugget	آستانه Sill	شعاع تأثیر Range	مجموع مربعات باقیمانده RSS	ضریب همبستگی R <sup>2</sup>
کروی Spherical	EC	0.04	0.25	71100	2.86*10 <sup>-3</sup>	0.81
	SAR	0.02	0.32	71100	1.46*10 <sup>-3</sup>	0.85
نمایی Exponential	EC	0.04	0.39	213300	3.09*10 <sup>-3</sup>	0.79
	SAR	0.02	0.54	213300	1.79*10 <sup>-3</sup>	0.83
گوسی Gaussian	EC	0.06	0.67	23750	2.3*10 <sup>-3</sup>	0.89
	SAR	0.07	0.31	31450	1.8*10 <sup>-3</sup>	0.87

حاصل از میان‌یابی شاخص‌ها در سال‌های قبل، میزان هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در شمال منطقه و در محل ورود حبله‌رود به مخروط افکنه از دیگر نقاط منطقه کمتر است. حداکثر این شاخص‌ها نیز در حاشیه غربی منطقه به چشم می‌خورد.

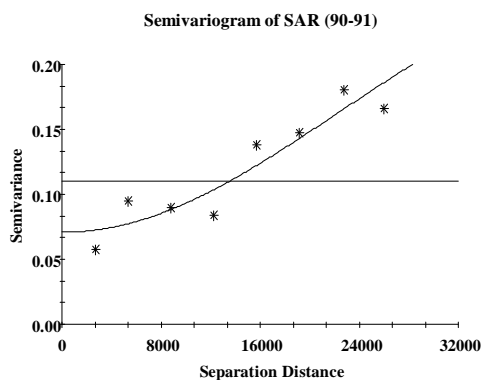
بر طبق نقشه‌های تهیه شده به روش میان‌یابی، در سال آماری (1391 - 1390) هدایت الکتریکی آب در سفره‌های واقع در ورودی مخروط افکنه گرمسار کمتر از دیگر بخش‌های حوزه است. همچنین میزان نسبت جذب سدیم نیز در این منطقه در مقایسه با دیگر نقاط دشت، کمتر است. در تمامی نقشه‌های تهیه شده در سال‌های مختلف آماری کمترین مقدار هدایت الکتریکی آب چاه متعلق به نقاط واقع در

با توجه به یکسان بودن نتایج در رابطه با انتخاب مدل برازش در سال‌های مختلف، این چنین به نظر می‌رسد که عدم تغییر پراکنش مکانی چاه‌های نمونه‌گیری، موجب یکسان بودن نتایج و برازش نیم‌تغییرنما با مدل گوسی برای آمار کلیه سال‌ها شده است. لذا در اینجا از ارائه نتایج و نقشه‌های میان‌یابی سال‌های قبل صرف‌نظر شده و نیم‌تغییرنمای شاخص‌ها با مدل گوسی به عنوان نمونه برای سال 1390-1391 ترسیم و در شکل 2 نشان داده شده است.

نقشه حاصل از میان‌یابی میانگین شاخص‌های هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در سال 1390-1391 به روش بالا در شکل‌های 3 و 4 ارائه شده است. بر اساس این نقشه‌ها و همچنین نقشه‌های

منطقه در مقایسه با نیمه غربی منطقه که در مجاورت گنبدهای نمکی دوران سوم است، از کیفیت آب بهتری برخوردار است.

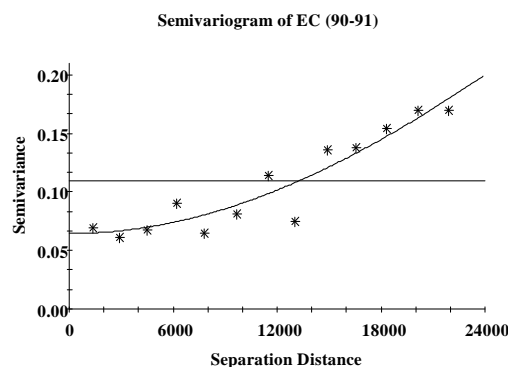
رأس مخروط افکنه بوده و با حرکت از رأس به سمت قاعده و کناره‌ها میزان شوری افزایش چشمگیری داشته است. همچنین نیمه شرقی



Gaussian model (Co = 0.0708; Co + C = 0.3036; Ao = 31450.00; r2 = 0.869; RSS = 1.800E-03)

