

## پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد به منظور استفاده در طراحی سامانه‌های آبیاری

سیده سمیرا حشمتی و حبیب‌الله بیگی هرچگانی<sup>\*۱</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛

samiraheshmati18@yahoo.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛

beigi.habib@gmail.com

### چکیده

آب زیرزمینی دشت شهرکرد تنها منبع مهم آب برای کشاورزی در دشت شهرکرد است. به علت برداشت بی‌رویه آب برای آبیاری، سطح این سفره در حال افت است. آبیاری قطره‌ای به طور بالقوه می‌تواند در مصرف آب زراعی صرفه‌جویی کند. در این تحقیق، با هدف بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی شهرکرد، از ۹۷ حلقه چاه زراعی نمونه‌برداری شد. شاخص‌های EC (هدایت الکتریکی)، TDS (کل جامدات محلول)، TSS (کل جامدات معلق) و pH (واکنش آب) اندازه‌گیری و شاخص‌های LI (لانژلیه)، SAR (نسبت جذب سدیم)، PI (نفوذپذیری)، RSC (کربنات سدیم مانده) و Na (درصد سدیم) محاسبه شد. در این راستا، از میانگین نتایج سه نوبت نمونه‌برداری در سال ۱۳۸۹ استفاده شد. آب زیرزمینی شهرکرد از نظر میانگین‌های EC و TDS با مقادیر ۴۵۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و ۲۹۶ میلی‌گرم در لیتر برای آبیاری به ترتیب در گروه نسبتاً خوب و خوب قرار گرفت. کلاس بیشتر نمونه‌ها طبق نمودار ویلکوکس  $C_2S_1$  است. آب زیرزمینی شهرکرد از لحاظ Na، RSC و PI نیز برای آبیاری مناسب بود. بر اساس میانگین‌های pH و TSS به ترتیب با مقادیر ۷/۶ و ۷۰ میلی‌گرم در لیتر، آب دارای خطر متوسطی برای گرفتگی قطره‌چکان‌ها است. ضمن ارزیابی روش کریجینگ، نقشه متغیرها با استفاده از این روش تهیه شد. بر اساس نقشه EC آب زیرزمینی، در اکثر قسمت‌ها جز جنوب دشت در کلاس خیلی خوب و خوب قرار داشت. مقدار TDS در جنوب دشت به ۵۱۲ میلی‌گرم در لیتر رسید که خطر متوسطی برای گرفتگی فیزیکی قطره‌چکان‌ها در بر دارد. بر اساس نقشه pH و TSS آب زیرزمینی شهرکرد در اکثر قسمت‌ها دارای پتانسیل متوسطی برای گرفتگی قطره‌چکان‌ها است. منفی بودن LI در اکثر قسمت‌های دشت نشان داد کیفیت آب برای آبیاری قطره‌ای مناسب است. مثبت بودن این شاخص در برخی قسمت‌های دشت احتمالاً به دلیل وجود و انحلال سازندهای کربناتی است.

**کلمات کلیدی:** آبیاری قطره‌ای، تغییرات مکانی، شاخص لانژلیه، کریجینگ

### مقدمه

آب‌های زیرزمینی کیفیت این منابع را تنزل می‌دهد (خدایانه و همکاران ۲۰۰۹). کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک است (شعبانی ۱۳۸۷).

مهمترین فعالیت در سطح دشت شهرکرد فعالیت‌های زراعی و کشاورزی است. آب مورد نیاز این فعالیت از سفره آب شهرکرد تأمین می‌شود. تخلیه بیش از حد از

۱. شهرکرد، کیلومتر ۲ جاده سامان دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک، صندوق پستی ۱۱۵

\* دریافت: آبان، ۱۳۹۰ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۱

آب، معمول ترین عوامل گرفتگی قطره چکان ها هستند (حسن لی، ۱۳۷۹).

جامدات معلق (TSS) موجب گرفتگی فیزیکی بخش هایی از سامانه های آبیاری قطره ای می شوند. بنابراین، آگاهی از میزان TSS آب و ماهیت آن می تواند در طراحی صافی سامانه مفید واقع شود. از طرف دیگر، TDS و pH موجب گرفتگی شیمیایی مجاری و قطره چکان می شوند. گرفتگی شیمیایی نتیجه برهمکنش املاح حل شده (TDS) و pH آب بوده که می تواند به ترسیب کربنات های کلسیم و منیزیم در جداره ها و مجاری نازل ها منجر شود (ناکایاما و باکس، ۱۹۹۱).

یکی از شاخص های کیفی آب که در آبیاری قطره ای مطرح، است شاخص پتانسیل رسوب گذاری و خوردگی لانه لانه (LI) است. شاخص LI با استفاده از pH، TDS و نیز سختی کل و قلیائیت کل آب محاسبه می شود. سختی بیانگر کلسیم و منیزیم آب و قلیائیت بیانگر کربنات و بی کربنات موجود در آب هستند. بنابراین، شاخص LI برآیند اثر کل املاح (TDS) و املاح خاص (کربنات و بی کربنات از یک طرف و کلسیم و منیزیم از طرف دیگر) را تحت کنترل متغیر اساسی pH مطرح می کند. بسته به pH آب، بخشی از کربنات و بی کربنات های آب با کلسیم و منیزیم آن ترکیب و رسوب می کنند. مقادیر منفی شاخص LI پتانسیل خوردگی آب و مقادیر مثبت LI توان رسوب گذاری آب را نشان می دهد (مختاری و همکاران، ۱۳۸۹).

