Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 34-44

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۴۴-۳۴

ارزیابی کیفی آبخوان دشت بیرجند جهت اجرای آبیاری تحت‌فشار با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ نشانگر

بهاره سادات همراز[1]، علی شهیدی[2]*، عباس خاشعی سیوکی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۲

چکیده

با توجه به اهمیت منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارزیابی کیفی این منابع از اهمیت به سزایی برخوردار است. آبیاری تحت‌فشار به عنوان روشی مناسب برای افزایش راندمان آبیاری و کاهش مصرف آب، نیازمند تحلیل کیفیت آب می‌باشد. با وجود فعالیت‌های زیاد پژوهشگران در تهیه نقشه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی به کمک روش‌های زمین آماری، بیش‌تر این مطالعات معطوف به استفاده از روش کریجینگ معمولی بوده‌اند که برای تهیه پهنه‌های مستعد آلودگی مناسب نیستند، در این پژوهش با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ نشانگر تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آبخوان و بطور ویژه مناطق مناسب برای آبیاری تحت‌فشار مورد بررسی قرار گرفت. کریجینگ نشانگر با در نظر گرفتن آستانه مجاز آلودگی، نقشه‌های احتمال آلودگی آبخوان را به خوبی مدل می‌کند. بدین منظور کیفیت ۲۷ حلقه چاه مشاهده‌ای آبخوان بیرجند طی سال ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای کیفی مورد ارزیابی شامل اسیدیته pH، هدایت الکتریکی EC، نسبت جذب سدیمی SAR، سدیم Na، کلر Cl و بی‌کربنات HCO_3 می‌باشد که آستانه مجاز این پارامترها جهت استفاده در آبیاری تحت‌فشار توسط حد مجاز پیشنهادی FAO در نظر گرفته شد. از طرفی با توجه به اهمیت شاخص اشباع لانژیلر LSI در رسوب سیستم آبیاری قطره‌ای این شاخص نیز برای چاه‌های آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفت و نواحی غیرمناسب برای آبیاری تحت‌فشار در آبخوان با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ نشانگر و نرم‌افزارArcGISبدست آمد. نتایج نشان‌دهنده اراضی مناسب آبیاری تحت‌فشار در قسمت‌های شرقی و مرکزی دشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، آب‌های زیرزمینی، پارامتر کیفی، زمین آمار، شاخص اشباع لانژیلر

مقدمه

آب‌های زیرزمینی همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر آب شیرین قابل استفاده انسان مطرح بوده است که به طور عمده از طریق حفرچاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، چشمه‌ها و قنات‌ها مورد بهربرداری قرار می‌گیرند (De Wiest., 1965) . توسعه روز افزون جوامع بشری و گسترش فعالیت‌های صنعتی سهم عمده‌ای در آلودگی‌های محیط زیست به ویژه آب دارد (Rahman., 2008) . در شرایط کنونی، بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور ایران و به خصوص در بخش شربت وسط منابع آبزیرزمینی تامین می گردد. بنابراین، ارزیابی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است.

وابستگی به منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب افزایش اثر تخریبی کیفیت این منابع به علت ضعف طبیعی منابع آب و خاک شده است. توزیع مکانی آلودگی در آب‌های زیرزمینی ناهمسانی دارد، از طرفی آزمایش‌های صحرایی با توجه به محدودیت‌های هزینه و زمان عدم قطعیت زیادی دارد، بنابراین به ندرت غلظت آلودگی برای همه نقاط آبخوان در دسترس است. از این رو، روش‌های درون‌یابی مکانی برای تخمین غلظت آلودگی در نقاط اندازه گیری‌نشده توسعه یافته‌اند(Dash et al., 2010). از این‌رو، برای آگاهی از عمق و تجمع آلودگی در نقاط بدون داده روش‌های قطعی و زمین‌آماری توسط پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفتند (Sarangi et al., 2005). روش‌های زمین‌آماری کارایی بهتری را نشان دادند(Sarangi et al., 2006) .

روش کریجینگ با در نظر گرفتن ارتباط مکانی بین نقاط نمونه، به عنوان پرکاربردترین روش برای بررسی تغییرات مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرد(Ella et al., 2001) . زاهدی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های کیفی آب‌های

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

(* -نویسنده مسئول: Email: ashahidi@birjand.ac.ir)

