

## مقایسه دقت روش‌های مختلف زمین‌آمار در ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای استفاده‌های کشاورزی (مطالعه موردی: آبخوان دشت بهبهان)

۱- ساره مزارعی بهبهانی\*، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی  
sareh\_mazarei@yahoo.com

۲- سید زین‌العابدین حسینی، استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۳- سیدعلی المدرسی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۵

پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۱

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت بهبهان با استفاده از زمین‌آمار و مقایسه‌ی روش‌های مختلف زمین‌آمار و نیز تهیه‌ی نقشه‌ی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصرف کشاورزی در دشت بهبهان انجام شد. داده‌های مربوط به نمونه‌برداری از ۲۰ حلقه‌ی چاه انتخابی موجود در آبخوان این دشت طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۲ جمع‌آوری گردید. پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی، مدل مناسب جهت برازش به واریوگرام تجربی با استفاده از روش ارزیابی متقابل و بر اساس کمترین مقدار RMSE انتخاب شد. در ادامه، از سه روش درون‌یابی معکوس فاصله وزنی (IDW)، کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) و کوکریجینگ معمول (Ordinary Cokriging)، جهت پیش‌بینی پارامترهای کیفی استفاده شد. بهترین روش درون‌یابی با استفاده از روش ارزیابی متقابل و بر اساس کمترین مقدار RMSE، روش کوکریجینگ معمول تشخیص داده شد. سپس لایه‌های مربوط به پارامترهای EC و SAR بر مبنای طبقه‌بندی ویلکوکس با استفاده از روش‌های فازی و تبدیل مقیاس خطی، استانداردسازی شدند. همچنین جهت وزن‌دهی پارامترها از روش سلسله مراتبی فازی (Fuzzy AHP) استفاده شد. در نهایت با استفاده از روش هم‌پوشانی شاخص، نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب جهت مصرف کشاورزی به دست آمد. نتایج نشان داد ۳۳٪ از سطح منطقه‌ی مورد مطالعه دارای وضعیت مناسب، ۳۴٪ دارای وضعیت متوسط و ۳۳٪ دارای وضعیت نامناسب جهت مصرف کشاورزی می‌باشند.

**واژگان کلیدی:** معکوس فاصله وزنی، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ معمولی، سلسله مراتبی فازی، هم‌پوشانی شاخص

### مقدمه

زمینه‌ی موقعیت، مقدار و پراکنش عوامل شیمیایی آب در یک منطقه‌ی جغرافیایی معین می‌باشد. انتخاب و دقت روش‌های مناسب پهنه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی بستگی به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی در آن دارد، که انتخاب صحیح آن‌ها گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به‌شمار می‌رود (Shabani, 2008). از آن‌جا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی عامل‌های کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی

بخشی از چرخه‌ی آب در طبیعت در زیر سطح زمین صورت می‌گیرد که منابع آب‌های زیرزمینی یکی از اجزای آن محسوب می‌شود (Alizadeh, 2008). امروزه با پیشرفت صنایع، افزایش جمعیت و عدم کنترل مناسب زیست محیطی، خطرات زیادی از نظر آلودگی آب‌ها وجود دارد. بنابراین با شناخت ویژگی‌های کیفی آب می‌توان برای بهره‌برداری هر چه بهتر از منابع آب یک منطقه برنامه‌ریزی کرد. مدیریت بهینه‌ی منابع آبی، حفظ و ارتقای کیفیت آن‌ها، نیازمند به وجود داده‌هایی در

با توجه به این که غالباً معیارهای پهنه‌بندی در هر پروژه زیاد و دارای ارزش یکسانی نمی‌باشند، لذا برای در نظر گرفتن اهمیت معیارها و لحاظ کردن مستقیم آن‌ها در پهنه‌بندی به‌منظور تدقیق کار، ناچار به وزن‌دهی معیارها می‌باشیم. برای این منظور از روش سلسله مراتبی فازی استفاده می‌شود.

پتانسیل‌یابی منابع آب کارستی با استفاده از داده‌های ارتفاعی رادار پرداختند و با تلفیق لایه‌های مؤثر بر پتانسیل کارستی‌شدگی و اعمال وزن‌های نهایی پارامترها، در محیط GIS اقدام به ناحیه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه کردند.

Pirmoradi et al., 2010، از روش AHP برای تعیین مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در GIS استفاده کردند. در نهایت ۹ منطقه معرفی شدند که در قالب یک نقشه به ترتیب اولویت ارائه شدند.

اهداف این پژوهش عبارتند از:

- ۱) بررسی توزیع مکانی پارامترهای کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت بهبهان با استفاده از زمین‌آمار و مقایسه‌ی روش‌های مختلف زمین‌آمار، و
- ۲) تهیه‌ی نقشه‌ی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصرف کشاورزی در منطقه‌ی مورد مطالعه.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مطالعاتی

محدوده‌ی مطالعاتی آبخوان دشت بهبهان با مساحتی حدود ۴۳۰ کیلومتر مربع و مختصات جغرافیایی ۱۹° ۴۰' تا ۳۰° ۳۵' ۴۵' عرض شمالی و ۵۶° ۴' ۵۰' تا ۳۰° ۴۹' ۲۳' طول شرقی، در بخش جنوب شرقی استان خوزستان واقع شده است.