پهنه بندی کیفیت آب های زیرزمینی مناطقی را که برای مصارف مختلف از جمله آبیاری مناسب هستند، مشخص می کند. از آنجائی که نمونه برداری از تمام نقاط محدوده مطالعاتی مقدور نیست، روش های درون یابی ابزاری قدرتمند در تخمین داده ها مبتنی بر ساختار مکانی هستند. روش های گوناگون برای بررسی تغییرات ویژگی های آب های زیرزمینی وجود دارد که از جمله آن ها می توان روش کریجینگ را نام برد.

آگاهی از ویژگی های هیدروشیمیایی آبخوان ها برای مدیریت و بهره برداری این منابع ضرورت دارد. کیفیت آب آبیاری به وجود انواع نمک ها در آب و اثر آن ها بر گیاه و خاک بستگی دارد. شاخص های EC، TSS، SAR، Na%، RSC و PI در تعیین تناسب آب برای آبیاری اهمیت دارند. هدایت الکتریکی و TDS خطر شوری را برای خاک و محصول زراعی مطرح می کند. زیادی EC و TDS باعث افزایش پتانسیل اسمزی خاک شده و جذب آب و عناصر غذایی را به وسیله گیاه کاهش می دهند. شاخص های SAR، Na%، RSC و PI خطر درازمدت سدیم آب آبیاری را نسبت به خاک نشان می دهند. انباشت سدیم آب در خاک باعث تخریب ساختمان خاک شده و نفوذپذیری آن را کاهش می دهد (آقازاده و اصغری مقدم، ۲۰۱۰).

شاخص های RSC و PI نیز به نوعی خطر سدیم را ارائه می کنند. بخشی از کربنات و بی کربنات موجود در آب به صورت کربنات های کلسیم و منیزیم رسوب کرده و از این رهگذر، به در صد سدیم محلول و تبدلی خاک افزوده می شود. خطر بالقوه این پدیده با شاخص RSC بیان می شود. مقادیر RSC کمتر از ۱/۲۵ میلی گرم در لیتر برای آبیاری مناسب و مقادیر RSC بیشتر از ۲/۵۰ میلی گرم در لیتر نامناسب است. شاخص PI برای ارزیابی خطر درازمدت سدیم بر نفوذپذیری خاک استفاده می شود. مقادیر PI بین ۲۵ و ۷۵ درصد برای آبیاری مناسب است (آقازاده و اصغری مقدم، ۲۰۱۰).

از آنجائی که آب زیرزمینی شهرکرد تنها منبع تأمین آب آبیاری است، صرفه جویی در مصرف آب ضروری است. از شیوه های آبیاری که می توان با مصرف کمتر به بازده مطلوبی رسید، آبیاری قطره ای است. در واقع، اخیراً نصب سامانه های آبیاری قطره ای در دشت شهرکرد ترویج می شود. گرفتگی قطره چکان ها ارتباط نزدیکی با کیفیت آب آبیاری دارد. بالا بودن میزان کل جامدات محلول (TDS)، کل جامدات معلق (TSS) و pH در

(۱۳۸۷) در تحلیل مکانی pH و TDS در آب زیرزمینی دشت ارسنجان، مناسب‌ترین روش زمین آماری را بررسی کرد. در این تحقیق، از ۸۳ حلقه چاه نمونه‌برداری شد. روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش‌های معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمین گر موضعی و تخمین گر عام مقایسه شد. در مجموع روش کریجینگ معمولی برای میان‌یابی TDS و pH توصیه شد.

رضایی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی استان گیلان را با استفاده از زمین‌آمار بررسی کردند. در این رابطه، از داده‌های کیفی ۱۳۵ حلقه چاه استفاده شد. دقت روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله مقایسه شد. ضریب تعیین ( $R^2$ ) برای EC، SAR و Na در روش کریجینگ حدود ۲۵ درصد بیشتر بود. بررسی منابع موجود نشان می‌دهد که تغییرات مکانی EC، TDS، SAR و pH را به نحوی مد نظر بوده است، لیکن به نظر می‌رسد در خصوص شاخص‌های Na، PI، RSC و LI اطلاعات چندانی نباشد. اهداف این تحقیق شامل (۱) ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت شهرکرد برای طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و (۲) تهیه نقشه EC، TDS، TSS، pH، لائزلیه (LI)، SAR، Na، PI و RSC در آب زیرزمینی شهرکرد و (۳) پهنه‌بندی هر یک از شاخص‌های یادشده بود.

