تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ (مطالعه موردی: دشت بهادران مهریز)

احسان صاحب جلال[1*]، فرهاد دهقانی[2] و منیرالسادات طباطبایی زاده[3]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۲۴)

چکیده

آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند. در بسیاری از مناطق، استفاده بیش از حد از منابع آب با کیفیت خوب باعث کاهش منابع آب قابل دسترس و روی آوردن به استفاده از منابع آب با کیفیت نامطلوب شده است. بنابراین جهت مدیریت صحیح منابع آب و برقراری تناسب بین کیفیت آب و نحوه استفاده از آنها، اطلاع از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب-های زیرزمینی امری ضروری محسوب می‌شود. بدین منظور، در این تحقیق، ابتدا در سال ۱۳۸۵ در بخشی از دشت بهادران مهریز از ۷۶ حلقه چاه، نمونه آب گرفته شد و آنالیزهای شیمیایی روی آنها صورت گرفت. از آنجاکه ژئواستاتیستیک با فراهم کردن تخمینگرهای آماری مختلف نظیر کریجینگ، ما را قادر می‌سازد تا با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه‌برداری شده، به برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند بپردازیم بنابراین به منظور پهنه‌بندی خصوصیات کیفی آب که شامل SAR, EC, Cl و B می‌باشد از روش درونیابی کریجینگ استفاده شد و در نهایت پس از همپوشانی نقشه‌های حاصله و با استفاده از معیارهای طبقه‌بندی کیفیت آب به روش فائو، نقشه‌های مجزای کیفیت آب از نظر محدودیتی که ایجاد می‌کنند ترسیم گردید. نتایج به دست آمده از بررسی نقشه شوری نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در ۴۸٪ از منطقه مورد مطالعه در کلاس محدودیت شدید و ۵۲٪ آن نیز در کلاس با محدودیت کم تا متوسط قرار دارند. هم‌چنین آب‌های زیرزمینی از نظر سرعت نفوذ در خاک در ۶۶٪ از منطقه بدون محدودیت،۱۱٪ با محدودیت کم تا متوسط و ۲۳٪ دارای محدودیت شدید می‌باشند. در مرحله بعد، به منظور بررسی تغییرات زمانی شوری آب زیرزمینی در یک دوره ۵ ساله(۹۰-۱۳۸۵) از تعداد ۳۸ حلقه چاه منطقه نمونه‌برداری گردید و نقشه شوری آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۰ نیز ترسیم شد. در نهایت با تفریق نقشه شوری سال‌های مذکور، نقشه تغییرات شوری ترسیم گردید. بررسی نقشه مذکور نشان داد که شوری آب‌های زیرزمینی در ۳۱/۱٪ منطقه کاهش و در ۲۶/۵٪ منطقه افزایش یافته، در حالی‌که ۴۲/۴٪ درصد منطقه بدون تغییر مانده است. هم‌چنین از آنجا که منطقه مورد مطالعه زیرکشت پسته می‌باشد و شوری آستانه کاهش عملکرد این محصول ۸ دسی زیمنس بر متر است. بنابراین حدود ۸ درصد به اراضی دارای محدودیت اضافه شده که در مورد مدیریت آبیاری و برنامه توسعه کاشت در قسمت‌های شرق و جنوب شرقی منطقه باید تجدید نظر نمود.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، کیفیت آب آبیاری، روش کریجینگ، پراکنش مکانی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، استان یزد

۳. مدیریت مناطق بیابانی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، استان یزد

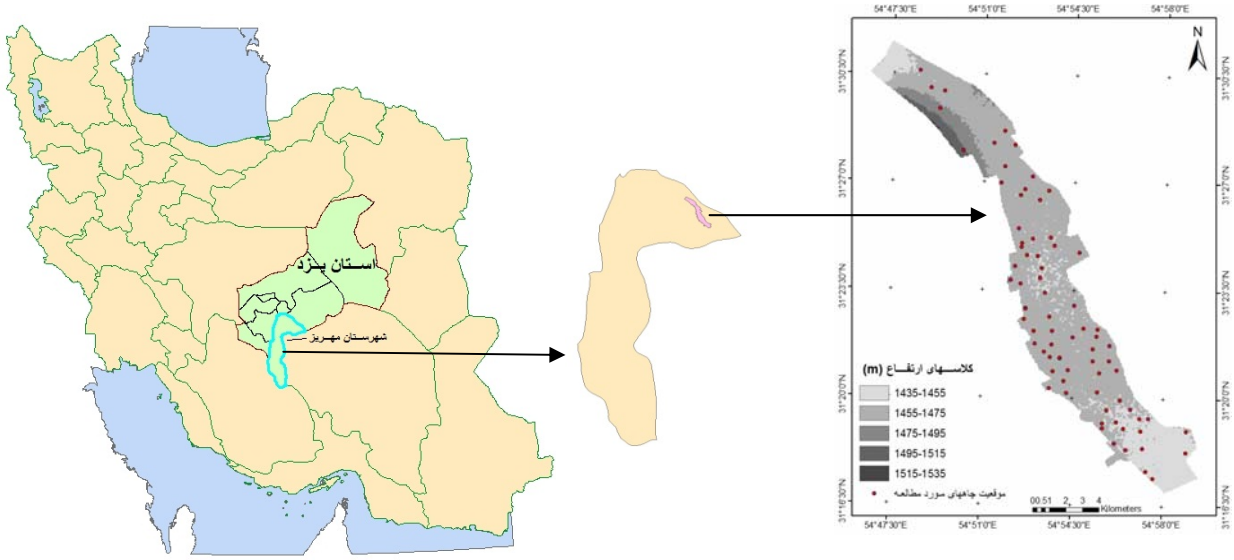
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: e.sahebjalal@alumni.ut.ac.ir

مقدمه

کشاورزی تا حد زیادی وابسته به وجود منابع آب کافی و با کیفیت مناسب است. بنابراین شناخت کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین وآسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب در دهه‌های اخیر یک امر کاملاً بدیهی است (۱۷ و ۱۱). آب های با کیفیت پایین معمولاً محتوی مقادیر فراوانی از انواع نمک‌های محلول می‌باشند و آبیاری طولانی مدت اراضی فاریاب، بدون رعایت اصول مربوط به مصرف آب‌های شور، منجر به انباشته شدن املاح محلول و یا بروز وضعیت سدیمی خاک در محیط ریشه گیاهان زراعی گردیده و خسارات جبران‌ناپذیری به خاک، گیاه و محیط زیست وارد می‌گردد (۱۳).