اقلیم محدوده‌ی مطالعاتی به روش دومارتن، نیمه خشک تعیین شده است. متوسط سالانه ریزش‌های جوی در مناطق کوهستانی ۵۷۹/۲ میلی‌متر و در ناحیه‌ی دشت ۴۵۰/۲ میلی‌متر، حداقل مطلق درجه حرارت ۱/۵- درجه سانتی‌گراد و حداکثر مطلق آن ۵۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۵۶۰ متر و حداقل آن ۲۵۷ متر است (شکل ۱).

نبوده، بنابراین از زمین‌آمار به‌عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود (Madani, 1994).

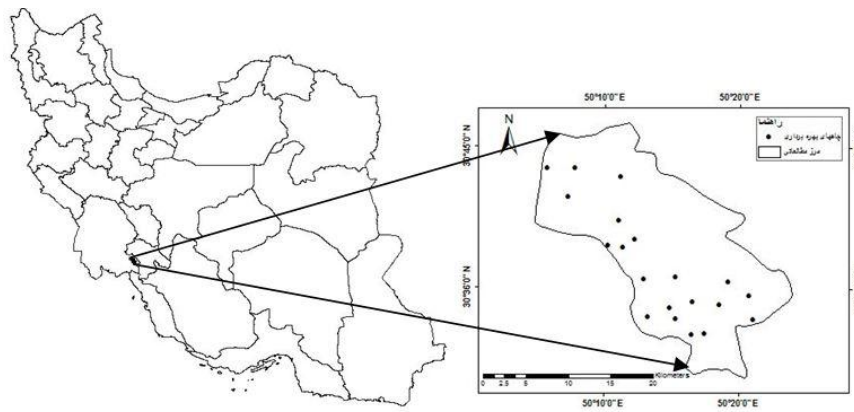
در زمینه‌ی ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار مطالعات متعددی در ایران و خارج از ایران صورت گرفته‌است. به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات Sadat-Bilgehan & Berkday, 2010، Nori et al., 2014، Ahmadpoor et al., 2013، Fetouani et al., 2008، Osati et al., 2013، Salajegheh et al., 2013، Sheikh Goodarzi et al., Ghomeshion et al., 2012، Rostami Khalaj et al., 2012، al., 2012، Mohammadi et al., و Ghafoori et al., 2011 اشاره کرد.

Adhikary et al., 2011 در تحقیقی کیفیت آب زیرزمینی در حومه‌ی شهر دهلی هندوستان را به‌منظور آبیاری و شرب با استفاده از GIS و ژئواستاتستیک مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی برای تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی پارامترهای کیفی آب شامل: SAR، HCO<sub>3</sub>، EC، نسبت Mg به Cl، TDS، Ca، نترات و سختی آب استفاده شد. مدل واریوگرام کرووی برای دو پارامتر کیفی Cl و سختی آب و در بقیه‌ی موارد مدل نمایی بهترین برازش به داده‌ها نشان داد. نقشه‌های پراکنش شاخص کیفی آب آبیاری و شرب مساحت ۴۷/۲۹ و ۶/۵۴ کیلومتر مربع را مناسب برای آبیاری و شرب نشان می‌داد.

Delgado et al., 2010، به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی یوکاتان مکزیک برای آبیاری پرداختند و در آن از پارامترهای شوری مؤثر و شوری بالقوه بهره گرفتند.

Khomr et al., 2011، در بررسی کیفیت منابع آب در منطقه‌ی معدنی کوه‌زر در غرب تربت‌حیدریه بر اساس نمودار ویل کاکس، کیفیت آب منطقه را جهت مصرف کشاورزی نامناسب معرفی نمودند.

Hooshmand et al., 2011، برای تخمین پارامترهای کیفی SAR و Cl در آب زیرزمینی از روش درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده‌ی دقت بالای روش کوکریجینگ نسبت به کریجینگ بود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعاتی

### مواد و ابزار تحقیق

فضائی پارامتر مورد تخمین است که ساختار فضائی پارامتر موردنظر به وسیله‌ی واریوگرام بررسی می‌شود. واریانس فاصله‌ی بین نقاط در یک ساختار فضایی طبیعی را که وابستگی بین نقاط را نشان می‌دهد، واریوگرام گویند. بعد از محاسبه و رسم نیم تغییرنمای تجربی لازم است یک مدل تئوری بر آن برازش داده شود.

در این پژوهش سه مدل واریوگرام Spherical، Gaussian و Exponential به هر پارامتر برازش داده شد و در نهایت مدل واریوگرام مناسب انتخاب شد. در ادامه، درونیابی به سه روش IDW، Ordinary Kriging و Ordinary Cokriging، و در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 انجام شد و در نهایت مناسب‌ترین روش جهت تهیه‌ی نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی انتخاب شد.

روش IDW بر این اصل استوار است که در یک سطح میان‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف آن نقطه یکسان نیست و نقاط نزدیک، بیشتر و نقاط دور، کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند و هرچه فاصله از مبدأ افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد.