### مواد و روش‌ها

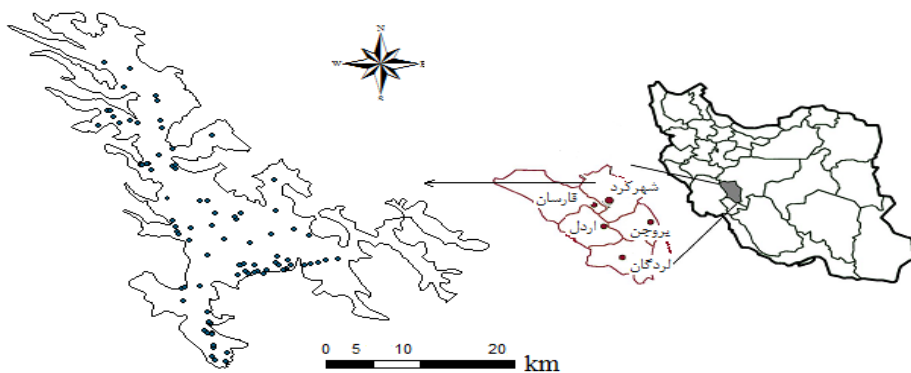
دشت شهرکرد یکی از دشت‌های مهم استان چهارمحال و بختیاری است. این دشت با وسعتی نزدیک به ۵۵۱ کیلومتر مربع در  $50^{\circ} 10'$  و  $51^{\circ}$  طول جغرافیایی و در  $35^{\circ}$  و  $32^{\circ}$  عرض جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱). درصد بالایی از آب‌های زیرزمینی دشت در بخش کشاورزی در فصل زراعی استفاده می‌شود. بخشی از آب شرب مردم شهرستان شهرکرد نیز از همین آبخوان تأمین می‌شود (لاله‌زاری و طباطبائی، ۱۳۸۹).

لاله‌زاری و همکاران (۱۳۸۹) خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد را بررسی کردند. در این تحقیق، از ۱۰ حلقه چاه نمونه‌برداری و نقشه برخی شاخص‌های کیفی با استفاده از خطوط کنتوری تهیه شد. نتایج نشان داد غلظت اکثر عناصر شیمیایی در جنوب دشت حداکثر بود که به فعالیت‌های کشاورزی و دفع فاضلاب نسبت داده شد.

در زمینه ارزیابی مکانی کیفیت آب زیرزمینی مطالعاتی صورت گرفته است. استواری (۱۳۹۰) تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان را برای آبیاری قطره‌ای بررسی کرد. در این تحقیق، شاخص‌های EC، TDS، TSS، pH و شاخص LI در ۳۲ حلقه چاه کشاورزی بررسی شد. واریوگرام هر مؤلفه ترسیم و مدل مناسب بر آن‌ها برازش داده شد. در مقایسه دو روش کریجینگ و معکوس فاصله، روش کریجینگ دقت بالاتری حدود ۱۵ درصد داشت. نقشه‌ها نشان داد آب آبخوان لردگان به جز قسمت شمالی برای آبیاری قطره‌ای مناسب بود.

تقی‌زاده‌مهجدی و همکاران (۲۰۰۸) توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت اردکان یزد را با استفاده از روش‌های زمین آماری بررسی کردند. در این رابطه، اطلاعات از ۷۳ حلقه چاه در دشت اردکان جمع‌آوری شد. در این تحقیق، روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و معکوس فاصله برای درون‌یابی مکانی EC، TDS و SAR مقایسه شدند. نتایج نشان داد روش کریجینگ و کوکریجینگ برای میان‌یابی به روش معکوس فاصله ارجحیت دارد.

شنگ‌به و همکاران (۲۰۰۶) ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت پینگ‌تانگ در تایوان را با استفاده از روش کریجینگ انجام دادند. در این رابطه، شاخص‌های EC، TDS، کلر، سدیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، آهن و منگنز در ۳۰ حلقه چاه اندازه‌گیری شد. طی تحقیقی، شعبانی



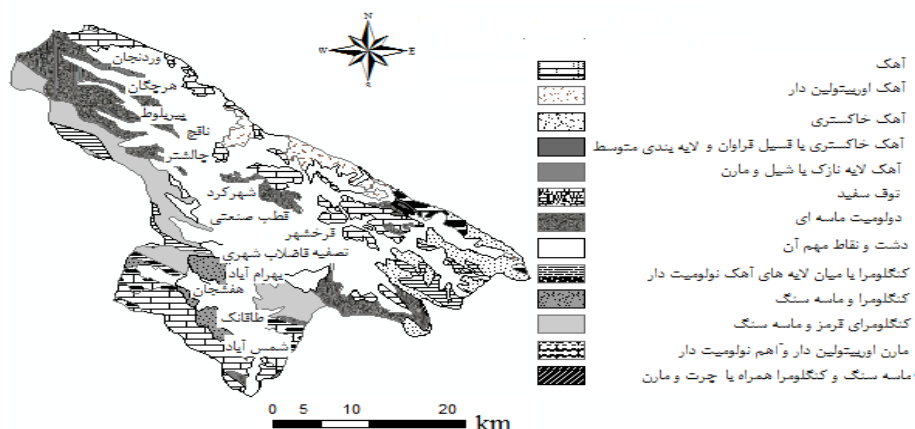
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت شهرکرد و مرز آبخوان دشت و موقعیت چاه های نمونه برداری شده

نمونه برداری با دماسنج اندازه گیری شد. هدایت الکتریکی و pH نمونه ها با دستگاه istek مدل PDC ۹۱۵ بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه قرائت شد. مقدار TDS نمونه ها با تبخیر ۱۰۰ میلی لیتر و توزین مانده اندازه گیری شد. جامدات معلق (TSS)، با عبور ۱۰۰ میلی لیتر آب از صافی ۰/۴۵ میکرومتر و خشکاندن صافی در ۱۰۵ درجه سانتی گراد و توزین با ترازوی رقومی به دست آمد. سدیم ( $\text{Na}^+$ )، پتاسیم ( $\text{K}^+$ )، بی کربنات ( $\text{HCO}_3^-$ )، کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ )، کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) و منیزیم ( $\text{Mg}^{2+}$ ) فقط به منظور محاسبه نسبت جذب سدیم (SAR)، کربنات سدیم مانده (RSC)، شاخص نفوذ پذیری (PI) و شاخص لانه لانه (LI) اندازه گیری شد که در این مقاله فقط نتایج مربوط به این شاخص ها ارائه شده است. سدیم و پتاسیم به روش شعله سنجی، کلسیم و منیزیم به روش تیتراژ با EDTA و کربنات و بی کربنات به روش تیتراژ با اسیدسولفوریک اندازه گیری شد.