ب- نیم تغییرنمای نسبت جذب سدیم (مدل گوسی)

b- Semi-variogram of Sodium absorption Ratio



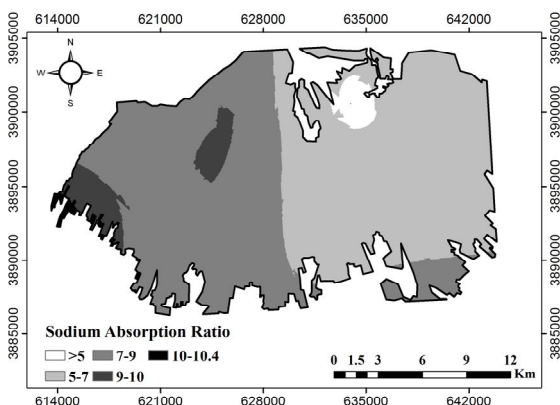
Gaussian model (Co = 0.0640; Co + C = 0.6700; Ao = 47920.00; r2 = 0.887; RSS = 2.304E-03)

الف- نیم تغییرنمای هدایت الکتریکی (مدل گوسی)

a- Semi-variogram of Electrical Conductivity

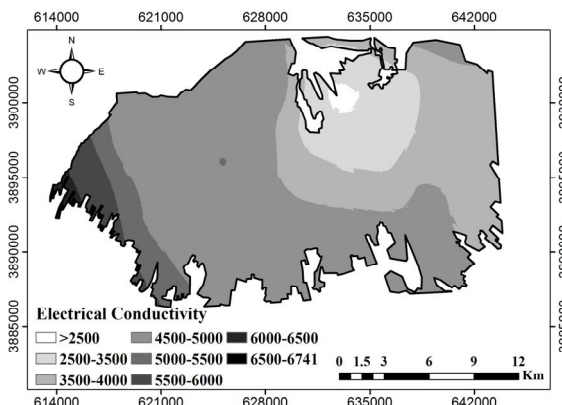
شکل 2- نیم تغییرنمای شاخص‌های شیمیایی آب زیرزمینی (1390-1391)

Figure 2- Semi-variogram of groundwater chemical indices (2011-2012)



شکل 4- نقشه میان‌یابی شاخص نسبت جذب سدیم در سطح منطقه

Figure 4- Interpolation map of SAR Over the study area



شکل 3- نقشه میان‌یابی شاخص هدایت الکتریکی در سطح منطقه

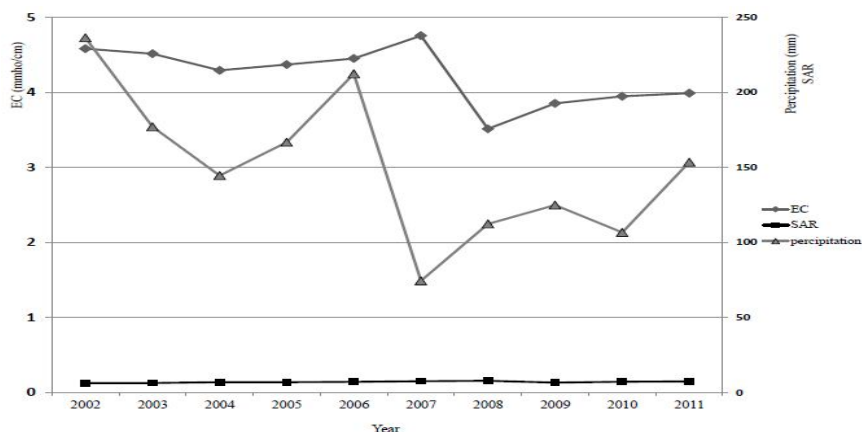
Figure 3- Interpolation map of EC Over the study area

نظر می‌رسد که میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با میزان بارش در منطقه رابطه مستقیم داشته است، که با توجه به آشوبی بیشتر املاح در سال‌هایی که بارش بیشتر بوده و انتقال املاح بیشتر به سفره آب زیرزمینی، این امر قابل توجیه است. بین حداقل و حداکثر متوسط هدایت الکتریکی در سطح منطقه، در حدود 850 میلی موهس بر سانتی‌متر تفاوت وجود داشته است. در سال آبی 1386-1387 (2007 م)، این منطقه دستخوش یک خشکسالی ناگهانی بوده و همانطور که در نمودار نیز مشاهده می‌شود، به یکباره بارش به طور چشمگیر کاهش یافته است. کاهش هدایت الکتریکی سفره با تأخیر

در کلیه سال‌های آماری میزان نسبت جذب سدیم و در واقع میزان قلیائیت آب زیرزمینی تغییر چندانی نداشته و همواره کمتر از 13 بوده است. حال آنکه تغییر هدایت الکتریکی به وضوح قابل مشاهده است. با توجه به نقشه‌های میان‌یابی این شاخص، در سال‌هایی که متوسط هدایت الکتریکی در سفره آب زیرزمینی افزایش داشته، میزان شوری آب رو به شرق منطقه پیشروی نموده و سطح بیشتری از منطقه با مشکل شوری آب مواجه بوده است. در نمودار شماره 5 تغییرات متوسط دو شاخص مورد بررسی در سطح منطقه به همراه تغییرات بارش در طی دوره آماری (1381-1391) ارائه شده است. به

