

## بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد با استفاده از روش زمین‌آماري کريجينگ شاخص

محبوبه اميري بورخانی<sup>۱</sup>، محمدرضا خالدیان<sup>۲\*</sup>، افشین اشرفزاده<sup>۳</sup>، علی شاه‌نظری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست،

پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر

۳. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۴. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۶/۰۶؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۸/۲۹)

### چکیده

استان یزد یکی از مناطق خشک ایران محسوب می‌شود و کشاورزی آن به‌ویژه کشت پسته به منابع آب زیرزمینی وابسته است. در دهه‌های اخیر عوامل طبیعی (خشک‌سالی و تبخیر شدید) و فعالیت‌های انسانی (بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب زیرزمینی) موجب کاهش شدید کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی این استان شده است. در این مطالعه تغییرات مکانی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی استان یزد با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و نرم‌افزار ArcGIS بررسی شد. بدین‌منظور از روش کريجينگ معمولی (OK) و کريجينگ شاخص (IK) به‌ترتیب 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 ۸ دسی‌زیمنس بر متر از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ را نشان دادند. همچنین مشخص شد که آب‌های زیرزمینی بخش‌هایی از شهرستان‌های اردکان، بافق، تفت و ابرکوه وضعیت بسیار نامطلوبی از نظر شوری دارند و استفاده از این آب‌ها برای آبیاری باغ‌های پسته، می‌تواند عملکرد این محصول را به‌شدت کاهش دهد و کشت آن را در این استان با خطر جدی مواجه سازد. بنابراین، برای جلوگیری از کاهش کیفیت بیشتر منابع آب زیرزمینی این استان، اقدامات مناسب مدیریتی نظیر ممنوعیت برداشت یا تعیین حقبه و نصب کنتور لازم و ضروری است.

کلیدواژگان: تحلیل روند، هدایت الکتریکی، GIS.

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه استان یزد به‌دلیل بارش اندک و کمبود یا نبود منابع آب سطحی، منبع اصلی و قابل اعتمادی برای تأمین آب در مصارف مختلف به‌ویژه کشاورزی به‌شمار می‌رود، اما در دهه‌های اخیر، بهره‌برداری و استفاده غیراصولی از منابع آب زیرزمینی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی، موجب شده است کیفیت و کمیت این آب‌ها به‌شدت کاهش یابد. کیفیت کم و شوری منابع آب زیرزمینی می‌تواند سبب شورشدن خاک و کاهش عملکرد گیاهان در اراضی فاریاب شود. به‌همین دلیل، شناخت و آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی به‌ویژه شوری، رسم نقشه‌های پهنه‌بندی و شناسایی مناطق با غلظت شوری زیاد می‌تواند گامی مهم در مدیریت، بهره‌برداری و کاربرد صحیح منابع آب در بخش‌های مختلف و به‌ویژه کشاورزی پایدار باشد.

برای شناخت تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی و تهیه نقشه‌های شوری، استفاده از روش‌های زمین‌آماری بسیار مفید و کارآمد است [۱]. یکی از روش‌های پیشرفته درون‌یابی زمین‌آماری کریجینگ است که مقدار پارامترها را در نقاط نمونه‌برداری نشده با دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی تخمین می‌زند [۲]. کریجینگ نوعی تخمینگر میانگین وزنی است که در آن، وزن‌ها براساس مدل برازش‌شده به یک تابع مانند سمی‌واریوگرام تعیین می‌شوند که تغییرات مکانی متغیر را بیان می‌کند. کریجینگ معمولی که به آن بهترین تخمینگر خطی نارایب نیز می‌گویند، متداول‌ترین نوع کریجینگ است که در علوم مختلف از جمله آب و خاک کاربرد فراوانی دارد [۳].

در ایران و جهان پژوهشگران مختلفی از روش کریجینگ معمولی برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استفاده کردند. احمدپور و همکارانش [۴] در یک دوره آماری چهارساله تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS) آب زیرزمینی دشت گیلان را بررسی کردند و دریافتند بیشترین میزان EC آب‌های زیرزمینی در این استان مختص به بخش‌های مرکزی و مرکزی متمایل به شرق بوده و میزان آن با گذشت زمان افزایش یافته است. در مطالعه دیگری چن و فنگ [۵] به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی واحه مینکین در شمال چین اقدام کردند و گزارش دادند ۷۶/۲ درصد از آب زیرزمینی این

منطقه برای آشامیدن نامناسب است. تقی‌زاده مهرجردی و همکارانش [۶] نیز در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات مکانی برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان پرداختند و مشاهده کردند که وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی مناطق شرقی و شمال غربی منطقه در شرایط نامناسب و بحرانی قرار دارد. همچنین این محققان علت زیادبودن غلظت شوری در شمال شرق دشت یزد-اردکان را وجود کویر سیاه‌کوه و عوامل زمین‌شناسی این منطقه دانسته‌اند. در مطالعات مشابه دیگری حیدری علمدارلو و همکارانش [۷]؛ ناس و برکتای [۸]؛ جعفری و بخشنده‌مهر [۹] و محمودی‌فرد و همکارانش [۱۰] نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را برای مصارف گوناگون رسم کردند. نتایج نشان‌دهنده توانایی و دقت مناسب روش کریجینگ معمولی است.

از روش‌های دیگر زمین‌آمار که در آن فرایند تخمین با مقادیر شاخص صورت می‌گیرد، روش کریجینگ شاخص است که توسط پژوهشگران زیادی برای تولید نقشه‌های احتمالاتی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استفاده شده است. بامری و همکارانش [۱۱] از روش ناپارامتری کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه‌های ریسک عناصر کیفی آب زیرزمینی دشت بجنستان استفاده کردند و دریافتند، پارامترهای EC و نسبت جذبی سدیم در بیشتر چاه‌ها از حد استاندارد بیشتر و بیشترین محدودیت مختص به EC است. ارسال [۱۲] نیز براساس نقشه‌های پهنه‌بندی و احتمالاتی گزارش کرد که شوری آب زیرزمینی دشت بافرای ترکیه از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ کاهش داشته است. دس و همکارانش [۱۳] با رسم نقشه‌های پهنه‌بندی و احتمالاتی دریافتند که ۶۹ درصد از منطقه مطالعه‌شده دارای شوری بیش از ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۴ درصد از منطقه دارای بیشترین احتمال (۱ - ۰/۸) از نظر شوری است. دلبری و همکارانش [۱۴] 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. اوسطی و همکارانش [۱۵] و هو و همکارانش [۱۶] از روش کریجینگ شاخص برای تولید نقشه‌های احتمالاتی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی استفاده کردند. نتایج این مطالعات نشان داد در شرایطی که نقشه‌های کریجینگ معمولی قادر به انعکاس وضعیت آلودگی نباشند، نقشه‌های احتمالاتی با روش

(اطلاعات موجود) بررسی شد و با توجه به حجم زیاد نتایج، صرفاً نتایج سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ یعنی سال اول و آخر همچنین دو سال میانی با فاصله سه سال ارائه شده است. به همین منظور از داده‌های هدایت الکتریکی برداشت‌شده از ۲۰۰ حلقه چاه و قنات شبکه پایش کمی و کیفی شرکت آب منطقه‌ای یزد در فصل تابستان (شکل ۱) استفاده شد. در این مطالعه در نقاطی که هیچ اندازه‌گیری‌ای صورت نگرفته است، مقادیر شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش OK و IK درون‌یابی و نقشه‌های پهنه‌بندی و احتمالاتی توزیع شوری آب‌های زیرزمینی تهیه شدند. هر دو برآورد OK و IK با استفاده از نرم‌افزار زمین‌آماری ArcGIS 10.2 به‌دست آمدند. همچنین براساس مطالعات انجام‌شده توسط مؤسسه تحقیقات پسته کشور، شوری آب آبیاری تا مرز ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تأثیر منفی بر تولید پسته ندارد، ولی بیشتر از این مقدار سبب کاهش عملکرد این محصول می‌شود. بنابراین، در این مطالعه از حد آستانه ۸ دسی‌زیمنس بر متر برای تولید نقشه‌های احتمالاتی شوری آب‌های زیرزمینی استفاده شد.