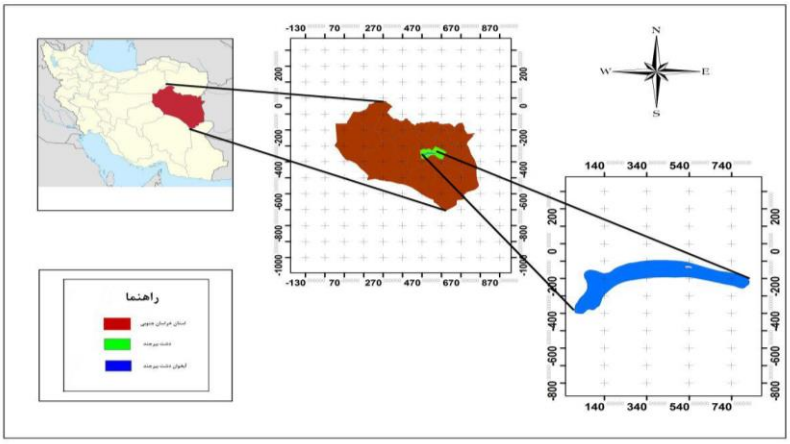
زیرزمینی ۸۰ حلقه چاه دشت فسا در استان فارس شامل سختی کل آب، مقدار کل مواد جامد حل شده، قابلیت هدایت هیدرولیکی، pH، غلظت کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم) و آنیون‌های محلول (سولفات، کلر و بی‌کربنات) در پاییز (آبان) ۱۳۸۹ با به کارگیری روش‌های زمین آماری پرداختند. نتیجه بررسی آن‌ها نشان داد روش کریجینگ معمولی نقطه‌ای روش تخمین مناسب شناخته و نقشه‌های پهنه‌بندی نیز با استفاده از آن تهیه شد. روش کریجینگ نشانگر به طور گسترده در مطالعه‌های زیست محیطی استفاده گردیده است، از این جمله می‌توان به استفاده از آن در تهیه نقشه‌های کیفی خاک، برای ارزیابی اکوسیستم‌های جلگه‌ای، و برای مدیریت داده‌های طبقه‌بندی خاک اشاره کرد. هم‌چنین در مطالعات کیفی آب از این روش استفاده گردیده است. (Smith et al., 1993Halvorson et al., 1995; Bierkens and Burrough., 1993;). آلکیوسی و همکاران از دو روش کریجینگ ساده و نشانگر برای تحلیل شاخص‌های کیفی منابع آب زیرزمینی استفاده کردند. آن‌ها در نتایج خود درصد وسعتی از منطقه مورد مطالعه که از حد مجاز آلودگی تجاوز کرده است را مشخص کردند (Al Kuisi et al., 2009) . دش و همکاران نیز با استفاده از دو روش کریجینگ ساده و نشانگر نقشه تغییرات مکانی عمق و پارامترهای کیفی را تولید کردند. با استفاده از کریجینگ ساده تغییرات مکانی عمق بررسی شد و با کریجینگ نشانگر کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی ارزیابی گردید(Dash et al., 2010. هو و همکاران احتمال آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی با عمق محدود را مورد بررسی قرار دادند، نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد کریجینگ نشانگر، نتایج بهتری نسبت به کرجینگ معمولی دارد(Hu et al., 2005. گووارت و همکاران در پژوهشی با استفاده از کریجینگ نشانگر تغییرات مکانی آرسنیک در منابع آب زیرزمینی میشیگان جنوبی را مورد بررسی قرار دادند(Goovaerts et al., 2005، هم‌چنین لیو و همکاران در پژوهشی مشابه، تجمع آرسنیک را در آبخوان ساحلی یولین در تایوان با استفاده از کریجینگ نشانگر مطالعه نمودند(Liu et al., 2004). ارسلان در تحقیقی با استفاده از کریجینگ معمولی و نشانگر و پایش کیفی ۹۷ حلقه چاه در ۷ سال آماری تغییرات مکانی شوری آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار داد و با ارزیابی نقشه‌های هم احتمال نشان داد که درصد احتمال گذر از آستانه خطر آلودگی در منطقه مورد مطالعه رو به کاهش است(Arslan., 2012). چیکاآلمو و همکاران در پژوهش خود اظهار داشتند که تعیین میزان تطابق کیفیت آب با استانداردهای موجود، مدیران را برای بهبود وضعیت آبخوان مورد مطالعه رهنمود خواهد کرد. از این رو آن‌ها با استفاده از کریجینگ نشانگر به بررسی کیفیت آبخوان مذکور پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش از ۵۰٪ آبخوان از کیفیت مطلوبی برخوردار نیست(Chica-Olmo et al., 2014). دلبری و همکاران در پژوهشی با استفاده از کریجینگ نشانگر و بررسی کیفیت آبخوان و تطابق کیفیت با حد استاندارد کشاورزی مناطق مستعد آبیاری بارانی را در شهرستان فسا مشخص کردند، پارامترهای کیفی مورد بررسی ایشان، اسیدیته pH، هدایت الکتریکی EC، نسبت جذب سدیمی SAR، سدیم Na، کلر Cl و بی‌کربنات HCO_3 می‌باشد(Delbari et al., 2016). جانگ و چنبا استفاده از کریجینگ نشانگر و رگرسیون لجستیک به ارزیابی عوامل موثر در آسیب‌پذیری منابع آبی پرداختند و مناطق آسیب‌پذیر آبخوان را بر اساس آلودگی نیترات مشخص نمودند(Jang CS and Chen SK., 2015. امیری و همکاران (۱۳۹۵) تغییرات زمانی و مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد را با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ نشانگر بررسی کردند. نقشه‌های پهنه‌بندی و احتمالاتی، افزایش و گسترش اراضی با شوری آب‌زیرزمینی را نشان داد، هم‌چنین نتایج نشان داد بخش‌هایی از استان وضعیت بسیار نامطلوبی دارند که استفاده از این آب‌ها برای آبیاری عملکرد محصول را بشدت کاهش‌می‌دهد. بامری و همکاران (۱۳۹۴) تغییرات مکانی ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت بجستان را جهت مصارف کشاورزی با استفاده از روش کریجینگ نشانگر مدل‌سازی نمودند. نتایج نشان داد پارامترهای EC، SAR و Na از حد مجاز کشاورزی بیش‌تر بود. اکبرزاده و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با استفاده از کریجینگ نشانگر، کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر مشهد را بر مبنای آلودگی نیترات ارزیابی نمودند. نتایج نشان دهنده مناطق آلوده و مناطق مستعد آلودگی می‌باشد.

دشت بیرجند با توجه به قرارگرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک از آب‌های زیرزمینی به عنوان منبع آب شیرین در استفاده می‌گردد. در سال‌های اخیر، با توجه به کاهش نزولات در این دشت منجر به تغییرات کیفی آبخوان گردیده، از طرفی نیاز و تمایل به استفاده از آبیاری تحت‌فشار افزایش یافته است. در این مطالعه با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ نشانگر و تحلیل پارامترهای کیفی آبخوان، مناطق مناسب برای کشت آبی تعیین گردید. با توجه به اهمیت شاخص لانژلیر در آبیاری قطره‌ای، و رشد روز افزون آبیاری قطره‌ای در دشت بیرجند، در این مطالعه از این شاخص به عنوان معیاری مهم مازاد بر پارامترهای کیفی استفاده گردید که در مطالعه‌های پیشین محققین نادیده گرفته شده است.

روش‌شناسی تحقیق

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه دشت بیرجند است که در قسمت شمالی ارتفاعات باقران با مختصات تقریبی ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول جغرافیایی قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه آبریز بیرجند دارای وسعت ۳۱۵۵ کیلومتر مربع بوده، که

۱۸۴۵ کیلومتر دشت وبقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این دشت حالت کشیده داشته و تمامی پیرامون آن را ارتفاعات و بخش مرکزی را آبخوان آب‌رفتی تشکیل می‌دهد. ازشرق به ارتفاعات مومن‌آباد و سیستان، از جنوب به کوه‌های باقران وکوهرج، از شمال به ارتفاعات شاه ناصر و اسفدنوبند در هواز غرب به ارتفاعات چن‌در وگرونگ محدود می‌شود. دشت بیرجند طبق طبقه‌بندی‌های اقلیمی جز و مناطق خشک محسوب می‌شود. از نظر توپوگرافی حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۸۷ متر درارتفاعات شمالی منطقه (کوه بنددره) و حداقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت (منطقه فدشک) می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت مکانی استان خراسان‌جنوبی، دشت بیرجند و آبخوان دشت بیرجند.