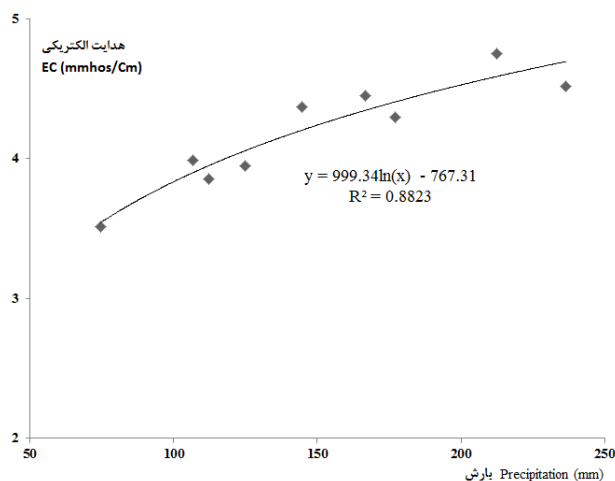
شکل 6 مورد آزمون قرار گرفته است. ضریب همبستگی 0/88 ارتباط قوی و مستقیم بین این دو را تأیید می نماید.

یکساله در سال آبی بعدی مشخص است. ارتباط بین هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با بارش منطقه با تأخیر یکساله در نمودار



شکل 5- نمودار تغییرات بارش، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در طی دوره آماری (1381 - 1391)

Figure 5- Diagram of precipitation, Ec and SAR Changes (2002-2011)



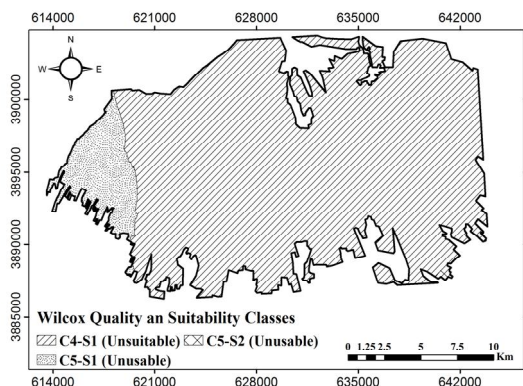
شکل 6- همبستگی بین شاخص هدایت الکتریکی و بارش منطقه با تأخیر یکساله

Figure 6- Correlation between Electrical conductivity index and precipitation with one-year delay

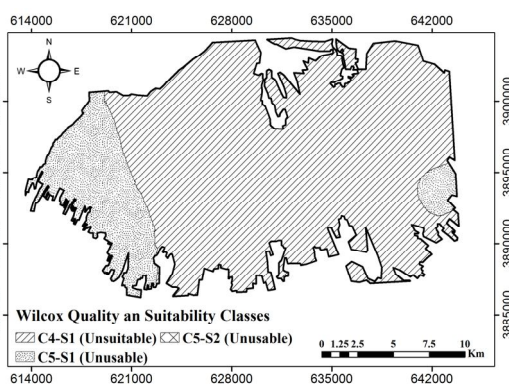
مناطق شرق و مرکزی تحت رده C4S1 قرار داشته است. کلاس کیفی آب زیرزمینی در این بخش در تمامی سالها تغییرات چندانی نداشته و در برخی سالها در حاشیه غربی کاهش یا افزایش داشته است. همانطور که قبلا نیز ذکر شد این بخش از منطقه تحت تأثیر گنبدهای نمکی است. لذا میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در این قسمت از منطقه با افزایش یا کاهش بارش و بدنبال آن آبشویی سازندها، در حال تغییر بوده است.

نقشه ردههای مختلف کیفیت آب زیرزمینی از جنبه آبیاری از تلفیق دو شاخص EC و SAR تهیه و با فواصل زمانی دو ساله و همچنین رده کیفی تناسب آب برای آبیاری در شکل 7 ارائه شده است. همانگونه که در این نقشهها به وضوح مشاهده می شود، کیفیت آبهای زیرزمینی در این منطقه از ابتدای دوره آماری برای آبیاری مناسب نبوده به طوری کیفیت آب در تمامی منطقه همواره در کلاس نامناسب و غیرقابل استفاده قرار داشته است. در سالهای 1381 تا 1386 بخش عظیمی از سطح منطقه در