کریجینگ تخمین‌زنی است که مقادیر یک متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده را به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. تخمین‌گر کوکریجینگ همان کریجینگ توسعه‌یافته است که در آن متغیرهای ثانویه نیز لحاظ شده‌اند. با بهره‌گیری از مقادیر متغیر ثانویه یا کمکی و با در اختیار

در ابتدا، نتایج تجزیه‌ی شیمیایی ۲۰ حلقه چاه بهره‌برداری آبخوان دشت بهبهان طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۲ و نقشه‌ی محدوده‌ی مورد مطالعه، از سازمان آب و برق استان خوزستان اخذ گردید و نقشه‌ی چاه‌های آب منطقه‌ی مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 تهیه شد.

### نرمال‌سازی داده‌ها

به منظور استفاده از روش‌های درونیابی زمین‌آمار، داده‌ها باید به صورت نرمال توزیع شده باشند. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها آزمون‌های شاپیرو-ویلک و کلموگراف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

### تحلیل‌های زمین‌آمار

نخستین تجربه‌های به کارگیری روش‌های زمین‌آمار به مفهوم امروزی آن از حدود ۵۰ سال پیش بر اساس نظریات دی. جی. کریج مهندس معدن اهل آفریقای جنوب مبنی بر وجود نوعی رابطه‌ی همبستگی بین بخش‌های کم‌عیار و پرعیار در یک قطعه‌ی معدنی آغاز شد (Kardan Moghaddam & Khashei Siuki, 2012).

امروزه زمین‌آمار به عنوان شاخه‌ای از علم آمار کاربردی محسوب شده و دربرگیرنده‌ی مجموعه روش‌های آماری به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی می‌باشد (Cressie, 1991). تحلیل‌های زمین‌آمار در سه مرحله‌ی واریوگرافی، ارزیابی مدل و مدل‌های تخمین انجام شد. هدف از انجام واریوگرافی، شناخت و مدل‌سازی ساختار

### وزن‌دهی

میزان اهمیت نقشه‌های معیار جهت رسیدن به نقشه‌ی نهایی (خروجی) دارای اهمیت یکسانی نمی‌باشند. از این‌رو لازم است نقشه‌های معیار، امتیازدهی و یا به‌عبارت دیگر وزن‌دهی شوند.

در این پژوهش برای محاسبه‌ی وزن معیارها، پس از تهیه‌ی نمودار سلسله‌مراتبی، از کارشناسان مربوط درخواست شد تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه کنند و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند. در نهایت، اعداد فازی در برنامه‌ی نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB وارد شده و وزن معیارها به‌دست آمد.

### هم‌پوشانی

هم‌پوشانی یکی از توابع مکانی است که می‌تواند لایه‌های داده‌های مکانی را که از منابع مجزا به‌دست آمده‌اند، به‌منظور کاربردهای مکان‌یابی با استفاده از مدل‌های ترکیبی با یکدیگر تلفیق کند. لایه‌ی جدید (خروجی) به‌صورت تابعی از دو یا چند لایه‌ی ورودی می‌باشد. مدل‌های ترکیبی بر اساس روش‌های اجرایی در چندین گروه تقسیم می‌شود. به‌طور مثال عملگرهای بولین، عملگرهای حسابی، عملگرهای فازی، روش‌های احتمالاتی، هم‌پوشانی شاخص، الگوریتم ژنتیک. در این پژوهش از روش هم‌پوشانی شاخص استفاده شده است.

### طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی

مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. در این پژوهش از روش ویل‌کوکس جهت طبقه‌بندی آب کشاورزی استفاده شده است.

در این طبقه‌بندی دو عامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) در نظر گرفته می‌شود و هر یک از آن‌ها به چهار قسمت تقسیم شده که در مجموع، باعث پدید آمدن شانزده گروه کیفیت آب می‌گردد (جدول ۱) (Mahdavi, 2002).

داشتن اطلاعات مربوط به همبستگی دو جانبه بین متغیرها می‌توان تخمین مناسب و دقیق‌تری از متغیر اصلی به‌دست آورد. روش ماتریس همبستگی روشی مناسب جهت انتخاب متغیر ثانویه می‌باشد که برای این هدف از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است.

### روش ارزیابی صحت

روش‌های مختلفی برای اعتبارسنجی مدل‌های وارویگرام و روش‌های درون‌یابی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، روش اعتبارسنجی تقاطعی می‌باشد. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای، با به‌کارگیری روش یا مدل مورد نظر، تخمین انجام می‌گیرد و سپس مقدار تخمین با مقدار مشاهده‌ای مقایسه می‌گردد.

معیارهای مختلفی برای مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده وجود دارد که کاربردی‌ترین آن‌ها عبارتند از: میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطا (RMSE). در این تحقیق بدین منظور از معیار RMSE استفاده شده است.

### استانداردسازی

با توجه به این‌که در اندازه‌گیری صفات، دامنه‌ی متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر همین اساس لازم است ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف نقشه‌ی معیار به واحدهای قابل مقایسه و در تناسب با هم تبدیل شوند (Malczewski, 1999).

به‌منظور قابل مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری باید از بی مقیاس کردن یا همان استانداردسازی استفاده نمود (Asgharpoor, 2006).