داده‌ها: داده‌های کیفی مورد مطالعه از ۲۷ حلقه چاه مشاهداتی آبخوان دشت بیرجند در سال ۱۳۹۵ انتخاب گردید. پارامترهای pH، Na، Cl، HCO3، هدایت هیدرولیکی (EC)، نسبت جذب سدیم SAR، مورد بررسی قرار گرفت. طبقه‌بندی‌های متفاوتی برای آب آبیاری ارایه گردیده است، در این پژوهش از حد مجاز پیشنهادی توسط نشریه FAO استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱- استاندارد آب کشاورزی (۲۹ FAO)

عامل			واحد	درجه محدودیت		
شوری	**EC**		**ds/m**	**<۰/۷**	**۳ -۰/۷**	**>۳**
	TDS		**mg/l**	**<۴۵۰**	**۴۵۰-۲۰۰۰**	**≥۲۰۰۰**
نفوذ ، تاثیر W،EC وSAR با همدیگر بر سرعت نفوذ آب در خاک	SAR	۰-۳	EC	>۰/۷	۰/۲ -۰/۷	>۰/۲
	SAR	۳-۶	EC	>۱/۲	۱/۲ -۰/۳	>۰/۳
	SAR	۶-۱۲	EC	>۱/۹	۰/۵ -۱/۹	<۰/۵
	SAR	۱۲-۲۰	EC	>۲/۹	۱/۳ -۲/۹	<۱/۳
	SAR	۲۰-۴۰	EC	>۵	۲/۹ -۵	<۲/۹
اثرات سمی یون‌ها (گیاهان حساس)	سدیم	آبیاری سطحی	meq/l		۳-۹	>۹
		آبیاری بارانی	meq/l	<۳	>۳	
	کلر	آبیاری سطحی	meq/l	<۳	۴-۱۰	>۱۰
		آبیاری بارانی	meq/l	<۴	>۳	
	بر		meq/l	<۳	۰/۳ — ۰/۷	>۳
اثرات مختلف دیگر (گیاهان حساس)	نیترات		mg/l	<۵	۵-۳۰	>۳۰
	بی‌کربنات		mg/l	<۱/۵	۱/۵-۸/۵	>۸/۵
	pH		۶/۵-۸/۵ محدوده طبیعی			

تحلیل آماری پارامترهای مورد مطالعه:آماره‌های کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی هر یک از پارامترها توسط نرم‌افزار SPSS بررسی گردید.

آنالیزهای زمین آماری:آنالیزهای زمین‌آماری شامل حذف داده‌های پرت، تحلیل آماری پارامترهای کیفی، و بررسی فرض‌های اساسی کریجینگ شامل مانایی و همسان‌گردی می‌باشد.

بررسی داده‌های پرت:در این مطالعه ابتدا داده‌های پرت حذف گردید، داده‌های پرت از روش‌هاینینگ حذف گردید، روش هاینینگ توسط رابطه ۱ محاسبه می‌گردد(Haining R., 1991):

$$(s) < Q_L - 1.5(Q_u - Q_L) \text{ یا } Z(s) > Q_L + 1.5(Q_u - Q_L) \qquad (۱)$$

که در آن: Q_uچارک بالا،Q_l چارک پایین پارامتر مورد بررسی می‌باشد. بنا به این رابطه، اگر s در یکی از نابرابری‌های بالا مشاهده شده در موقعیت مکانی صدق کند، داده پرت محسوب می‌شود.

بررسی مانایی:وقتی میانگین میدان تصادفی تابعی از مختصات فضایی یا زمانی باشد آنگاه داده‌ها مانا نبوده و دارای روند است. وجودروند منجر به اریب در برآورد می‌شود که نسبت به میزان واقعی انحراف یا خطا وجود دارد. به طور معمول نمودارهای H پراکنش برای شناسایی مانایی از حیث میانگین و مانایی از حیث تغییرنما یا هم تغییرنما داده‌ها استفاده می‌شوند. برای تمام فواصل h که در رسم تغییرنما تجربی استفاده شده‌اند، $Z(s)$در مقابل $Z(s + h)$رسم می‌شود. در صورتی‌که نقاط اطراف نیم‌ساز پراکنده شده باشند، مانایی برقرار است. در غیر این صورت اگر نقاط بالا یا پایین نیم‌ساز قرار گیرند مانایی برقرار نیست(محمدزاده، ۱۳۹۱).

یکی از راه‌های تشخیص وجود روند از حیث میانگین، رسم Z در جهات مختلف شرقی-غربی (محورx) و شمالی- جنوبی (محورy) است. در صورتی‌که مقادیر به صورت تصادفی در این نمودارها پراکنده شده و حالت منظم نداشته باشند، روند وجود ندارد. اما در صورتی‌که نظم خاصی در داده‌ها مشخص شود، داده‌ها دارای روند است(محمدزاده، ۱۳۹۱).

در صورت وجود روند، نخست مدل روند تعیین می‌شود. در هر موقعیت با کم کردن روند از مقدار مشاهده شده، مانده‌ها که بدون روند هستند، حاصل می‌شوند. سپس از داده‌های روند زدوده به جای داده‌های واقعی برای برازش تغییرنما استفاده می‌شود.

در این تحقیق مشاهدات در برابر محورهای مختصات x و y رسم گردید، با توجه به معیار R^2 بدست آمده برای مشاهدات در هر جهت، روند خاصی بین داده‌های مشاهده‌ای در دو جهت x , y برقرار نیست.

بررسی همسان‌گردی:برای شناسایی همسان‌گردی لازم است تغییرنما تجربی در تمام جهات رسم شود، در صورتی‌که تغییرنماها در تمام جهات تقریبا بر هم منطبق باشند و تفاوت معناداری نسبت به هم نداشته باشند، همسان‌گردی برقرار است.

کریجینگ نشانگر:

در روش زمین آماری کریجینگ نشانگر با فرض $Z(S), S\epsilon D$ به عنوان میدان تصادفی با متغیر ناحیه‌ای $Z(S)$ و با در نظر گرفتن مقدار آستانه Z_{0k} می‌توان این متغیر را به متغیر ناحیه‌ای دیگری با مقادیر ۰ و ۱ تبدیل نمود. این متغیر ناحیه‌ای را متغیر نشانگر یا دودویی می‌نامند. از این‌رو$I(s_0, Z_{0k})$ نشان‌دهنده متغیر نشانگر در ناحیه ϵ_0 با آستانه Z_{0k}خواهد بود به گونه‌ای که اگرZ_{S0} بیش‌تر از Z_{DK} باشد، مقدار ۱ و در غیر این‌صورت مقدار ۰ را اختیار خواهد کرد (محمدزاده، ۱۳۹۱).

کریجینگ نشانگر روش ناپارامتری است که برای برآورد فضایی احتمال وقوع پیشامد در نقاط فاقد مشاهده به کار می‌رود. این روش در مقایسه با سایر روش‌های کریجینگ، به جای پیش‌بینی نقاط فاقد مشاهده تابعی از آن را برآورد می‌کند.

