

بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان به‌منظور استفاده در آبیاری قطره‌ای پسته

حمید زارع¹، محمدرضا خالدیان²

تاریخ دریافت: 1396/2/6 تاریخ پذیرش: 1396/5/25

چکیده

استان کرمان از خشک‌ترین مناطق ایران محسوب می‌شود و کشاورزی آن به‌ویژه کشت پسته وابسته به منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در این مطالعه تغییرات مکانی و زمانی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی استان کرمان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و نرم‌افزار ArcGIS مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از روش کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص به ترتیب برای رسم نقشه‌های پهنه‌بندی و احتمالاتی شوری آب‌های زیرزمینی استفاده شد. نقشه‌های پهنه‌بندی و احتمالاتی افزایش و گسترش اراضی با شوری آب زیرزمینی بیش از 8 dS/m (استانه تحمل شوری پسته) بر متر از سال 1381 تا 1390 را نشان می‌دهند. همچنین مشخص شد که آب‌های زیرزمینی بخش‌هایی از شهرستان‌های سیرجان، شهر بابک، رفسنجان و زرنند دارای وضعیت بسیار نامطلوبی از نظر شوری بوده و استفاده از این آب‌ها برای آبیاری باغات پسته، می‌تواند عملکرد این محصول را به شدت کاهش دهد. به طوری که در سال 1382، 13/3٪ از کل مساحت با خطر جدی شوری بالای 8 dS/m مواجه بوده‌اند که این میزان تا سال 1385 روند تقریبی ثابتی داشته‌است ولی در سال 1386 این میزان به 9/8٪ رسید و تا سال 1390 روند کاهشی داشته در نهایت سال 1390 به مقدار 4/8٪ رسیده است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، سمی‌واربوگرام، هدایت الکتریکی

مقدمه

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه استان کرمان به‌دلیل بارش اندک و کمبود یا نبود منابع آب سطحی، منبع اصلی و قابل اعتمادی برای تامین آب در مصارف مختلف به‌ویژه کشاورزی به‌شمار می‌رود. اما در دهه‌های اخیر، بهره‌برداری و استفاده غیراصولی از منابع آب زیرزمینی و خشک‌سالی‌های پی در پی، موجب شده تا کیفیت و کمیت این آب‌ها به‌شدت کاهش یابد. شناخت تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی و تهیه نقشه‌های شوری با استفاده از روش‌های میان‌یابی زمین‌آماری به‌منظور مدیریت کارآمد منابع آب زیرزمینی بسیار مفید و کارآمد می‌باشد (حبیبی ارتباطی و همکاران، 1388). کریجینگ یک تخمین‌گر میانگین وزنی

است که در آن، وزن‌ها براساس مدل برازش شده به یک تابع مانند سمی‌واربوگرام که تغییرات مکانی متغیر را بیان می‌کند، تعیین می‌شود. کریجینگ معمولی که به آن بهترین تخمین‌گر خطی نارایب نیز می‌گویند، متداول‌ترین نوع کریجینگ می‌باشد که در علوم مختلف از جمله آب و خاک کاربرد فراوانی دارد (دلبری و افراسیاب، 1393). احمدپور و همکاران (1393) در یک دوره‌ی آماری چهارساله تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS) آب زیرزمینی دشت گیلان را مورد بررسی قرار دادند. همچنین این محققان علت افزایش شوری آب‌های زیرزمینی این منطقه را حفر بی‌رویه چاه‌های آب و برداشت بیش از حد مجاز آن دانسته‌اند. اشرف-زاده و همکاران هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی استان گیلان را با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ بررسی کردند و مناطق مساعد و نامساعد برای آبیاری برنج با استفاده از آب‌های زیرزمینی را مشخص کردند (Ashrafzadeh et al., 2016). امیری بورخانی و همکاران شوری آب‌های زیرزمینی استان مازندران را در یک دوره 26 ساله با استفاده از روش‌های زمین‌آماری بررسی کردند (Amiri-Bourkhani et al., 2017). نتایج نشان داد که بهبود مدیریت منابع آب استان مازندران از طریق ایجاد شبکه آبیاری

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت

2- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، رشت

* - نویسنده مسئول: (Email: Khaledian@guilan.ac.ir)

دقیقه تا 59 درجه و 29 دقیقه طول شرقی و 25 درجه و 55 دقیقه تا 32 درجه عرض شمالی قرار دارد. مساحت استان معادل 181714 کیلومترمربع می‌باشد (شکل 1). با توجه به اهمیتی که کیفیت آب آبیاری از جمله شوری در میزان عملکرد گیاهان دارد، تغییرات مکانی میزان شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان از سال 1381 تا سال 1391 (اطلاعات موجود) مورد بررسی قرار گرفت و به همین منظور از داده‌های هدایت الکتریکی برداشت شده از حداکثر 2000 حلقه چاه در فصل تابستان که در سطح استان کرمان پراکنده شده‌اند (شکل 1) جزو شبکه پایش کمی و کیفی شرکت آب منطقه‌ای کرمان می‌باشند، استفاده شد. در این مطالعه در نقاطی که هیچ اندازه‌گیری صورت نگرفته، مقادیر شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش کریجینگ معمولی (OK) و کریجینگ شاخص (IK) درون‌یابی شدند و داده‌های به‌دست آمده برای رسم نقشه‌های پهنه‌بندی و احتمالاتی توزیع شوری آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفتند. هر دو برآورد OK و IK با استفاده از نرم‌افزار زمین‌آماری ArcGIS10.2 به‌دست آمد. همچنین براساس مطالعات انجام شده توسط پژوهشکده پسته، شوری آب آبیاری تا مرز 8 دسی‌زیمنس بر متر، تاثیر منفی بر تولید پسته نداشته ولی از این مقدار به بالا باعث کاهش عملکرد این محصول می‌شود. بنابراین، در این مطالعه از حد آستانه‌ی 8 دسی‌زیمنس بر متر برای تولید نقشه‌های احتمالاتی شوری آب‌های زیرزمینی استفاده شد.