برای تعیین مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، از روش‌های مختلفی استفاده می‌گردد که یکی از این روش‌ها، طبقه‌بندی به روش فائو می‌باشد. این روش که درسال ۱۹۷۶ ارائه گردیده است بر آثار بلند مدت کیفیت آب بر تولید محصول، شرایط خاک و مدیریت مزرعه تأکید دارد (۷). در این روش، خصوصیات کیفی آب از نظر شوری، سرعت نفوذ آب در خاک و سمیت یون‌های خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد (۸).). انجام طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری با استفاده از روش مذکور، نیاز به وجود تعداد داده‌های کافی با پراکنش مناسب در منطقه مورد مطالعه دارد ولی از آنجایی‌که به‌دلیل وجود محدودیت‌های عملی، امکان نمونه‌برداری جامع برای تعیین یک خصوصیت مشخص وجود ندارد می‌توان با استفاده از روش‌های درون‌یابی به‌عنوان ابزاری جهت آنالیز و نمایش مقادیر مربوط به مشخصه مورد نظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده استفاده کرد. ژئواستاتیستیک با فراهم کردن تخمینگرهای آماری مختلف نظیر کریجینگ، ما را قادر می‌سازد تا با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه‌برداری شده، به برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند بپردازیم. اما در این خصوص، با توجه به این‌که خصوصیات مکانی نقاط نزدیک به هم بسیار شبیه تر از نقاطی است که دور از هم قرار گرفته‌اند، بنابراین انجام تصحیحات مکانی به‌صورت خودکار یکی از پیش نیازهای کاربرد ژئواستاتیستیک می‌باشد (۱۲،۱۷). یکی از ابزارهای مفید در این زمینه که امکان تجزیه و تحلیل ساختار، مقیاس و شدت تغییرات مکانی متغیرهای ناحیه‌ای را فراهم می‌آورد، واریوگرام‌ها می‌باشند. در واقع واریوگرام‌ها، میانگین عدم شباهت بین مقادیر نمونه‌برداری نشده و داده‌های مجاورشان را اندازه‌گیری می‌کند(۱۰) و تصحیحات لازم را به‌صورت خودکار در فواصل مختلف انجام می‌دهند. بنابراین روش‌های زمین آماری مانند کریجینگ که در آنها با استفاده از واریوگرام‌ها درونیابی صورت می‌گیرد، کمک به‌سزایی در تخمین دقیق‌ترخصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده را ارائه خواهد داد و می‌توان از نقشه‌های درونیابی شده به‌وسیله این روش به‌عنوان نقشه‌های پایه جهت اجرای طبقه‌بندی‌های کیفی مورد نظر استفاده نمود. امروزه از این روش به‌طور گسترده‌ای در زمینه انجام ارزیابی‌های گوناگون استفاده می‌گردد.

تقی زاده و همکاران (۳)، جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرمینی در رفسنجان از روش‌های درونیابی کریجینگ، کوکریجینگ و IDW استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بر روش IDW ارجحیت دارد.اشرف و همکاران (۶) کیفیت شیمیایی آب چاه‌های منطقه دامغان را مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از طبقه‌بندی فائو در محیط GIS، نقشه‌های پهنه‌بندی شوری، نفوذپذیری و سمیت یون‌های خاص را ترسیم کردند و نتیجه گرفتند که بالغ بر ۹۸ درصد منطقه مورد مطالعه هیچ محدودیتی از نظر نفوذپذیری ندارد هم‌چنین میثاقی و محمدی (۱۵) سطح آب زیرزمینی را با استفاده از روش‌های متداول درون‌یابی و زمین آمار تخمین زدند و با مقایسه این روش‌ها، به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ در مقایسه با دیگر روش‌های آمار کلاسیک از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. رضایی و همکاران(۵) با بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی در دشت گیلان با استفاده از روش کریجینگ به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب‌های استان از نظر شاخص SAR



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نمایش پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری شده روی نقشه رقومی ارتفاع

مناسب می‌باشد ولی از نظر هدایت الکتریکی در بخشی از استان در محدوده آستانه کاهش عملکرد برنج قرار دارد. در مطالعه حاضر نیز با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در مورد خصوصیات کیفی آب مورد استفاده برای آبیاری، اقدام به انجام نمونه‌برداری از چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه(شکل ۱) و بررسی و پهنه‌بندی خصوصیات کیفی آب در محدوده بهادران مهریز، توسط نرم‌افزار Arc GIS و روش زمین آمار کریجینگ گردید، هم‌چنین از آنجایی‌که شوری یکی از محدودکننده‌ترین عوامل در تولید محصول می‌باشد، با در نظر گرفتن یک دوره ۵ ساله و انجام نمونه‌برداری‌های مجدد از چاه‌های مذکور به بررسی روند تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (واقع در دشت بهادران، مهریز در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه، ۴۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۴ درجه، ۵۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه، ۱۶ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۳۱ درجه، ۳۱ دقیقه و ۳۵ ثانیه شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۴۷۸/۵ متر و وسعت آن در حدود ۱۱۱۶۹ هکتار می‌باشد. براساس تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه، بخش عمده منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم خشک سرد و قسمت‌های اندکی دارای اقلیم نیمه خشک سرد است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۶۶/۸ میلی‌متر، حداکثر دما ۴۳ درجه و حداقل دما ۱۲- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. بخش عمده‌ای از این منطقه زیر کشت پسته می‌باشد و آبیاری آن با حفر چاه‌های عمیق(بیشتر از ۴۰ متر) می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و چاه‌های نمونه‌برداری شده روی نقشه رقومی ارتفاع نشان داده شده است.

