ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران از لحاظ کشاورزی با روش‌های زمین آمار

فاطمه محمدیاری[1*]، مرتضی توکلی[2] و حسین اقدر[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر.

۲- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۱۰

چکیده

در این پژوهش، با بهره گرفتن از تحلیل‌های زمین آمار، خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی مناطق مهران و دهلران مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور ۲۹ نمونه آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ بررسی شده و از لحاظ هدایت الکتریکی آب و نسبت جذبی سدیم تحلیل شیمیایی گردید. نیم تغییرنمای تجربی هر یک از پارامترها با استفاده از نرم افزار GS^+ محاسبه شده و با مدل‌های گوسین، کروی، خطی و نمایی برازش داده شد، نتایج نشان داد که ساختار مکانی داده‌های کیفی آب زیرزمینی در این منطقه از مدل گوسین تبعیت می‌کند. سپس به کمک نرم افزار Arc GIS 10.3 درون‌یابی به روش‌های کریجینگ، عکس فاصله و توابع پایه‌ای شعاعی صورت گرفت. برای انتخاب مدل مناسب جهت برازش بر روی واریوگرام تجربی از مقدار میانگین مجذور مربعات خطا، کمتر و استحکام ساختار فضایی قوی‌تر استفاده شد. نتایج حاصل از روش کریجینگ با عکس فاصله و توابع پایه‌ای شعاعی به کمک معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین خطا که میزان دقت را نشان می‌دهد، مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت نتایج حاصل از محاسبه میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین خطا نشان داد که روش کریجینگ نسبت به دو روش دیگر برتری دارد و از دقت بالا و خطای پایینی برخوردار است لذا درون‌یابی با این روش صورت گرفت. درپایان با استفاده از منطق فازی، طبقه‌بندی ویلکاکس و طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت نقشه پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه برای کشاورزی تهیه گردید. سپس برای نشان دادن تجمع مکانی غلظت‌های عناصر از تحلیل نقاط داغ استفاده شد. با توجه به نقشه نهایی ۳۸ درصد از آب-های زیرزمینی منطقه برای کشاورزی مناسب و نسبتا مناسب و ٦٢ درصد نامناسب می‌باشد، پس می‌توان گفت که کیفیت آب منطقه مورد مطالعه برای کشاورزی مطلوب نیست.

کلید واژه‌ها: کریجینگ، طبقه‌بندی ویلکاکس، تحلیل نقاط داغ، عکس فاصله، توابع پایه‌ای شعاعی.

Assessment and Zoning of Groundwater Quality in Agricultural Areas of Mehran and Dehloran With Geostatistical Methods

F. Mohammadyari[1*], M. Tavakoly[2] and H. Aghdar[3]

1*- Phd Candidate of Evaluation and land use planning, Faculty of Natural Resources, Malayer University

2- Associate professor of Geography Tarbiat Modares University of Technology.

3- Master of Remote Sensing and GIS, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz.

Received :18 April 2015 Accepted:1 November 2015

Abstract

In this research, chemical properties of groundwater of Mehran and Dehloran areas was considered by using of geostatistical analysis. For this purpose, 29 groundwater samples were studied from 2001 to 2014 and the water conductivity and sodium adsorption ratio were chemically analyzed. Semi variogram of parameters was computed by GS^+ software and were fitted by Goussian, sphrical, Expotential and Goussian models. The results showed that the spatial structure of qualitative data of groundwater in these region is reconciled the Gaussian

model. Then, using of Arc GIS 10.3 software the Kriging interpolation, inverse distance weighted and Radial basis function methods were done. to select the appropriate model to fit the experimental variogram of the RMSE were used less and more stronger spatial structure. The results of kriging with Inverse distance weighted and radial basis functions using the RMSE and ME RDF Criteria which measure the accuracy rate, were evaluated. Eventually the results of calculating the RMSE and ME showed that kriging method is superior than two other methods and has high precision and low error.so Interpolation was done using this method. In the end, using fuzzy logic, WILCOX classification and WHO classification, zoning map of the study area, for agriculture were prepared. Then Hot spot analysis were used to illustrate the spatial concentration of elements. According to the final map, 38% groundwater of the region is appropriate and sort of appropriate for agriculture and 62% is inappropriate. So can be said that water quality of the study area is not appropriate for agriculture.

Keywords: Kriging method, WILCOX classification, Analysis hot spot, Inverse distance weighted, Radial basis function.

مقدمه

پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از مهمترین مراحل در مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان می‌توان نوع مصرف آن را از لحاظ شرب، کشاورزی یا صنعت مشخص نمود. آب‌های زیرزمینی به عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدید پذیر اکوسیستم به حساب می‌آیند و در مقایسه با آب‌های سطحی دارای مزیت‌های مختلفی مانند کیفیت بالاتر و آلودگی کمتر هستند. در اغلب موارد آب‌های زیرمینی در مناطق خشک و نیمه خشک که آب‌های سطحی خیلی کم می‌باشند قابل دسترس هستند (ناس و برکتای[1]، ۲۰۰۸). با اینکه ۷۵ درصد سطح زمین از آب پوشیده شده، تنها قسمت اندکی از آن به‌عنوان آب شیرین و قابل استحصال است که از این مقدار در حدود ۷۰ درصد به مصرف کشاورزی می‌رسد. کشور ایران از نظر وضعیت آب نسبت به متوسط جهانی در شرایط بحرانی‌تری قرار داشته و جز مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. بر این اساس تنها راه مقابله با مشکل کمبود آب، استفاده بهینه از منابع آب برای اهداف مختلف و بخصوص کشاورزی است. مهمترین اقدام برای رشد تولید محصولات کشاورزی، تامین آب کافی و با کیفیت مناسب است (عبدی، ۱۳۸۵). یکی از خصوصیات مناطق خشک و نیمه خشک که تقریباً اکثر ایران را شامل می‌شود، میزان بالای نمک در خاک و آب مورد استفاده جهت کشاورزی می‌باشد (سپند و همکاران، ۱۳۸۶). غلظت زیاد نمک در آب منجر به ایجاد خاک‌های شورمی‌گردد. لذا علاوه بر تخمین کمیت، کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز پیش شرط مهمی در بهره‌برداری از این منابع می‌باشد (آلی[2]، ۱۹۹۳).کیفیت آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن برای قابل استفاده بودن آن درمصارف مختلف حائز اهمیت است. با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی و افزایش نیاز آبی جوامع بشری ذخیره این آب‌ها رو به کاهش می‌باشد. از این رو نگهداری این منابع ضروری بوده و جلوگیری از آلودگی آنها دارای اهمیت می‌باشد(رهنما و همکاران[3]، ۲۰۰۰). لذا تحلیل کیفیت آب یکی از قسمت‌های مهم مطالعات آب‌های زیرزمینی است. کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک است (شعبانی، ۱۳۸۷). در سال‌های اخیر به علت تغییرات اقلیمی استفاده از آب‌های زیر زمینی در کشاورزی بسیار بیشتر شده است در نتیجه باید در مدیریت این آب‌ها نهایت دقت مبذول گردد. یکی از راه‌های استفاده‌ی مؤثر از این آب‌ها شناخت کیفیت این آب‌ها در رابطه با کشاورزی است، برای هربرنامه‌ریزی صحیح و دقیق در درجه‌ی اول نیاز به اطلاعات دقیق می‌باشد، با شناخت ویژگی‌های کیفی این آب‌ها در رابطه با کشاورزی می‌توان به طور بهینه از آنها استفاده کرد. از سوی دیگر چون بیشتر اطلاعات مربوط به آب‌های زیرزمینی ماهیت مکانی دارند لذا علم و فناوری سیستم اطلاعات مکانی می‌تواند در جهت ساماندهی و تجزیه و تحلیل جامع و سریع اطلاعات و کمک به اخذ تصمیمات مناسب در مدیریت بحران مورد استفاده قرار گیرد. منابع آب زیرزمینی حدود یک سوم منابع آب کشور است، لیکن این منابع تأمین کننده‌ی حدود ۵۰ درصد مصارف آب کل کشور می‌باشد. عدم آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند مشکلاتی را برای مدیریت منابع آب از نظر وضعیت بهداشتی و سلامت مردم و هم چنین توسعه‌های مورد نیاز در هر منطقه ایجاد نماید، لذا آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرمینی، تغییرات و کنترل آن یکی از نیازهای مدیریتی بوده و بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