آنالیز آماری

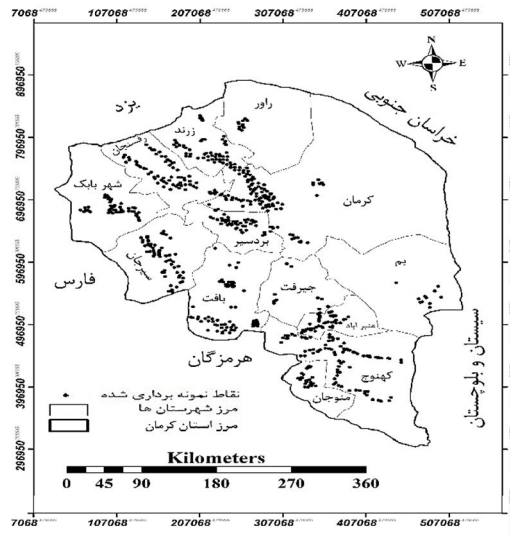
در این مطالعه ابتدا داده‌های پرت (داده‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از $\bar{X} \pm 3SD$) حذف شدند و سپس آماره‌های توصیفی برای داده‌های فصل تابستان هر یک از سال‌های مورد مطالعه در جدول 1 ارائه شد. برای بررسی و رسم نقشه‌های توزیع مکانی شوری، تجزیه و تحلیل مکانی در چند مرحله انجام شد. در مرحله‌ی اول از آن‌جایی که نرمال بودن یا نزدیک به نرمال بودن داده‌ها در عملکرد بهتر درون‌یابی کریجینگ موثر است (Johnston et al., 2001)، نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف¹ بررسی و مشخص شد داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند. سپس نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از توابع چندجمله‌ای درجه 6 انجام شد. در مرحله‌ی دوم، ساختار و وابستگی مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان با استفاده از ابزارهای زمین‌آماری موجود در نرم‌افزار ArcMap مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مدل سمی‌واریوگرام از میان یازده مدل پیشنهادی GIS انتخاب گردید (Johnston et al., 2001). به‌طور کلی رابطه‌ی سمی‌واریوگرام به-صورت زیر می‌باشد (Goovaerts., 1997).

و زهکشی و نیز کنترل برداشت آب زیرزمینی در سال‌های اخیر سبب بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است. در مطالعه‌ی دیگری چن و فنگ اقدام به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی منطقه‌ای در شمال چین نمودند و گزارش کردند 76/2 درصد از آب زیرزمینی این منطقه برای آشامیدن نامناسب می‌باشد (Chen and Feng, 2013). در مطالعات مشابه دیگری حیدری علمدارلو و همکاران (1392)، ناس و برکتای (Nas and Berkta, 2010) و جعفری و بخشنده‌مهر (1393) و محمودی‌فرد و همکاران (Mahmoodifard et al., 2014) نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را در مناطق مختلف برای مصارف گوناگون رسم نمودند. نتایج این مطالعات نشان دهنده‌ی توانایی و دقت مناسب روش کریجینگ و همچنین قابلیت و کارایی نرم‌افزار GIS در رسم نقشه‌های پهنه‌بندی و شناسایی مناطق تحت تاثیر آلودگی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی می‌باشد. از روش‌های دیگر زمین‌آمار که در آن فرآیند تخمین بر اساس مقادیر شاخص صورت می‌گیرد، روش کریجینگ شاخص است که در جهان توسط محققان و پژوهشگران زیادی در زمینه‌های مختلفی از جمله تولید نقشه‌های احتمالاتی پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. بامری و همکاران (1394) از روش ناپارامتری کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه‌های ریسک عناصر کیفی آب‌زیرزمینی دشت بجستان استفاده نمودند. دلبری و همکاران در مطالعه‌ای با رسم نقشه‌های احتمالاتی شوری آب زیرزمینی شهرستان فسا دریافتند زمین‌های کشاورزی بخش‌های شمالی و شرقی این دشت برای اجرای آبیاری بارانی مناسب است (Delbari et al., 2016). امیری بورخانی و همکاران (1395) تغییرات زمانی و مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد را با روش کریجینگ شاخص بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از آب-های زیرزمینی در مناطقی از شهرستان‌های اردکان، بافق، تفت و ابرکوه وضعیت بسیار نامطلوبی از نظر شوری دارند و استفاده از این آب‌ها برای آبیاری پسته می‌تواند عملکرد محصول را به‌شدت کاهش دهد. در مطالعات مشابهی نیز اوسطی و همکاران (1391)، الکیوسی و همکاران (Al Kuisi et al., 2009)، هو و همکاران (Hu et al., 2005)، امینی (1393) و ادھیکاری و همکاران (Adhikary et al., 2010) از روش کریجینگ شاخص برای تولید نقشه‌های احتمالاتی پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی استفاده نمودند. نتایج این مطالعات نشان داد در شرایطی که نقشه‌های کریجینگ معمولی قادر به انعکاس وضعیت آلودگی آب زیرزمینی نباشند، نقشه‌های احتمالاتی تهیه شده به روش کریجینگ شاخص می‌توانند بسیار سودمند باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های استفاده شده

استان کرمان در جنوب‌شرقی فلات مرکزی و بین 53 درجه و 26



شکل 1- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده

بهتری نسبت به روش OK دارد (Adhikary et al., 2010). در این روش برای رسم نقشه‌های توزیع شوری به جای استفاده از داده‌های واقعی، از مقادیر شاخص استفاده نمود و به مقادیر اندازه‌گیری شده‌ای که بالاتر از حد آستانه هستند کد یک و مقادیر کمتر از آن کد صفر داده شد. در این روش نیز همانند روش OK باید بهترین مدل سمی‌واریوگرام برای نقاطی با شوری بیش از آستانه انتخاب شود. در حالت کلی معادله‌ی IK به صورت رابطه 3 تعریف می‌شود (Goovaerts., 1997).