از نظر زمین شناسی، این دشت بر روی سازندهای آهکی کرتاسه واقع شده است. نتایج حفاری های انجام شده نشان می دهد که جنس آبرفت از دانه های آهکی شیلی، ذرات آنزیتی و ماسه سنگ است و به لحاظ دانه بندی اندازه آن ها بین گراول تارس است (لاله زاری و طباطبائی، ۱۳۸۹). نقشه زمین شناسی دشت شهرکرد در شکل (۲) ارائه شده است (میرزایی ۱۳۸۶).

### نمونه برداری و تجزیه های آزمایشگاهی

در این تحقیق، از میانگین نتایج سه نوبت نمونه برداری (تیر، شهریور و آبان) در سال ۱۳۸۹ استفاده شد. در این رابطه، از ۹۷ حلقه چاه با پراکنش خوب نمونه برداری شد. نمونه ها در بطری های ۵۰۰ میلی لیتر پلی اتیلنی تیره رنگ که از قبل اسیدشویی و سپس با آب مقطر شستشو داده شده بود، جمع آوری شد. بطری های محتوی نمونه، داخل یخدان زیر یخ به آزمایشگاه منتقل، در یخچال نگهداری و در اسرع وقت بر اساس استانداردهای APHA (۱۹۸۸) تجزیه شد. دمای آب در محل



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی دشت شهرکرد و نقاط مهم دشت

$$C = \text{Log} [\text{TH}] - 0.4 \quad (۵)$$

$$D = \text{Log} [\text{ALK}] \quad (۶)$$

که در آن‌ها: TDS کل جامدات محلول به mg/l، C° درجه حرارت به درجه سلسیوس، TH سختی کل بر مبنای کربنات کلسیم معادل به میلی‌گرم در لیتر و ALK قلیائیت کل بر مبنای کربنات کلسیم به میلی‌گرم در لیتر است. در نهایت مقدار شاخص لانژلیه (LI) محاسبه شد:

$$LI = \text{pH} - \text{pHs} \quad (۷)$$

که در آن: pH واکنش واقعی آب است و pHs قبلاً تعریف شد.

نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم (% Na) با معادلات زیر محاسبه شد (آقازاده و اصغری‌مقدم، ۲۰۱۰):

$$\text{SAR} = (\text{Na}^+) / \sqrt{[(\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+})]} \quad (۸)$$

$$\% \text{Na} = [(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)] \times 100 \quad (۹)$$

که در این دو معادله تمام غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی والان در لیتر است.

کربنات سدیم مانده (RSC) از معادله زیر به دست آمد (آقازاده و اصغری‌مقدم، ۲۰۱۰):

### تعیین شاخص‌ها

به منظور محاسبه شاخص لانژلیه که نشان‌دهنده پتانسیل رسوب‌گذاری است، ابتدا سختی کل و قلیائیت کل محاسبه شد. مقدار سختی کل آب (TH) بر مبنای کربنات کلسیم معادل از معادله زیر محاسبه شد (آقازاده و اصغری‌مقدم، ۲۰۱۰):

$$\text{TH (mg/l of CaCO}_3) = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \times 50 \quad (۱)$$

که در آن: غلظت کلسیم و منیزیم به meq/l و سختی (TH) به میلی‌گرم در لیتر است.

قلیائیت از مجموع کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) و بی‌کربنات ( $\text{HCO}_3^-$ ) به دست آمد. از آن جایی که مقدار کربنات تمام نمونه‌ها صفر بود، قلیائیت برابر غلظت بی‌کربنات بوده، بر مبنای کربنات کلسیم و با واحد mg/l میلی‌گرم در لیتر ارائه شد. برای محاسبه LI ابتدا واکنش آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) محاسبه شد (مختاری و همکاران، ۱۳۸۹):

$$\text{pHs} = [ (9.3 + A + B) - (C + D) ] \quad (۲)$$

که در آن:

$$A = (\text{Log} [\text{TDS}] - 1) / 10 \quad (۳)$$

$$B = -3.12 \times \text{Log} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55 \quad (۴)$$

که در آن‌ها: ME میانگین خطا، RMSE درصد ریشه میانگین مربعات خطا،  $X(p)$  مقادیر برآورد شده هر شاخص کیفی آب،  $X(m)$  مقادیر اندازه گیری شده هر شاخص کیفی آب،  $\bar{X}$  میانگین هر شاخص کیفی آب و n تعداد نمونه‌ها است. اگر معیار RMSE زیر ۴۰ درصد باشد دقت تخمین قابل قبول و اگر بالاتر از ۷۰ درصد باشد، به معنی عدم دقت در تخمین است (هنگل و همکاران، ۲۰۰۴). پهنه‌بندی و ترسیم نقشه به روش کریجینگ معمولی در محیط ArcGIS 9.3 انجام شد (ESRI Inc., 2008). هم‌بستگی بین پیکسل‌های نقشه‌ها از گزینه Bond collection با انتخاب نقشه‌های رستری مورد نظر و انتخاب گزینه Correlation از این نرم افزار استخراج شد.