سوتهارسینی و همکاران[4](۲۰۱۲) به بررسی کیفیت آب آبخوان دشت چوناکام سریلانکا برای کاربری کشاورزی با استفاده از دیاگرام شوری پرداختند که ۱۶ درصد نمونه‌ها با شوری متوسط و

1- Nas and Berktay
2- Alley
3- Rahnama *et al.*
4- Sutharsiny *et al.*

خطر قلیایی شدن کم جهت کشاورزی مناسب شناخته شدند. همچنین اشرف و همکاران[1] (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای که بر روی تاثیرات آب زیرزمینی و کیفیت محصولات کشاورزی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه دامغان در استان سمنان انجام دادند، میزان عناصری از قبیل سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلر و هدایت الکتریکی را ارزیابی و کمیت آنها را برای استفاده در کشاورزی بررسی کردند. بنابر تحلیل آن‌ها، وضعیت کلی این عناصر در کشاورزی مطلوب بوده ولی روند افزایشی در کمیت عناصر دیده می‌شود. ساقی و همکاران (۱۳۹۲) پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی بر اساس شاخص ویلکاکس را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به پراکنش نقاط در منحنی ویلکاکس می‌توان قضاوت نمود که وضعیت کیفی آب برای کشاورزی در کلاس خوب و متوسط قرار دارد اما افزایش تدریجی آلاینده‌ها و کاهش کیفیت آب رودخانه درمنطقه پایین دست و میانی قابل توجه می‌باشد. سهرابی و همکاران (۱۳۸۸) در ارزیابی کیفی رودخانه کشکان بری مصارف آبیاری اراضی کشاورزی با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی بیان کردند که براساس نتایج این مطالعه مشکل عمده‌ای از نظر کیفیت آب آبیاری در طول دوره مورد بررسی ۱۳۸۷-۱۳۷۷ مشاهده نمی‌شود. اما وابستگی زمانی و مکانی رودخانه کشکان با کیفیت آب آبیاری مشاهده شده است. از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به سارانی و همکاران[2] (۲۰۱۳)، دمیر و همکاران[3] (۲۰۰۹)، تانی و همکاران[4] (۲۰۰۹)، استایگر و همکاران[5] (۲۰۰۶)، حشمتی و بیگی هرچگانی (۱۳۹۱)، استواری (۱۳۹۰)، سعیدی و عابسی (۱۳۹۰) و ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۹) اشاره کرد. با توجه به این که دشت مهران و دهلران از مناطق خشک و نیمه خشک کشور محسوب می‌شود و در خشکسالی‌های اخیر کمبود شدید آب برای کشاورزی به عنوان مشکلی حاد مطرح می‌باشد تنها منبع آب برای تأمین مصارف کشاورزی آب‌های زیرزمینی دشت است. لذا پهنه‌بندی این منابع آبی از لحاظ کیفیت برای امر کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد.

اهداف تحقیق حاضر عبارتند از

بررسی تغییرات پارامترهای مؤثر آب‌های زیرزمینی مهران و دهلران از نظر کشاورزی با استفاده از امکانات نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی

پهنه‌بندی کیفیت زیرزمینی منطقه مطالعاتی برای مصرف کشاورزی. همچنین سوالات و فرضیات تحقیق به صورت زیر تعریف شد.

کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت مهران و دهلران بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس برای کشاورزی چگونه است؟

آیا استفاده از نرم افزارهای زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی دارای قابلیت هستند؟

در راستای سوالات تحقیق دو فرضیه مطرح می‌شود:

۱. پهنه‌هایی از دشت دارای منابع آب زیرزمینی با کیفیت مناسب برای مصرف کشاورزی می‌باشند.

۲. نرم افزارهای زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی از قابلیت بالایی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی برخوردارند.

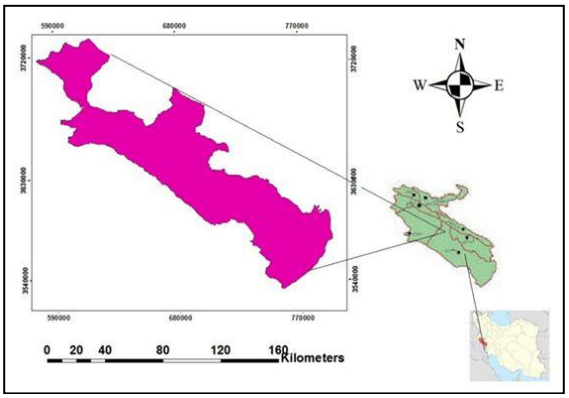
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