$$I(s) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(x) \geq Z' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

که در آن $Z(X)$ مقدار اندازه‌گیری شده‌ی در نقطه‌ی X و Z' مقدار آستانه شوری می‌باشد. در مرحله‌ی آخر، دقت و صحت پیش‌بینی‌ها با استفاده از 5 شاخص ارایه شده توسط ArcGIS ارزیابی شد. این شاخص‌ها شامل میانگین خطای پیش‌بینی (ME)، ریشه‌ی دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای استاندارد (ASE)، میانگین خطای استاندارد شده (MSE) و ریشه دوم میانگین خطای استاندارد شده (RMSSE) می‌باشند. برای داشتن یک پیش‌بینی معتبر باید مقدار MSE نزدیک به صفر، RMSE، ASE و ME حداقل ممکن و RMSSE نزدیک به یک باشد. این شاخص‌ها به صورت روابط 4 تا 8 تعریف می‌شوند (Johnston et al., 2001).

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))}{n} \quad (4)$$

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

در رابطه‌ی 1، $\gamma(h)$ ، مقدار سمی‌واریوگرام تجربی و $N(h)$ تعداد زوج نمونه‌ها که به فاصله‌ی h از یک‌دیگر قرار دارند. $Z(x_i + h)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده‌ی متغیر Z در نقاط $x_i + h$ و x_i می‌باشند. در مرحله‌ی سوم بر اساس بهترین مدل سمی‌واریوگرام و با استفاده از روش OK، نقشه‌های پهنه‌بندی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان رسم شد. به‌طور کلی معادلات تخمین‌گر OK به صورت زیر می‌باشند (Journel and Huijbregts., 1978).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \text{ with } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

که در آن $Z^*(x_0)$ مقدار تخمین زده شده‌ی متغیر در موقعیت نمونه‌برداری نشده‌ی x_0 ، λ_i وزن اختصاص داده شده به متغیر Z در نقطه‌ی x_i ، n تعداد نقاط همسایگی و $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در نقطه‌ی x_i است. همان‌طوری که از معادله‌ی 1 پیدا است، مجموع مقادیر اختصاصی به مقادیر معلوم (λ_i) باید برابر یک شد. برای به‌دست آوردن نقشه‌های احتمالاتی شوری آب‌های زیرزمینی از روش IK استفاده شد. IK احتمال مقادیر متغیر که بالاتر از یک حد آستانه معلوم هستند را تعیین می‌کند و مستقل از تابع توزیع داده‌ها است. این روش در برابر نقاط پرت کارایی

آب‌های زیرزمینی این استان از سال 1381 تا 1390 افزایش داشته است. نتایج چولگی هم برای هر 10 سال نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها نسبت به میانگین نامتقارن بوده و با توجه به مثبت بودن همی ضرایب چولگی، توزیع دارای چوله به راست می‌باشد. همچنین مقادیر کشیدگی نشان دهنده‌ی پراکندگی کم توزیع داده‌ها نسبت به توزیع نرمال است. حسینی‌فرد و همکاران متوسط هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان را 6/1 دسی‌زیمنس بر متر اعلام کردند که بیش‌تر از مقادیر مشاهده شده در این پژوهش است (Hosseini et al., 2006). دلیل این امر تفاوت هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان با کل استان کرمان است که در ادامه در نقشه‌های تهیه شده به وضوح دیده خواهد شد.

کریجینگ معمولی

برای بررسی ساختار مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان، با استفاده از روش OK از میان یازده مدل مختلف، بهترین مدل سمی‌واریوگرام تجربی برای هر سال انتخاب (شکل 2) و برازش داده شد (Arsalan., 2012; Nas and Berkta., 2010).

$$ASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma(x_i)}{n}} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n ((Z^*(x_i) - Z(x_i)) / \sigma(x_i))^2}{n} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((Z^*(x_i) - Z(x_i)))^2}{n}} \quad (7)$$

$$RMSSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(Z^*(x_i) - Z(x_i)) / \sigma(x_i)]^2}{n}} \quad (8)$$

نتایج و بحث

آنالیز آماری و زمین‌آماري

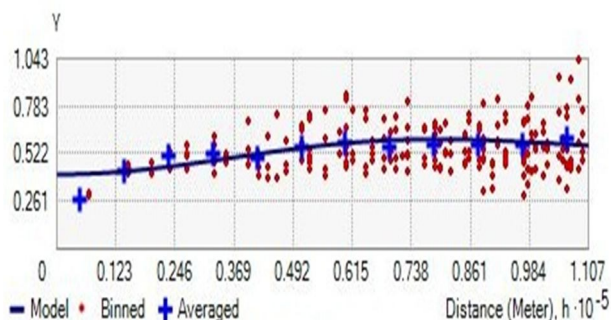
در جدول 1 خلاصه‌ی آماری شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان مربوط به سال‌های 1381 تا 1390 ارائه شده است. آماره‌ها نشان می‌دهد که بیشینه و انحراف معیار داده‌های هدایت الکتریکی

جدول 1- خلاصه آماری داده‌های شوری آب‌های زیرزمینی (هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر)

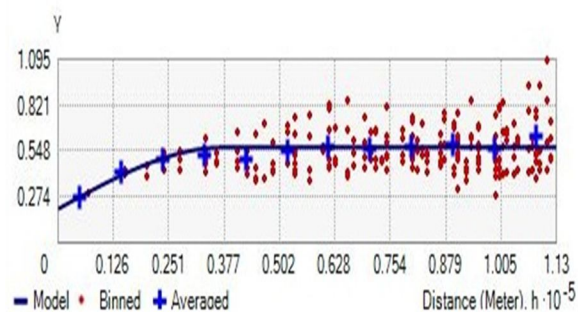
سال	تعداد نقاط نمونه برداری شده	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
1381	650	357/7	24475	3293/5	3576/9	2/5	10/2
1382	651	337/5	24600	3312/4	3648/5	2/6	9/7
1383	652	326	23693	3308/7	3618/3	2/5	8/5
1384	649	351/3	23320	3277	3519	2/5	8/8
1385	639	363/3	24900	3342/1	3672/3	2/6	9/8
1386	522	214	23200	2990/8	3660/8	2/7	8/4
1387	583	192/5	23190	2914/5	3665/4	2/9	9/3
1388	611	183/8	22217/5	2911/04	3571/5	2/7	8/6
1389	614	178/3	28000	2914/7	3730/8	2/9	10/1
1390	600	153	25700	2906/2	3695/9	3/0	10/2