انواع روش‌های استانداردسازی عبارتند از: تبدیل مقیاس خطی، رویکرد مبتنی بر ارزش یا مطلوبیت، احتمالات و روش فازی.

در این پژوهش از روش‌های تبدیل مقیاس خطی و فازی به‌ترتیب برای استانداردسازی لایه‌های SAR و EC استفاده شده است.

در روش Ordinary Kriging، مدل مناسب جهت برازش به واریوگرام تجربی با استفاده از روش ارزیابی متقابل و بر اساس کم‌ترین مقدار RMSE، برای هر دو پارامتر EC و SAR، مدل Exponential می‌باشد. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر RMSE حاصل از ارزیابی متقابل مدل‌های Ordinary Kriging، Spherical و Exponential در روش Gaussian

	Spherical	Exponential	Gaussian
EC	۱۰۸۳/۰۳۴	۱۰۶۹/۱۹۴	۱۱۰۰/۳۷۵
SAR	۱/۲۵۴	۱/۲۳۲	۱/۳۰۴

پس از بررسی ماتریس همبستگی در نرم افزار spss، پارامتری که بالاترین ضریب همبستگی را دارد به عنوان متغیر کمکی جهت استفاده در روش درونیابی Ordinary Cokriging انتخاب می‌شود.

با توجه به نتایج جدول ۴، متغیرهای CI و TDS به ترتیب به عنوان متغیر کمکی جهت پیش‌بینی متغیرهای SAR و EC انتخاب شدند.

جدول ۴- ماتریس همبستگی بین متغیرها

	SO <sub>4</sub>	Cl	TDS	TH	SAR	EC	Na
SO <sub>4</sub>	۱	۰/۵۳۸*	۰/۹۰۲**	۰/۹۸۳**	۰/۲۷۵	۰/۹۰۱**	۰/۶۱۷**
Cl	۰/۵۳۸*	۱	۰/۸۱۲**	۰/۵۷۱**	۰/۹۱۳**	۰/۸۳۶**	۰/۹۸۱**
TDS	۰/۹۰۲**	۰/۸۱۲**	۱	۰/۹۱۲**	۰/۵۶۸**	۰/۹۸۹**	۰/۸۵۳**
TH	۰/۹۸۳**	۰/۵۷۱**	۰/۹۱۲**	۱	۰/۲۹۵	۰/۹۱۴**	۰/۴۶۰*
SAR	۰/۲۷۵	۰/۹۱۳**	۰/۵۶۸**	۰/۲۹۵	۱	۰/۶۰۸**	۰/۸۹۷**
EC	۰/۹۰۱**	۰/۸۳۶**	۰/۹۸۹**	۰/۹۱۴**	۰/۶۰۸**	۱	۰/۸۷۴**
Na	۰/۶۱۷**	۰/۹۸۱**	۰/۸۵۳**	۰/۶۲۸**	۰/۸۹۷**	۰/۸۷۴**	۱

\* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

\*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

جدول ۱- معیارهای کیفیت آب کشاورزی طبق نظر ویل کوکس

رد	SAR	رد	EC	کیفیت آب
S <sub>1</sub>	SAR < ۱۰	C <sub>1</sub>	250 > EC	خیلی خوب
S <sub>2</sub>	۱۰ < SAR < 18	C <sub>2</sub>	۲۵۰ < EC < 750	خوب
S <sub>3</sub>	۱۸ < SAR < 26	C <sub>3</sub>	۷۵۰ < EC < 2250	متوسط
S <sub>4</sub>	SAR > ۲۶	C <sub>4</sub>	2250 < EC	نامناسب

## نتایج

نتایج آزمون‌های شاپیرو- ویلک و کلموگراف- اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به مقادیر سطح معنی‌داری که در هر دو آزمون بیش‌تر از ۰/۵٪ شده است، فرض نرمال بودن توزیع متغیرها تأیید می‌شود.

جدول ۲- نتایج آزمون‌های شاپیرو- ویلک و کلموگراف- اسمیرنوف

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SAR	۰/۱۷۹	۲۰	۰/۰۹۲	۰/۹۲۸	۲۰	۰/۱۴۰
EC	۰/۱۶۲	۲۰	۰/۱۷۷	۰/۹۵۸	۲۰	۰/۵۰۱

مناسب‌ترین روش درون‌یابی، روش Ordinary Cokriging می‌باشد.

جدول ۶- مقادیر RMSE حاصل از ارزیابی متقابل

روش‌های IDW, Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging	IDW	Ordinary Kriging	Ordinary Cokriging
EC	۱۰۷۸/۳۴۵	۱۰۶۹/۱۹۴	۸۸۲/۱۰۴
SAR	۱/۱۹۴	۱/۲۳۲	۱/۰۲۶

Dagostion et al., 1998 در مطالعه‌ای که در زمینه‌ی متغیر مکانی و زمانی نیتريت آب زیرزمینی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ از دقت بالاتری نسبت به کریجینگ جهت تخمین غلظت نیتريت برخوردار است. شکل ۲، واریوگرام‌های متقابل پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. هر واریوگرام ساختار فضایی داده‌ها را نمایش می‌دهد.