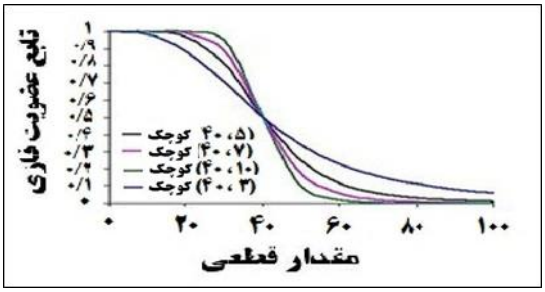
مناطق خشک و نیمه خشک مهران و دهلران در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی در استان ایلام قرار دارند. نوع سازندهای منطقه کواترنری[6] است که از نوع نهشته‌های آبرفتی جوان هستند که با گستردگی زیاد پوشش رویی دشت مهران و دهلران را تشکیل می‌دهند. از نگاه ساختاری ارتفاعات مشرف به دشت مهران آخرین طاقدیس‌های زاگرس چین خورده هستند که در حاشیه خاوری فرو نشست تکتونیکی بین النهرین قرار دارند. نوع آبخوان دشت کارستی است که به دلیل گسترش قابل توجه سنگ‌های کربناته در سطح دشت و وجود شرایط مناسب، آبخوان‌های با پتانسیل آبی مناسب در این تشکیلات سنگی وجود دارد. منابع آب زیرزمینی استان ایلام محدود است که در کوهپایه‌ها و نقاط کوهستانی به دلیل محدودیت دشت‌ها، سفره‌های بزرگ و غنی امکان شکل‌گیری نیافته و در قسمت‌های پست و کم شیب در غرب استان نیز سازندهای نامناسب کیفیت آب را نامطلوب ساخته‌اند. در حال حاضر دشت‌های مهران و دهلران مهم‌ترین مناطق بهره‌برداری از آب‌ها به شمار می‌روند که برای مصارف شرب و کشاورزی از این آب‌ها استفاده می‌شود. مشکل اصلی در این میان کیفیت آب در مخازن زیرزمینی است که عمدتاً متوسط تا بد است. قدیمی‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در این ناحیه متعلق به گروه بنگستان می‌باشد که در تاقدیس سیاه کوه به چشم می‌خورد و متعلق به کرتاسه بالایی است و قدیمی‌ترین سازند رخنمون یافته سازند سروک است که در هسته تاقدیس سیاه کوه مشاهده می‌گردد و از نظر سن متعلق به کرتاسه بالایی است. مساحت منطقه ۸۹۹۹ کیلومتر مربع و اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن خشک می‌باشد (شکل ۱).

1- Ashraf *et al.*
2- Sarani *et al.*
3- Demir *et al.*
4- Taany *et al.*
5- Stigter *et al* .

6- Quaternary



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی روش تحقیق

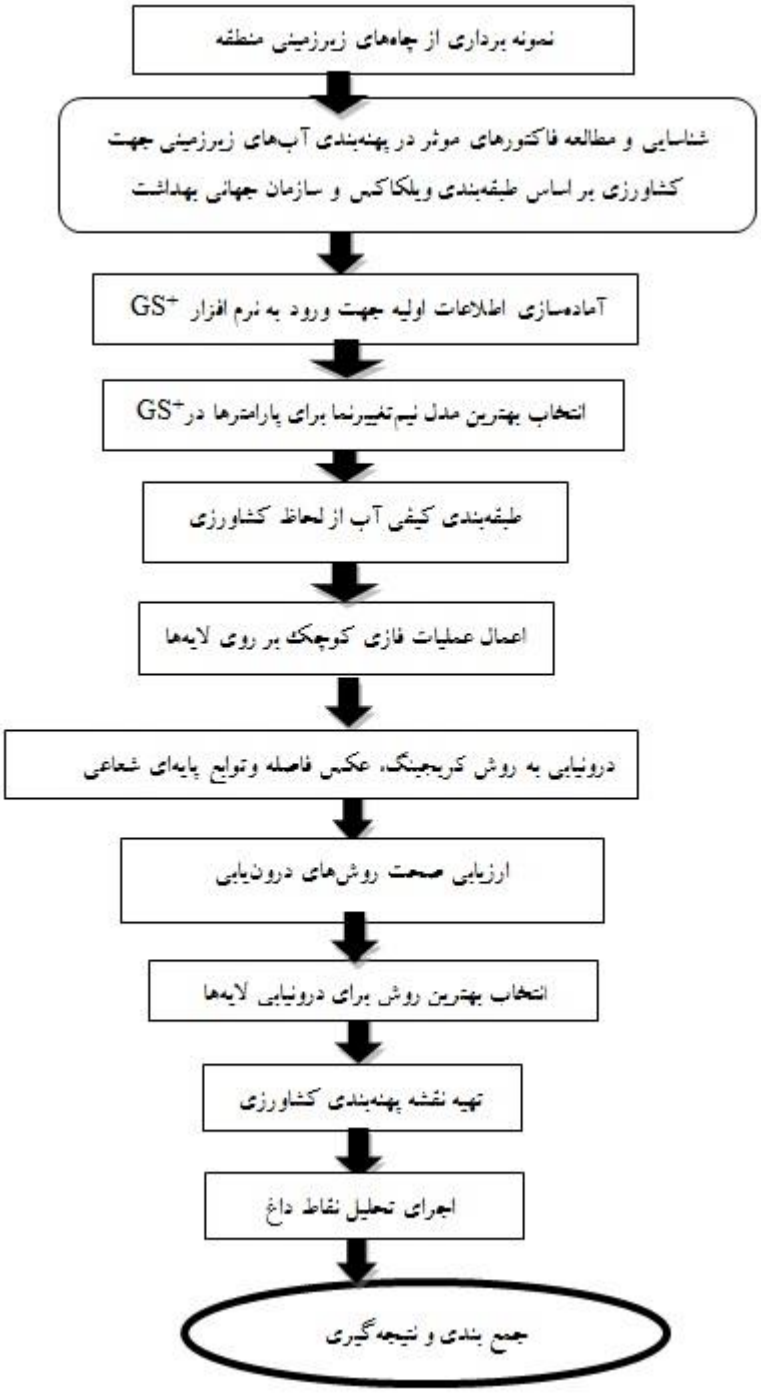


شکل ۲- تابع عضویت فازی کوچک

این تحقیق از نوع کاربردی و روش جمع آوری اطلاعات به دو شکل اسنادی (کتابخانه‌ای) و میدانی (پیمایشی) انجام گرفته است، همچنین از نرم افزارهای $Gs^{+}9$ ، Arc GIS 10.3 و Spss17 برای انجام تحقیق استفاده شده است. به منظور ارزیابی آب مناطق مهران و دهلران در مرحله نخست از ۲۹ حلقه چاه در منطقه نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها در بطری‌های ۵۰۰ میلی‌لیتر پلی‌اتیلنی تیره‌رنگ که از قبل با اسید استیک و سپس با آب مقطر شستشو شده بود، جمع‌آوری شد. پس از انتقال به آزمایشگاه، در دو دسته آزمایش‌های دستگاهی و آزمایش‌های تیتریمتری بر اساس مرجع استاندارد روش APHA (1998) تجزیه گردید و از لحاظ نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی، درصد سدیم محلول و کربنات سدیم باقی‌مانده مورد تحلیل شیمیایی قرار گرفت. سپس نیم تغییر نمای تجربی داده‌های کیفی در نرم افزار GS^{+} محاسبه و بهترین مدل برای هر کدام از پارامترها انتخاب گردید. برای تعیین کیفیت آب کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکاکس و طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت استفاده شده است.