در تحقیق حاضر برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات آب و انجام طبقه‌بندی کیفی، از روش درون‌یابی و تخمینگر آماری کریجینگ، استفاده گردید. در روش کریجینگ با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در مکان‌های مشخص و وزن دهی خطی به نمونه‌های موجود، مقادیر اندازه‌گیری نشده پیش‌بینی می‌گردد و با استفاده از واریوگرام، مقدار خطای مقادیر پیش‌بینی شده به حداقل میزان خود می‌رسد. تابع واریوگرام به‌صورت زیر تعریف می‌شود (۱۶):

$$\hat{\gamma}(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x_i)-Z(x_i+h)\right]^2$$

که در آن $\hat{\gamma}(h)$ مقدار سمی واریوگرام برای تعداد N جفت نمونه است که به فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند. Z(x) نیز

ارزش متغیر x در نقطه i می‌باشد. بعد از محاسبه سمی واریوگرام در گام‌های مختلف، واریوگرام ترسیم شد و سپس مدلی که دارای حداقل مجذور خطا بود به نقاط سمی واریوگرام برازش داده شد و عملیات درونیابی صورت گرفت. در روش مورد استفاده برای انجام این تحقیق، جهت انجام تصحیحات مکانی به‌صورت خودکار و تجزیه و تحلیل ساختار، مقیاس و شدت تغییرات مکانی متغیرها از مدل کروی طبق معادله زیر استفاده گردید:

$$\tilde{\gamma}(h)=\begin{cases} C_0+C_1\left(1/5\frac{h}{a}-0/5(\frac{h}{a})^3\right) & if\ |h|\le a \\ C_0+C_1 & if\ |h|>0 \end{cases}$$

پارامترهای این مدل عبارتند از:

C0 (اثرناگت): در صورتی‌که مقدار واریوگرام برای فاصله h=0، دقیقا صفر باشد، عواملی مانند خطای نمونه‌برداری یا تغییرات در مقیاس کوچک می‌تواند باعث عدم شباهت و همبستگی بین مقادیر نمونه‌برداری شده‌ای که در فاصله بسیار نزدیک به هم هستند، گردد و این عامل باعث عدم پیوستگی واریوگرام در نقطه شروع می‌شود. به این مقدار تفاوت عمودی از عدد صفر در نقطه شروع واریوگرام اثر ناگت گفته می‌شود (۱۴).

a (محدوده): هر چه فاصله دو زوج نقطه افزایش می‌یابد، واریوگرام آن دو نقطه هم افزایش می‌یابد اما از یک فاصله به بعد دیگر افزایشی در واریوگرام مشاهده نمی‌شود. فاصله‌ای که در آن مقدار واریوگرام به حداکثر میزان خود می‌رسد، محدوده نامیده می‌شود.

C0 + C1 (سیل): مقدار حداکثر واریوگرام

(h): فاصله بین نقطه مشاهده شده و نقطه برآورد شده

به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی یک دوره ۵ ساله (از سال ۱۳۹۰-۱۳۸۵) در نظر گرفته شد و مطالعات به دو مرحله زمانی تقسیم گردید. در مرحله اول به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از تعداد ۷۶ حلقه چاه نمونه‌برداری و خصوصیات شیمیایی آب شامل EC, SAR, TDS, Cl, B, Na اندازه‌گیری شد. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون کوموگروف- اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و اصلاحات لازم بر روی داده‌ها انجام شد. در مرحله بعد، موقعیت مکانی چاه‌ها به همراه خصوصیات اندازه‌گیری شده به‌صورت لایه نقطه‌ای در محیط GIS وارد گردید و به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های زمین آماری، هیستوگرام،Normal QQ plot و روند داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بعد از نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از تبدیلات لگاریتمی، به بررسی روند تغییرات پارامترهای مورد مطالعه پرداخته شد. از آنجایی که در روش کریجینگ با حذف روند تغییرات، آنالیزها روی محدوده کوچک‌تری از داده‌ها انجام شده و در نتیجه نقشه‌های پیش‌بینی مناسب‌تری تولید می‌گردد، قبل از اجرای روش کریجینگ، روند داده‌ها حذف گردید. سپس با توجه به اطلاعات به‌دست آمده و با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ، نقشه‌های پهنه‌بندی EC, Cl, B و SAR ترسیم گردید. در نهایت با استفاده از راهنمای طبقه‌بندی فائو، نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر شوری و سمیت یون‌های خاص تهیه و با رویهم‌اندازی نقشه‌های EC و SAR، نقشه کیفیت آب زیرزمینی از نظرسرعت نفوذ آب در خاک ترسیم گردید.

در مرحله دوم به منظور بررسی تغییرات زمانی شوری آب زیرزمینی طی سال‌های مذکور با استفاده از نقشه چاه‌های موجود در منطقه، همان تعداد حلقه چاه، در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید و از آنها نمونه‌برداری شد، سپس با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ نقشه شوری آب زیرزمینی مربوط به سال ۱۳۹۰ ترسیم و در نهایت با تفریق نقشه شوری سال‌های مذکور(۱۳۸۵ و ۱۳۹۰)، نقشه تغییرات شوری طی این دوره ۵ ساله، تهیه گردید.