این پیش‌بینی با کمینه کردن واریانس در انتها، احتمال وقوع نقطه فاقد مشاهده را به شرط داده‌های موجود برآورد خواهد کرد. در این نوع کریجینگ به منظور برآورد متغیر نشانگر Iبا استفاده از داده‌های تبدیل شده در آستانه Z_{0K}، یعنی رابطه ۲ می‌توان متغیر نامعلوم I(S0 ,Z0k)را برآورد نمود.

$$I(s_i; z_{DK}) = \begin{cases} 1 & Z(s_i) \geq z_{DK} \\ 0 & Z(s_i) < z_{DK} \end{cases} \qquad (۲)$$

از این رو برآورد کریجینگ با کمینه کردن‌ $E(I(s_0, z_{DK}) - I(s_0, z_{DK})^*)$به دست خواهد آمد که رابطه ۳ برقرار است:

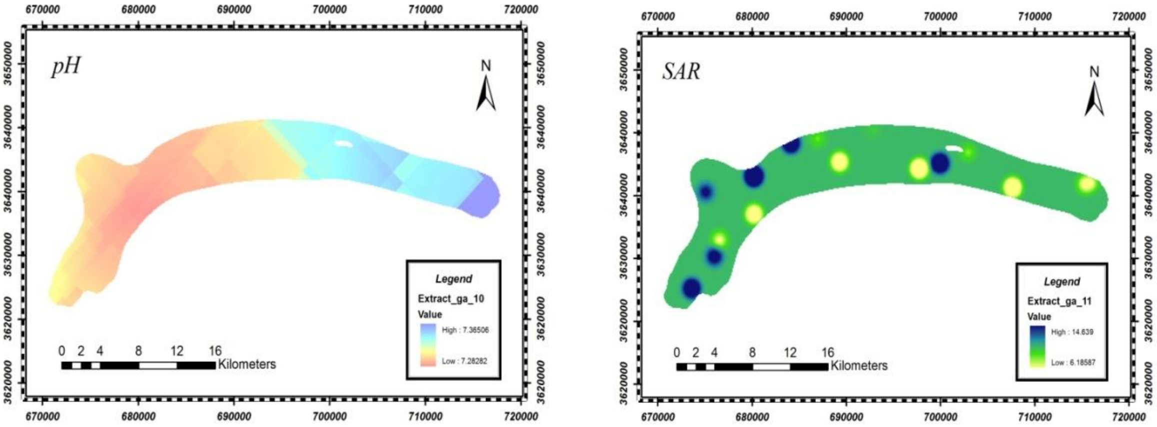
$$I(s_0, z_{DK})^* = \sum_{i=1}^{n} ƛ(s_D; z_{DK}) I(s_i; z_{DK}) \qquad (۳)$$

عبارت $I(s_i; z_{DK})$، متغیر نشانگر به دست آمده از رابطه ۲و $ƛ(s_D; z_{DK})$ ضرایب کریجینگ می‌باشد. از این رو می‌توان با استفاده از مقدار دودویی $I(s_i; z_{DK})$ مقدار $I(s_0, z_{DK})^*$یا احتمال رخداد z_{DK} را در فاصله (۱و۰) بدست آورد (محمدزاده، ۱۳۹۱).

نتایج و بحث

با استفاده از رابطه ۱ برای هر پارامتر تعداد داده‌های پرت تعیین و حذف گردید. پرت بودن این داده‌ها علاوه بر آزمون فوق توسط نظر کارشناسی تایید گردید. تحلیل‌های آماری موردنظر برای هر یک از پارامترها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد که در جدول ۲، ارایه گردید. با توجه به قرار گرفتن پارامتر pH در محدوده مجاز برای آبیاری در تمامی نقاط اندازه‌گیری برای تحلیل کیفی این پارامتر از کریجینگ معمولی استفاده گردید و نقشه پهنه‌بندی کیفی آن ارایه گردید. بعد از طبقه‌بندی مقادیر پارامتر SAR و EC با توجه به حد آستانه‌های ارایه

شده توسط FAO، برای نمونه‌های آب با SAR صفر تا ۳، EC همه نمونه‌ها بالاتر از ۰/۷ دسی زیمنس بر متر می‌باشد که قابل‌قبول است، هم‌چنین برای SAR بین ۳ تا ۶ EC همه نمونه‌ها بالاتر از ۱/۲ دسی زیمنس بر متر و برای SAR بین ۶ تا ۱۲ ECهمه نمونه‌ها بالاتر از ۱/۹ دسی زیمنس بر متر و برای SAR بین ۱۲ تا ۲۰ EC همه نمونه‌ها بالاتر از ۲/۹ دسی زیمنس بر متر است که همگی در محدوده بی‌اثر برای آبیاری قرار دارند. بنابراین برای بررسی کیفی پارامتر SAR نیز از کریجینگ معمولی استفاده گردید. برای سایر پارامترها با استفاده از حد مجاز ارایه شده کریجینگ نشانگر اعمال گردید و نقشه‌های احتمال آلودگی بدست آمد.


SAR
N
Legend
Extract_ga_11
Value
High : 14.639
Low : 6.18587
0 2 4 8 12 16
Kilometers
670000
680000
690000
700000
710000
720000
3620000
3630000
3640000
3650000
pH
N
Legend
Extract_ga_10
Value
High : 7.36506
Low : 7.28282
0 2 4 8 12 16
Kilometers

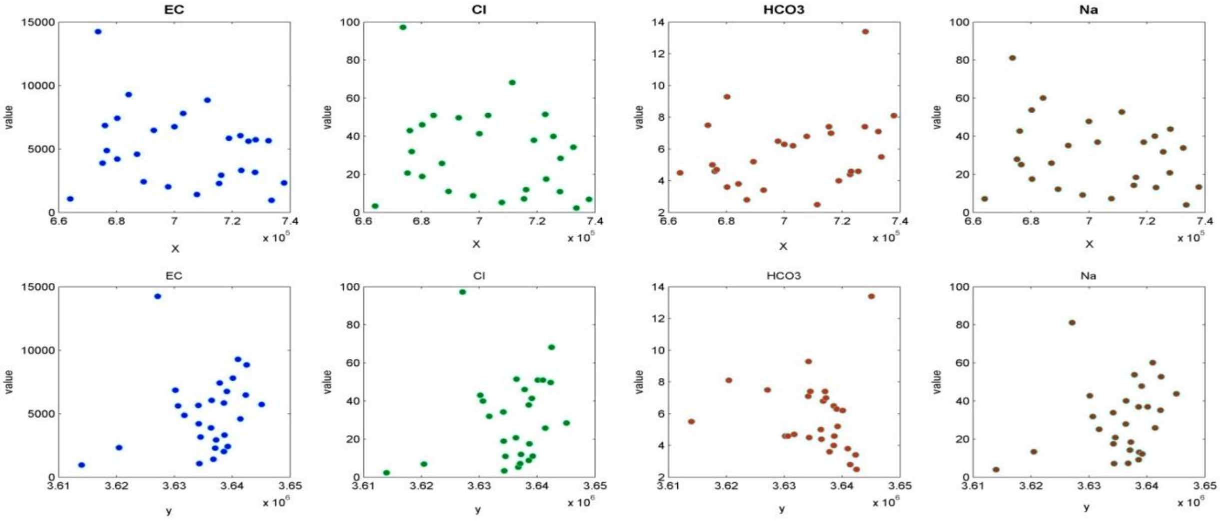
شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی کیفی پارامترهای SAR و pH