به منظور قابل مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری (به ازای شاخص‌های گوناگون) از بی‌مقیاس کردن یا همان استانداردسازی استفاده شد، که با این روش عناصر شاخص‌های تبدیل شده بدون بعد اندازه‌گیری می‌شوند (اصغرپور، ۱۳۸۵). متغیرهای ورودی هر یک باید در محدوده رقمی تعریف شده خود باشند و خروجی‌ها، درجـه عضویت فازی از مجموعه‌های تعیین کننده زبانی (بین صفر و یک) هستند. منطق فازی منطقی چند ارزشی است که ارزش درستی هر گزاره می‌تواند عددی بین صفر و یک باشد. این منطق دقیق‌ترین روش برای بدون بعد کردن عناصر می‌باشد به گونه‌ای که قضاوت تقریبی و نادقیق با به کارگیری آن ممکن می‌شود (غضنفری و رضایی، ۱۳۸۵). توابع فازی انواع مختلفی دارد که با توجه به ماهیت داده‌ها بهترین تابع انتخاب می‌گردد. در این تحقیق تابع فازی کوچک روی لایه‌ها اعمال شد. تابع تبدیل فازی کوچک زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقادیر ورودی کوچک‌تر برای عضویت مجموعه مناسب‌تر هستند. این تابع برای حالات خطی کاهنده به کار می‌رود یعنی مقادیر ورودی کوچک‌تر مقدار عضویت نزدیک به یک را دارند. تابع توسط نقطه میانی تعیین شده توسط کاربر (مقدار عضویت ۰/۵) و مقدار پراکندگی که بین یک تا ۱۰ تغییر می‌کند، مشخص می‌شود (شکل ۲). هرچه مقدار پراکندگی بیشتر باشد، شیب منحنی تابع عضویت، بیشتر می‌شود.

تابع عضویت میزان فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد، تابع عضویت می‌گویند. تابعی که درجه عضویت المان x به مجموعه فازی $\tilde{A}$ را نشان دهد با $\mu\tilde{A}(x)$ نمایش داده می‌شود (غضنفری رضایی ، ۱۳۸۵). روند انجام تحقیق در شکل (۳) ارائه شده است. همچنین جزئیات کامل روش‌های مورد استفاده در زیر تشریح گردیده است.



شکل ۳- فرآیند انجام تحقیق

طبقه‌بندی ویلکاکس

در این طبقه‌بندی آب کشاورزی بر اساس میزان هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم به چهار گروه با کیفیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب (جدول ۱) و ۱۶ رده تقسیم‌بندی می‌شود (جدول ۲).

جدول ۱- معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ کشاورزی (ویلکاکس، ۱۹۹۵)

کیفیت آب	هدایت الکتریکی	رده	نسبت جذب سدیم	رده
عالی	<۲۵۰	C1	<۱۰	S_1
خوب	۲۵۰–۷۵۰	C2	۱۰–۱۸	S_2
متوسط	۷۵۰–۲۲۵۰	C3	۱۸–۲۶	S_3
نامناسب	>۲۲۵۰	C4	>۲۶	S_4

جدول ۲- رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس (ویلکاکس، ۱۹۹۵)

ردیف	رده آب	نوع کیفیت آب برای کشاورزی
۱	C1S1	شیرین-برای کشاورزی کاملا بی ضرر
۲	C2S1,C2S2,C1S2	کمی شور-برای کشاورزی تقریبا مناسب
۳	C3S3,C3S2,C3S1,C2S3,C1S3	شور-برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم
۴	C4S1,C4S2,C4S3,C4S4,C3S4,C2S4,C1S4	خیلی شور- مضر برای کشاورزی

جدول ۳-طبقه‌بندی پارامترهای کیفیت آب

شاخص	محدوده تغییرات	طبقه	امتیاز هر طبقه
هدایت الکتریکی	<۲۵۰	عالی	۵
	۲۵۰–۷۵۰	خوب	۴
	۷۵۰–۲۲۵۰	متوسط	۳
	۲۲۵۰–۴۰۰۰	مشکوک	۲
	>۴۰۰۰	نامناسب	۱
نسبت جذب سدیم	<۱۰	عالی	۴
	۱۰–۱۸	خوب	۳
	۱۸–۲۶	مشکوک	۲
	>۲۶	نامناسب	۱
درصد سدیم محلول	<۲۰	عالی	۵
	۲۰–۴۰	خوب	۴
	۴۰–۶۰	متوسط	۳
	۶۰–۸۰	مشکوک	۲
	>۸۰	نامناسب	۱
کربنات سدیم باقی‌مانده	<۱/۲۵	عالی	۴
	۱/۲۵–۲/۵	متوسط	۲
	>۲/۵	زیاد	۱

جدول ٤-طبقه‌بندی امتیازات کیفیت آب برای کشاورزی

طبقه	امتیازهای جمع شده
مطلوب	>۱۰
نسبتا مطلوب	$۴ < \chi \leq ۱۰$
نامطلوب	$\chi \leq ۴$

طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت

در این طبقه‌بندی آب کشاورزی بر اساس میزان چهار پارامتر تقسیم می‌شود (جدول ۳).

بعد از مشخص شدن امتیاز هر شاخص، با جمع کردن امتیاز چهار شاخص جدول (۳) و مقایسه آن با جدول (۴) مشخص می‌شود که آب از نظر آبیاری در چه طبقه‌ای قرار می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

نیم تغییر نما (واریوگرام)

اساس روش زمین آمار بر تعریف نیم تغییرنما استوار است. تخمین‌گرهای زمین آماری مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و واریوگرام برآورد می‌کنند. واریوگرام مدلی ریاضی است که به منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر به کار می‌رود. به این منظور مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h ترسیم می‌کنند که در ریاضی به صورت $2\gamma h$ نشان داده می‌شود. مقدار γh را نیم تغییر نما می‌گویند (شیخ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱). ویژگی مهم نیم تغییر نما در این است که در جهات مختلف می‌توان آن را رسم نمود و روندها را شناسایی کرد. برای استفاده از آن، لازم است ابتدا مدل تئوریکی به داده‌ها برازش داده شود و سپس از مدل نیم تغییرنمای به دست آمده، در فرآیند تخمین استفاده گردد (حسنی پاک، ۱۳۸۴). پس از محاسبه‌ی نیم تغییر نمای تجربی، بهترین مدل نظری باید به آن برازش داده شود.

روش کریجینگ

پس از برازش مدل، مشخصات نیم تغییرنما در سیستم معادله‌های کریجینگ برای درون‌یابی متغیر مورد نظر وارد می‌گردد. کریجینگ روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای داده‌هایی که دارای روند موضعی تعریف شده‌ای باشند، مناسب است. این روش با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند و میزان خطای آن تابع مشخصات تغییرنما می‌باشد. اگر مطالعات مربوط به تشخیص مدل تغییرنما با دقت کافی انجام شود، درون‌یابی با روش کریجینگ از دقت بالایی برخوردار خواهد بود (قهرودی تالی، ۱۳۸۴)

فاصله وزنی معکوس

این روش درون‌یابی یکی از معمول‌ترین روش‌های درون‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح درون‌یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت تأثیر هستند و هر چه فاصله از مبداء افزایش یابد اثر پارامتر کمتر می‌شود.

توابع پایه‌ای شعاعی

شبکه‌های توابع پایه شعاعی دارای پایه ریاضی بسیار قوی بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل می‌باشند. این شبکه‌ها، تقریباً بطور کلی، از سه لایه، شامل لایه‌های ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. توابع پایه شعاعی منظم به عنوان تابع تحریک نرون‌های لایه مخفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌ها به گونه‌ای سازمان یافته‌اند که تبدیلات در واحدهای مخفی در حکم مجموعه‌ای از توابع به منظور نگاشت الگوهای ورودی به الگوهای خروجی انجام می‌گیرد (جوهنستون و همکاران[1]، ۲۰۰۱).