همان‌طور که در جدول 2 دیده می‌شود، مدل‌های مختلف به‌عنوان بهترین الگوی مکانی برای سال‌های مورد مطالعه انتخاب شدند و بهترین برازش روی سمی‌واریوگرام‌های تجربی مختلف به منظور داشتن یک تخمین دقیق مورد استفاده قرار گرفت، لازم به ذکر است اختلاف در نتایج سمی‌واریوگرام می‌تواند ناشی از شرایط آب و هوایی و اقلیمی مانند دما و بارندگی، تفاوت در سازندهای زمین‌شناسی، زهکشی و تغییر کاربری اراضی باشد (Arsalan., 2012). برای بررسی قدرت ساختار مکانی شوری از نسبت اثر قطعه-ای به آستانه استفاده شد. چنان‌چه این نسبت کم‌تر از 0/25 باشد، نشان دهنده‌ی همبستگی مکانی قوی است و اگر این نسبت بین

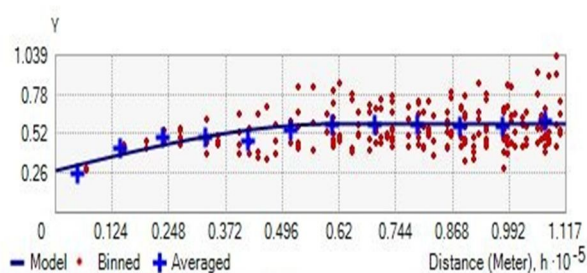
0/25-0/75 قرار گیرد بیانگر وابستگی مکانی متوسط و اگر مقدار این نسبت بزرگ‌تر از 0/75 شود نشان دهنده‌ی وابستگی مکانی ضعیف است (Taghizadeh Mehrjardi., 2008). پس از انتخاب بهترین مدل سمی‌واریوگرام تجربی، نقشه‌های پیش‌بینی شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش زمین‌آماري کریجینگ معمولی رسم شد. همان‌طوری که از نقشه‌های پهنه‌بندی پیدا است (شکل 3) به‌طور کلی نقشه‌های تولید شده با روش کریجینگ معمولی نشان دهنده‌ی افزایش و گسترش اراضی با شوری آب زیرزمینی بیش از 8 دسی‌زیمنس بر متر از سال 1381 تا 1390 می‌باشد (جدول 3). همچنین اراضی با شوری بالا عموماً در مناطق کویری دیده می‌شود.



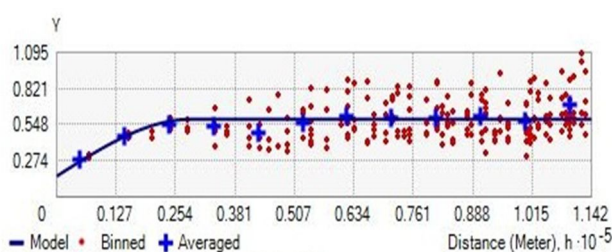
سال 1382



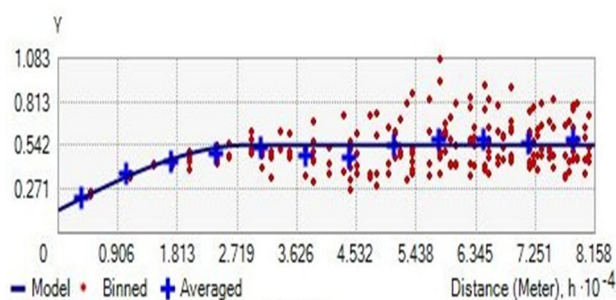
سال 1381



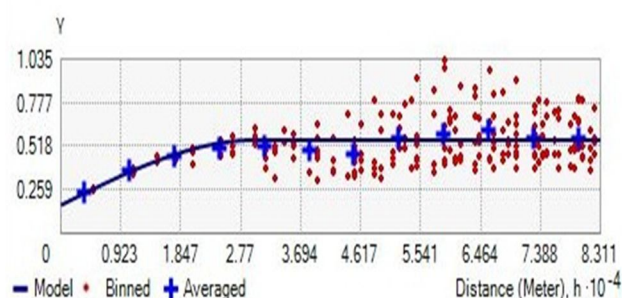
سال 1387



سال 1386



سال 1390



سال 1389

شکل 2- سمی‌واربوگرام تجربی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی استان کرمان در تعدادی از سال‌های مورد مطالعه (کریجینگ معمولی)

حفظ آن برای اختلاط با آب شور به منظور کاربرد در آبیاری اقداماتی هستند که برای حفظ پایداری تولید پسته و جلوگیری از افت سطح ایستابی در منطقه ضروری هستند (Hosseinifard et al., 2008).

کریجینگ شاخص

به منظور رسم نقشه‌های احتمالاتی شوری آب‌های زیرزمینی از سال‌های 1381 تا 1390 استان کرمان، از روش زمین‌آماري کریجینگ شاخص استفاده شد.