نتایج

خلاصه آماری داده‌های کیفیت آب در (جدول ۱) آورده شده است. داده‌هایی که چولگی بالایی داشتند، غیر نرمال تشخیص داده شده و برای نرمال‌سازی آنها از روش لگاریتم‌گیری استفاده شد. هنگامی‌که این ضریب کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها احتیاجی

جدول ۱. نتایج تجزیه آماری خصوصیت آب زیرزمینی

خصوصیت آب زیرزمینی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی
بور **(me/l)**	۰	3/5	0/9	0/8	۴/۹	۱/۴
کلر **(me/l)**	۴/۱	۳۲۲	۵۹/۱	۶۴/۶	۶/۲	۱/۸
شوری **(ds/m)**	۱	۸/۹	۳/۱	۱/۹	۳/۷	۱/۳
نسبت‌جذب‌سدیم	۴/۴	۴۵/۶	۱۵/۲	۹/۶	۳/۲	۱

جدول ۲. پارامترهای مربوط به مدل واریوگرام به‌کار رفته در روش کریجینگ

خصوصیت آب زیرزمینی	مدل	اثر ناگت	سیل(C+Co)	محدوده (متر)	(Co / C+Co)	R^2
$LG_{10}(Cl)$	کروی	۰/۱۹	۰/۵۶	۶۳۴۴/۲	۰/۳۴	۰/۷۶
$LG_{10}(B)$	کروی	۰/۱۵	۰/۷۵	۴۶۵۳/۵	۰/۲	۰/۹
$LG_{10}(Ec)$	کروی	۰/۲۴	۱/۲۴	۷۳۴۴/۴	۰/۱۹	۰/۸۵
$LG_{10}(SAR)$	کروی	۰/۲۱	۱/۱۹	۴۵۴۶/۵	۰/۱۸	۰/۸۳

جدول۳. معیارهای مورد استفاده برای تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شوری و توزیع مکانی آن در منطقه

مساحت(٪)	مساحت(ha)	کلاس محدودیت	محدوده EC	معیار مورد استفاده برای تعیین محدودیت	نوع محدودیت
۵۲	۵۷۵۷	محدودیت کم تامتوسط	۰/۷–۳	EC (d s/m)	شوری
۴۸	۵۴۱۲	محدودیت شدید	>۳		

به تبدیل نخواهند داشت ولی اگر بیشتر از آن باشند بایستی از لگاریتم جهت نرمال‌سازی داده‌ها استفاده گردد(۹).

پس از حذف روند داده‌ها، از مدل کروی (Spherical) برای انجام روش کریجینگ و تهیه نقشه‌های درون‌یابی استفاده شد. جدول ۲ پارامترهای مدل مذکور را ارائه می‌دهد.

در نهایت با استفاده از راهنمای طبقه‌بندی فائو، نقشه‌های مختلف پهنه‌بندی کیفیت آب تهیه گردید. جداول ۳، ۴ و۵ به‌ترتیب نتایج حاصل از بررسی و پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر شوری، سرعت نفوذ در خاک و سمیت یون‌های خاص را نشان می‌دهند.

تجزیه وتحلیل EC بیانگر این می‌باشد که در بخش اعظم قسمت‌های شمالی و شمال شرقی منطقه، آب زیرزمینی دارای محدودیت شدید بوده و مابقی منطقه دارای محدودیت کم تا متوسط است. به‌طورکلی ۵۲ درصد منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و ۴۸ درصد دارای محدودیت شدید می‌باشد. نتایجی که از رویهم اندازی نقشه‌های EC و SAR به‌دست آمده است بیانگر این می‌باشد که ۶۶ درصد از آب‌های منطقه از نظر سرعت نفوذ آب در خاک فاقد محدودیت، ۱۱ درصد دارای محدودیت کم تا متوسط و ۲۳ درصد دارای محدودیت شدید می‌باشند. در شکل‌های ۲، ۳ و۴ به‌ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر شوری، سمیت یون‌های و سرعت نفوذ آب در خاک ارائه گردیده است.

در شکل ۴ روند تغییرات مکانی غلظت بور در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. در این شکل محور X تغییرات در جهت شرقی- غربی، محورY تغییرات در جهت شمالی- جنوبی و محور Z نشان‌دهنده مقادیر غلظت در نمونه‌های برداشت شده

جدول۴. معیارهای مورد استفاده جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر سرعت نفوذ در خاک و توزیع مکانی آن

مساحت(٪)	مساحت(ha)	درجه محدودیت برای استفاده(ds/m)	معیارهای مورد استفاده برای تعیین محدودیت		نوع محدودیت
۶۶/۳	۷۳۸۵/۷	فاقد محدودیت	۲/۹-۵ and ۱/۳-۲/۹EC(d s/m)=	۳-۶SAR=	سرعت نفوذ آب در خاک
			۲/۹-۵ and ۱/۳-۲/۹EC(d s/m)=	۶-۱۲SAR=	
			۵ and >۲/۹-۵EC(d s/m)=	۱۲-۲۰SAR=	
			۵EC(d s/m)= >	۲۰-۴۰SAR=	
۱۰/۸	۱۲۰۱/۶	محدودیت کم تامتوسط	۱/۳-۲/۹EC(d s/m)=	۱۲-۲۰SAR=	
			۲/۹-۵EC(d s/m)=	۲۰-۴۰SAR=	
۲۳	۲۵۵۸/۹	محدودیت شدید	۱/۳-۲/۹EC(d s/m)=	۲۰-۴۰SAR=	

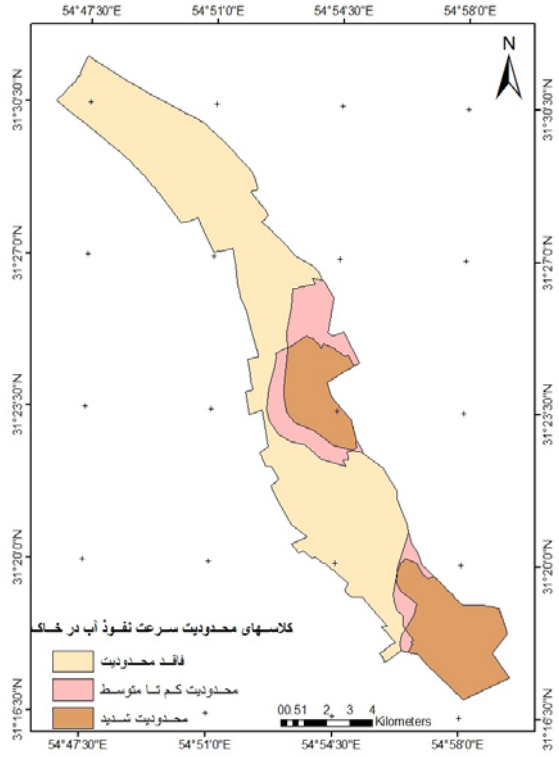
جدول۵. معیارهای مورد استفاده برای تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر سمیت یون‌های خاص و توزیع مکانی آن