ارزیابی صحت روش‌های درون‌یابی

در این پژوهش با محاسبه دو آماره میانگین خطا[2] و میانگین مجذورمربعات خطا[3] ارزیابی صحت سه روش کریجینگ، فاصله وزنی معکوس و توابع پایه‌ای شعاعی با هم مورد مقایسه قرار گرفت که به صورت رابطه‌های زیر تعریف می‌شوند (وبسرت و الیور[4]، ۲۰۰۰)؛

$$ME=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[z(x_i)-\hat{z}(x_i)] \qquad (۱)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[z(x_i)-\hat{z}(x_i)]^2} \qquad (۲)$$

تحلیل نقاط داغ[5]

این تحلیل نشان می‌دهد که در چه مناطقی خوشه‌بندی مکانی رخ داده است، به عبارتی ابزاری برای بصری‌سازی وسعت و مدل خوشه‌بندی‌ها است. با استفاده از این تحلیل می‌توان برای مثال نیروهای پلیس را بر اساس جرائم خوشه‌بندی شده توزیع کرد. در مواقعی که به‌دنبال دلایل اصلی تشکیل خوشه‌بندی هستیم توجه به مکان آن‌ها خیلی مهم است. با استفاده از آمار عمومی G می‌توان نقاط داغ و سرد کل منطقه مطالعه را تفکیک کرد، نقاط داغ و سرد به تمرکزهای مکانی معروف هستند. این تحلیل بیان می‌کند که در چه موقعیتی عوارض با ارزش خوشه‌بندی مکانی بالا یا پایین وجود دارند یک عارضه با ارزش بالا جالب توجه است اما ممکن است از نظر آماری معنادار نباشد، به این دلیل که یک نقطه داغ معنادار آماری باید علاوه بر داشتن ارزش بالا، توسط دیگر عوارض با ارزش بالا احاطه شده باشد، این امر توسط احتمال تصادفی بودن و انحراف معیار بیان می‌شود. آمار عمومی G از رابطه زیر به‌دست می‌آید. . در این رابطه x_j ارزش عارضه j می‌باشد، w_{ij} وزن مکانی بین عارضه i و j است و n تعداد کل عوارض است، میزان انحراف معیار[6] برابر با میزان می‌باشد.

$$G_i^*=\frac{\sum_{j=1}^{n}w_{ij}x_j-\bar{X}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}}{S\sqrt{\frac{\left[n\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^2-\left(\sum_{j=1}^{n}w_{ij}\right)^2\right]}{n-1}}} \qquad (۳)$$

1- Johnston *et al.*
2- Mean Error
3- Root Mean Square Error
4- Webster and Oliver
5- Hot spot
6- Z-score

$$\overline{X} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_j}{n} \quad (۴)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}{n} - (\overline{X})^2} \quad (۵)$$

نتایج و بحث

طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت برای شاخص هدایت الکتریکی نشان داد که شوری منطقه در دو طبقه متوسط و مشکوک قرار دارد که با توجه به امتیازات، شوری منطقه نسبتا مطلوب می‌باشد. شاخص نسبت جذب سدیم منطقه نیز در حد مطلوب و در طبقه عالی قرار داشت. همچنین درصد سدیم محلول منطقه طبق این طبقه‌بندی در سه طبقه عالی، خوب و متوسط و کربنات سدیم باقی‌مانده در طبقه متوسط قرار گرفتند. چهار شاخص فوق برای منطقه به طور جداگانه محاسبه شد و هر کدام با توجه به جدول (۳) امتیاز مربوط به خود را گرفتند و حاصل جمع امتیازات (۹ امتیاز) با جدول (۴) مقایسه و نقشه پهنه‌بندی منطقه برای کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت به دست آمد (شکل ۴).

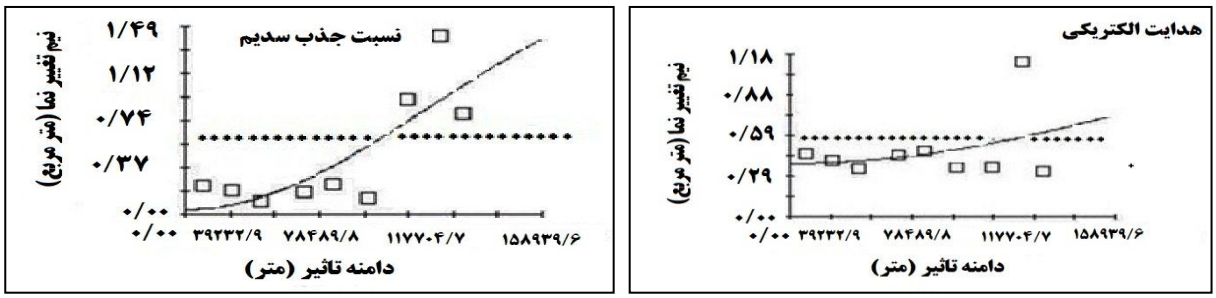
با توجه به نقشه نهایی بر اساس مجموع شاخص‌های آب کشاورزی سازمان بهداشت جهانی تمام سطح منطقه برای کشاورزی نسبتا" مطلوب می‌باشد ولی شاخص شوری به تنهایی در محدوده نامناسب قرار دارد. شوری بسیار زیاد می‌تواند موجب بروز مشکلاتی از قبیل شور شدن خاک و تشکیل شوره در سطح خاک و از بین رفتن حاصلخیزی شود که برای حل این مشکل باید اقدام به آبشویی و زهکشی نمود (امیری و همکاران، ۱۳۹۱، الف).

طبق این روش بیشتر منطقه از نظر شوری در محدوده نامناسب قرار دارد ولی به دلیل این که امتیاز طبقات کربنات سدیم و نسبت جذب سدیم در بالاترین مقدار خود بود لذا اثر امتیاز هدایت الکتریکی را کم رنگ کرده و هنگام اضافه کردن امتیاز درصد سدیم به دلیل مقدار بالای مجموع امتیازها باعث می‌گردد تمام منطقه برای کشاورزی نسبتا مطلوب باشد. اما با توجه به اهمیت بالای پارامتر شوری نمی‌توان به این نکته اکتفا کرد که چون مجموع امتیازات خوب است از نظر کشاورزی مشکلی نخواهد داشت لذا بر اساس طبقه‌بندی‌های دیگر منطقه باید از نظر کشاورزی مورد سنجش قرار گیرد.

طبقه‌بندی ویلکاکس یکی از مهمترین طبقه‌بندی‌ها در زمینه کشاورزی می‌باشد و با توجه به این نکته که طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت در بکارگیری بیان بهترین وضعیت کشاورزی منطقه عاجز بوده لذا از این طبقه‌بندی استفاده گردید. در این مطالعه برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی طبق روش ویلکاکس، به کمک نرم افزار GS^+ نیم تغییر نمای تجربی محاسبه شد. سپس بهترین مدل نیم تغییر نما به هر کدام از پارامترها برازش داده شد (شکل ۵).



شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی سازمان جهانی بهداشت



شکل۵- نیم تغییر نما و مدل برازش داده شده به پارامترهای کیفی آب

جدول۵- پارامترهای نیم تغییر نمای تجربی

پارامترها	نوع مدل	CO	CO+C	AO	C/(CO+C)	همبستگی	خطا
هدایت الکتریکی	گوسین	۰/۳۸۵۰	۱/۸۵۹	۳۰۰۳۰۰	۰/۷۹۳	۰/۱۱۵	۰/۴۳۷
	خطی	۰/۲۹۴۷	۱/۹۸۴	۳۰۰۱۲۷	۰/۵۴۲	۰/۷۹	۰/۴۸۹
	نمایی	۰/۳۵۹۳	۱/۰۶۷	۳۵۴۷۸	۰/۸۱۲	۰/۹۵	۰/۵۲۱
	کروی	۰/۳۷۶۸	۱/۶۸۷	۲۹۷۶۵	۰/۶۸۷	۰/۱۰۲	۰/۴۵۳
نسبت جذب سدیم	گوسین	۰/۰۴۱۰	۲/۰۹۲	۱۵۱۴۰۰	۰/۹۸۰	۰/۶۵۹	۰/۵۹۲
	خطی	۰/۰۳۶۷	۲/۱۲۳	۱۵۵۷۹	۰/۹۵۹	۰/۵۷۶	۰/۶۳۰
	نمایی	۰/۰۵۳۴	۱/۹۸۶	۱۴۹۸۷	۰/۸۹۵	۰/۴۶۷	۰/۶۷۲
	کروی	۰/۰۹۳۴	۲/۰۸۷	۱۵۱۳۰۰	۰/۹۵۲	۰/۵۶۹	۰/۷۴۶

جدول ٦- نتایج میانگین مجذور مربعات خطا برای برآورد کیفیت آب زیرزمینی

پارامترها	کریجینگ	عکس فاصله	توابع پایه شعاعی
هدایت الکتریکی	۱/۰۱	۱/۴	۱/۷۹
نسبت جذب سدیم	۱/۰۳	۱/۵۲	۱/۳۸

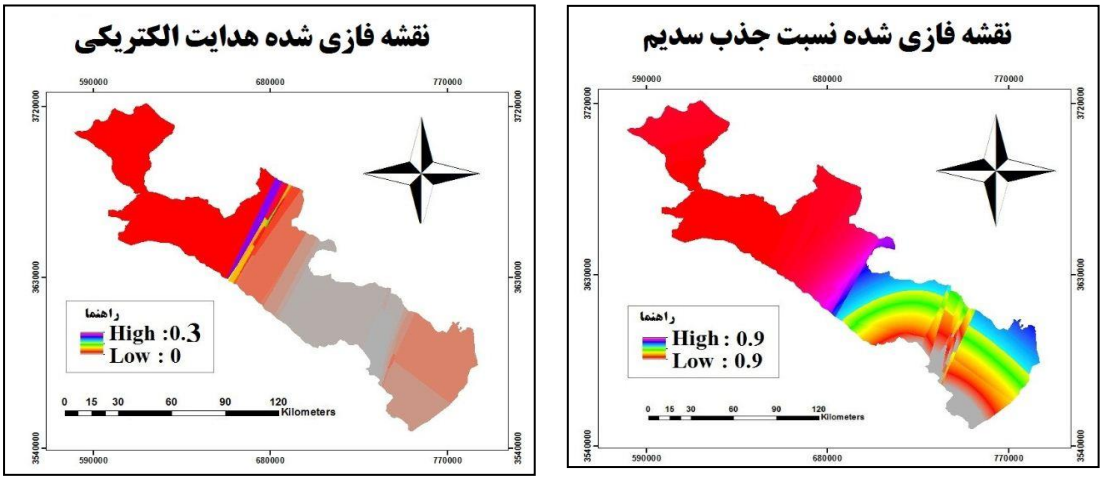
جدول ۷- نتایج میانگین خطا برای برآورد کیفیت آب زیرزمینی

پارامترها	کریجینگ	عکس فاصله	توابع پایه شعاعی
هدایت الکتریکی	۱/۵۴	۵/۱۲	۵/۹۷
نسبت جذب سدیم	۱/۹۲	۷/۴۵	۶/۰۸

مناسب‌ترین مدل با توجه به کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی که در جدول (۵) ارائه شده است، تعیین گردید. نسبت بخش ساختاری واریانس به کل واریانس داده ها را که با C/(C+CO) نشان می‌دهند، هر اندازه به یک نزدیک‌تر باشد، بهتر بوده و نشان دهنده‌ی همبستگی قوی‌تر می‌باشد که با توجه به نتایج جدول ۵ وابستگی مکانی این دو پارامتر قوی است.

با داشتن بهترین مدل‌ها، در محیط نرم افزار ARC GIS10.3 هر کدام از پارامترها به روش کریجینگ، عکس فاصله و توابع پایه شعاعی برای درون‌یابی تست شد. نتایج حاصل از روش کریجینگ با دو روش دیگر با به کمک معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین خطا که میزان دقت را نشان می-دهد، مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت نتایج حاصل از محاسبه این دو معیار نشان داد که روش کریجینگ نسبت به دو روش دیگر برتری دارد و از دقت بالا و خطای پایینی برخوردار است (جدول‌های ۶ و ۷). لذا پارامترها با روش کریجینگ درون‌یابی شدند.

سپس نقشه‌های درون‌یابی شده هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم با استفاده از روش فازی، استانداردسازی شدند (شکل ۶).