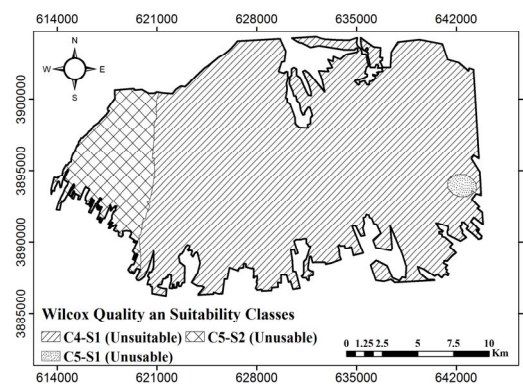




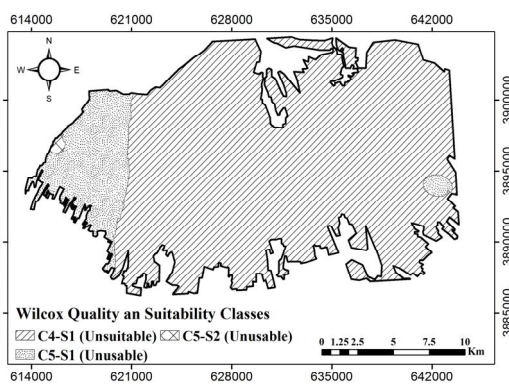
(ب) کلاس کیفیت آب به روش ویلکاکس و تناسب برای آبیاری (سال 83-84)  
b- Class of water quality in Wilcox methodology and water suitability for irrigation (2004-2005)



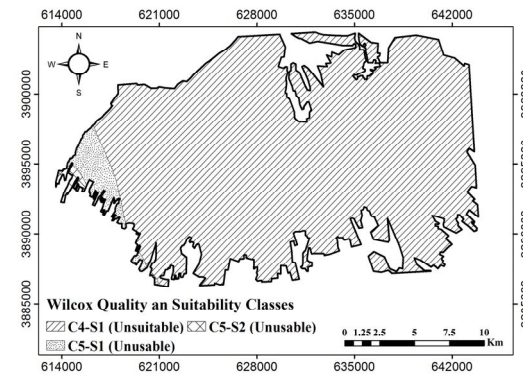
(الف) کلاس کیفیت آب به روش ویلکاکس و تناسب برای آبیاری (سال 81-82)  
a- Class of water quality in Wilcox methodology and water suitability for irrigation (2002-2003)



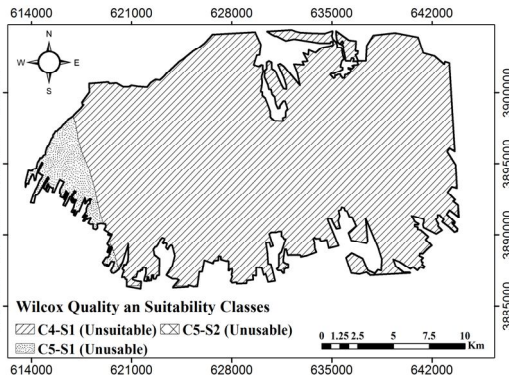
(د) کلاس کیفیت آب به روش ویلکاکس و تناسب برای آبیاری (سال 87-88)  
d- Class of water quality in Wilcox methodology and water suitability for irrigation (2008)



(ج) کلاس کیفیت آب به روش ویلکاکس و تناسب برای آبیاری (سال 85-86)  
c- Class of water quality in Wilcox methodology and water suitability for irrigation (2006-2007)



(و) کلاس کیفیت آب به روش ویلکاکس و تناسب برای آبیاری س (سال 90-91)  
f- Class of water quality in Wilcox methodology and water suitability for irrigation (2011)



(ه) کلاس کیفیت آب به روش ویلکاکس و تناسب برای آبیاری (سال 89-90)  
e- Class of water quality in Wilcox methodology and water suitability for irrigation (2010)

شکل 7- کلاس کیفیت و تناسب آب زیرزمینی منطقه در دوره آماری ده ساله (81-91) با فواصل زمانی دو ساله  
Figure 7- Class of groundwater quality and suitability in a 10-year period (2002-2011) with 2-year intervals