مساحت(٪)	مساحت(ha)	کلاس محدودیت	محدوده SAR	معیار مورد استفاده برای تعیین محدودیت	نوع محدودیت
۲۵	۲۷۹۱/۸	محدودیت کم تامتوسط	۳-۹	SAR	سمیت یون سدیم
۷۵	۸۳۷۴/۱	محدودیت شدید	۹>		
۱/۵	۱۶۸/۵	فاقد محدودیت	۴<	Cl (me/l)	سمیت یون کلر
۶/۶	۷۳۴/۲	محدودیت کم تامتوسط	۴-۱۰		
۹۱/۹	۱۰۲۶۱/۹	محدودیت شدید	۱۰>		
۴۸/۷	۵۴۳۹/۵	فاقد محدودیت	۰/۷<	B (me/l)	سمیت یون بور
۵۰/۱	۵۵۹۷	محدودیت کم تامتوسط	۰/۷-۳		
۱/۱	۱۲۷/۳	محدودیت شدید	۳>		

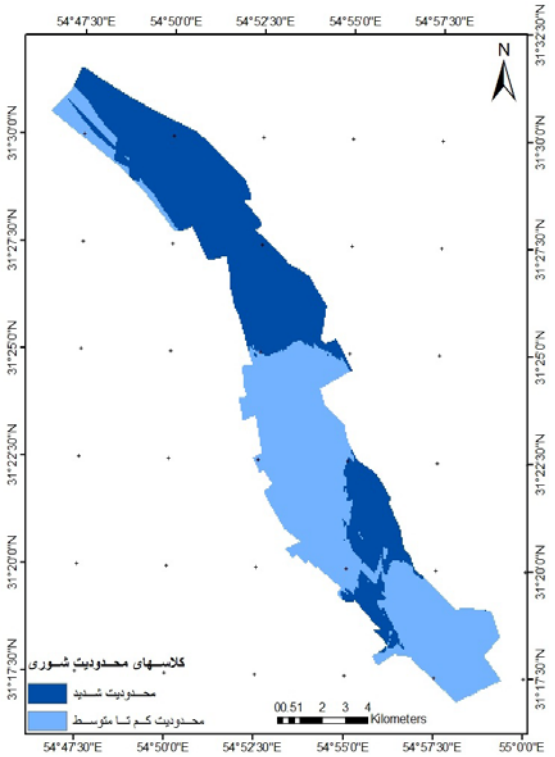
است. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است در قسمت‌های غربی منطقه مورد مطالعه غلظت بور زیاد بوده و در قسمت‌های مرکزی کاهش می‌یابد و از قسمت مرکزی به سمت شرقی منطقه دوباره سیر افزایشی داده‌ها تکرار می‌گردد. روند این تغییرات به وضوح در شکل ۵ قابل مشاهده است.

شکل ۶ روند تغییرات مکانی غلظت کلر در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، این شکل بیانگر این می‌باشد که غلظت کلر به‌تدریج در جهت شرقی افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به یک نقطه مشخص، دوباره با سیر نزولی کاهش می‌یابد. روند این تغییرات به‌وضوح در شکل ۷ قابل مشاهده است. در شکل‌های ۶ و ۷ هم اشکالات شکل‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود.

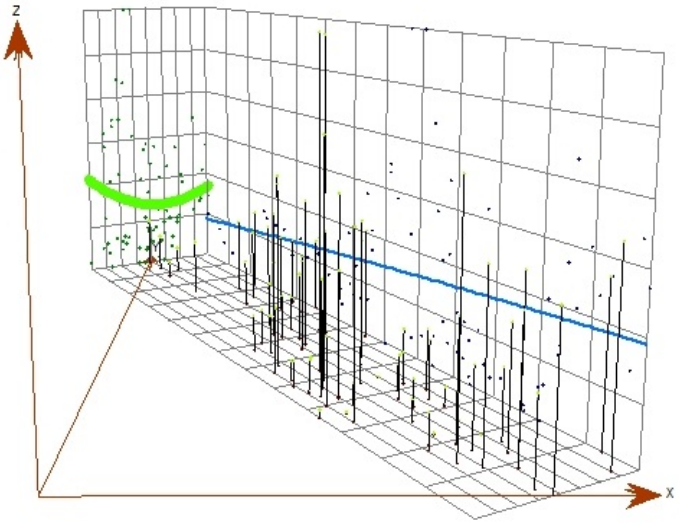
نقشه‌های شوری با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ تهیه و با استفاده از روش فائو طبقه‌بندی شدند و در نهایت با اعمال روش تفریق در محیط GIS نقشه تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی در این دوره ۵ ساله ترسیم گردید (۸ و۹). بررسی نقشه مذکور(شکل ۱۰)