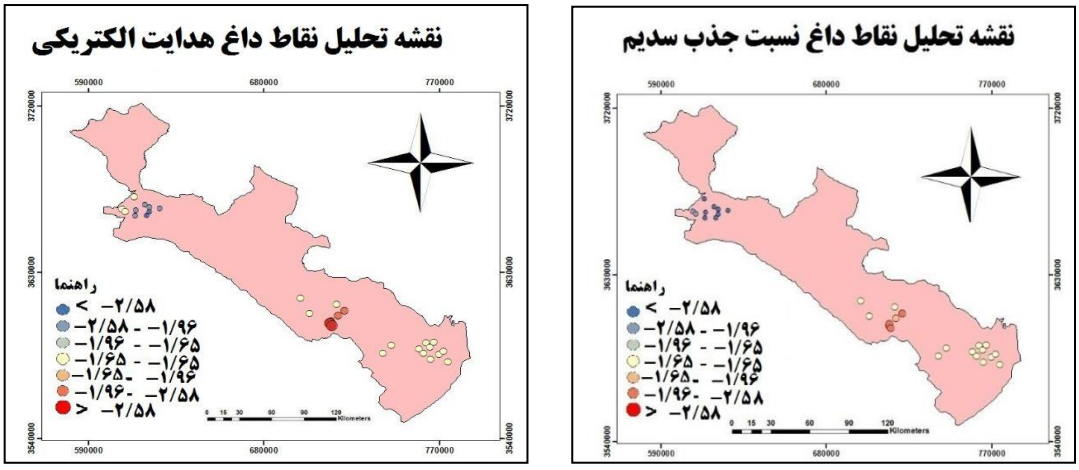


شکل ٦- نقشه فازی شده هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم

جدول ۸-ضریب همبستگی پیرسون بین مولفه‌های کیفی آب

پارامترها	هدایت الکتریکی	نسبت جذب سدیم
هدایت الکتریکی	۱	
نسبت جذب سدیم	۰/۷۹۳**	۱

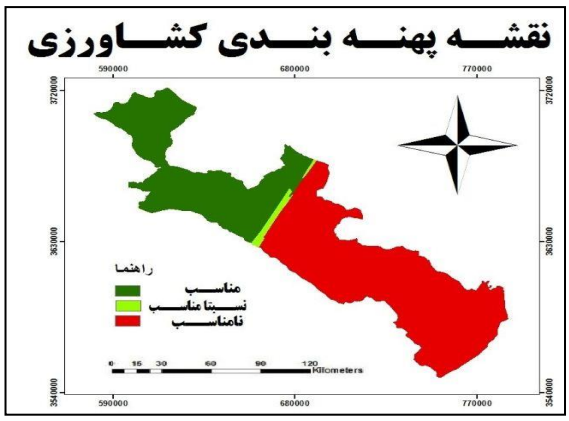
** مولفه‌های مورد بررسی در سطح خطای پنج درصد با یکدیگر رابطه‌ی معنی‌دار داشتند.



شکل ۷- نتایج تحلیل نقاط داغ

برای بررسی رابطه‌ی بین پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم از تجزیه‌ی همبستگی به روش پیرسون در محیط نرم افزار SPSS17 استفاده شد (جدول ۸).

متغیرهای کیفی آب زیرزمینی منطقه، اطلاعات کافی در مورد چگونگی توزیع و تغییرات مکانی متغیرها در سطح مناطق مهران و دهلران ارائه نکرد. از این‌رو، برای رسیدن به این امر، به بررسی زمین آماری متغیرها پرداخته شد. لذا پارامترهای کیفی آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی تعیین گردید، که بر این اساس میانگین نسبت جذب سدیم ۲/۹۱ به دست آمد که با توجه به معیار کیفیت آب در رده S1 و کیفیت عالی قرار گرفت و هدایت الکتریکی با میانگین ۲۴۶۱، در رده C4 و دارای کیفیت نامناسب بود. خطر شوری و خطر سدیم در آب زیرزمینی منطقه با استفاده از نمودار ویلکاکس بدست آمد. بر اساس نمودار ویلکاکس، ۳۷ درصد نمونه‌ها در کلاس C2S1، یک درصد در کلاس C3S1 و ۶۲ درصد در کلاس C4S1 قرار گرفت (حشمتی و بیگی‌هرچگانی، ۱۳۹۱). بعد از اجرای روش فازی روی لایه‌ها تحلیل نقاط داغ اجرا شد (شکل ۷).



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی کشاورزی (روش ویلکاکس)

جدول ۹- مساحت کلاس‌های منطقه

کلاس‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
منطقه مناسب	۳۳۴۸/۲۶	۳۷
منطقه نسبتا مناسب	۱۳۴/۱۶	۱
منطقه نامناسب	۵۵۱۷/۳۴	۶۲
جمع	۸۹۹۹/۷۷	۱۰۰

در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ کشاورزی طبق روش ویلکاکس تهیه شد (شکل ۸).

در این تحقیق برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی پارامترها در نرم افزار GIS از سه روش زمین آمار کریجینگ، عکس فاصله و توابع پایه‌ای شعاعی استفاده شد که با توجه به خطای کمتر روش کریجینگ نسبت به دو روش دیگر که نشان دهنده دقت بالا می‌باشد این روش برای درون‌یابی انتخاب شد. پارامترها با توجه به آزمون آماری کولموگروف اسمیرنوف نرمال شدند. همچنین عناصر از همبستگی قابل قبولی برخوردار بودند. پس از تعیین بهترین مدل برای هر عنصر که مدل گوسین بود، درون‌یابی با روش کریجینگ صورت گرفت. سپس برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه جهت کشاورزی از دو روش طبقه‌بندی سازمان بهداشت جهانی و ویلکاکس استفاده شد. نتایج طبقه‌بندی سازمان بهداشت جهانی با توجه به این که تمام منطقه را برای کشاورزی نسبتا" مطلوب ارائه داده است به دلیل ناهم‌خوانی با واقعیت منطقه دارای ضعف است. علاوه بر این فاقد عنصر مکانی است به بیان دیگر تمام منطقه را یکنواخت دانسته و صرفا به مجموع امتیازات اکتفا کرده یعنی اگر یک عنصر در منطقه شرایط نامناسبی داشته باشد به وسیله پارامتر دیگر که دارای شرایط بهینه است نامناسب بودن خود را می‌پوشاند و در نقشه نهایی هیچ تاثیری نخواهد داشت. در این روش پارامتر نسبت جذب سدیم در کل منطقه دارای شرایط عالی بوده و پارامتر هدایت الکتریکی شرایط نامناسبی داشت که در نقشه نهایی تاثیر این عنصر دیده نمی‌شود زیرا امتیاز بالای نسبت جذب سدیم امتیاز این پارامتر را خنثی کرده است که امیری و همکاران (۱۳۹۱، ب) نیز در مطالعه خود به این مطلب اشاره کرده‌اند. بنابراین برای به دست آوردن نتیجه مطلوب و سازگار با واقعیت منطقه از روش ویلکاکس نیز استفاده گردید. نوآوری صورت گرفته در این تحقیق انجام عملیات فازی کوچک بر روی لایه‌ها برای بالا بردن دقت کار قبل از روی هم گذاری لایه‌ها جهت تهیه نقشه نهایی و روی هم گذاری تحلیل نقاط داغ و نقشه پهنه‌بندی بود که در مطالعات مشابه چنین کاری صورت نگرفته است. با توجه به نقشه نهایی به روش ویلکاکس ۳۷ درصد از منطقه برای کشاورزی مناسب، یک درصد نسبتا مناسب و ۶۲ درصد نامناسب می‌باشد، پس می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب منطقه مورد مطالعه برای کشاورزی مطلوب نیست (جدول ۹).