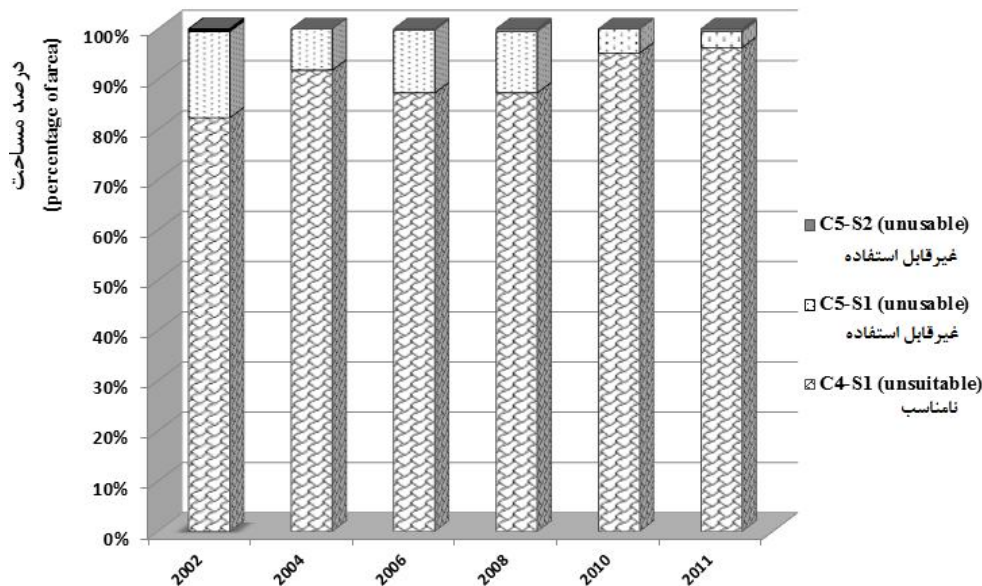
قلیائیت آب‌ها از سمت جنوب غرب منطقه پیشروی نموده و آب‌ها تحت رده C5S2 قرار گرفته‌اند. همچنین میزان هدایت الکتریکی نیز

این قسمت با همواره با محدودیت شوری آب مواجه بوده و در کلاس کیفی C5S1 قرار می‌گیرد. اما با گذشت زمان و افزایش

با هم مقایسه شده است. همانطور که در این نمودار نیز مشاهده می‌شود، کیفیت آب‌های زیرزمینی از جنبه کشاورزی در این منطقه همواره در کلاس نامناسب و غیرقابل استفاده قرار داشته و هیچگاه برای مصارف آبیاری مناسب نبوده است. کلاس C4S1 که بهترین کلاس کیفی در این منطقه است، سطح وسیعی از منطقه را به خود اختصاص داده است و در سالهای مختلف تغییرات اندکی داشته است. نیمه شرقی محدوده همواره در این کلاس قرار گرفته و تغییرات کیفی چندانی نداشته است.

با گذشت زمان از سمت غرب منطقه رو به افزایش نهاده و موجب انتقال آب‌های زیرزمینی این محدوده از رده C4 به رده C5 شده است. روند افزایش شوری و قلیائیت سفره در غرب منطقه، آنچنان که پیشتر نیز ذکر شد، می‌تواند ناشی از همجواری با گنبد‌های نمکی دوران سوم و آبشویی املاح و انتقال آن‌ها به سفره آب زیرزمینی باشد (20 و 23).

درصد مساحت هر کدام از کلاس‌های کیفی آب زیرزمینی و تناسب آن برای آبیاری منطقه در سال‌های مختلف در نمودار شکل 8



شکل 8- مقایسه سطح تحت تأثیر هر کدام از رده‌های کیفی و تناسب آب زیرزمینی در دوره آماری

Figure 8- Comparing the area of each different groundwater quality and suitability classes in the study period

توجه به تعداد نقاط نمونه‌برداری، پراکنش آن‌ها و خصوصیات فیزیوگرافیک منطقه مورد بررسی، مدل‌های مختلف دیگر را برای پژوهش خود مناسب دانستند (1, 6, 15 و 17). در نقشه‌های میان‌یابی دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم که در تحقیق حاضر تهیه شده است، بالاتر بودن هر دو شاخص در نیمه غربی منطقه به وضوح مشخص است. اگر چه دامنه تغییرات هدایت الکتریکی بسیار بیشتر از نسبت جذب سدیم است. حضور گنبد‌های نمکی در حاشیه غربی دشت گرمسار و نفوذ املاح به سفره آب زیرزمینی از عوامل شور شدن آب‌های این بخش از منطقه است (20 و 23). همچنین میزان این شاخص‌ها در آب چاه‌های حاشیه این دشت بیش از چاه‌های واقع در مرکز منطقه بوده است. با توجه به توپوگرافی دشت و مسیر جریان حله‌رود، حاشیه دشت محل کاهش سرعت آب و نفوذ جریان آب شور است که منشأ از گنبد‌های نمکی و سازندهای مسیر رود دارد. در دیگر پژوهش‌هایی که در این دشت

## بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تلاش بر این بوده که با تکیه بر کاربرد فناوری‌ها و روش‌های نو همانند زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی، کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت گرمسار و به طور اخص آب مورد استفاده برای آبیاری مورد بررسی قرار گیرد.