### نتایج و بحث

بر اساس آزمون شاپیرو-ویلکس توزیع داده‌ها نرمال بود. خلاصه آماری توصیفی برخی از خصوصیات اندازه-گیری شده و محاسبه شده آب زیرزمینی شهرکرد در جدول (۱) نشان داده شده است.

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (10)$$

که در آن: تمام غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی والان در لیتر است.

برای برآورد قابلیت نفوذ آب از شاخص تراوایی با نفوذ (PI) استفاده شد (آفازاده و اصغری مقدم، ۲۰۱۰):

$$PI = (Na^+ + \square HCO_3^-) / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+) \times 100 \quad (11)$$

$$PI = (Na^+ + \square HCO_3^-) / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+) \times 100$$

که در آن: تمام غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی والان در لیتر است.

در بررسی تغییرات مکانی، ابتدا آنالیز واریوگرافی انجام شد و در مرحله بعدی روش کریجینگ ارزیابی شد. برای ارزیابی از دو معیار آماری زیر استفاده شد:

$$ME = \sum_{j=1}^n \frac{X(p)_j - X(m)_j}{n} \quad (12)$$

$$RMSE = 100 \left( \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X(p)_j - X(m)_j)^2}{n}} \right) / \bar{X} \quad (13)$$

جدول ۱. برخی شاخص‌های آماری ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد

ویژگی	واحد	کمینه	دهک اول	میانگین	میانه	دهک آخر	بیشینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
EC	μS/cm	۲۶۷	۳۱۶	۴۵۶	۴۳۱	۶۲۹	۱۰۶۴	۱۳۳	۲۹
TDS	mg/l	۱۵۰	۲۰۴	۲۹۶	۲۸۴	۳۹۹	۵۶۷	۷۸	۲۶
TSS	mg/l	۲۵	۴۶	۷۰	۷۰	۹۷	۱۴۳	۲۲	۳۱
pH	-	۷/۲۰	۷/۴	۷/۶۰	۷/۷	۷/۹	۷/۹۰	۰/۱۶	۲
LI	-	-۰/۷۵	-۰/۶۲	-۰/۱۳	-۰/۱۱	-۰/۳۳	۰/۵۰	۰/۲۲	۱۶۹
SAR	(mmol/l) <sup>-۱/۵</sup>	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۷۰	۰/۵۰	۱/۵	۲/۶۰	۰/۶۰	۸۴
Na%	%	۳/۹۰	۶	۱۶/۵۰	۱۴	۳۳	۴۶/۸۰	۱۰/۲۰	۶۲
RSC	me/l	-۳/۶۵	-۲/۷	-۲/۰۵	-۲	-۱/۴	-۰/۷۶	۰/۵۳	۲۶
PI	%	۳۰/۵۰	۲۵	۴۵/۵۰	۴۴/۳	۵۳	۶۸/۳۰	۸/۱۰	۱۸

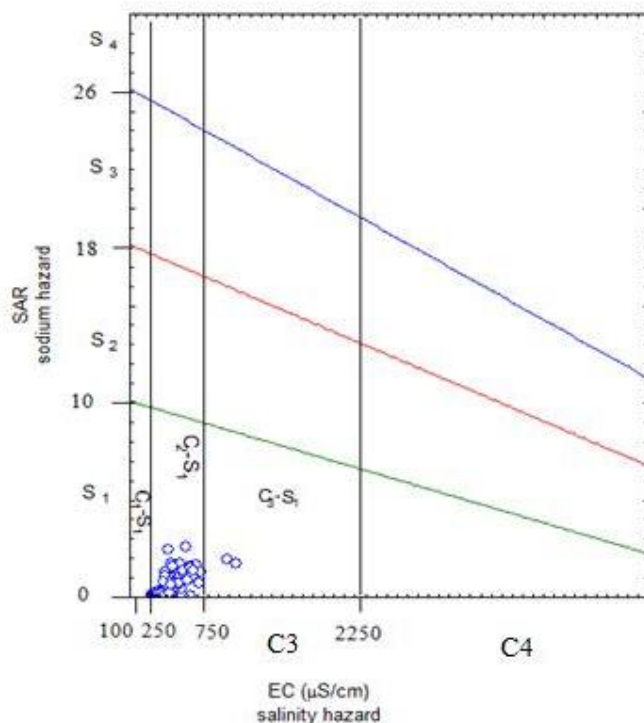
ضریب تغییرات ضریب تغییرات LI، SAR و Na% نسبتاً بزرگ است که حاکی از تغییرات زیاد آن‌ها در نقاط مختلف آبخوان است.