جدول ۲- نتایج تجزیه آماری کیفیت آب زیرزمینی

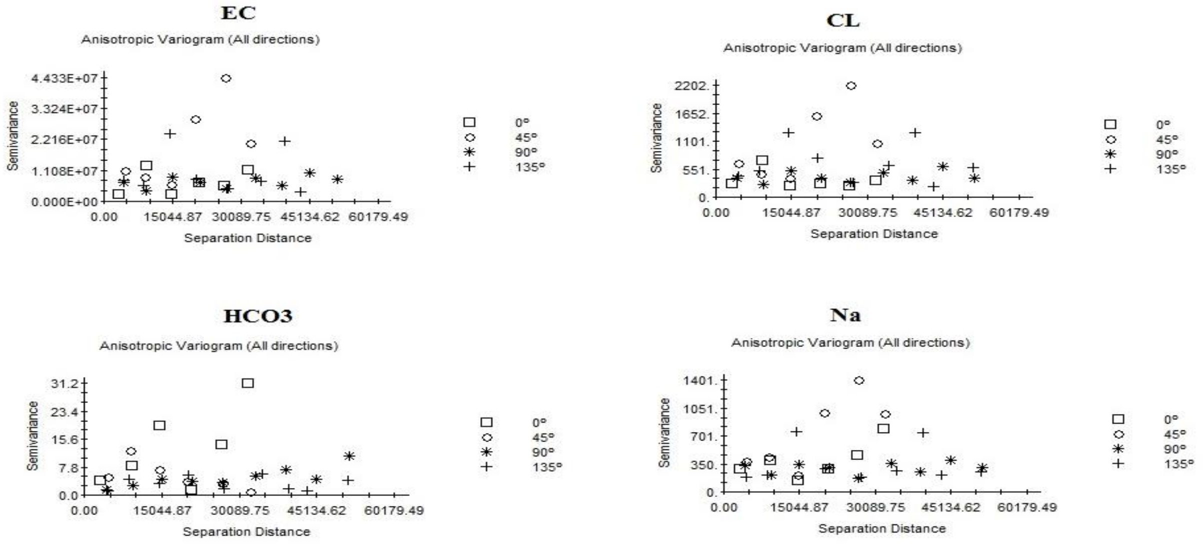
پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
pH	۶/۷۴	۸/۱۱	۷/۳۳	۰/۲۸	۱	۲/۳۹
SO_4	۱/۵	۳۵/۹۰	۱۲/۸۷	۸/۳	۱/۱۵	۱/۷۲
EC	۹۶۹	۱۴۲۵۰	۵۰۴۳/۱۹	۲۹۸۲/۷	۰/۰۵	۲/۰۱
Cl	۲	۹۷	۳۰/۴۸	۲۲/۷۷	۰/۹۶	۱/۲۳
HCO_3	۲/۵	۱۳/۴	۵/۷۸	۲/۲۸	۱/۴	۳/۴۲
Na%	۴۰	۱۷/۸۳	۶۸/۱۷	۱۰/۲۷	- ۰/۳۱	- ۰/۴۳
Na	۴	۸۱/۲۰	۳۰/۱۳	۱۸/۸۳	۰/۷۵	۰/۴۵
Mg	۱/۹	۴۴/۸۰	۱۲/۹۶	۸/۶	۱/۹۶	۶/۱۹
Ca	۱/۱	۱۸/۷	۵/۶۷	۴/۵۹	۱/۴۹۵	۱/۷۳
K	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۰۵۹	۰/۰۳۸	۱/۱۰۷	۲/۲۸
SAR	۲/۴	۱۸/۷	۹/۶۹	۴/۴۷	۰/۳۳۱	- ۰/۷۶

به منظور بررسی مانایی و عدم وجود روند، داده‌های هر پارامتر مورد بررسی در دو جهت x و y در محورهای مختصات رسم گردیده و در شکل ۳ ارایه گردید، همان‌طور که در شکل مشهود است روند خاصی در داده‌های پارامترهای مورد بررسی موجود نمی‌باشد.

به منظور بررسی همسان‌گردی پارامترهای مورد بررسی، نیم تغییرنمای سطحی در چهار جهت اصلی توسط نرم‌افزار GS^+ رسم گردید، نیم تغییرنماها در تمام جهات تقریبا بر هم منطبق بوده‌اند، و تفاوت معناداری نسبت به هم ندارند، بنابراین همسان‌گردی داده‌ها مورد قبول می‌باشد و تغییرپذیری متغیرها در تمام جهات یکسان – می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۳- بررسی مانایی پارامترهای Na، HCO_3، Cl و EC