#### تحلیل آماری

در این مطالعه ابتدا داده‌های پرت (داده‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از  $\bar{X} \pm 3SD$ ) حذف شدند و سپس آماره‌های کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی هر یک از سال‌ها محاسبه و در جدول ۱ ارائه شد. برای بررسی و رسم نقشه‌های توزیع مکانی شوری، تجزیه و تحلیل مکانی در چند مرحله انجام شد. در مرحله نخست از آنجا که نرمال بودن یا نزدیک به نرمال بودن داده‌ها در عملکرد بهتر درون‌یابی کریجینگ مؤثر است [۱۸]، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS 16 بررسی و مشخص شد که داده‌ها توزیع نرمال ندارند. سپس نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از یک تابع چندجمله‌ای درجه ۶ انجام شد. بنابراین، برای نرمال‌سازی داده‌های هدایت الکتریکی از یک تابع درجه ۶ (با فرم کلی  $f(x) = a_6x^6 + a_5x^5 + a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + C$ ) استفاده شد تا توزیع داده‌ها نرمال شود. در این روش نرمال‌سازی، ابتدا یک تابع توزیع تجمعی تجربی با عنوان  $F(x_i)$  برای متغیر مد نظر برآورد می‌شود. با جایگزین کردن  $F(x_i)$  در رابطه تبدیل توزیع نرمال  $f(t)$  به تابع توزیع تجمعی، می‌توان متناظر با هر

کریجینگ شاخص می‌توانند بسیار سودمند باشند. با توجه به توانایی روش‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص در بررسی پارامترهای کیفی آب در مطالعات پیشین، در این مطالعه از این دو روش برای بررسی وضعیت شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد استفاده شد.

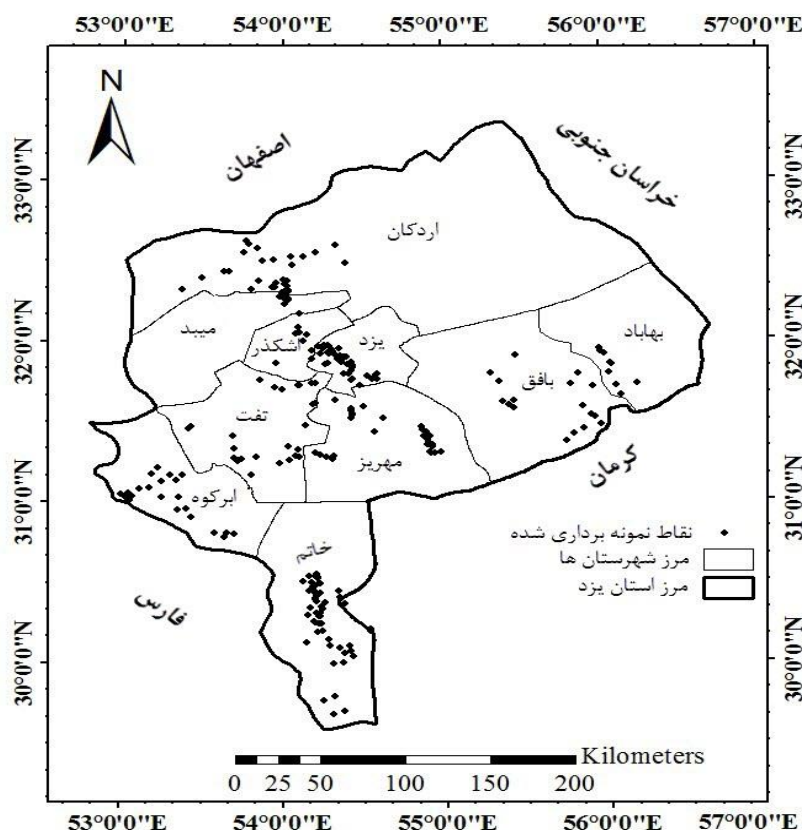
تولید پسته در استان یزد یکی از منابع مهم درآمد کشاورزان است. اگرچه پسته نسبت به شوری مقاوم است، در سال‌های اخیر کاهش شدید کیفیت آب‌های زیرزمینی استان به‌عنوان منبع اصلی آب آبیاری، کاهش شدید عملکرد پسته را به‌دنبال داشته است. بنابراین، با توجه به اهمیت کشت پسته در این استان، آگاهی از روند تغییرات کیفی آب آبیاری بسیار مهم است. به همین منظور پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت شوری منابع آب زیرزمینی استان یزد برای آبیاری باغ‌های پسته و شناسایی مناطق با غلظت شوری زیاد انجام شده است. شایان توضیح است که تا کنون مطالعه مشابهی در منطقه مطالعه‌شده صورت نگرفته است.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مطالعه‌شده و داده‌های استفاده‌شده

استان یزد واقع در فلات مرکزی ایران، با مساحتی حدود ۷۴۴۹۳ کیلومتر مربع، به‌تنهایی ۴/۵ درصد از وسعت ایران را به‌خود اختصاص داده و در محدوده جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، استان به سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای تقسیم می‌شود. به استثنای منطقه کوهستانی شیرکوه که آب و هوای مدیترانه‌ای دارد، با حرکت از مغرب و جنوب غربی به سمت شمال شرقی و شرق استان اقلیم خشک‌تر می‌شود. الگوی بارندگی استان از نوع مدیترانه‌ای با بیشینه زمستانه است و از سمت شرق و شمال به‌سمت غرب و جنوب، بر میزان بارندگی افزوده می‌شود. میزان بارندگی استان به‌طور متوسط ۶۰ تا ۸۰ میلی‌متر و میزان تبخیر سالانه به‌طور متوسط به ۲۵۰۰ تا ۴۲۰۰ میلی‌متر می‌رسد که این رقم بسیار بیشتر از میزان بارندگی است [۱۷].

با توجه به اهمیتی که کیفیت آب آبیاری از جمله شوری در میزان عملکرد گیاهان دارد، تغییرات مکانی میزان شوری آب‌های زیرزمینی استان طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده و نقاط نمونه برداری

در مرحله سوم براساس بهترین مدل سمی واریوگرام و با استفاده از روش کریجینگ معمولی، نقشه‌های پهنه‌بندی شوری آب‌های زیرزمینی رسم شد. معادلات تخمینگر OK به صورت زیر هستند [۲۱]:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \text{با} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

که در آن  $Z^*(x)$  مقدار تخمینی متغیر در موقعیت نمونه برداری نشده  $x$ ،  $\lambda_i$  وزن اختصاص داده شده به متغیر  $Z$  در نقطه  $x_i$ ،  $n$  تعداد نقاط همسایگی و  $Z(x_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در نقطه  $x_i$  است. همان‌طوری که از معادله ۳ پیداست، جمع مقادیر اختصاص داده شده به مقادیر معلوم ( $\lambda_i$ ) باید برابر واحد باشد.

همچنین در این مطالعه برای به دست آوردن نقشه‌های احتمالاتی شوری آب‌های زیرزمینی از روش IK استفاده شد. این روش احتمال مقادیر متغیر که بیشتر از یک حد آستانه معلوم هستند را تعیین می‌کند و مستقل از تابع توزیع داده‌هاست و در برابر نقاط پرت کارایی بهتری نسبت به روش OK دارد [۱۲]. برای رسم نقشه‌های توزیع شوری به جای

مقدار مشاهده شده، مقداری نرمال با عنوان  $t_i$  به دست آورد [۱۹]:

$$F(x_i) = \int_{-\infty}^{t_i} f(t) dt \quad (1)$$

در مرحله بعد، یک تابع چندجمله‌ای درجه ۶ به زوج نقاط  $(x_i, t_i)$  برازش داده می‌شود که می‌توان از آن برای نرمال سازی  $x_i$ ها استفاده کرد.