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل نیم تغییرنماها، روش کریجینگ معمولی با مدل برازش گوسی مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی شاخص‌های مورد بررسی تعیین شد. این روش در رابطه با کلیه سال‌های آماری، مورد استفاده قرار گرفت. یکسان بودن پراکنش مکانی و تعداد چاه‌های نمونه‌برداری در طی سال‌های مختلف آماری از عوامل تشابه نتایج آنالیز مدل برازش بودند. طباطبایی و همکاران (22) نیز تأثیر دو عامل تعداد و نحوه قرارگیری نمونه‌ها را در نوع مدل برازش تأیید کرده‌اند. هوشمند و همکاران (11) نیز همین مدل را بهترین مدل برای پژوهش خود معرفی نمودند. دیگر محققان نیز با

شور شدن خاک جلوگیری به عمل آورد. همچنان با مدیریت زراعی و جایگزینی محصولات مقاوم به شرایط کم آبی مانع گسترش هر چه بیشتر شوری زایی در خاک منطقه شد.

لازم به ذکر است که پهنه‌بندی‌های ارائه شده در این مطالعه، با استفاده از تنها آمار موجود از وضعیت آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشند. لذا، میان‌یابی‌های انجام شده قطعاً با درصدی از خطا انجام گرفته است و باید توجه داشت که نمی‌توان از نقشه‌های تولیدی در مقیاس مطالعات تفصیلی بهره گرفت، اما چنین نقشه‌هایی با قابلیت توزیع مکانی پیوسته می‌توانند در برنامه‌ریزی‌ها، اقدامات مدیریتی، آمایش سرزمین و توسعه پایدار در سطح کلان استان بسیار سودمند باشند.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند، از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان، به جهت در اختیار دادن اطلاعات و داده‌های آب زیرزمینی تشکر نمایند. امید آنکه تحقیق حاضر گامی ناچیز در جهت نیل به اهداف والا و ضروری مدیریت منابع آب این استان باشد.

انجام گرفته است نیز بر این امر تاکید شده و گنبد‌های نمکی را منشأ شوری آب و خاک این دشت دانسته‌اند (20). در مطالعات زهتابیان و همکاران (30) و همچنین طباطبایی فر و همکاران (23) بر بالا بودن شوری و قلیائیت آب زیرزمینی در این منطقه تاکید شده و به نقش سازندهای شور و گنبد‌های نمکی در شوری منابع آبی اشاره شده است.

در دوره ده ساله مورد بررسی، تغییرات نسبت جذب سدیم ناچیز بوده است. تغییرات متوسط هدایت الکتریکی در سال‌های مختلف با تأخیر یکساله رابطه مستقیم با بارش منطقه داشته است. در مجموع دوره آماری با افزایش میزان بارندگی املاح بیشتری در آب وارد شده و پس از نفوذ، وارد آب زیرزمینی شده و اثر خود را نشان داده است. بر طبق نتایج حاصل از مطالعه حاضر، آب‌های زیرزمینی مورد استفاده برای آبیاری در هیچ نقطه‌ای از دشت گرمسار، مناسب آبیاری نبوده و در کلاس نامناسب و غیرقابل استفاده قرار می‌گیرند. آبیاری با این آب‌ها در این مناطق موجب انتقال شوری آب به سطح زمین و شور شدن ثانویه خاک شده است، به نحوی که آثار شوری به وضوح بر روی سطح خاک اراضی کشاورزی قابل مشاهده است. لذا با توجه به این امر، بهره‌برداری و برداشت منابع آب زیرزمینی به منظور آبیاری به هیچ عنوان در دشت گرمسار توصیه نمی‌شود. در این زمینه پیشنهاد می‌گردد تا با طراحی پروژه‌های جایگزینی آب‌های با کیفیت بهتر، از