شکل ٤- بررسی همسان‌گردی پارامترهای Na، HCO_3، Cl و EC

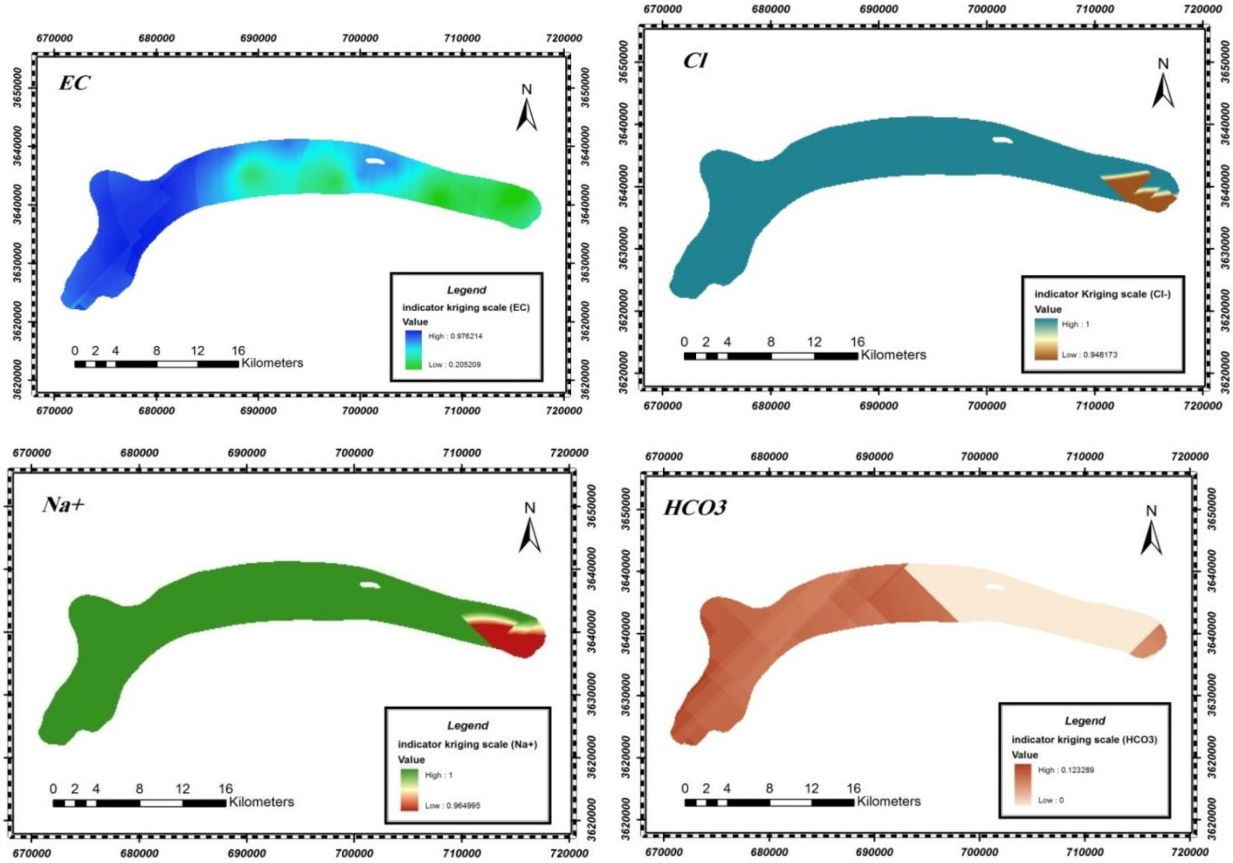
پس از بدست آمدن نیم تغییرنمای تجربی، مدل تئوری مناسب از بین مدل‌های کروی، خطی، نمایی، گوسی برازش گردید. مدل مناسب تئوری با استفاده از اعتباریابی متقابل و بر اساس دارا بودن حداقل معیارهای RMSE صورت گرفت. بهترین مدل برازش داده شده به نیم تغییرنما برای هر پارامتر و اطلاعات مربوط به آن در جدول ۳ ارایه گردیده است.

جدول۳- مشخصات بهترین مدل برازش داده شده بر سمی واریوگرام‌های تجربی

عامل کیفی آب زیرزمینی	مدل	اثر قطعه‌ای C_0	آستانه C_0+C	شعاع تاثیر A_0	تناسب مکانی $C/(C0+C)$	RMSE
EC	نمایی	۰/۸۴	۲/۳	۱۳۹۳۵	۰/۶۳	۰/۴۵
Cl	گوسین	۰/۳	۰/۸۷	۷۲۵۰۸	۰/۶۵	۰/۲۳
HCO_3	گوسین	۴/۱۳	۱۴/۲۶	۷۲۵۰۸	۰/۷۱	۰/۲۸
Na	نمایی	۰/۲	۰/۵	۷۲۵۰۸	۰/۶	۰/۲۳

کریجینگ نشانگر و نقشه‌های هم‌احتمال

با توجه به حد آستانه‌های مجاز ارایه شده در جدول ۱، برآورد کریجینگ نشانگر برای هر یک از پارامترهای مورد بررسی انجام گرفت، با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ نشانگر، خطر آلودگی بیش از حداکثر مجاز در آب آبیاری، تعیین گردید. حد آستانه برای ارزیابی پارامترهای کیفی بر اساس استاندارد FAO تعیین گردید. بر این اساس برای EC مقدار ۳ دسی زیمنس بر متر، CL و Na و HCO_3 مقدار ۳ میلی‌اکی والانت بر لیتردر نظر گرفته شد. سپس با انجام اعتبارسنجی متقابل منحنی‌های هم‌احتمال بر اساس آستانه مجاز و نقشه خطر آلودگی بدست آمد (شکل ۵).


EC
Legend
indicator kriging scale (EC)
Value
High : 0.976214
Low : 0.205209
Cl
indicator Kriging scale (Cl-)
Value
High : 1
Low : 0.948173
Na+
Legend
indicator kriging scale (Na+)
Value
High : 1
Low : 0.964995
HCO3
Legend
indicator kriging scale (HCO3)
Value
High : 0.123289
Low : 0
N
0 2 4 8 12 16 Kilometers
670000
680000
690000
700000
710000
720000
3620000
3630000
3640000
3650000

شکل ۵- محدوده خطر آلودگی پارامترهای Na، HCO_3، Cl و EC توسط روش کریجینگ نشانگر

علاوه بر معیارهای کیفی ارایه شده در این تحقیق از نقشه هم‌احتمال آلودگی معیار شاخص اشباع لانژیلر LSI به عنوان یکی از عوامل محدود کننده آبیاری قطره‌ای استفاده گردید. برای تمایل یک آب برای رسوب کردن در سیستم آبیاری قطره‌ای، معمولا از نتایج آزمایش کیفیت آب، شاخص لانژیلر استفاده می‌گردد.

مثبت بودن شاخص لانژیلر نشانه تمایل آب برای رسوب کربنات در سیستم آبیاری و منفی بودن آن دلیل عدم تشکیل رسوب کربنات است. اگر شاخص لانژیلر حدود صفر باشد، احتمال خطر گرفتگی در اثر رسوب کربنات در هوای گرم وجود دارد و باید به آب اسید، اضافه گردد. این شاخص به عنوان مدلی برای پیش‌بینی وضعیت تعادل کربنات‌کلسیم در آب از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

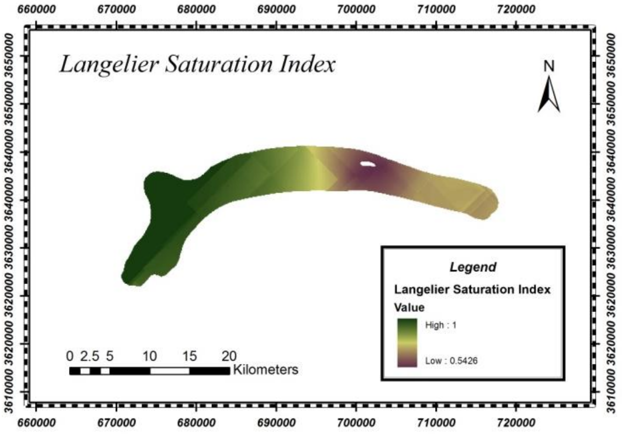
$$LSI=pH-pH_c \qquad (۴)$$

LSI شاخص لانژیلر، pH اسیدیته واقعی آب مورد استفاده و pH_C اسیدیته محاسبه شده بر اساس نتایج کیفیت آب می باشد که توسط رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$pH_c=p(ca+Mg+Na+K)+p(Ca+Mg)+p(CO3+HCO3) \qquad (۵)$$

p(ca+Mg+Na+K) نشانه کاتیون‌ها، p(Ca+Mg) نشانه کلسیم و منیزیم و P(CO3+HCO3) نشانه کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های آب می‌باشد که از جداول مخصوص بدست می‌آید.