با توجه به وقوع خشک‌سالی‌های متوالی، تبخیر شدید، افت شدید سطح منابع آب زیرزمینی و مجاورت اراضی تحت کشت پسته با کفه‌های نمکی و کویرها، می‌توان علت شور شدن منابع آب زیرزمینی این مناطق را پیشروی آب‌های زیرزمینی شور از سمت کفه‌های نمکی به سمت اراضی بالادست دانست که این امر می‌تواند کشت پسته در این مناطق را با خطر جدی روبه‌رو کند (نشاط و زین‌الدینی، 1392). حسینی‌فرد و میرزایی امینیان خصوصیات هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی منطقه برای آبیاری مناسب نیست (Hosseinifard and Mirzaei Aminiyan., 2015). استفاده از روش‌های نوین آبیاری، صرفه‌جویی در مصرف آب با کیفیت مناسب و

جدول 2- مشخصات بهترین مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام تجربی هدایت الکتریکی (کریچینگ معمولی)

سال	مدل	اثر قطعه‌ای (Nugget)	آستانه (Sill)	$C_0/C_0 + C$	کلاس همبستگی مکانی
1381	کروی	292	1295	0/774	متوسط
1382	خطی	۲۹۱	1293	0/775	متوسط
1383	خطی	307	1851	0/834	متوسط
1384	خطی	303	1316	0/770	متوسط
1385	گوسی	383	2040	0/867	متوسط
1386	کروی	438	2239	0/860	متوسط
1387	خطی	448	2836	0/841	متوسط
1388	گوسی	396	2902	0/864	متوسط
1389	گوسی	392	2894	0/865	متوسط
1390	گوسی	395	2900	0/864	متوسط

جدول 3- درصد مساحت محدوده‌های EC (بر حسب دسی‌زیمنس بر متر)

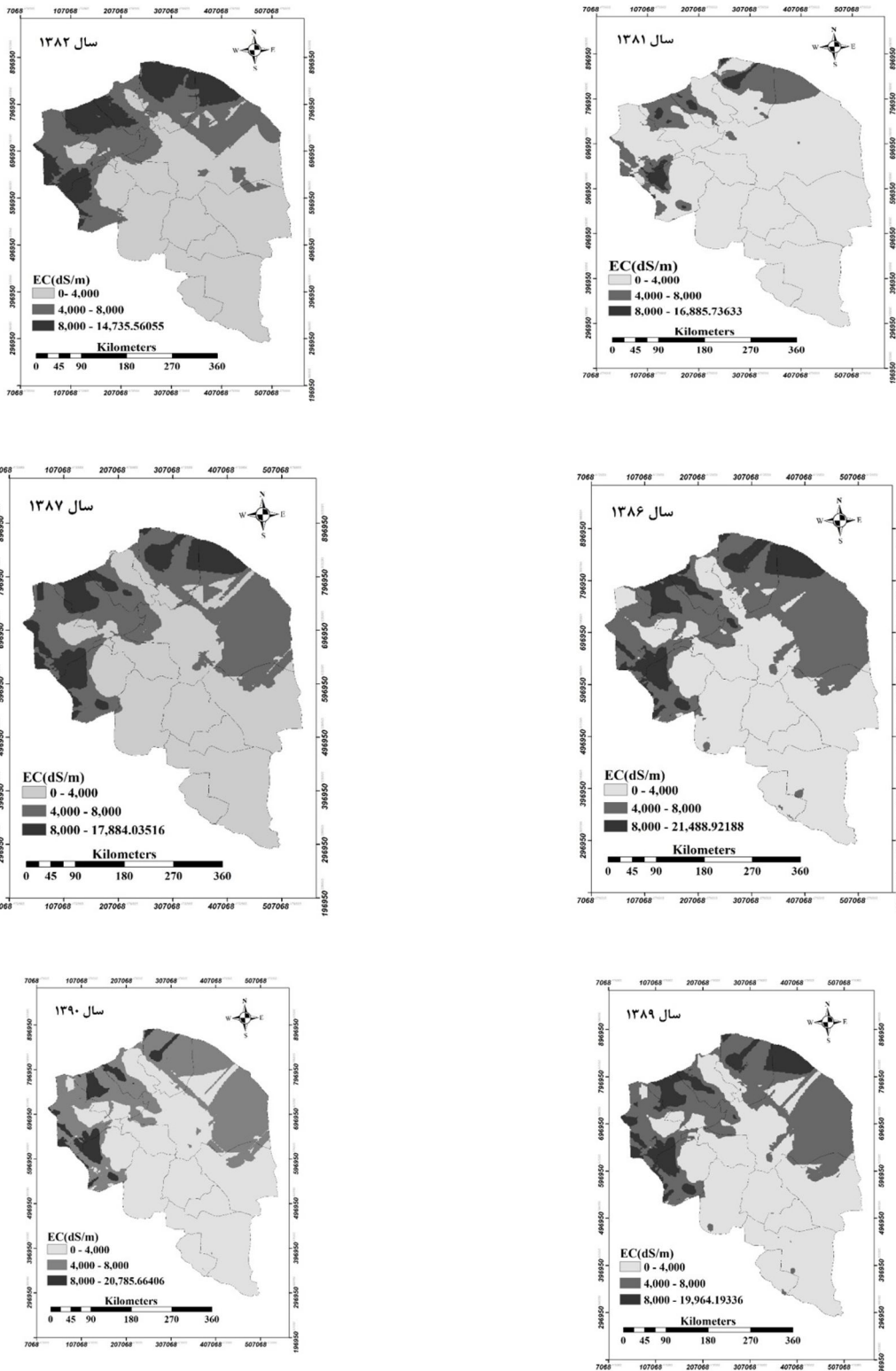
سال	EC < 4 dS/m	4 < EC < 8 dS/m	EC > 8 dS/m
	درصد	درصد	درصد
1381	85/8	11/6	2/6
1382	84/8	12/5	2/7
1383	85/6	12/6	1/8
1384	85/8	12/3	1/9
1385	86/1	11/8	2/1
1386	85/3	11/4	3/3
1387	85/1	12/5	2/4
1388	82/6	13/1	4/3
1389	82/4	13/7	3/9
1390	82/8	13/8	3/4