### منابع

- 1- Akbarzadeh M., and Ghahreman B. 2013. A combined strategy of entropy and spatio-temporal kriging in determining optimal network for groundwater quality monitoring of Mashhad basin. *Journal of Water and Soil*, 27(3):613-629. (in Persian with English abstract).
- 2- Alizadeh A. 1997. *Principal of applied hydrology*. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.
- 3- Amiraslani F., and Dragovich D. 2011. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. *Journal of Environmental Management*, 92:1-13.
- 4- Arsalan H. 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra plain, Turkey. *Agriculture Water Management*, 113:57-63.
- 5- Barikani E., Ahmadian M., and Khalilian S. 2011. Sustainable optimal utilization of groundwater resources in agriculture: A case study in agricultural zone of Qazvin basin *Journal of Agricultural Economics and development*, 25(2):253-262. (in Persian).
- 6- Bihamta M.R., and Zare Chahouki M.A. 2011. *Principles of statistics in natural resources*. University of Tehran Press, Tehran, Iran.
- 7- Cinti D., Poncia P.P., Procesi M., Galli G., and Quattrocchi F. 2013. Geostatistical techniques application to dissolved radon hazard mapping: An example from the western sector of Sabatini Volcanic District and the Tolfa Mountains (central Italy). *Applied Geochemistry*, 35:312-324.
- 8- Hajhashemi Jazi M.R., Atashgahi M., and Hamidian A.H. 2011. Spatial estimation of groundwater quality factors using geostatistical methods (case study: Golpayegan Plain). *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural resources*, 63(4):347-357. (in Persian with English abstract).
- 9- Heravi S.A., Nazari H., Shahidi A., and Talebian M. 2013. Geometry and Kinematic of the Garmsar fault since Neogene. *Scientific Quarterly Journal, Geoscience*, 22(88):175-186.
- 10- Hooshmand A., Delghandi M., Izadi A., and Aali K.A. 2011. Application of kriging in cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. *African Journal of Agricultural Research*, 6(14):3402-3408.
- 11- Khodakarami L., Soffianian A., Mirghafari N., Afyuni M., and Golshani A. 2012. Concentration zoning of chromium, cobalt and nickel in the soils of three sub-basins of the Hamadan province using GIS technology and the geostatistics. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*,

- 15(58):243-254. (In Persian).
- 12-Piper A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions. American Geophysical Union, 25:914-923.
- 13-Rezaei M., Davatgar N., Tajdari K., and Abolpour B. 2010. Investigation the spatial variability of some important groundwater quality factors in Guilan, Iran. Journal of Water and Soil, 24(5):932-941. (in Persian with English abstract).
- 14-Samson M., Swaminathan G., and Venkat Kumar N. 2010. Assessing groundwater quality for potability using a fuzzy logic and GIS- A case study for Tiruchirappalli City- India. Computer Modeling and New Technologies, 14(2):58-68.
- 15-Sarukkalgige R. 2012. Geostatistical analysis of groundwater quality in western Australia. . Engineering science and technology: An international Journal, 2(4):790-794.
- 16-Schoeller H. 1961. Groundwater. Masson, Paris.
- 17-Shaabani M. 2008. Determination of most suitable geostatistics approach in mapping the change of the groundwater pH and TDS: Case study: Arsenjan basin. Journal of Water Engineering, 1(1):47-57. (In Persian).
- 18-Shayan S., Sharifikia M., and Zare G.R. 2011. Spatial analysis and salinity geomorphologic hazard assessment in Garmsar alluvial fan. Journal of Arid Regions Geographics Studies, 2(5):47-58. (In Persian with English abstract).
- 19-Solaimanisardo M., Vali A.A., Ghazavi R., and Saidi Gorghani H.R. 2013. Trend analysis of Chemical Water quality parameters: Case study Cham Anjir river Irrigation and water engineering, 12:95-106. (In persian with English abstract).
- 20-Tabatabaei S.H., and Ghazali M. 2011. Accuracy of Interpolation Methods in Estimating the Groundwater Level (Case Study: Farsan- Jooneghan and SefidDasht Aquifers). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15(57):11-22. (In Persian with English abstract).
- 21-Tabatabaeifar M., Zehtabian G., Rahimi M., Khosravi H., and Nikoo S. 2013. The Analysis of Groundwater Quality and Quantity Changes and Climate Abnormalities Influencing on Desertification Trend in Garmsar Plain. Arid Regions Geographic Studies, 4(13):55-68. (In Persian with English abstract).
- 22-Taghizadeh Mehrjerdi R., Zareian Jahromi M., Mahmodi S., and Heidari A. 2008. Spatial distribution of groundeaterr quality with geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). World Applied Sciences Journal, 4(1):9-17.
- 23-Vaziri S.H., and Majidifard M.R. 2011. Stratigraphic situation of the Salt deposits in Garmsar area. Journal of Salt, 1(1):17-27.
- 24-Venkateswaran S., and Vediappan S. 2013. Assessment of groundwater quality for irrigation use and evaluate the feasibility zones through geospatial technology in Lower Bhavani subbasin, Cauver river, Tamil Nadu,India. International Journal of Innovative technology and Explorind Engineering, 3(2):180-187.
- 25-Wanda E.M.M., Gulula L.C., and Phiri A. 2013. Hydrochemical assessment of groundwater used for irrigation in Rumpfi and Karonga districts, Northern Malawi. Physics and Chemistry of the Earth, 66:51-59.
- 26-Wilcox L.V. 1955. Classification and uses of irrigation waters. US Departement of Agriculture Circular, Washington, DC.