با محاسبه شاخص لانژیلر برای تمامی چاه‌های مشاهده‌ای و در نظر گرفتن حد آستانه صفر، نقشه‌های هم‌احتمال لانژیلر که نشان‌دهنده پتانسیل رسوب‌گذاری یا خورندگی آب در سیستم آبیاری قطره‌ای بدست آمد (شکل ۶).


Langelier Saturation Index
N
Legend
Langelier Saturation Index
Value
High : 1
Low : 0.5426
0 2.5 5 10 15 20
Kilometers
660000
670000
680000
690000
700000
710000
720000

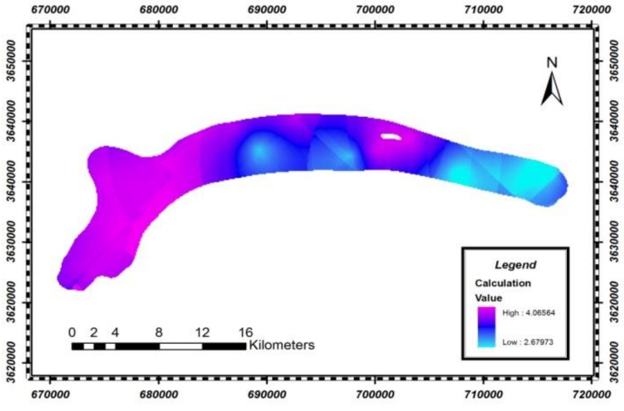
شکل ٦- محدوده نامناسب آبیاری قطره‌ای بر اساس شاخص لانژیلر

بیش‌ترین تجمع پارامترهای کیفی EC در اراضی غرب دشت می‌باشد، تمامی دشت با مقادیر زیاد کلر و سدیم آسیب‌پذیر هستند به جز قسمت کوچکی از شرق دشت که با حد آستانه مجاز هم‌خوانی دارد. هم‌چنین حدود نیمه‌غربی دشت با خطر آلودگی بی‌کربنات روبرو هستند. شاخص لانژیلر با مقدار بالاتر در سمت غرب دشت، احتمال تجمع و رسوب بیش‌تر قطره‌چکان را خواهد داشت. بنابراین از نظر پتانسیل رسوب‌گذاری سیستم آبیاری قطره‌ای اراضی غربی دشت دارای آسیب‌پذیری بیش‌تری می‌باشند.

نتایج آنالیز تغییرنما نشان‌دهنده عدم وجود غیرهمسان‌گردی می‌باشد بنابراین آنالیزهای زمین‌آماری بر اساس همسان‌گردی صورت پذیرفت. بر اساس معیار خطای بدست آمده، برای هر یک از پارامترهای کیفی بهترین نیم تغییرنما انتخاب گردید. با توجه به ارایه نیم تغییرنماهای متفاوت در مطالعات محققین پیشین، می‌توان گفت الگوی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی از دشتی به دشت دیگرمتفاوت است که این امر ناشی از تفاوت در جنس زمین منطقه مورد مطالعه است (بامری و همکاران، ۱۳۹۴) در این پژوهش بهترین نیم تغییرنما برای هدایت الکتریکی و سدیم نمایی برای کلر و بی‌کربنات گوسین می‌باشد.

نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه یا واریانس کل $(c/c+c_0)$ نشان دهنده تناسب مکانی پارامتر مورد مطالعه می‌باشد. بر این اساس هر چه این نسبت بیش‌تر باشد، همبستگی مکانی بیش‌تری برقرار است و هر چه این نسبت کم‌تر باشد همبستگی مکانی کم‌تر است.

بر اساس نتایج ارایه شده در جدول ۳ همبستگی مکانی پارامتر بی‌کربنات از همه بیش‌تر است و سایر پارامترها هم از همبستگی مکانی به‌نسبت خوبی برخوردار هستند.


N
Legend
Calculation
Value
High : 4.06564
Low : 2.67973
0 2 4 8 12 16
Kilometers
670000
680000
690000
700000
710000
720000

شکل ۷- نقشه نشان‌دهنده اراضی مناسب آبیاری تحت‌فشار

با در نظر گرفتن تمامی لایه‌های کیفی بدست آمده مهم در آبیاری تحت‌فشار در GIS و با استفاده از تکنیک هم‌پوشانی، نقشه نهایی احتمالاتی بدست آمد. (شکل ۷) این نقشه نشان‌دهنده اراضی با احتمال مناسب‌تر برای آبیاری تحت‌فشار می‌باشد. اراضی به صورت

پهنه‌بندی از اراضی با احتمال آلودگی کم‌تر به اراضی با احتمال آلودگی بیش‌تر با توجه به متغیرهای کیفی اسیدیته pH، هدایت الکتریکی EC، نسبت جذب سدیمی SAR، سدیم Na، کلر Cl و بی‌کربنات HCO_3 و هم‌چنین با توجه به اهمیت شاخص اشباع لانژیلر LSI، تشکیل شده است بنابراین همان‌طورکه در نقشه مشهود است اراضی شرقی دشت و اراضی مرکزی دشت نقاط بهتری برای آبیاری تحت‌فشار می‌باشند و سمت غرب دشت برای استفاده در آبیاری تحت‌فشار مناسب نمی‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، پارامترهای کیفی اسیدیته pH، هدایت الکتریکی EC، نسبت جذب سدیمی SAR، سدیم Na، کلر Cl و بی‌کربنات HCO_3 و شاخص اشباع لانژیلر LSI، پارامترهای کیفی برای آبخوان دشت بیرجند مورد تحلیل زمین آماری قرار گرفت. تحلیل واریوگرام‌های حاصل نشان دهنده همبستگی مکانی خوب همه پارامترها است.نقشه‌های تولیدی نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب از مرکز به سمت شرق و غرب دشت و هم‌چنین افزایش احتمال آلودگی در این مسیر می‌باشد. بنابراین با توجه به استفاده از منابع آب‌زیرزمینی برای کشاورزی در بیش‌تر نقاط دشت، مکان‌های مناسب دشت برای آبیاری تحت‌فشار در مرکز دشت می‌باشد.در این مطالعه از روش کریجینگ نشانگر با توجه به نتایج مطلوب آن در پژوهش‌های دیگر محققین کشور نظیر دلبری و همکارن برای شهرستان فسا، بامری و همکاران برای دشت بجستان و امیری و همکاران برای استان یزد و اکبرزاده و همکاران برای شهر مشهد انجام گردید. (Delbari et al., 2016،بامری و همکاران، ۱۳۹۴، امیری و همکاران ۱۳۹۵، اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۵) به منظور مطالعات بعدی استفاده از سایر روش‌ها زمین آماری و شاخص‌های چندگانه جهت پهنه‌بندی کیفی از منظر شرب و کاربری صنعتی نیز پیشنهاد می‌گردد.