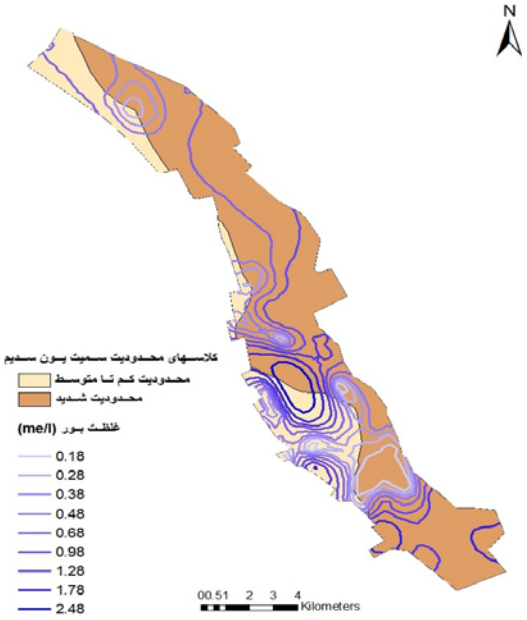
شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر سرعت نفوذ در خاک



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شوری

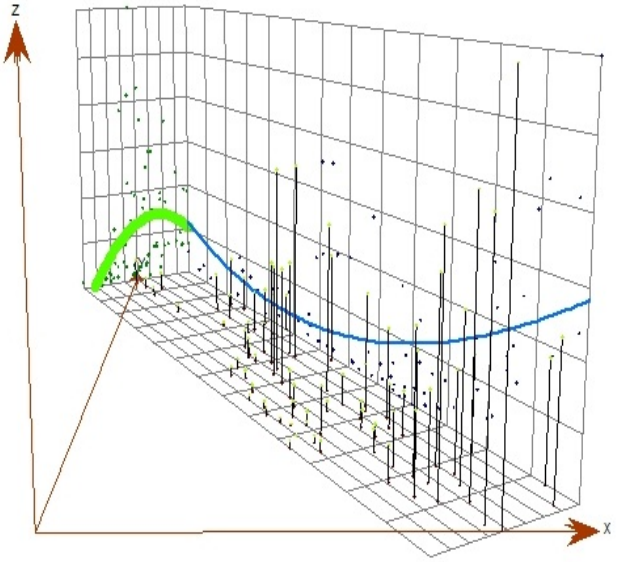


شکل ۴. روند تغییرات مکانی غلظت بور

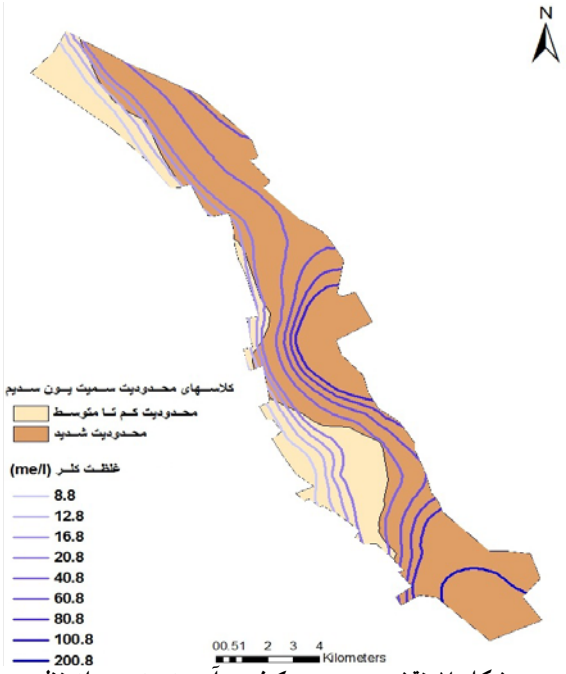


شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر سمیت یون‌های خاص(سدیم و بور)

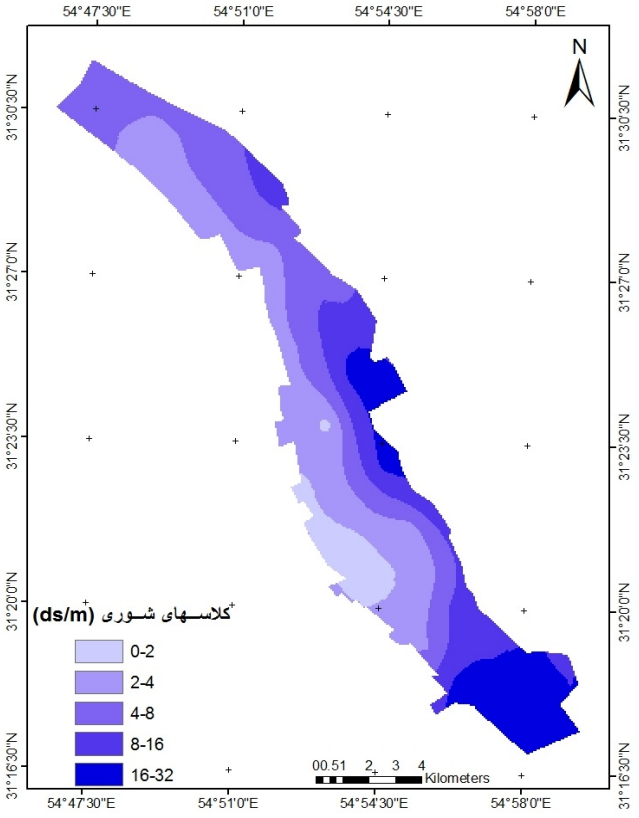
نشان می‌دهد که شوری آب‌های زیرزمینی در ۱۴، ۳۱ درصد منطقه کاهش و در ۲۶، ۴۷ درصد منطقه افزایش یافته، در حالی‌که ۳۹، ۴۲ درصد آب‌های منطقه بدون تغییر مانده‌اند.