در مرحله دوم، ساختار و وابستگی مکانی شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از ابزارهای زمین‌آماري موجود در نرم‌افزار ArcGIS بررسی شد و بهترین مدل سمی واریوگرام از میان ۱۱ مدل پیشنهادی انتخاب شد [۱۸]. به طور کلی، رابطه سمی واریوگرام به صورت زیر است [۲۰]:

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

در رابطه ۲،  $\gamma(h)$  مقدار سمی واریوگرام تجربی و  $N(h)$  تعداد زوج نمونه‌ها که به فاصله  $h$  از یکدیگر قرار دارند.  $Z(x_i + h)$  و  $Z(x_i)$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر  $Z$  در نقاط  $x_i + h$  و  $x_i$  هستند.

باشد، بیانگر وابستگی مکانی متوسط و اگر بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد، نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف است [۶].

#### بررسی روند

پس از آنکه نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی استان یزد برای سال‌های مختلف رسم شد، مساحت‌های مختص به EC محدوده‌های مد نظر از نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج شد. سپس به منظور بررسی روند تغییرات مساحت محدوده‌های EC از آزمون‌های من-کندال و تخمینگر شیب سن استفاده شد.

#### نتایج و بحث

##### تحلیل آماری و زمین‌آماري

در جدول ۱ خلاصه آماری داده‌ها برای سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند میانگین، بیشینه و انحراف معیار داده‌ها طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸ افزایش داشته است. نتایج چولگی هم نشان می‌دهد توزیع داده‌ها نسبت به میانگین نامتقارن است و با توجه به مثبت بودن همه ضرایب چولگی، توزیع چوله به راست دارد. این نتیجه بیانگر تمایل داده‌ها به سمت مقادیر بیشتر یا به بیانی شوری بیشتر است. همچنین مقادیر کشیدگی نشان‌دهنده پراکندگی کم توزیع داده‌ها نسبت به توزیع نرمال است.

##### کریجینگ معمولی

به منظور بررسی ساختار مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد، با استفاده از روش زمین‌آماري OK از میان ۱۱ مدل مختلف، بهترین مدل سمی‌واریوگرام تجربی شوری برای هر سال انتخاب و برازش داده شد [۸ و ۱۲]. این مدل‌ها و مشخصات آنها به ترتیب در شکل ۲ و جدول ۲ ارائه شده است.

شایان یادآوری است اختلاف در نتایج سمی‌واریوگرام‌ها در این استان می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط آب و هوایی و اقلیمی، ثابت‌نبودن نقاط نمونه‌برداری و تغییر فاصله بین آنها باشد. علت تغییر نقاط نمونه‌برداری شده در این استان، خشک یا غیرقابل استفاده شدن آب برخی از چاه‌ها (به دلیل شوری زیاد) و اضافه شدن نقاط جدید به شبکه پایش در طول دوره مطالعه است.

استفاده از داده‌های واقعی، از مقادیر شاخص استفاده می‌شود و به مقادیر اندازه‌گیری شده‌ای که بیشتر از حد آستانه هستند کد یک و مقادیر کمتر از آن کد صفر داده می‌شود. در این روش نیز همانند روش OK باید بهترین مدل سمی‌واریوگرام برای نقاطی با شوری بیش از آستانه انتخاب شود. در حالت کلی معادله IK به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۰]، که در آن  $Z(x)$  مقدار اندازه‌گیری شده شوری در نقطه  $x$  و  $Z^*$  مقدار آستانه شوری است.

$$I(s) = \begin{cases} 1, & \text{if } Z(x) \geq Z^* \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

در مرحله آخر، دقت پیش‌بینی‌های انجام شده با استفاده از پنج شاخص ارائه شده توسط نرم‌افزار ArcGIS ارزیابی شد. این شاخص‌ها شامل میانگین خطای پیش‌بینی (ME)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین خطای استاندارد (ASE)، میانگین خطای استاندارد شده (MSE) و ریشه دوم میانگین خطای استاندارد شده (RMSSE) هستند. برای داشتن یک پیش‌بینی دقیق و معتبر باید مقدار MSE نزدیک به صفر، RMSE، ASE و ME کمترین مقدار ممکن و RMSSE نزدیک به یک باشد. این شاخص‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند [۱۸].

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))}{n} \quad (5)$$

$$ASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma(x_i)}{n}} \quad (6)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) / \sigma(x_i)}{n} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((Z^*(x_i) - Z(x_i)))^2}{n}} \quad (8)$$

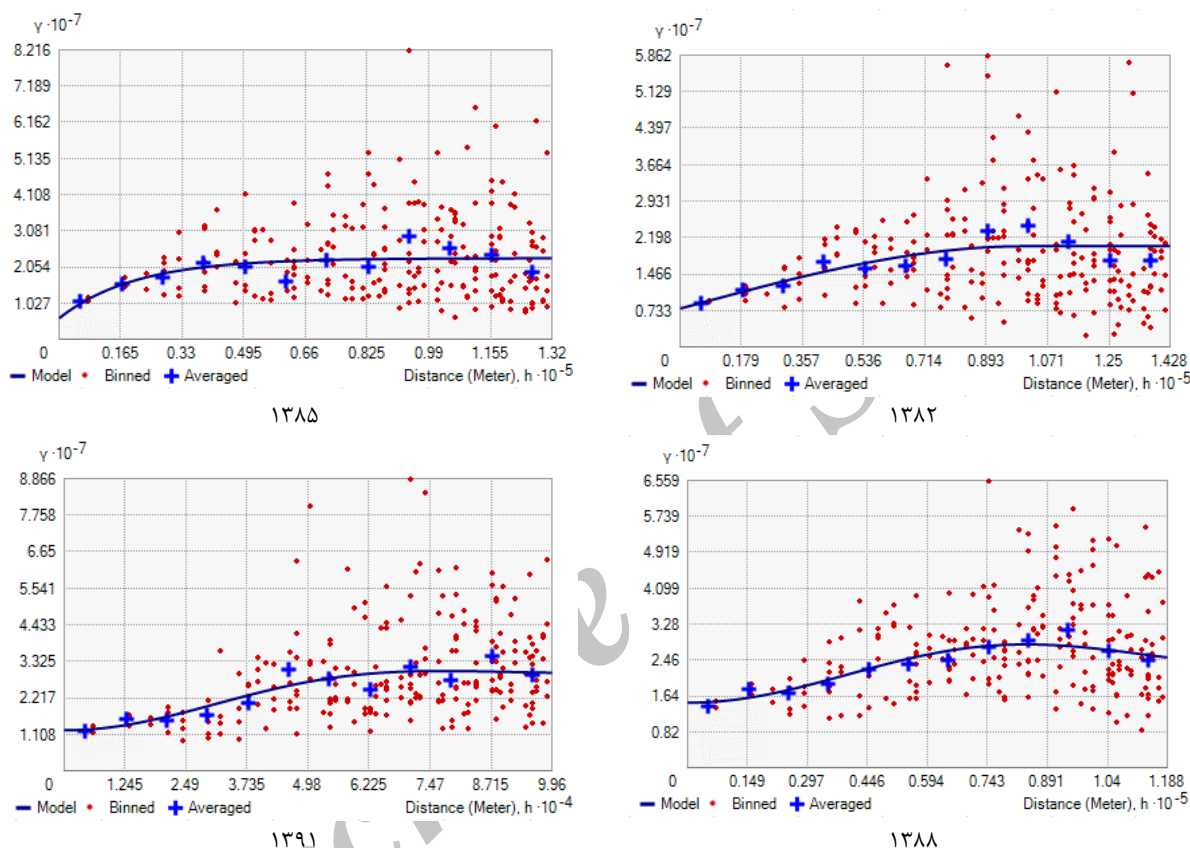
$$RMSSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(Z^*(x_i) - Z(x_i)) / \sigma(x_i)]^2}{n}} \quad (9)$$

در معادلات یادشده،  $Z^*(x_i)$  مقدار پیش‌بینی شده؛  $Z(x_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده؛  $\sigma(x_i)$  خطای استاندارد پیش‌بینی در مکان  $x_i$  و  $n$  تعداد مشاهدات است.