وابستگی مکانی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی این استان در کلاس متوسط قرار دارد. براساس نتایج حاصل از نقشه‌های تولید شده با روش کریچینگ معمولی به‌طور کلی نقشه‌های پهنه‌بندی افزایش و گسترش اراضی با شوری آب زیرزمینی بیش از 8 دسی‌زیمنس بر متر را از سال 1381 تا 1390 نشان می‌دهد. در سال 1381، تنها 2/6 درصد از اراضی استان کرمان دارای آب زیرزمینی با شوری بیش از 8 دسی‌زیمنس بر متر بوده که این مقدار در سال 1390 به 3/4 درصد رسیده است. نقشه‌های تولید شده با روش کریچینگ شاخص با مقدار آستانه‌ی شوری آب زیرزمینی 8 دسی‌زیمنس بر متر (آستانه‌ی کاهش عملکرد پسته) نیز از سال 1381 تا 1390 وجود یک روند افزایشی در وسعت شوری منابع آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که در سال 1381 تنها 1/6 درصد از منابع آب زیرزمینی با احتمال بالای 70 درصد دارای شوری بیش از آستانه بوده که این مقدار از سال 1381 تا 1390 دارای روند افزایشی بوده بطوری که براساس آزمون ناپارامتری من - کندال این افزایش روند معنی‌دار نبود.

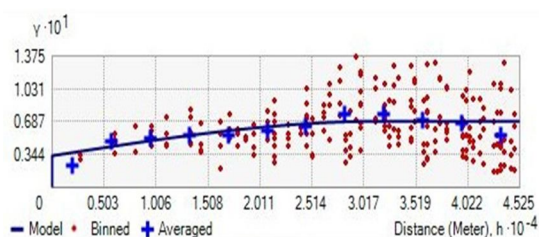
شکل 4 سمی‌واریوگرام‌های تجربی انتخاب شده مربوط به شوری آب‌های زیرزمینی سال‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی ساختار مکانی در روش کریچینگ شاخص نشان داد که شوری آب‌های زیرزمینی در همه‌ی سال‌های مورد مطالعه دارای ساختار مکانی متوسط بوده است. نقشه‌های احتمالاتی شوری در سه کلاس با احتمال 0-0/3، 0/3-0/7 و 0/7-1 طبقه‌بندی و رسم شده (شکل 5) و نتایج آن در جدول شماره 4 ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهند که در سال 1382 تنها 1/6 درصد از منابع آب زیرزمینی با احتمال بالای 70 درصد دارای شوری بیش از آستانه بوده که این مقدار از سال 1381 تا 1390 دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده به‌طوری که براساس آزمون ناپارامتری من - کندال این افزایش روند معنی‌دار بود.

نتیجه گیری

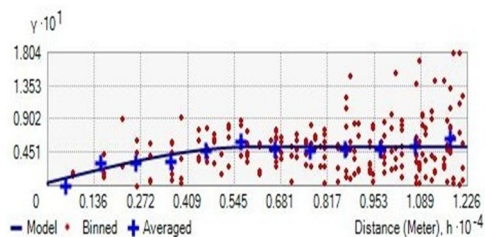
در این مطالعه برای بررسی ساختار مکانی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی استان کرمان، بهترین مدل سمی‌واریوگرام برای همه‌ی سال‌های مورد مطالعه در هر دو روش کریچینگ معمولی و شاخص از میان یازده مدل پیشنهادی GIS برازش داده شده انتخاب شد.



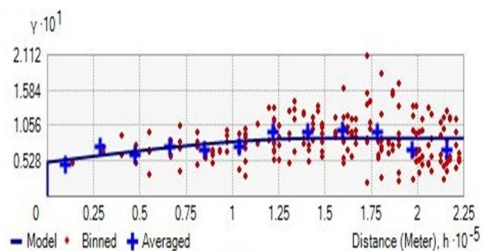
شکل 3- نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در استان کرمان