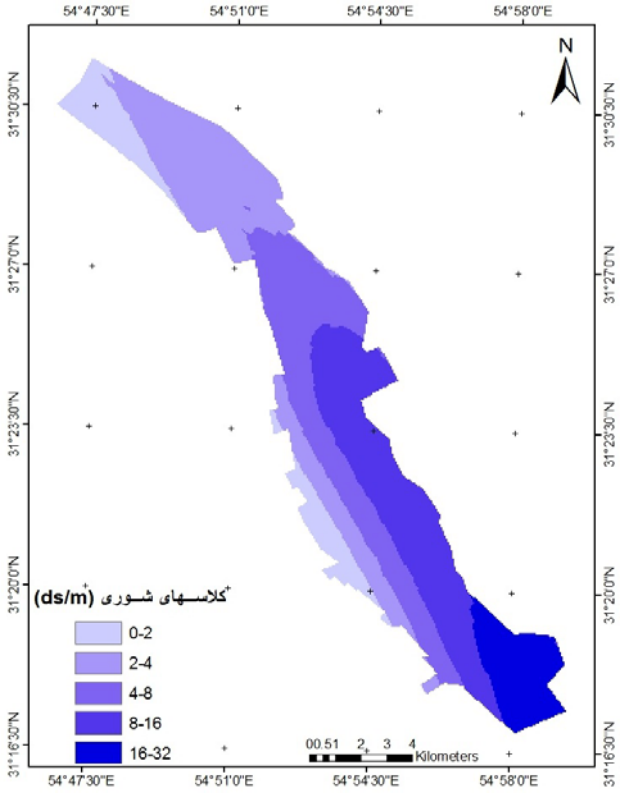
شکل ۶. روند تغییرات مکانی غلظت کلر



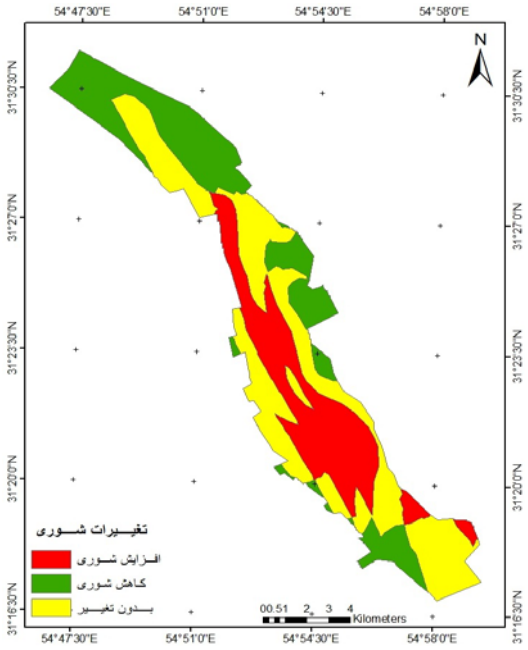
شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از نظر سمیت یون‌های خاص(سدیم و کلر)



شکل۸. نقشه پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۵



شکل۹. نقشه پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۰



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی تغییرات شوری آب زیرزمینی

بحث و نتیجه‌گیری

آب‌های آبیاری، بسته به میزان شوری خود به‌طور پیوسته یون‌های مختلفی مانند کلر را به خاک اضافه می‌کنند که میزان اضافه شدن این یون‌ها به کیفیت آب آبیاری و مدیریت مصرف آب از جمله میزان آب مصرفی بستگی دارد. بور نیز در خاک بسیار پویا می‌باشد، در نتیجه کمبود و سمیت آن هر دو حائز اهمیت است. بور مانند سدیم و کلر، محلول بوده و آبیاری با آب دارای مقادیر زیاد بور عامل اصلی بروز سمیت آن است(۱). اکثر درختان به درجات کاملاً متفاوت، نسبت به یون‌های خاص مانند کلر، سدیم و بر واکنش نشان می‌دهند و افزایش مقادیر این یون‌ها به بالاتر از آستانه تحمل درخت کاهش عملکرد را در پی خواهد داشت. با توجه به نتایج حاصل از نقشه‌های تهیه شده چنین استنباط می‌شود که کیفیت آب آبیاری در مناطق مورد مطالعه به‌صورتی است که فقط گیاهان خاص مقاوم و نیمه مقاوم به شوری مانند پسته قابلیت کاشت اقتصادی را دارند و در صورت افت کیفیت منابع آب محدودیت‌های بیشتری به وجود آمده و حتی در برخی مناطق ادامه باغداری مقرون به صرفه نخواهد بود. استفاده از نقشه‌های فوق علاوه بر این‌که پیش‌بینی روند تغییرات کیفیت را امکان‌پذیر می‌سازد، با در نظر گرفتن خصوصیات محصولات مورد نظر، مدیریت ترکیب کاشت نیز بررسی می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و با عنایت به تقسیم‌بندی‌های انجام شده توسط FAO، بالغ بر ۹۰ درصد آب‌های منطقه دارای محدودیت شدید از نظر غلظت کلر می‌باشند و این در حالی است که غلظت بور تنها در ۱۴، ۱ درصد از آب‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کلاس محدودیت شدید قرار می‌گیرد. یکی از عوامل مؤثر در سرعت نفوذ آب در خاک نسبت سدیم تبادلی(SAR) است بدین صورت که هر چه این نسبت در آب آبیاری بیشتر باشد به همان نسبت سدیم قابل تبادل خاک هم زیادتر شده و با ایجاد پراکندگی در ذرات رس و تورم آنها موجب کاهش پایداری ساختمان خاک و نهایتا سبب کاهش نفوذپذیری می‌شود(۴و۱۲). از طرفی هرچه EC بیشتر باشد هماوری ذرات خاک افزایش یافته و در نتیجه نفوذپذیری افزایش می‌یابد(۲). با توجه به این‌که بخش اعظم آب‌های منطقه (در حدود ۴۸ درصد) دارای شوری زیاد می‌باشند، تنها در حدود ۹۶، ۲۲ درصد از آب‌های منطقه مورد مطالعه از نظر سرعت نفوذ در

کلاس محدودیت شدید قرار گرفتند که در این مناطق اعمال مدیریت‌های ویژه مانند مصرف اصلاح‌کننده‌ها ضروری است زیرا نفوذ سریع آب در خاک یکی از عوامل مهم مدیریت نمک در محیط ریشه است. از آنجا که منطقه مورد مطالعه زیر کشت پسته می‌باشد و با توجه به داده‌های موجود درباره پسته که شوری آستانه کاهش عملکرد (عصاره اشباع خاک) و ۵۰ درصد کاهش عملکرد را به‌ترتیب در حدود(بسته به نوع رقم) ۸ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر در نظر گرفته است(۱۰)، از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰حدود ۸ درصد به اراضی دارای محدودیت، اضافه شده که در مورد مدیریت آبیاری و برنامه توسعه کاشت در قسمت‌های شرق و جنوب شرقی منطقه باید تجدید نظر نمود.