در روش Ordinary Cokriging، مدل مناسب جهت برازش به واریوگرام تجربی با استفاده از روش ارزیابی متقابل و بر اساس کم‌ترین مقدار RMSE، برای هر دو پارامتر EC و SAR، مدل Exponential می‌باشد. جدول ۵ نتایج مربوطه را نشان می‌دهد.

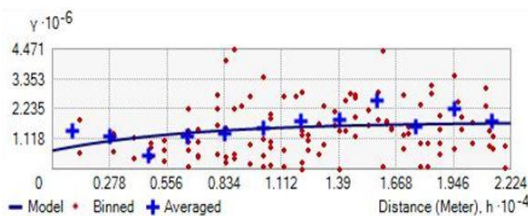
جدول ۵- مقادیر RMSE حاصل از ارزیابی متقابل مدل‌های

Ordinary Spherical و Exponential، Gaussian در روش Ordinary

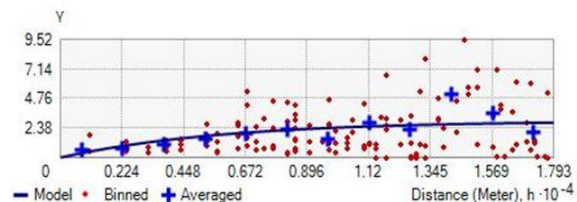
	Cokriging		
	Spherical	Exponential	Gaussian
EC	۹۲۶/۷۹۵	۸۸۲/۱۰۴	۱۰۶۶/۳۲۱
SAR	۱/۰۸۷	۱/۰۲۶	۱/۲۵۳

در نهایت مناسب‌ترین روش درون‌یابی از بین روش‌های IDW، Ordinary Kriging و Ordinary Cokriging، با استفاده از روش ارزیابی متقابل و بر اساس کم‌ترین مقدار RMSE انتخاب می‌شود که نتایج آن در جدول ۶، ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده

### EC-TDS



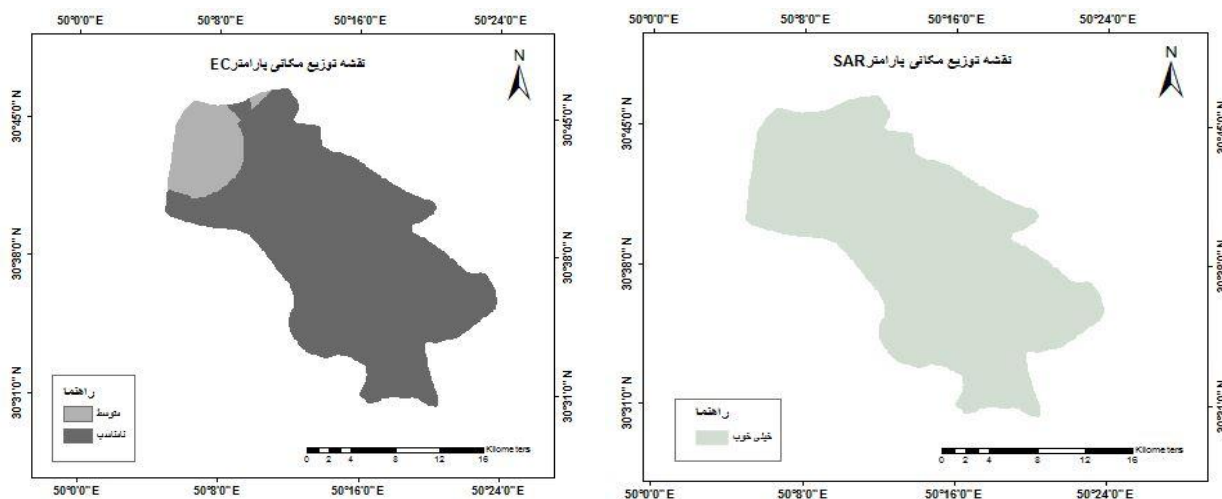
### SAR-CI



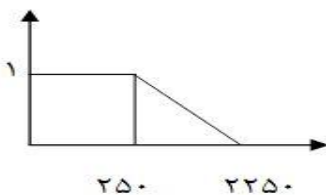
شکل ۲- واریوگرام‌های متقابل کیفیت آب زیرزمینی

می‌گیرد. بنابراین منابع آب‌های زیرزمینی منطقه از نظر مقدار SAR برای مصرف کشاورزی مناسب هستند. جهت استانداردسازی لایه‌ی SAR با توجه به این که میزان پارامتر کیفی SAR محدودیتی از لحاظ مصرف کشاورزی ندارد، از روش تبدیل مقیاس خطی استفاده شده است. همچنین جهت استانداردسازی لایه‌ی EC با توجه به این که میزان پارامتر کیفی EC جهت مصرف کشاورزی دارای محدودیت می‌باشد، تابع عضویت فازی خطی، برای این لایه تعریف و اعمال گردید (شکل ۴). نتایج استانداردسازی لایه‌های SAR و EC در شکل (۵) مشاهده می‌شوند.