از انطباق نقشه پهنه‌بندی روش ویلکاکس و نقشه حاصل از تحلیل نقاط داغ مشاهده شد که تمام نقاط داغ منطقه که نشان دهنده‌ی تجمع عناصر با غلظت زیاد می‌باشد در کنار هم و روی طبقه سوم نقشه پهنه‌بندی که برای کشاورزی نامناسب هستند، قرار گرفته‌اند. نتایج این تحلیل حاکی از درستی برآورد به دست آمده در این تحقیق می‌باشد که با نتایج حشمتی و بیگی‌هرچگانی (۱۳۹۱)، کرسیک[1] (۱۹۹۷) و ویجی و رومادوی[2] (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

1- Kresic
2-Vijay and Remadevi

نتیجه‌گیری

هدایت الکتریکی یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین کیفیت مناسب آب برای کشاورزی است و آبیاری با آب دارای هدایت الکتریکی بالا می‌تواند غلظت نمک خاک را افزایش دهد و به دلیل خاصیت تجمعی آن در خاک، به زمین‌های زراعی و محصولات آسیب می‌زند، از طرف دیگر سدیم زیاد در آب، به علت تغییر خواص خاک، ضمن کاهش نفوذپذیری آب در خاک، بر اراضی کشاورزی و محصولات حساس مانند درختان میوه اثر نامطلوبی وارد می‌کند. براساس نقشه پهنه‌بندی، دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی در اکثر نواحی بجز شمال و غرب منطقه احتمالاً انحلال زیاد کانی‌های سازندهای آهکی و مارن و نشت فاضلاب-های شهری و کشاورزی به آب زیرزمینی باشد، که این افزایش هدایت الکتریکی می‌تواند باعث افزایش فشار اسمزی شده و جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین آب زیرزمینی مناطق مهران و دهلران از لحاظ خطر شوری هیچ‌گونه مشکلی برای خاک ندارد ولی از نظر هدایت الکتریکی برای خاک مشکل‌زا می‌باشد که باید با اعمال تمهیدات لازم مشکل حل شود.

منابع

۱- امیری، ب.، سراوانی، ع.، فرزادیان، ع و ب. رسولی. ۱۳۹۱. الف. ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت پارسیان برای کشاورزی با استفاده از تکنیک GIS، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان دانشگاه تهران.

۲- امیری، م.، طباطبایی، س. م. ، بحرینی مطلق، م. و ف. حسن پور. ۱۳۹۱. ب. بررسی کیفی آب زیرزمینی براساس طبقه‌بندی ویلکوکس با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهرستان شیراز)، اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب، تهران، دانشگاه تهران، موسسه آب.

۳- ابراهیمی، ا.، امین، م. م.، هاشمی، ح.، فولادی فرد، ر. و م. وحید دستجردی. ۱۳۸۹. بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه سجاد شهرستان زرین شهر، مجله تحقیقات نظام سلامت، ۲ (۶): ۹۲۶-۹۱۸.

۴- استواری، ی. ۱۳۹۰. ارزیابی کیفیت آب آبخوان‌های منطقه‌ی لردگان و تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت این ابخوان‌ها، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، رشته علوم خاک، دانشگاه شهرکرد.

۵- اصغرپور، م. ج. ۱۳۸۵. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۰ صفحه.

۶- حسنی پاک، ع. ۱۳۸۴. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). چاپ سوم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۳۳۰ صفحه.

۷- حشمتی، س. س. و ح. ا. بیگی هرچگانی. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد به منظور استفاده در طراحی سامانه‌های آبیاری، مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۱ (۳): ۵۹-۴۳.

۸- ساقی، م. ح.، صمدی، م. ت.، رحمانی، ع. و ا. محسنی بندپی. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی بر اساس شاخص WILCOX استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز.

۹- سهرابی، ن.، چیت سازان، م.، بهنیا، ع. ا.، حق یابی، ا. ح. و س. رستمی. ۱۳۸۸. ارزیابی کیفی رودخانه کشکان برای مصارف آبیاری اراضی کشاورزی با کمک GIS، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۰- سپند، س.، چیت‌سازان، م.، رنگزن، ک. و ی. میرزایی. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی کیفی منابع آب دشت پلی میانرودان، یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۱- سعیدی، م. و ع. عابسی. ۱۳۹۰. توسعه شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی در سطح استان قزوین، فصلنامه علوم محیطی، ۵ (۳): ۱۲۸-۱۱۷.

۱۲- شعبانی، م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین روش زمین آمار در تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات PH و TDS آب‌های زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: دشت ارسنجان)، مجله مهندسی آب، ۱ (۵): ۵۸-۴۷.

۱۳- شیخ گودرزی، م.، موسوی، س. ح. و ن. ا. خراسانی. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت تهران-کرج). مجله منابع طبیعی ایران. ۶۵ (۱): ۹۳-۸۳.

۱۴- عبدی، پ. ۱۳۸۵. بررسی فرصت‌ها و چالش‌های منابع آب سطحی در استان زنجان. مجموعه مقالات همایش توسعه کشاورزی استان زنجان، جهاد کشاورزی استان زنجان.

۱۵- غضنفری، م. و م. رضایی. ۱۳۸۵. مقدمه‌ای بر نظریه مجموعه‌های فازی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۴۸۶ صفحه.

۱۶- قهرودی تالی، م. ۱۳۸۴. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی Arc GIS. چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم، ۲۹۸ صفحه.

17- APHA, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater,Washington.

18- Alley, W. M. 1993. Regional ground-water quality. Van Nostrand Reinhold, New York.

19- Ashraf, Sh. Afshari, H. and A. Gh. Ebadi. 2011. Application of GIS for determination of ground water quality suitable in corps influenced by irrigation water in the Damghan region of Iran. International Journal of the Physical Sciences, 6(4): 843-854.

20- Demir, Y., Erşahin, S., Güler, M., Cemek, B., Günal, H. and H. Arslan. 2009. Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluvents in the Middle Black Sea Region of Turkey. Environ- monit Assess, 158(4): 279-294.

21- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K. and N. Lucas. 2001. Using arc GIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.

22- Kresic, N. 1997. Hydrogeology and groundwater modeling. Lewis Publishers.

23- Nas, B. and A. Berktay. 2008. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. Environ monit Assess. 160 (1–4): 215–227.

24- Rahnama, M. B., Barani, G. M. and M. Moradi. 2000. The anticipation of pollutant spread process in groundwater aquifer, Proceedings of The 3rd National Conference on Environmental Health, pp. 10-12.

25- Sarani, S., Sarani, N., Rafat, Sh. and S. M. Tabatabaii. 2013. Study of the quality of agricultural and drinking water of chahnimeh Reservoirs in Sistan. International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences, pp. 118-122.

26- Stigter, T.Y., Ribeiro, L. and A.M.M. CarvalhoDil. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. Journal Hydrogeology, 14 (1–2): 79–99.

27- Sutharsiny, A. Pathmarajah, S. Thushyanthy, M. and V. Meththinka, 2012. Characterization of irrigation water quality of chunnakam aquifer in Jaffna Peninsula. Tropical Agricultural Research, 23(3): 237-248.

28- Taany, R. A. Tahboub, A., B. and G.A. Saffarini. 2009. Geostatistical analysis of spatiotemporal variability of groundwater level fluctuations in Amman–Zarqa basin, Jordan: A case study. Environment. Geoligical., 57 (1): 525–535.

29- Vijay, K. and J. Remadevi. 2006. Kriging of groundwater levels (a case study). Journal of Spatial Hydrology, 1 (21): 81-92.

30- Webster, R. Oliver, M.A. 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley press, p. 271

31- Wilcox, L.V. 1955. Classification and use of irrigation waters, US DA, Circular 969, Washington Webster, R. and M. A. Oliver. 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley press.