منابع مورد استفاده

۱. اردلان، م. و غ.ر. ثواقبی فیروز آبادی. ۱۳۸۱. *مدیریت حاصل‌خیزی خاک برای کشاورزی پایدار*. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

۲. گروه کار سیستم‌های آبیاری در مزرعه. ۱۳۸۱. استفاده از آب شور در کشاورزی پایدار. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران.

۳. تقی‌زاده، ر.، ف. م. زارعیان، ش. محمودی، ا. حیدری و ف. سرمدیان. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های درونیابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران۲(۵): ۶۳-۷۰

۴. رضایی، م.، ن. دواتگر، خ. تاجداری و ب. ابولپور. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک ۲۴(۵):۹۴۱-۹۳۲

۵. محمودی، ش. وم. حکیمیان. ۱۳۸۰. *مبانی خاک‌شناسی*. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.

6. Ashraf, SH., H. Afshari and A. Gh. Ebadi. 2011. Application of GIS for determination of groundwater quality suitable in crops influenced by irrigation water in the Damghan region of Iran. Intl. J. Physic. Sci. 6(4): 843-854.
7. Ayers. R. S. and D.W.Westcot.1985. Water quality for agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Irrig. and Drain, Paper No.29
8. Ayers, JE., WE. Christen and JW. Hornbuckle. 2007. Managing irrigation and drainage in saline environments, CAB Rev.: Perspectives in Agriculture. Vet. Sci., Nutr. and Natur. Resour. 2:13-40
9. Bregt, A. K., J. J. Stoorvogel, J. Bounma and A. Stein. 1992. Mapping ordinal data in soil survey: A Costa Rican example. Soil Sci. Soc. Amer. J. 56: 525-531.
10. Deutsch, C.V. and A.G. Journel. 1998. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press, Oxford, UK.
11. Ferguson, L., J.A. Poss, S.R. Grattan, C.M. Grieve, D. Wang, C. Wilson, T.J. Donovan and C. T. Chao. 2002. Pistachio rootstocks influence scion growth and ion relations under salinity and boron stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127(2):194-199.
12. Goovaerts, P. 1999. Geostatistics in soil science: State-of-the-art and perspectives. Geoderma 89: 1-45.
13. Hadas, A. H. and H. Frenkel. 1982. Infiltration as affected by long-term use of sodic-saline water for irrigation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46(3):524-530.
14. Isaaks and Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press.
15. Missaghi, F. and K. Mohammadi. 2002. Estimation of groundwater levels using conventional interpolation techniques and comparison with geostatistics technique, twenty-first meeting on Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Country: 588 - 590.
16. Nanos, N., R. Calama G. Montero and L. Gil 2004. Geostatistical prediction of height/diameter models. For. Ecol. Manage. 195:221-235.
17. Rizzo, D. M. and J.M. Mouser. 2004. Evaluation of geostatistics for combined hydrochemistry and microbial community fingerprinting at waste disposal site. Critical transitions in water and environmental resources management. Proc. World Water and Environ. Resour. Cong.

Investigating Spatio-Temporal Variations of Groundwater Quality Using Kriging Method

E. Sahebjalal[1]*, F. Dehghany[2] and M. S. Tabatabaeezade[3]

(Received: Oct. 2-2011 ; Accepted: June 13 -2012)

Abstract

Groundwater is the most important source of water supply for agricultural purposes in arid and semi-arid areas. In many areas, excessive use of high quality water resources leads to reducing the available water resources and turning to the use of low quality water resources. Thus, knowing the temporal and spatial variation of groundwater quality is a necessary factor for implementation of sound water resource management and establishment of the suitability between water quality and its usage. In order to investigate water quality changes, this study was divided into two phases. In the first phase, for evaluation of the quality of groundwater for irrigation 76 wells were sampled in Bahadoran plain, in the year 2006. The SAR, EC, ions B3+ and Cl- were analyzed as the evaluation indexes. Then, using geostatistical methods the maps of each parameter were prepared. Finally, considering FAO criteria, these maps were overlaid and separate water quality maps were derived. The EC map indicated that in 48 and 52 percent of the groundwater lies in severe and slight to moderate restriction class for irrigation purposes. Moreover, the thematic map of infiltration restrictions indicates that the groundwater has no restriction in 66 percent of the area while 11% of groundwater causes low to moderate and 23 percent causes severe limitation. In the next phase, to examine changes in groundwater salinity during a 5-year period, 38 wells were sampled and the groundwater salinity map for the year 2011 was prepared. Finally, using subtraction of the salinity maps of given years, the salinity changes map was derived. The results of thematic map showed that groundwater salinity increased in 26.47 percent of the study area. In contrast, there was a decrease of about 31.14 percent in groundwater salinity over the 5-year period while 42.39 percent of the region's groundwater remained unchanged. Since the study area is under cultivation of pistachios and salt threshold of this tree is 8 ds/m so the area of about 8 percent of the area was added to the previous limited areas. Therefore, irrigation management and planting development plan in Eastern and Southeastern areas should be revised.

Keywords: zoning, groundwater quality, geostatistics, spatial distribution.

1. Dept. of Soil Sci., University College of Agric. and Natur. Resour., University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Agric. and Natur. Recour. Res. Center of Yazd.
3. Desert management, Agric. and Natur. Recour. Res. Center of Yazd.
*: Corresponding Author, Email: e.sahebjalal@alumni.ut.ac.ir