با توجه به جدول (۱)، میانه و میانگین تمام شاخص‌ها، نزدیک است که نرمال بودن توزیع داده‌ها را تأکید می‌کند. ضریب تغییرات همه شاخص‌ها به جز LI، SAR و Na% کمتر از ۳۰ شده است که نشان‌دهنده یکنواختی نسبی مقادیر شاخص‌ها در سطح دشت است (رضایی و همکاران ۱۳۸۹)،

### ارزیابی عمومی کیفیت آب آبیاری

بر اساس میانگین، EC و TDS آب زیرزمینی شهرکرد برای آبیاری در گروه خوب قرار می‌گیرد (کردا ۱۹۹۷). خطر شوری و خطر سدیم در آب زیرزمینی شهرکرد با استفاده از نمودار ویلکوکس در شکل (۳) نشان داده است. بر اساس نمودار ویلکوکس، همه نمونه‌ها در کلاس  $C_2S_1$  قرار می‌گیرند، مگر دو نمونه که در کلاس  $C_3S_1$  هستند (شکل ۳). از لحاظ خطر سدیم، آب زیرزمینی شهرکرد، هیچ‌گونه مشکلی برای خاک ایجاد نمی‌کند، ولی

از لحاظ خطر شوری اندکی برای خاک مشکل‌زا خواهد بود که با استفاده از روش‌های زراعی و اعمال آبتویی کاملاً قابل حل است (آقازاده و اصغری مقدم، ۲۰۱۰). کیفیت آب زیرزمینی آب زیرزمینی شهرکرد از لحاظ میانگین‌های  $Na\%$ ، RSC و PI مناسب است و خطر دراز مدت از جانب سدیم خاک را تهدید نمی‌کند (آقازاده و اصغری مقدم، ۲۰۱۰).



شکل ۳- نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی شهرکرد

### ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری قطره‌ای

آب زیرزمینی شهرکرد از نظر میانگین TDS در گروه با خطر ضعیف و از نظر میانگین TSS و pH در گروه با خطر متوسط برای آبیاری قطره‌ای قرار می‌گیرد (ناکایاما و باکس ۱۹۷۹). در آب زیرزمینی شهرکرد، شاخص LI با میانگین منفی  $0/13$  و بیشینه  $0/5$  حاکی از عدم پتانسیل رسوب‌گذاری در بیشتر سطح دشت و اندکی تمایل به

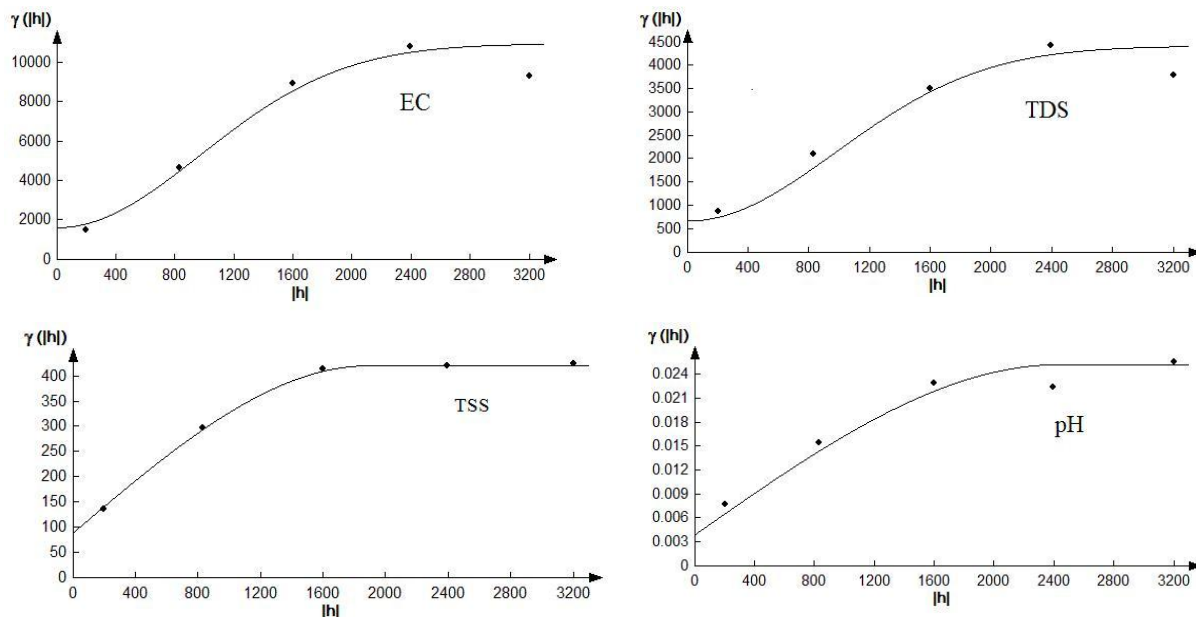
رسوب‌گذاری و گرفتگی قطره چکان‌ها سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در بخشی از دشت است (مختاری و همکاران، ۱۳۸۹، مصطفی‌زاده و معیدی‌نیا، ۱۳۷۹).

### تغییرات مکانی و ویژگی‌های کیفی آب آبیاری

خلاصه آماری مربوط به متغیرهای کیفی که در جدول (۱) ارائه شد، اطلاعات کافی در مورد چگونگی

رو واریوگرام های همه جهته هر متغیر کیفی آب زیرزمینی دشت شهرکرد به همراه مدل برازش داده شده بر آن در شکل ۴ (متغیرهای اندازه گیری شده) و در شکل ۵ (متغیرهای محاسبه شده) ارائه شد. نتایج مربوط به تحلیل واریوگرام ها در جدول (۲) ارائه شده است.