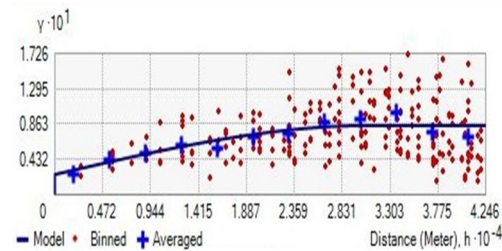
سال 1382



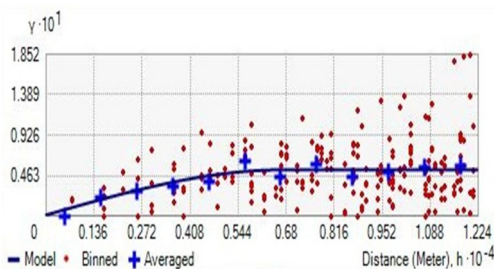
سال 1381



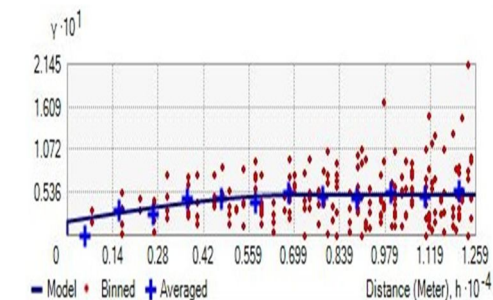
سال 1387



سال 1386



سال 1390

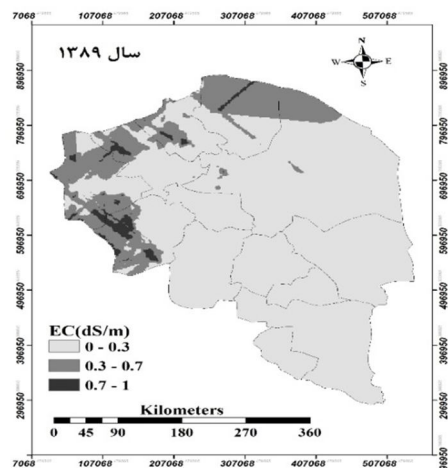
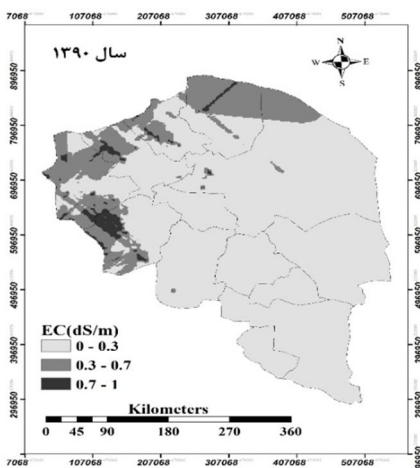
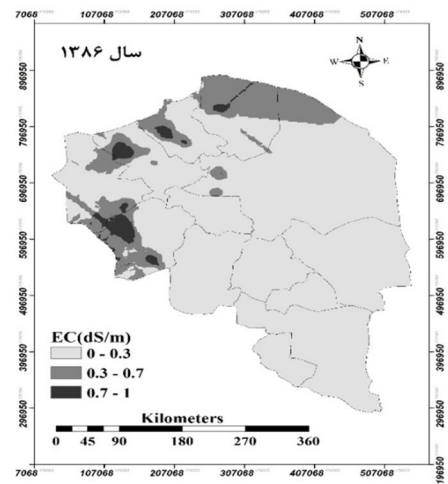
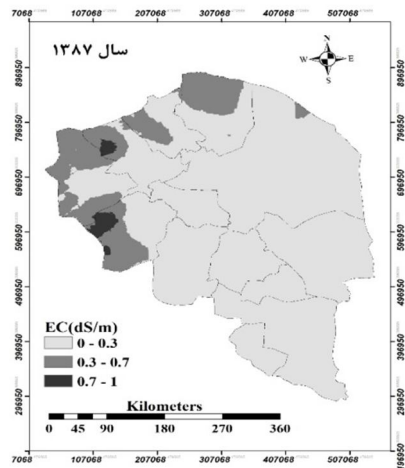
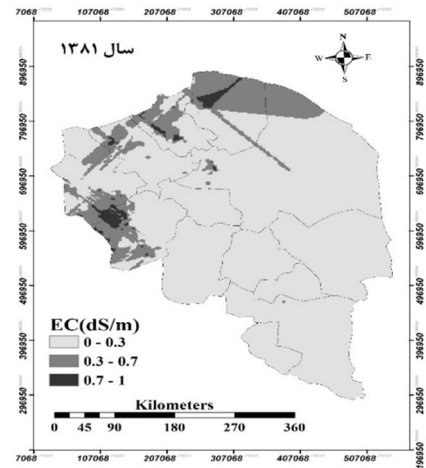
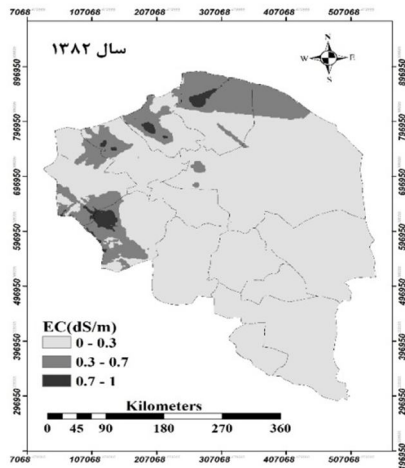


سال 1389

شکل 4- سمی‌واریوگرام تجربی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی استان کرمان در تعدادی از سال‌های مورد مطالعه (کریجینگ شاخص)

جدول 4- مساحت محدوده‌های احتمالاتی شوری بیش از حد آستانه (8 دسی زیمنس بر متر) بر حسب درصد

سال	0-0/3	0/3-0/7	0/7-1
1381	84/8	13/6	1/6
1382	84/8	13/7	1/5
1383	84/3	13/8	1/9
1384	84/8	13/5	1/7
1385	85/1	13	1/8
1386	85/1	12/8	2/2
1387	87/7	14/1	1/2
1388	82/4	15/4	2/3
1389	82/3	15/8	1/9
1390	82/9	15/6	1/6



شکل 5- نقشه‌های احتمالاتی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی استان کرمان