برای بررسی قدرت ساختار مکانی از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه استفاده شد. چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی؛ اگر بین ۰/۲۵ - ۰/۷۵

جدول ۱. خلاصه آماری داده‌های شوری آب‌های زیرزمینی (هدایت الکتریکی بر حسب  $\mu\text{mhos/cm}$ ).

| سال  | تعداد نقاط نمونه‌برداری شده | کمینه | بیشینه | میانگین | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی |
|------|-----------------------------|-------|--------|---------|--------------|-------|--------|
| ۱۳۸۲ | ۱۷۹                         | ۳۸۳   | ۱۷۸۶۰  | ۴۶۶۹/۲  | ۴۱۴۰/۳       | ۱/۲۵  | ۰/۷۶   |
| ۱۳۸۵ | ۱۸۳                         | ۲۰۳   | ۱۸۶۵۰  | ۵۲۱۷/۷  | ۴۵۹۰/۳       | ۱/۱۲  | ۰/۲۳   |
| ۱۳۸۸ | ۲۰۰                         | ۵۰۶   | ۲۰۹۰۰  | ۵۲۴۶/۴  | ۴۷۵۴/۸       | ۱/۲۲  | ۰/۵۷   |
| ۱۳۹۱ | ۱۷۴                         | ۳۰۷   | ۲۰۵۰۰  | ۴۸۲۵/۹  | ۴۷۹۵/۸       | ۱/۳۳  | ۰/۶۸   |



شکل ۲. بهترین واریوگرام‌های برازش داده‌شده برای سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱

جدول ۲. مشخصات بهترین مدل‌های برازش داده‌شده بر سیمی واریوگرام تجربی هدایت الکتریکی (کریجینگ معمولی)

| سال  | مدل    | اثر قطعه‌ای (Nugget) | آستانه (Sill) | $C_0/C_0 + C$ | کلاس همبستگی مکانی | شعاع تأثیر (km) |
|------|--------|----------------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------|
| ۱۳۸۲ | کروی   | ۷۷۲۰۸۰۴/۰            | ۲۰۲۳۸۴۴۴/۴    | ۰/۳۸          | متوسط              | ۱۰۰/۲           |
| ۱۳۸۵ | نمایی  | ۵۹۹۷۶۲۶/۳            | ۲۳۰۳۱۶۱۵/۴    | ۰/۲۶          | متوسط              | ۶۱/۲            |
| ۱۳۸۸ | جی بسل | ۱۴۸۵۳۳۸۶/۹           | ۲۵۱۸۶۴۹۲/۱    | ۰/۵۹          | متوسط              | ۱۱۸/۸           |
| ۱۳۹۱ | جی بسل | ۱۲۳۱۴۷۸۹/۷           | ۲۹۷۶۴۵۲۶/۳    | ۰/۴۱          | متوسط              | ۹۹/۶            |

جدول ۳. مقادیر آماره‌های ارزیابی متقابل بین مقادیر نمونه‌برداری شده و برآورد شده شوری آب زیرزمینی (کریجینگ معمولی)

| سال  | ME ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) | RMSE ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) | ASE ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) <sup>0.5</sup> | MSE (-) | RMSSE (-) |
|------|----------------------------|------------------------------|--|---------|-----------|
| ۱۳۸۲ | ۴/۱۴                       | ۳۱۶۴/۵                       | ۳۲۰۸/۴                                     | ۰/۰۰۲۵  | ۰/۹۷۹۷    |
| ۱۳۸۵ | -۶۳/۷۴                     | ۳۳۲۵/۴                       | ۳۴۲۰/۲                                     | -۰/۰۱۱۸ | ۰/۹۵۰۸    |
| ۱۳۸۸ | ۱/۵۵                       | ۳۷۴۸/۴                       | ۴۰۸۹/۰                                     | ۰/۰۰۲۷  | ۰/۹۲۰۸    |
| ۱۳۹۱ | -۰/۶۶                      | ۳۵۶۷/۲                       | ۳۸۱۴/۹                                     | ۰/۰۰۶۸  | ۰/۹۴۰۷    |

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 [۲۲].

براساس نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که در سال ۱۳۸۲ تنها مساحت محدودی از منابع آب زیرزمینی دو منطقه یکی در شمال شهرستان اردکان (مجاورت با کویر عقدا) و دیگری در شهرستان بافق (محدوده کویر در انجیر) شوری بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر داشته، این در حالی است که در سال ۱۳۹۱ علاوه بر گسترش مساحت شوری آب‌های زیرزمینی و افزایش غلظت شوری در شهرستان بافق و اردکان، منابع آب زیرزمینی جنوب و شرق شهرستان‌های تفت و ابرکوه (محدوده کویر ابرکوه) نیز با افزایش شوری مواجه شده است. به‌طور کلی، نقشه‌های پهنه‌بندی افزایش و گسترش اراضی با شوری آب زیرزمینی بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر را از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. همچنین اراضی با شوری زیاد عموماً در مناطق کویری و کفه‌های نمکی دیده می‌شود. با توجه به وضعیت بحرانی شوری منابع آب زیرزمینی در بخش‌هایی از استان یزد و گسترش این شرایط با گذشت زمان، اقدامات فوری مدیریتی منابع آب نظیر تغییر الگوی کشت، حذف آبیاری سطحی، استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کاهش برداشت یا برداشت نکردن در مناطق با شوری زیاد بسیار ضروری است. به‌منظور حفظ پایداری کشت پسته در منطقه اعمال مدیریت شورورزی و یافتن ارقام مقاوم به شوری لازم است.

#### کریجینگ شاخص

به‌منظور رسم نقشه‌های احتمالاتی شوری آب‌های زیرزمینی سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ استان یزد، از روش زمین‌آماري کریجینگ شاخص استفاده شد. سپس همانند روش کریجینگ معمولی از میان ۱۱ مدل مختلف پیشنهادی GIS بهترین مدل سمی‌واریوگرام تجربی شوری برای هر چهار سال انتخاب و برازش داده شد. این مدل‌ها و مشخصات آنها به‌ترتیب در شکل ۴ و جدول ۵ ارائه شده است. بررسی ساختار مکانی در روش کریجینگ شاخص نشان داد شوری آب‌های زیرزمینی در همه سال‌های مطالعه شده ساختار مکانی متوسط داشته است.