توزیع و تغییرات مکانی مقادیر متغیرها در سطح آبخوان ارائه نمی کند. از این رو، در اینجا به بررسی زمین آماری متغیرهای مورد بررسی پرداخته شد که می تواند اطلاعاتی در مورد تغییرات مکانی متغیرها در سطح آبخوان فراهم می کند. بر اساس واریوگرام سطحی، متغیرها همسانگرد بودند. از این



شکل ۴. واریوگرام تجربی EC، TDS، TSS و pH آب زیرزمینی به همراه مدل برازش داده شده بر آنها

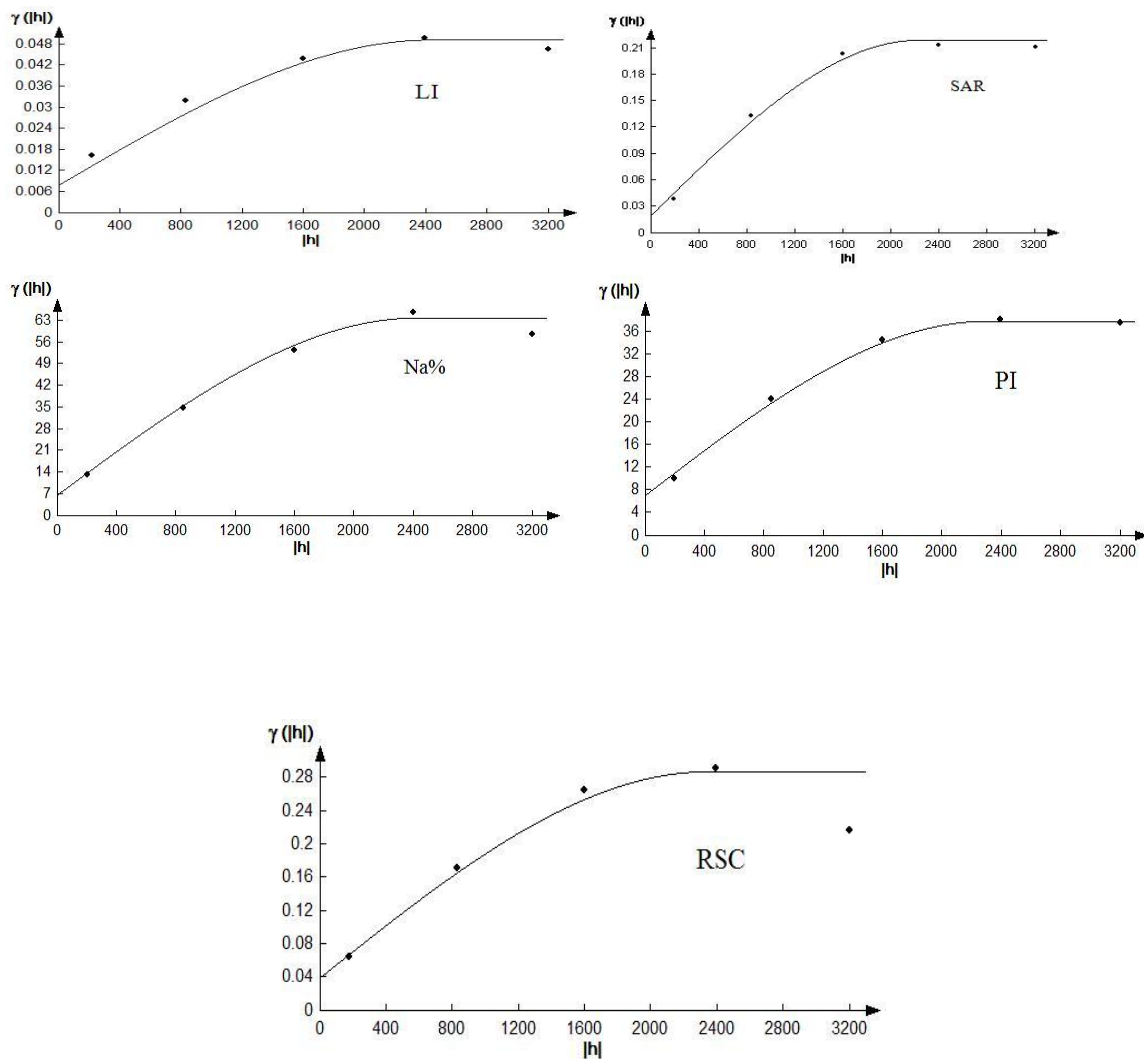
همکاران (۱۳۸۹) کروی، در تحقیق دلبری و همکاران (۱۳۸۹) در مازندران نمایی و در تحقیق شعبانی (۱۳۸۷) در ارسنجان مدل برازش داده شده به TDS کروی بود. احتمالاً می توان نتیجه گرفت الگوی تغییرات مکانی EC و TDS در یک دشت مشابه و از دشتی به دشت دیگر به علت تفاوت در مناطق جغرافیایی و تفاوت در زمین شناسی مناطق، متفاوت است. مدل مناسب برای TSS و pH کروی است. در تحقیق استواری (۱۳۹۰) برای TSS و pH به ترتیب مدل های گوسی و کروی مناسب بودند. علت تفاوت الگوی تغییرات مکانی TSS در این دو تحقیق را می توان به عوامل خارجی مانند نوع پمپاژ نسبت داد که شدت آن می تواند بر مقدار ذرات معلق تأثیر بگذارد.