منابع

- کشت پسته منطقه سیرجان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. 15: 2: 12-22.
- Adhikary,P., Chandrasekharan,H., Chakraborty,D and Kamble,K. 2010. Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environmental Monitoring and Assessment*. 167.1-4: 599-615.
- Al Kuisi,M., Al-Qinna, M., Margane, A and Aljazzar,T. 2009. Spatial assessment of salinity and nitrate pollution in Amman Zarqa Basin: a case study. *Environmental Earth Sciences*. 59.1: 117-129.
- Amiri-Bourkhani, M., Khaledian, M., Ashrafzadeh,A., Shahnazari,A. 2017. Analyzing the temporal and spatial variations in groundwater salinity in Mazandaran Plain, Iran, during a long-term statistical period of 26 years. *Geofizika*. 34. 1: 119-139.
- Arslan,H. 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. *Agricultural Water Management*. 113: 57-63.
- Ashrafzadeh,A., Roshandel,F., Khaledian,M., Vazifedoust,M., Rezaei,M. 2016. Assessment of groundwater salinity risk using kriging methods: a case study in northern Iran. *Agricultural Water Management*. 178: 215-224.
- Chen,L and Feng,Q. 2013. Geostatistical analysis of temporal and spatial variations in groundwater levels and quality in the Minqin oasis, Northwest China. *Environmental Earth Sciences*. 70.3: 1367-1378.
- Delbari,M., Amiri,M and Motlagh,M. 2016. Assessing groundwater quality for irrigation using indicator kriging method. *Applied Water Science*. 6.4: 371-381.
- Goovaerts,P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*: Oxford university press.
- Hosseinifard,J., Mirzaei Aminiyan,M. 2015. Hydrochemical characterization of groundwater quality for drinking and agricultural purposes: a case study in Rafsanjan plain, Iran. *Water Quality, Exposure and Health*. 7: 531-544.
- Hosseinifard,J., Salehi,M.H., Esfandiarpour,I and Mohammadi,J. 2008. Spatial variability of groundwater quality and its relationship with pistachio yield in Anar region, Iran. *Journal of Applied Sciences*. 8. 20: 3697-3702.
- Hosseinifard,J., Salehi,M.H., Mohammadi,J and Heydari,M. 2006. Groundwater quality in pistachio growing areas of Rafsanjan, Iran. *Acta Hort*. 726: 217-220.
- Hu,K., Huang, Y., Li,H., Li,B., Chen,D and White, R.E. احمدپور، خالدیان، اشرف‌زاده، رضایی، م. 1393. پهنه‌بندی مکانی و زمانی هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی دشت گیلان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. 28: 3: 676-667.
- امیری بورخانی، خالدیان، اشرف‌زاده، شاه‌نظری، ع. 1395. بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ شاخص. اکوهیدرولوژی. 3. 3: 333-345.
- امینی، ح. 1393. بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی استان قزوین با استفاده از روش‌های مبتنی بر زمین آمار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم کشاورزی دانشگاه گیلان.
- اوسطی، خ، سلاجقه، ع، آرخی، ص. 1391. تغییرات مکانی نترات در آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار (مطالعه موردی: دشت کردان). نشریه مرتع و آبخیزداری (مجله منابع طبیعی ایران). 65: 4: 472-461.
- بامری، ا، پیری، ح، گنجی، ف. 1394. ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت بجنستان جهت مصارف کشاورزی با استفاده از روش کریجینگ شاخص. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 22. 1: 229-211.
- جعفری، ر، بخشنده‌مهر، ل. 1393. بررسی تغییرات مکانی شوری و قلیائیت آب‌های زیرزمینی استان اصفهان با استفاده از زمین آمار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک). 18. 68: 183-194.
- حبیبی اربطانی، و، احمدی، ع، فتاحی، م. م. 1388. مدل‌سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی به کمک روش‌های زمین آماری. مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. 3. 7: 23-34.
- حیدری علمدارلو، برآبادی، ح، طلوعی، س. 1392. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت رودآب سبزوار برای آبیاری. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده. 4. 12: 2: 1-12.
- دلبری، م، افراسیاب، پ. 1393. کاربرد کریجینگ شاخص و معمولی در مدل کردن کلر آب زیرزمینی. مجله محیط‌شناسی. 40: 3: 751-764.
- نشاط، ع، زین الدینی، ع. 1392. بررسی اثر پیشروی آب شور بر کیفیت آب آبیاری و خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک تحت

- Alkalinity Using Ordinary Kriging; Case Study: Ardabil Plain Aquifer. *Agriculture Science Developments*. 3.7: 244-250.
- Nas,B and Berkta,y,A. 2010. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*. 160.1-4: 215-227.
- Taghizadeh Mehrjardi,R., Zareian Jahromi,M., Mahmodi,S and Heidari,A. 2008. Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics (Case Study: Kerman-Ardakan Plain). *World Applied Sciences*. 4.1: 9-17.
2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Environment International*. 31.6: 896-903.
- Johnston,K., Ver Hoef,J.M., Krivoruchko,K., Lucas,N. 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst (Vol. 380): Esri Redlands.
- Journel, A.G., and Huijbregts, Ch.J. 1978. *Mining geostatistics*: Academic Press. 600 pages.
- Mahmoodifard,Z., Nazemi,A.H., Sadraddini,S. A and Shahbazi,F. 2014. Assessment of Spatial and Temporal Distribution of Groundwater Salinity and

Study of Spatial and Temporal Variations in Groundwater of Kerman Province to Use in Drip Irrigation of Pistachio

H., Zare Jonaghani¹, M.R. Khaledian^{2*}

Received: Apr.26, 2017

Accepted: Aug.16, 2017

Abstract

Kerman is one of the most arid regions of Iran, and its agriculture particularly pistachio cultivation depends on groundwater resources. In recent decades, natural factors (drought and high evaporation) and human activity (non-systematic exploitation of groundwater) caused a sharp decline in the quality and quantity of groundwater in this province. The spatial and temporal variations in groundwater salinity (EC) were evaluated using geostatistical methods and ArcGIS software. To this end, the electrical conductivity data of 2000 wells and aqueducts that are scattered in Kerman province in the years since 2002 to 2011 were used. After eliminating outstanding data and data normalization in each year, collected data were analyzed, and then choosing the best model of semivariogram, interpolating, cross-validation and mapping were done using geostatistical tools in ArcGIS software. In the study, ordinary kriging and indicator kriging were used to prepare zoning and probabilistic maps, respectively. The results of spatial structure of salinity study showed a moderate spatial structure in the studied years. Results of cross-validation indicated a good accuracy of both methods of interpolation (i.e., ordinary kriging and indicator kriging). Zoning and probabilistic maps showed an increase of more than 8 dS/m from 2002 to 2011 in the area of groundwater salinity. It was also found that groundwater of Sirjan, Shahrabak, Rafsanjan, and Zarand cities has a very bad condition in terms of salinity, using it for pistachio orchards irrigation can seriously reduce the yield of this plant, and its cultivation in the province will be questionable. Findings showed that in 2003, 13.3% of the total of the province faced a serious risk of high salinity of 8 dS/m in which this rate was approximately constant until 2006, but in 2007 this amount rose to 8.9% and had a decreasing trend until 2011, which finally decreased to 8.4% in 2011. So as to avoid lowering the quality of groundwater resources in the province, appropriate management measures are necessary.

Keywords: Electrical conductivity, Mapping, Semivariogram

1- MSc. Student, Water Engineering Dept., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht

2- Associate Professor, Water Engineering Dept., Faculty of Agricultural Sciences, University of Gilan, and Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center

(*-Corresponding Author Email: khaledian@guilan.ac.ir)