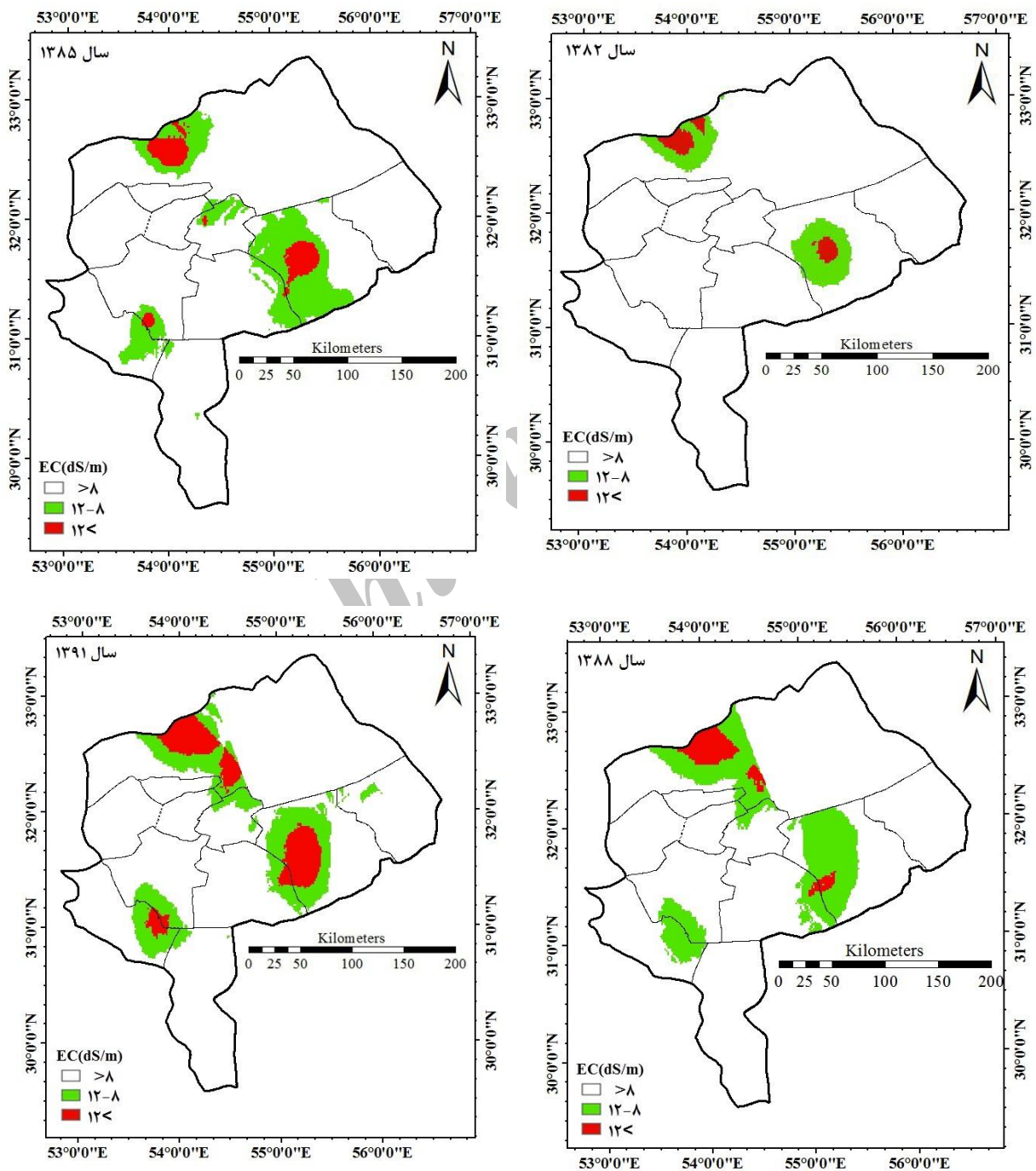
پس از انتخاب بهترین مدل سمی‌واریوگرام تجربی، نقشه‌های پهنه‌بندی شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش OK رسم و دقت نقشه‌ها با استفاده از شاخص‌های ارزیابی متقابل پیشنهادی GIS ارزیابی شد (جدول ۳). در همه سال‌های مطالعه شده مقدار MSE نزدیک به صفر است. همچنین مقدار RMSSE بین ۰/۹۲۰ تا ۰/۹۷۹ متغیر است و مقدار ME برای این سال‌ها بسیار کوچک و نزدیک به صفر است (بین ۰/۶۶- تا ۶۳/۷۴ میکروموس بر سانتی‌متر). نتایج ارزیابی متقابل این مطالعه نشان‌دهنده دقت مناسب پیش‌بینی‌هاست.

همان‌طور که از نقشه‌های پهنه‌بندی پیداست (شکل ۳) در سال ۱۳۸۲ تنها مساحت محدودی از شمال شهرستان اردکان و شهرستان بافق (محدوده کویر در انجیر) دچار شوری بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تنها در بخش‌هایی از شمال شهرستان اردکان (اطراف کویر عقدا)، شهرستان بافق (محدوده کویر در انجیر) و جنوب شهرستان تفت شوری بیش از ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر دیده می‌شود. از آنجا که این مناطق در محدوده کویری و کفه‌های نمکی استان قرار دارند، این نتایج قابل توجه است. افزایش غلظت شوری نیز در این مناطق در فصل تابستان نسبت به زمستان می‌تواند ناشی از ورود آب‌های شور بعد از بارندگی‌های زمستانه به منابع آب زیرزمینی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در فصل تابستان باشد. در سال ۱۳۹۱ علاوه بر گسترش مساحت شوری آب زیرزمینی (جدول ۴) و افزایش غلظت شوری در شهرستان بافق و اردکان، منابع آب زیرزمینی شهرستان ابرکوه (محدوده کویر ابرکوه) نیز با افزایش شوری مواجه شده است. با توجه به شکل ۳ علاوه بر گسترش مناطق شور در شهرستان‌های اردکان، بافق، جنوب شهرستان تفت و بخش‌های شرقی شهرستان ابرکوه، غلظت شوری نیز در این مناطق، نسبت به سال شروع مطالعه افزایش یافته است.

به‌طور کلی، نقشه‌های تولیدشده با روش OK نشان‌دهنده گسترش اراضی با شوری بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ است. همچنین اراضی با شوری زیاد عموماً در مناطق کویری و کفه‌های نمکی دیده می‌شود. با توجه به وقوع خشک‌سالی‌های متوالی، تبخیر شدید، افت شدید سطح آب زیرزمینی و مجاورت اراضی تحت کشت پسته با

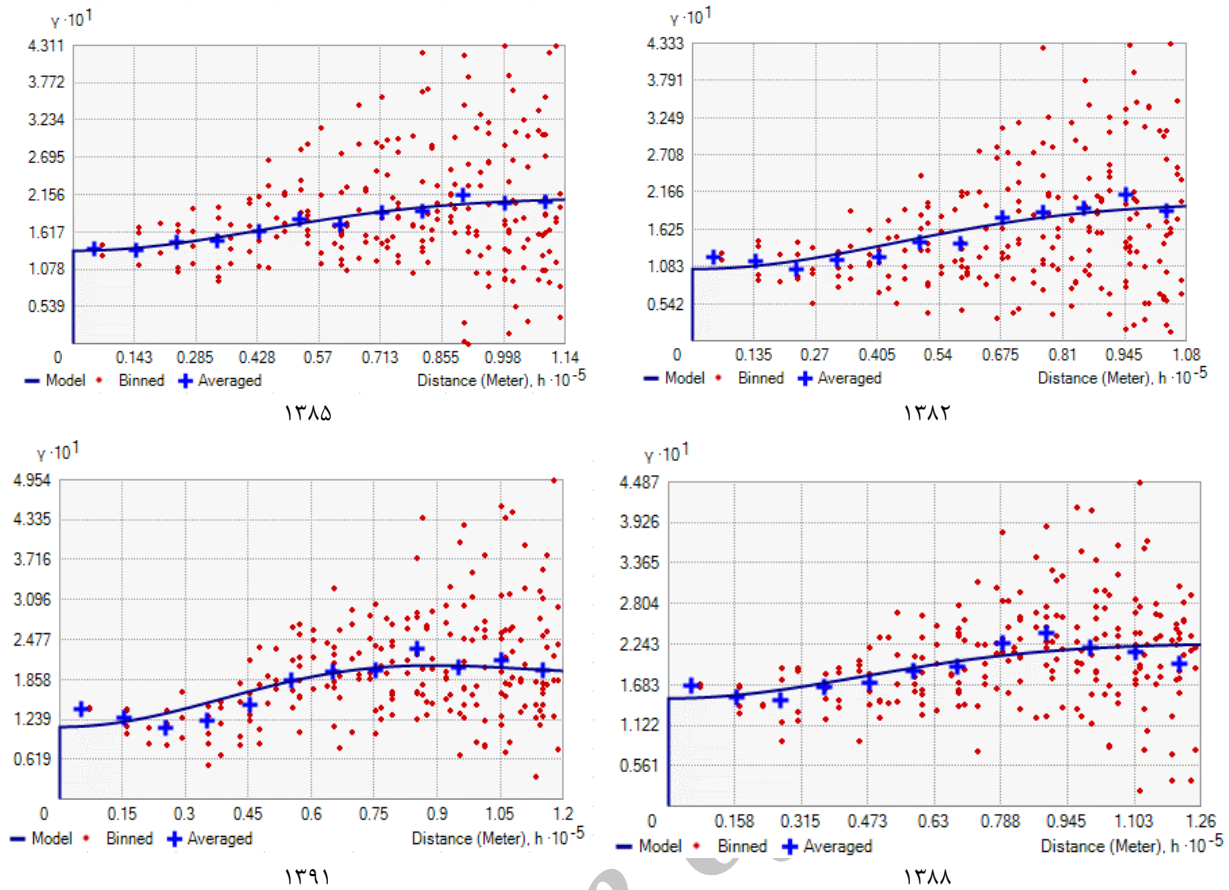
جدول ۴. مساحت محدوده‌های EC (بر حسب dS/m)