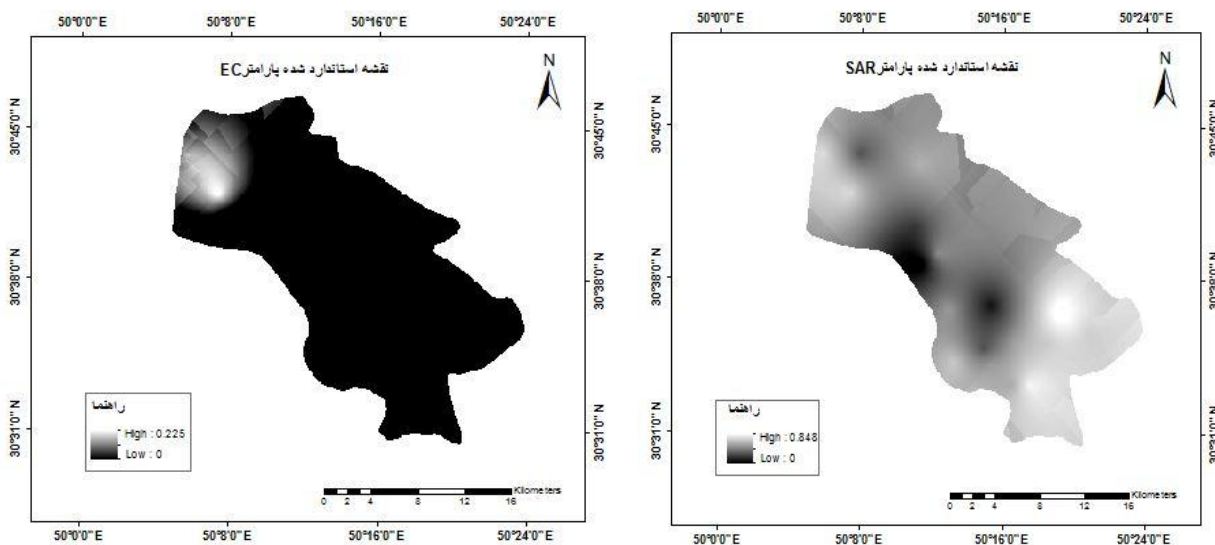
در ادامه، سطوح تخمین با استفاده از روش Ordinary Cokriging برای هر کدام از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی ایجاد شدند (شکل ۳). نقشه‌ی توزیع مکانی پارامتر کیفی EC، نشان می‌دهد که مقدار این پارامتر بر اساس طبقه‌بندی ویل کوکس در تمام قسمت‌های دشت در طبقات متوسط و نامناسب قرار می‌گیرد و مقدار آن در بخش‌های مرکزی و جنوبی دشت به مراتب بیشتر است. نقشه‌ی توزیع مکانی پارامتر کیفی SAR نشانگر این است که مقدار این پارامتر بر اساس طبقه‌بندی ویل کوکس در تمام قسمت‌های دشت در طبقه‌ی خیلی خوب قرار



شکل ۳- نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی



شکل ۴- تابع عضویت فازی خطی پارامتر EC



شکل ۵- نقشه‌های استاندارد شده پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

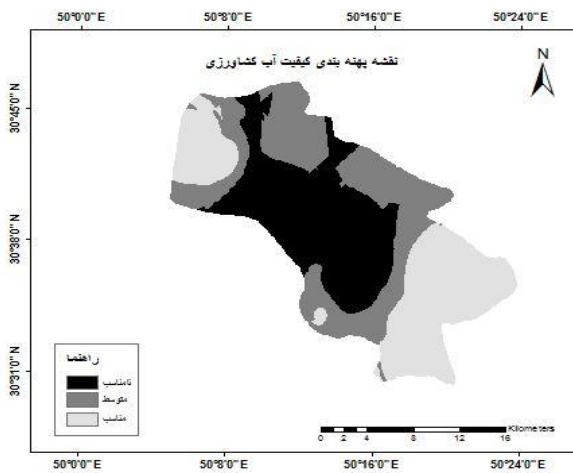
در نهایت، با استفاده از روش هم‌پوشانی شاخص، لایه‌ها روی هم‌گذاری شدند (شکل ۶). نتایج نشان می‌دهند که بخش‌های شمالی و جنوبی دشت دارای کیفیت مناسب، بخش شرقی دارای کیفیت متوسط و بخش مرکزی دارای کیفیت نامناسب منابع آب زیرزمینی جهت مصرف کشاورزی می‌باشند.

در ادامه، همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید، وزن هر معیار با توجه به اعداد فازی اختصاص داده شده به آن و با استفاده از برنامه‌ی نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB، بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به دست آمد (جدول‌های ۷ و ۸ و ۹).

جدول ۷- اعداد فازی مثلثی استفاده شده

اهمیت زبانی	عدد غیر فازی	مقیاس فازی مثلثی	عدد غیر فازی معکوس	مقیاس فازی معکوس
دقیقاً مساوی	۱	(۱, ۱, ۱)	۱	(۱, ۱, ۱)
تقریباً مساوی	۲	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	۰/۵	(۰/۱۶۶, ۱, ۲)
کمی مهم تر	۳	(۱, ۳/۲, ۲)	۰/۳۳	(۰/۱۵, ۰/۱۶۶, ۱)
مهم تر	۴	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	۰/۲۵	(۰/۱۴, ۰/۱۵, ۰/۱۶۶)
خیلی مهم تر	۵	(۲, ۵/۲, ۳)	۰/۱۲	(۰/۳۳, ۰/۱۴, ۰/۱۵)
خیلی خیلی مهم تر	۶	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	۰/۱۷	(۰/۲۹, ۰/۳۳, ۰/۱۴)

جهت مکان‌یابی چاه‌های جدید در منطقه‌ی مورد مطالعه، مورد استفاده قرار بگیرد.