منابع

امیری بورخانی،م.، خالدیان،م.، اشرف‌زاده،ا.، شاه‌نظری،ا. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد با استفادهka از روش زمین آماری کریجینگ شاخص. اکوهیدرولوژی.۳.۳:۳۳۵-۳۴۵

اکبرزاده،م.، قهرمان،ب.، داوری،ک. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر مشهد با استفاده از کریجینگ نشانگر برمبنای آلودگی نیترات. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۰.۱:۴۸-۶۲

بامری،ا.، پیری،ح.، گنجی،ف. ۱۳۹۴. ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت بجستان جهت مصارف کشاورزی با استفاده از روش کریجینگ شاخص. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۲.۱:۲۱۱-۲۲۹.

زاهدی‌فر،م.، موسوی،ا.، رجبی،م. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا با استفاده از روش‌های زمین آماری. مجله آب و خاک. ۲۷. ۴: ۸۱۲-۸۲۲.

محمدزاده،م. ۱۳۹۱. آمار فضایی و کاربردهای آن. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، چاپ اول،تهران.

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.

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. 113.3:57-63.

Bierkens,M.F.P and Burrough,P.A. 1993. The indicator approach to categorical soil data. European journal of soil science. 44.2:361-368.

Chica-Olmo,M., Luque-Espinar,J.A., Rodriguez-Galiano,V., Pardo-Igúzquiza,E and Chica-Rivas,L. 2014. Categorical indicator kriging for assessing the risk of groundwater nitrate pollution: the case of vega de Granada aquifer (SE Spain). Science of the Total Environment, 470, pp.229-239.

Dash,J.P., Sarangi,A and Singh,D.K. 2010. Spatial variability of groundwater depth and quality parameters in the national capital territory of Delhi. Environmental management. 45.3:640-650.

Delbari,M., Amiri,M and Motlagh,M.B. 2016. Assessing groundwater quality for irrigation using indicator kriging method. Applied water science. 6.4:371-381.

De Wiest,R.J.M. Geohydrology. first edition. John Wiley and Sons Inc, New York. 1965. 366p.

Ella,V.B., Melvin,S.W and Kanwar,R.S., 2001. spati al analysis of NO3–N concentration in glacial till. transactions of the. 44.2. 317.

Goovaerts,P., AvRuskin,G., Meliker,J., Slotnick,M., Jacquez,G and Nriagu,J., 2005. Geostatistical modeling of the spatial variability of arsenic in groundwater of southeast Michigan. water resources research. 41.7:1-19

Halvorson,J.J., Bolton,H., Rossi,R.E and Smith,J.L., 1995. Evaluating shrub-associated spatial patterns of soil properties in a shrub-steppe ecosystem using multiple-variable geostatistics. Soil science society of america journal. 59.5:1476-1487.

Haining,R., 1993. Spatial data analysis in the social and environmental sciences. Cambridge university press.

Hu,K., Huang,Y., Li,H., Li,B., Chen,D and White,R.E. 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.

Jang,C.S and Chen,S.K. 2015. Integrating indicator-based geostatistical estimation and aquifer vulnerability of

Geostatistical methods for prediction of spatial variability of rainfall in a mountainous region. Transactions of the ASAE. 48.3:943-954.

Sarangi,A., Madramootoo,C.A and Enright,P., 2006. Comparison of spatial variability techniques for runoff estimation from a Canadian watershed. Biosystems engineering. 95.2:295-308.

Smith,J.L., Halvorson,J.J and Papendick,R.I. 1993. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. Soil Science society of america journal. 57.3:743-749.

nitrate-N for establishing groundwater protection zones. Journal of hydrology. 523:441-451.

Liu,C.W., Jang,C.S and Liao,C.M. 2004. Evaluation of arsenic contamination potential using indicator kriging in the Yun-Lin aquifer (Taiwan). Science of the total environment. 321.1-3:173-188.

Rahman,A., 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. Applied geography. 28.1:32-53.

Sarangi, A., Cox, C. A and Madramootoo, C. A., 2005.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 34-44

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۳۴-۴۴

Qualitative Assessment of Birjand Plain Aquifer for Pressurized Irrigation by Using Geostatistic Indicator Kriging Method

B. Hamraz[1], A. Shahidi[2*], A. Khashei Saiyuki[3]

Recived: Mar.15, 2018 Accepted: Aug.13, 2018

Abstract

Due to the importance of groundwater resources in arid and semi arid regions, the qualitative assessment of these resources is so important. Pressurized irrigation as a suitable method for increasing irrigation efficiency and reducing water consumption, requires water quality analysis. Despite many activities of researchers in the preparation of groundwater quality maps by using geostatistical methods, most of these studies have focused on the use of conventional kriging techniques that are not suitable for the preparation of vulnerable zones of contamination, In this study spatial variations of aquifer quality parameters and especially suitable areas for pressurized irrigation were investigated by using indicator Kriging method. For this purpose groundwater quality data from 27 wells in Birjand aquifer were studied during 2016. Qualitative parameters were evaluated including pH (acidity), EC (electrical conductivity), SAR (sodium absorption ratio), Na, NaCl, Cl and ClCO and HCO3, respectively. The allowed thresholds for use of these parameters were considered in pressurized irrigation with the proposed FAO limitaion. On the other hand, due to the importance of LangelierSaturation Index in sedimentation of drip irrigation system, this index was also evaluated for aquifer wells and unsuitable areas for pressurized irrigation in the aquifer were determined using the geostatistical indicator kriging method and ArcGIS software.The results indicate suitable irrigation region are located in the eastern and central parts of the plain.

Keywords: Geostatistical, Drip irrigation, Groundwater, Qualitative parameters, LangelierSaturation Index

---

1- PhD Student of Water Resource Engineering ,Department of Water Engineering, University of Birjand,Birjand, Iran
2- Associate Professor ,Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Associate Professor ,Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: ashahidi@birjand.ac.ir)