| سال  | EC > 12 |                          | 8 < EC < 12 |                          | EC < 8 |                          |
|------|---------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------|--------------------------|
|      | درصد    | مساحت (Km <sup>2</sup> ) | درصد        | مساحت (Km <sup>2</sup> ) | درصد   | مساحت (Km <sup>2</sup> ) |
| ۱۳۸۲ | ۱/۸۵    | ۱۰۲۳                     | ۶/۶۲        | ۳۶۹۸                     | ۹۱/۵۳  | ۵۱۱۲۳                    |
| ۱۳۸۵ | ۳/۵۴    | ۱۹۷۶                     | ۱۵/۹۹       | ۸۹۳۲                     | ۸۰/۴۷  | ۴۴۹۴۸                    |
| ۱۳۸۸ | ۳/۲۳    | ۱۸۰۶                     | ۱۸/۶۲       | ۱۰۴۰۱                    | ۷۸/۱۴  | ۴۳۶۴۸                    |
| ۱۳۹۱ | ۷/۶۹    | ۴۲۹۵                     | ۱۵/۷۲       | ۸۷۷۸                     | ۷۶/۵۹  | ۴۲۷۸۲                    |



شکل ۳. نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در استان یزد





شکل ۴. بهترین واریوگرام‌های برازش داده‌شده برای کریجینگ شاخص در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۲، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱

جدول ۵. مشخصات بهترین مدل‌های برازش داده‌شده بر سمی واریوگرام تجربی هدایت الکتریکی (کریجینگ شاخص)

| سال  | مدل    | اثر قطعه‌ای (Nugget) | آستانه (Sill) | $C_0 / C_0 + C$ | کلاس همبستگی مکانی | شعاع تأثیر (km) |
|------|--------|----------------------|---------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| ۱۳۸۲ | پایدار | ۰/۱۰۴۶               | ۰/۲۰۰۹        | ۰/۵۲            | متوسط              | ۱۰۸             |
| ۱۳۸۵ | گوسی   | ۰/۱۳۴۴               | ۰/۲۱۰۹        | ۰/۶۴            | متوسط              | ۱۰۷/۰۲          |
| ۱۳۸۸ | گوسی   | ۰/۱۴۹۳               | ۰/۲۲۵۵        | ۰/۶۶            | متوسط              | ۱۱۱/۶۰          |
| ۱۳۹۱ | جی بسل | ۰/۱۱۲۰               | ۰/۱۹۹۰        | ۰/۵۶            | متوسط              | ۱۲۰             |

جدول ۶. ارزیابی متقابل بین مقادیر نمونه‌برداری شده و برآوردشده شوری آب زیرزمینی (کریجینگ شاخص)

| سال  | ME      | RMSE   | ASE    | MSE     | RMSSE  |
|------|---------|--------|--------|---------|--------|
| ۱۳۸۲ | ۰/۰۰۰۰  | ۰/۳۵۳۳ | ۰/۳۴۲۰ | -۰/۰۰۳۱ | ۱/۰۳۵۴ |
| ۱۳۸۵ | -۰/۰۰۰۴ | ۰/۳۶۹۰ | ۰/۳۸۳۷ | -۰/۰۰۱۳ | ۰/۹۶۰۶ |
| ۱۳۸۸ | -۰/۰۰۳۲ | ۰/۳۹۲۵ | ۰/۴۰۴۱ | -۰/۰۰۷۰ | ۰/۹۷۱۳ |
| ۱۳۹۱ | ۰/۰۰۵۰  | ۰/۳۵۷۱ | ۰/۳۵۵۶ | ۰/۰۱۷۲  | ۱/۰۰۵۴ |

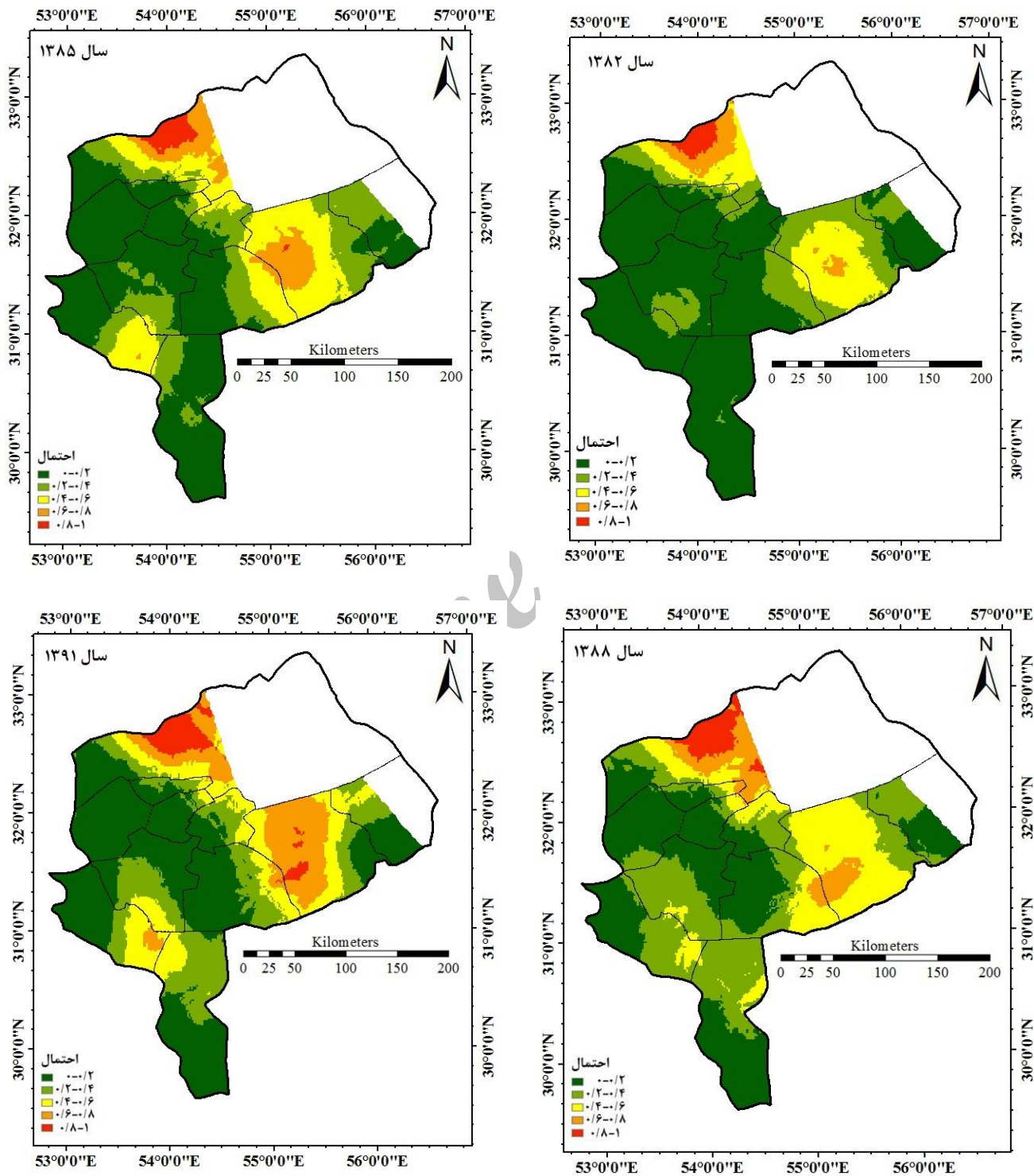
(۱/۰۳-۰/۹۶) و مقادیر MSE و ME نیز بسیار کوچک و نزدیک صفر هستند.