شکل ۶- نقشه‌ی پهنه بندی کیفیت آب کشاورزی

در نهایت پیشنهاد می‌شود:

- ۱) نقش عوامل مختلف هم‌چون سازندهای زمین شناسی و طول مسیر طی شده توسط آب در چگونگی کیفیت منابع آب زیرزمینی بررسی شوند،
- ۲) جهت وزن‌دهی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از دیگر روش‌های وزن‌دهی نظیر AHP BUCKLY استفاده شود و نتایج آن‌ها با روش FAHP مقایسه شود،
- ۳) به منظور ارزیابی بهتر و دقیق‌تر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، پیشنهاد می‌شود که دیگر پارامترهای کیفی آب از قبیل نیترات، آرسنیک، فلوراید و ... مورد مطالعه زمین‌آمارای قرار بگیرند.

جدول ۸- ماتریس مقایسه‌ی زوجی معیارها برای آب کشاورزی

معیار	SAR	EC
SAR	۱	۰/۲۵
EC	۴	۱

جدول ۹- وزن معیارها برای آب کشاورزی

معیار	وزن
EC	۰/۶۶۴۴
SAR	۰/۳۳۵۶

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که از بین روش‌های IDW، Ordinary Kriging و Ordinary Cokriging، روش Ordinary Cokriging، سطوح تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را با دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی، ایجاد می‌کند که با نتایج تحقیقات Hooshmand et al., Salajegheh et al., 2013, Kalivas et Taghizade Mehrjardi, 2009, 2011, Dagostino et Rizzo & Mouser, 2000, al., 2002, Jimyeh et al., 1995, al., 1998، مطابقت داشت. نتیجه‌ی نهایی این پژوهش، نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان جهت مصرف کشاورزی می‌باشد. نتایج نشان داد که ۳۳٪ از سطح منطقه‌ی مورد مطالعه دارای منابع آب زیرزمینی با وضعیت مناسب، ۳۴٪ دارای وضعیت متوسط و ۳۳٪ دارای وضعیت نامناسب جهت مصرف کشاورزی می‌باشند. نتایج این پژوهش می‌تواند توسط سازمان‌های آب و برق و جهاد کشاورزی



## References

- [1] Adhikary, p.p., Dash, C.J., Chandrasekharan, H., Rajput, T.B.S. & Dubey, S.K. (2011). Evaluation of groundwater quality for irrigation and drinking using GIS and geostatistics in a peri-urban area of Delhi(India), Saudi society for geosciences.
- [2] Ahmadpoor, H., Khaledian, M.R., Ashrafzadeh, A. & Rezaei, M. (2013). Assessment of groundwater salinity base for potential and effective salinity parameters (case study: Gilan Plain), Journal of Iranian Water Research, 12, 169-176, (in Farsi).
- [3] Alizadeh, A. (2008). Applied Hydrology. Mashhad: Emam Reza University. (in Farsi).
- [4] Asgharpoor, j. (2006). Multicriteria Decision. Tehran: Tehran University Press. (in Farsi).
- [5] Bilgehan, N., Berkday, A. (2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS, Environ Monit Assess, 160: 215-227.
- [6] Cressie, N. (1991). Statistics for spatial data, John Wiley.
- [7] Dagostion, V., Green, E.A., Passarella, G. & Vurro, M. (1998). Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization, Environmental Geology, 36: 285-295.
- [8] Delgado, C., Pacheco, J., Cabera, A., Batllori, C.E., Orellana, R. & Bautistad, F. (2010). Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment (The case of Yucatan, Mexico), Agricultural Water Management, 97(10): 1423-1433.
- [9] Fetouani, M., Sbaa, M. & Van Clooster, B. (2008). Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Trifta (north east Morocco), Agricultural Water Management.
- [10] Ghafoori, V., Malekpoor, N. & Mardani, A. (2011). Assessment of groundwater quality using geostatistic (case study: Darab Plain), Protection of water and soil resources journal, 1(2), (in Farsi).
- [11] Ghomeshion, M., Malekian, A., Hoseini, Kh., Gharachelo, S. & Khamoushi, M.R. (2012). A survey on spatial variations of groundwater quality in Semnan/Sorkheh Plain using geostatistical techniques, Iranian journal of range and desert research, 19(3), (in Farsi).
- [12] Haibati, Z., Ghodrati, M. & Mirarab, A. (2010). Application of AHP method in search of karst water resources using SRTM data, 14th congress of Iran Geology Community and 28th congress of earth science, University of Uromia, (in Farsi).
- [13] Hooshmand, A., Delghandiz, M., Izadi, A., Ahmad Ali, K. (2011). Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters (African), Journal of Agricultural Research, 6(14), 3402-3408.
- [14] Jimyeh, T.C., Allan, L.G. & Jin, M. (1995). An Iterative Cokriging-Like Technique for ground-water Follow Modling, Groundwater, 33(1).
- [15] Kalivas, D. P., Triantakostas, D.P. & Kollias, V.J. (2002). Spatial Prediction of Two Soil Properties Using Topographic Information, Global Nest the Int, 14(1), 41-49.
- [16] Kardan Moghaddam, H. & Khashei Siuki, A. (2012). Zoning in Water Sciences using Geostatistic. Mashhad: Kavosh Pay Mashhad Co, (in Farsi).
- [17] Khomr, Z., Mahmoodi Gharaei, M.H., Omrani, S. & Sayareh, A. (2011). Assessment of groundwater quality (case study: Kooch Zar in West of Torbat-heidarieh), 4th congress of Iran Economy Geology Community, (in Farsi).
- [18] Madani, H. (1994). Base of Geostatistics. Tehran: University Amirkabir Press. (in Farsi).
- [19] Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis Evaluation Criteria and Criterion Weighting. John Wiley & Sons.
- [20] Mohammadi, M., Mohammadi Ghaleh Nei, M. & Ebrahimi, K. (2011). Temporal and spatial changes in groundwater quality (case study: Ghazvin Plain). Journal of Iranian Water Research, 5(8): 41-52, (in Farsi).
- [21] Mahdavi, M. (2002). Applied Hydrology. Tehran: Tehran University Press. (in Farsi).
- [22] Osati, Kh., Salajegheh, A. & Arekhi, S. (2013). Spatial variation of nitrate concentrations in groundwater by geostatistics (case study: Kurdan Plain), Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 65(4): 461-472, (in Farsi).
- [23] Pirmoradi, R., Nakhaei, M. & Asadian, F. (2010). Determine areas suitable for underground dam using GIS & AHP. Journal of Natural Geography, 8(2): 51-66, (in Farsi).