## The Evaluation of Groundwater Suitability for Irrigation and Changes in Agricultural Land of Garmsar Basin

L. Bakhshandehmehr<sup>1\*</sup> - M.R. Yazdani<sup>2</sup> - A.A. Zolfaghari<sup>3</sup>

Received: 07-10-2014

Accepted: 12-07-2016

**Introduction:** In recent years, due to the reduction in surface water, utilization of groundwater has been increased to meet the growing demand of irrigation water. The quality of these water resources is continually changing, due to the geological formations, the amount of utilization, and climatic parameters. In many developing countries, the irrigation water is obtained from poor quality groundwater resources, which in turn, creates unfavorable circumstances for plant growth and reduces the agricultural yield. Providing adequate water resources for agricultural utilization is one of the most important steps needed to achieve the developmental targets of sustainable agriculture. Thus, this necessitates the assessment and evaluation of the quality of irrigation water. There are many proposed methods to determine the suitability of water for different applications, such as Piper, Wilcox, and Schoeller diagrams. Zoning of quality and suitability of irrigation water could represent the prone and critical areas to groundwater exploitation. Garmsar alluvial fan is one of the most sensitive areas in the country where traditional agriculture practices had turned into modern techniques and excessive exploitation of groundwater has caused an intense pressure on aquifers and increased water salinity. The aim of this study is to evaluate the suitability of groundwater for irrigation in a 10-year period (2002-2012) and its changes in this basin.

**Materials and Methods:** Garmsar alluvial fan is located in the North-West of Semnan Province. Semnan is situated in the Southern hillside of the Alborz Mountains, in North of Iran. The study area includes the agricultural land on this alluvial fan and covers over 3750 hectares of this basin. In order to evaluate the quality of groundwater in this area, the electrical conductivity and sodium absorption ratio of 42 sample wells were calculated. The raster maps of these indicators were obtained using Geo-statistical techniques. The suitability of irrigation water was determined by Wilcox diagram. Upon evaluating the data distribution and testing the data from Kolmogorov-Smirnov normality test, normalization of the data was performed in SPSS software. Spatial correlation and spatial structure of variables were analyzed by drawing their semi-variograms in GS+ software. The most accurate variogram model was selected according to the lowest Residual Sums of Squares (RSS) and the highest correlation coefficient ( $R^2$ ). Interpolation and zoning of the indicators were performed in ArcGIS software and the Quality classes were determined.

**Results and Discussion:** According to the results of Kolmogorov-Smirnov test, none of the data series had normal distribution. Therefore, they were normalized through calculating the logarithm of variables. Fitting and the selection of variograms were performed in GS+ software and after the calculation of errors, kriging method with Gaussian model was determined as the best fitting model. The correlation coefficient was 0.896 for electrical conductivity and 0.99 for sodium absorption ratio. Interpolation of indicators in ArcGIS implied fewer measurements of these indicators in north of the study area (Hableh-Rood inlet). The maximum measurement of indicators was observed on the western edge of the alluvial fan. In total, the values of both electrical conductivity and a sodium absorption ratio indicators in the western half of the area, in the vicinity of the third period domes, were more than the eastern half. The result of the water classification using Wilcox diagram represented the unsuitability of groundwater for irrigation in all of the study area. The area with unusable groundwater for irrigation has increased over the 2005 – 2009 period.

**Conclusion:** In this study, relying on the use of GIS and Geo-statistical methods, the quality of Garmsar basin groundwater has been evaluated. The electrical conductivity was applied to monitor water salinity, and Sodium absorption ratio was used to monitor alkalinity. The interpolation of these indicators was performed by Kriging method and Gaussian fitting model. Likewise, in other studies, the Kriging method was introduced as an appropriate method for the interpolation of chemical parameters of the groundwater. The accuracy of various fitting models in the prediction of interpolated values differed according to the number and the distribution of

1 and 2- Ph.D. Candidate and Assistant Professor of Desertification Combating Department, Semnan University

(\* - Corresponding Author Email: l.bakhshandehmehr@students.semnan.ac.ir)

3- Assistant Professor of Aridland Management Department, Semnan University

sample points. In the current study, the Gaussian fitting model was determined as the best model to interpolate both of the indicators. According to the maps, it seems that the third period domes in the western margin of the study area have a great influence on the quality of Garmsar's surface water and groundwater. In total, the groundwater of Garmsar basin didn't poss high suitability for irrigation, and was classified into two unsuitable and unusable classes. Moreover, according to the maps, the maximum area of unusable groundwater for irrigation in the area was observed in 2008.

**Keywords:** Electrical conductivity, Geo-statistics, Groundwater quality, Kriging, Sodium absorption ratio