از نتایج ارزیابی متقابل می‌توان نتیجه گرفت که همه

نتایج ارزیابی متقابل در روش کریجینگ شاخص در جدول ۶ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد مقدار RMSSE در هر چهار سال مطالعه‌شده نزدیک به یک است

احتمال  $0.2-0.4$ ،  $0.4-0.6$ ،  $0.6-0.8$  و  $0.8-1$  طبقه‌بندی و رسم شده (شکل ۵) و نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است.

نقشه‌های احتمالاتی تولیدشده به‌خوبی و با دقت مناسبی وضعیت شوری منابع آب زیرزمینی استان یزد را نشان می‌دهند. نقشه‌های احتمالاتی شوری در پنج کلاس با



شکل ۵. نقشه‌های احتمالاتی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی استان یزد

توانسته است وضعیت شوری منابع آب زیرزمینی این دشت را نشان دهد.

#### تحلیل روند

به‌منظور بررسی روند تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد طی دوره آماری ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ ابتدا مساحت‌های هر کلاس شوری را برای همه سال‌ها محاسبه و سپس از آزمون‌های آماری من- کندال و تخمینگر شیب سن استفاده شده است. جدول‌های ۸ و ۹ نتایج آزمون‌های تحلیل روند من- کندال و سن پارامتر شوری آب زیرزمینی استان یزد را برای دو فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد.

نتایج آزمون من- کندال برای فصل تابستان نشان می‌دهد (جدول ۸) مساحت مناطقی با هدایت الکتریکی آب زیرزمینی کمتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر در طول دوره آماری روند منفی معنادار در سطح پنج درصد داشته و مساحت مناطقی با هدایت الکتریکی بیش از ۱۲ دسی‌زیمنس روند مثبت معنادار در سطح یک درصد دارد که نشان‌دهنده افزایش شوری و کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی استان یزد در دهه گذشته است. در آزمون تخمینگر شیب سن نیز بیشترین شیب مثبت مختص به شوری بیش از ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۳۲۱/۰۰۵) و بیشترین شیب منفی متعلق به شوری کمتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر (۶۶۷/۲۰۰-) است.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد در سال ۱۳۸۲ تنها ۵/۲ درصد از منابع آب زیرزمینی با احتمال بیشتر از ۶۰ درصد شوری بیش از آستانه داشته است که این مقدار طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ روند افزایشی معناداری داشته است (براساس آزمون ناپارامتری من- کندال) به طوری که در سال ۱۳۹۱، ۱۶/۲ درصد (تقریباً سه برابر) از آب‌های زیرزمینی استان یزد با احتمال قوی (۰/۶- ۱) دچار شوری بیش از آستانه شده است. ادامه این وضعیت می‌تواند تولید پسته در استان یزد را که منبع اصلی معیشت مردم این منطقه است با خطر جدی مواجه سازد. همان‌طور که از این نقشه‌ها پیداست سال ۱۳۸۱ (بهترین سال از نظر شوری در روش کریجینگ معمولی) کمترین اراضی با بیشترین احتمال شوری آب زیرزمینی را داشته و مناطقی با بیشترین احتمال شوری در شمال و مرکز شهرستان اردکان و مرکز شهرستان بافق دیده می‌شود. در سال ۱۳۹۱ (بدترین سال از نظر شوری در روش کریجینگ معمولی) نیز وسعت شوری با احتمالاً بیش از ۶۰ درصد افزایش یافته است. این امر نشان‌دهنده شورشیدن منابع آب زیرزمینی استان یزد طی دوره مطالعه شده است. به‌طور کلی، هر دو روش کریجینگ معمولی و شاخص توانسته‌اند وضعیت شوری منابع آب زیرزمینی استان یزد را با دقت مناسبی به تصویر بکشند، ولی روش کریجینگ شاخص با دقت بیشتری

جدول ۷. مساحت محدوده‌های احتمالاتی شوری بیش از حد آستانه (۸ دسی‌زیمنس بر متر) برحسب درصد

| سال  | ۰-۰/۲ | ۰/۲-۰/۴ | ۰/۴-۰/۶ | ۰/۶-۰/۸ | ۰/۸-۱ |
|------|-------|---------|---------|---------|-------|
| ۱۳۸۲ | ۶۳/۲  | ۱۸/۸    | ۱۲/۸    | ۳/۶     | ۱/۶   |
| ۱۳۸۵ | ۴۸/۹  | ۲۲/۴    | ۱۹/۴    | ۷/۴     | ۱/۹   |
| ۱۳۸۸ | ۳۸/۱  | ۳۲/۱    | ۲۰/۰    | ۶/۶     | ۳/۲   |
| ۱۳۹۱ | ۴۵/۶  | ۲۱/۷    | ۱۶/۵    | ۱۲/۶    | ۳/۶   |

جدول ۸. نتایج آزمون من- کندال و سن در بررسی روند تغییرات شوری آب زیرزمینی استان یزد- فصل تابستان

| محدوده EC    | آزمون من- کندال |              | تخمینگر شیب سن |          |
|--------------|-----------------|--------------|----------------|----------|
|              | Test Z          | Significant. | Q              | B        |
| dS/m ۸-۰     | -۲/۴۹           | *            | -۶۶۷/۲۰۰       | ۴۸۷۸۶/۶۵ |
| dS/m ۱۲-۸    | ۱/۰۹            | ns           | ۲۷۷/۱۵۰        | ۱۰۰۴۰/۷۴ |
| dS/m ۱۲ EC > | ۲/۹۶            | **           | ۳۲۱/۰۰۵        | ۱۴۹۰/۳۳  |

$$f(\text{year}) = Q * (\text{year} - \text{first data year}) + B$$

۱۳۸۲ first data year:

تابع تخمینگر شیب سن

ns, \*, \*\*, \*\*\* به ترتیب بیانگر عدم روند معنادار و روند معنادار در سطح احتمال پنج، یک و یک دهم درصد

جدول ۹. نتایج آزمون من-کندال و سن در بررسی روند تغییرات شوری آب زیرزمینی استان یزد- فصل زمستان

| محدوده EC    | آزمون من-کندال |              | تخمینگر شیب سن |          |
|--------------|----------------|--------------|----------------|----------|
|              | Test Z         | Significant. | Q              | B        |
| dS/m ۸-۰     | -۱/۹۷          | *            | -۷۷۰/۲۹۹       | ۵۱۳۱۶/۴۶ |
| dS/m ۱۲-۸    | ۱/۰۷           | ns           | ۴۹۶/۳۲۷        | ۳۹۳۱/۱۸  |
| dS/m ۱۲ EC > | ۲/۵۰           | *            | ۲۹۰/۴۸۷        | ۵۳۲/۹۴   |

$f(\text{year}) = Q * (\text{year} - \text{first data year}) + B$   
 ۱۳۸۲ first data year:

تابع تخمینگر شیب سن

ns. \*, \*\*, \*\*\* به ترتیب بیانگر عدم روند معنادار و روند معنادار در سطح احتمال پنج، یک و یک دهم درصد