- [24] Rizzo, D.M., Mouuser, J.M. (2000). Evaluation of Geostatistics for Combined. Hydrochemistry and Microbial Community Fingerprinting at a Waste Disposal.
- [25] Rostami Khalaj, M., Mohseni Saravi, M., Khalighi Sigaroudi & Salmani, H.(2012). Investigation Spatial Distribution of Some Physico-chemical Groundwater Pollutants in Mashhad using Geostatistical Methods. *Journal of Range and Watershed Management*, Iranian Journal of Natural Resources, 65(1), 49-60, (in Farsi).
- [26] Sadat Nori, S.M., Ebrahimi K. & Liaghat, A.M. (2014). Groundwater quality assessment using the water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer (Iran). *Environ Earth So*, 71, 3827-3843.
- [27] Salajegheh, S., Khorasani, N., Mir Hosseini, H. & Zahedi Amiri, Gh. (2013). Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics (case study: Karaj City), *Watershed Management Research (Pajouhesh & sazandegi)*, 100: 57-67, (in Farsi).
- [28] Sheikh Goodarzi, M., Mousavi, S.H. & Khorasani, N. (2012). Imulating Spatial Changes in Groundwater Qualitative Factors Using Geostatistical Methods (case study: Tehran-Karaj Plain), *Journal of Natural Environmental*, Iranian Journal of Natural Resources, 65(1): 83-93, (in Farsi).
- [29] Shabani, M. (2008). Determination of suitable geostatistic method for changes TDS & PH mapping for groundwaters (case study: Arsanjan Plain), *Journal of water engineering*, 1: 46-57, (in Farsi).
- [30] Taghizade Mehrjardi, R., Zareian Jahromi, M., Heidari, A. & Sarmadian, F. (2009). Reviewing methods of spatial interpolation to investigate the underground, *Iranian Watershed Science and Engineering*, 2: 63-70, (in Farsi).

## Comparison of different geostatistical methods accuracy in groundwater quality assessment for agricultural uses (Case study: Behbahan plain)

1- S. Mazarei Behbahani \*, Msc. of GIS and Remote Sensing

sareh\_mazarei@yahoo.com

2- S. Z. Hosseini, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran

3- S. A. Almodaresi, Faculty of GIS and Remote Sensing, Islamic Azad University, Yazd Branch, Iran

Received: 26 Jun 2014

Accepted: 22 Dec 2014

### Abstract

The aims of this study were: 1) to determine the spatial distribution of groundwater quality parameters using three geostatistical methods, including; Ordinary Kriging (OK), Ordinary Cokriging (OK), and Inverse Distance Weighting (IDW), 2) to compare the accuracy of maps created by the mentioned geostatistical methods, 3) to map groundwater quality for agricultural uses in the study area. Water data of 20 wells inside Behbahan Plain Aquifer related to ten years (2003-2013) were collected. Normality of the data evaluated using Kolmogrov-Smirnov test and variography was done. To assess the accuracy of results cross-validation analyses were done. The cross-validation results were assessed by the root mean square error (RMSE). Results showed that, the best geostatistical method was Ordinary Cokriging (OK). Then maps of EC and SAR parameters were standardized based on Wilcox classification. As well as, using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) method the water quality parameters were weighted. Finally, using Index Overlay method, map of water quality zones for agricultural uses was created. According to this map, %33 of the study area is suitable, %34 is moderate and %33 is not suitable for the agricultural uses.

**Keywords:** Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging, Inverse Distance Weighted, Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Index Overlay