نتایج ارزیابی متقابل نیز دقت خوب و مناسب نقشه‌های تولیدی با هر دو روش کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص را برای همه سال‌های مطالعه شده، نشان می‌دهد. براساس نتایج نقشه‌های تولید شده با روش کریجینگ معمولی مشخص شد که در سال ۱۳۸۲ تنها مساحت محدودی از منابع آب زیرزمینی دو منطقه یکی در شمال شهرستان اردکان و دیگری در شهرستان بافق (محدوده کویر در انجیر) شوری بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر داشتند، این در حالی است که در سال ۱۳۹۱ علاوه بر گسترش مساحت شوری آب‌های زیرزمینی و افزایش غلظت شوری در شهرستان بافق و اردکان، منابع آب زیرزمینی شهرستان‌های تفت و ابرکوه (محدوده کویر ابرکوه) نیز با افزایش شوری مواجه شده است. به‌طور کلی، نقشه‌های پهنه‌بندی افزایش و گسترش اراضی با شوری آب زیرزمینی بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر را از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. در سال ۱۳۸۲، تنها ۸/۵ درصد از اراضی استان یزد آب زیرزمینی با شوری بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر داشته که این مقدار در سال ۱۳۹۱ به بیش از ۲/۵ برابر رسیده است (۲۳/۵ درصد). نقشه‌های تولید شده با روش کریجینگ شاخص با مقدار آستانه شوری آب زیرزمینی ۸ دسی‌زیمنس بر متر (آستانه کاهش عملکرد پسته) نیز از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ وجود یک روند افزایشی در وسعت شوری منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۸۲ تنها ۵/۲ درصد از منابع آب زیرزمینی با احتمال بیشتر از ۶۰ درصد شوری بیش از آستانه داشته است که این مقدار در سال ۱۳۹۱، به ۱۶/۲ درصد (تقریباً سه برابر) رسیده است. شرایط موجود بیانگر ضرورت به‌کارگیری تصمیمات سریع مدیریتی در جهت کاهش وخامت وضعیت آب زیرزمینی استان یزد است.

نتایج آزمون من-کندال و سن برای فصل زمستان در جدول ۹ ارائه شده است. همان‌طور که از این نتایج پیداست مساحت شوری کمتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر در طول دوره آماری مطالعه شده روند منفی معنادار در سطح پنج درصد دارد. مساحت شوری (هدایت الکتریکی) محدوده ۸-۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بدون روند و مساحت بیش از ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر روند مثبت معنادار در سطح پنج درصد را دارند. بیشترین شیب مثبت نیز مختص به محدوده‌های هدایت الکتریکی ۸ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۴۹۶/۳۲۷) است.

به‌طور کلی، نتایج دو آزمون تحلیل روند من-کندال و سن بیانگر کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی استان یزد در دهه گذشته است که این امر می‌تواند در این منطقه، ناشی از افت شدید سطح منابع آب زیرزمینی به‌دلیل بهره‌برداری‌های غیراصولی در دهه اخیر از منابع آب زیرزمینی و مجاورت اراضی کشاورزی و باغ‌های تحت کشت پسته با کفه‌های نمکی و کویرها باشد که به پیشروی آب‌های زیرزمینی شور از سمت کفه‌های نمکی به سمت منابع آب شیرین منجر شده و کاهش کیفیت منابع آب شیرین استان را به‌دنبال داشته است.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای بررسی ساختار مکانی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی استان یزد، بهترین مدل سمی‌واریوگرام برای همه سال‌های مطالعه شده در هر دو روش کریجینگ معمولی و شاخص از میان ۱۱ مدل پیشنهادی GIS برازش داده شده انتخاب شد. وابستگی مکانی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی این استان در کلاس متوسط قرار دارد.

## منابع

- [1]. Habibi V, Ahmadi A, Fattahi MM. Modeling spatial variability of groundwater chemical properties using geostatistical methods. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 2009; 3(7): 23-34. [Persian].
- [2]. El-Fadel M, Tomaszewicz M, Adra Y, Sadek S, Najm MA. GIS-based assessment for the development of a groundwater quality index towards sustainable aquifer management. *Water Resources Management*. 2014; 28(11): 3471-3487.
- [3]. Delbari M, Afrasiab P. Application of indicator and ordinary kriging for modeling of groundwater chloride. *Journal of Environmental Studies*. 2014; 40(3): 751-764. [Persian].
- [4]. Ahmadpour H, Khaledian MR, Ashrafzadeh A, Rezaei M. Spatial and temporal mapping of groundwater electrical conductivity and total dissolved solids in Guilan plain. *Water Research in Agriculture*. 2014; 28(3): 667-676. [Persian].
- [5]. Chen L, Feng Q. Geostatistical analysis of temporal and spatial variations in groundwater levels and quality in the Minqin oasis, Northwest China. *Environmental Earth Sciences*. 2013; 70(3): 1367-1378.
- [6]. Taghizadeh Mehrjardi R, Zareian Jahromi M, Mahmodi S, Heidari A. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain). *Journal of World Applied Sciences*. 2008; 4(1): 09-17.
- [7]. Heidary-Alamdarlo E, Barabadi H, Toloie S. Evaluating quality of ground water resources for irrigation, Roudab Plain, Sabzevar. *Renewable Natural Resources Research Journal*. 2013; 4(2): 1-12. [Persian].
- [8]. Nas B, Berkday A. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010; 160(1-4): 215-227.
- [9]. Jafari R, Bakhshandehmehr L. Analyzing the spatial variations of groundwater salinity and alkalinity in Isfahan province using geostatistics. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 2014; 18 (68) :183-195. [Persian].
- [10]. Mahmoodifard Z, Nazemi AH, Sadraddini AA, Shahbazi F. Assessment of spatial and temporal distribution of groundwater salinity and alkalinity using ordinary kriging; case study: Ardabil plain aquifer. *Agriculture Science Developments*. 2014; 3(7): 244-250.
- [11]. Bameri A, Piri H, Ganji F. Assessment of groundwater pollution in Bajestan plains for agricultural purposes using indicator kriging. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2015; 22(1): 211-229. [Persian].
- [12]. Arslan H. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: the case of Bafra Plain, Turkey. *Agricultural Water Management*. 2012; 113: 57-63.
- [13]. Dash JP, Sarangi A, Singh DK. Spatial variability of groundwater depth and quality parameters in the national capital territory of Delhi. *Environmental Management*. 2010; 45(3): 640-650.
- [14]. Delbari M, Amiri M, Motlagh M. Assessing groundwater quality for irrigation using indicator kriging method. *Applied Water Science*. 2014; doi:10.1007/s13201-014-0230-6.
- [15]. Osati K, Salajegheh A, Areki S. Spatial variation of nitrate concentrations in groundwater by Geostatistics (Case Study: Kurdan Plain). *Journal of Natural Environment*. 2013; 65(4): 461-472. [Persian].
- [16]. Hu K, Huang Y, Li H, Li B, Chen D, White RE. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Environment International*. 2005; 31(6): 896-903.
- [17]. Iran meteorological organization, <http://www.irimo.ir>, 2015. [Persian].
- [18]. Johnston K, Ver Hoef JM, Krivoruchko K, Lucas N. Using ArcGIS geostatistical analyst (Vol. 380): Esri Redlands. 2001.
- [19]. Ashrafzadeh, A. River flow simulation using non-parametric methods. PhD dissertation. University of Tehran. [Persian].
- [20]. Goovaerts P. *Geostatistics for natural resources evaluation*: Oxford University Press. London. 1997.
- [21]. Journel AG, Huijbregts Ch J. *Mining geostatistics*: Academic press. New York. USA. 1978.
- [22]. Neshat A, Zeinadini A. Investigation effect of the developing salinity water on the quality of irrigation water and soils physicochemical characteristics of pistachio cultivation of Sirjan area. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2014; 15(2): 13-22. [Persian].