مدل های برازش داده شده به واریوگرام EC و TDS گوسی است. یکسانی مدل واریوگرام این دو شاخص را می توان به وجود همبستگی مثبت، معنی دار و قوی بین آنها و تغییرات مکانی مشابه آنها در آبخوان نسبت داد. استواری (۱۳۹۰) در آبخوان دشت لردگان نیز برای EC و TDS مدل گوسی را مناسب دانستند. علت تشابه مدل واریوگرام در این و تحقیق می تواند قرار گرفتن آبخوان های شهرکرد و لردگان در یک منطقه جغرافیایی و تشابه زمین شناختی آبخوان ها باشد. مدل برازش داده شده به EC و TDS در تحقیق تقی زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) در دشت اردکان- یزد نیز یکسان اما کروی بود و بین EC و TDS نیز همبستگی قوی وجود داشت (۰/۹۹ = r). مدل مناسب برای EC در گیلان در تحقیق رضایی و



تغییرات مکانی  $\text{Na}\%$ ،  $\text{RSC}$  و  $\text{PI}$  منبع منتشر شده‌ای یافت نشد. علت تشابه مدل‌های واریوگرام  $\text{Na}\%$ ،  $\text{RSC}$  و  $\text{PI}$  را شاید بتوان به وجود همبستگی معنی‌دار بین این شاخص‌ها نسبت داد (جدول ۴).

برای شاخص‌های محاسبه شده  $\text{LI}$ ،  $\text{SAR}$ ،  $\text{RSC}$ ،  $\text{Na}\%$  و  $\text{PI}$  بهترین مدل واریوگرام، مدل کروی تشخیص داده شد. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) نیز برای  $\text{SAR}$  مدل کروی را مناسب تشخیص دادند. در تحقیق استواری (۱۳۹۰) برای  $\text{LI}$  مدل گوسی مناسب بود. در مورد الگوی



شکل ۵- واریوگرام تجربی  $\text{LI}$ ،  $\text{SAR}$ ،  $\text{Na}\%$ ،  $\text{RSC}$  و  $\text{PI}$  به همراه مدل برازش شده به آنها در آب زیرزمینی شهر کرد

جدول ۲- مشخصات نیم تغییرنمای منتخب برای هر ویژگی کیفی آب زیرزمینی شهرکرد و کلاس وابستگی مکانی آن

ویژگی	مدل	دامنه تأثیر (متر)	آستانه تأثیر (C <sub>0</sub> +C)	اثر قطعه‌ای (C <sub>0</sub> )	$\frac{C_0}{C_0+C}$	کلاس وابستگی مکانی
EC	گوسی	۲۳۹۵	۹۳۹۹	۱۶۲۰	۰/۱۷	قوی
TDS	گوسی	۲۳۹۰	۳۵۴۸	۶۸۲	۰/۱۹	قوی
TSS	کروی	۱۹۰۰	۳۳۲	۹۰	۰/۲۷	نسبتاً قوی
pH	کروی	۲۴۱۹	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۱۵	قوی
LI	کروی	۲۴۲۸	۰/۰۳	۰/۰۰۷	۰/۲۳	قوی
SAR	کروی	۲۲۲۶	۰/۲۰	۰/۰۲۰	۰/۱۰	قوی
Na%	کروی	۲۴۲۴	۵۵	۷	۰/۱۲	قوی
RSC	کروی	۲۳۵۷	۰/۲۳	۰/۰۳۰	۰/۱۳	قوی
Pi	کروی	۲۲۸۹	۳۰	۷/۴۰۰	۰/۲۴	قوی

### ارزیابی روش کریجینگ

قبل از هر گونه نتیجه‌گیری در مورد پهنه‌بندی و توزیع مکانی متغیرها در سطح سفره، باید از صحت و دقت قابل قبول روش به کار رفته اطمینان حاصل شود. در این تحقیق، از روش کریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی متغیرها استفاده شد. نتایج ارزیابی روش یادشده در جدول (۳) ارائه شده است.

دامنه تأثیر شاخص‌های مورد بررسی بین ۱۹۰۰ تا ۲۶۰۰ متر بدست آمد. دامنه تأثیر EC و TDS و نیز دامنه تأثیر pH و LI بسیار شبیه هم بود. دامنه تأثیر EC و TDS در دشت لردگان نیز مشابه و حدود ۲۷۰۰ متر بدست آمد (استواری، ۱۳۹۰). نسبت اثر قطعه‌ای به واریانس کل (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C) برای عموم شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد کمتر از ۰/۲۵ بدست آمد که وجود وابستگی مکانی قوی را نشان می‌دهد (کامباردلا و همکاران، ۱۹۹۴).

جدول ۳. نتایج ارزیابی روش کریجینگ برای برآورد شاخص‌ها

شاخص	واحد	R <sup>2</sup>	ME	RMSE	RMSE%
EC	μS/cm	۰/۷۲	-۳	۶۹/۰۰	۱۵
TDS	mg/l	-۰/۲۴	۱/۱۸	۷۴/۰۰	۲۵
TSS	mg/l	۰/۱۰	-۰/۴۷	۲۳/۲۵	۳۴
pH	-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۱	۳
LI	-	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۵	۱۹۰
SAR	(mmol/L) <sup>۱/۵</sup>	۰/۴۰	-۰/۰۰۴	۰/۴۰	۴۲
Na%	%	۰/۴۹	-۰/۰۷	۷/۱۸	۴۲
RSC	me/l	۰/۲۰	-۰/۰۱	۰/۵۱	۲۴
PI	%	-۰/۵۱	-۰/۰۱	۷/۷۰	۲۰

علت افزایش TSS و pH را در جنوب شرقی دشت می‌توان به وجود قطب صنعتی (فرخشهر) در این ناحیه نسبت داد.

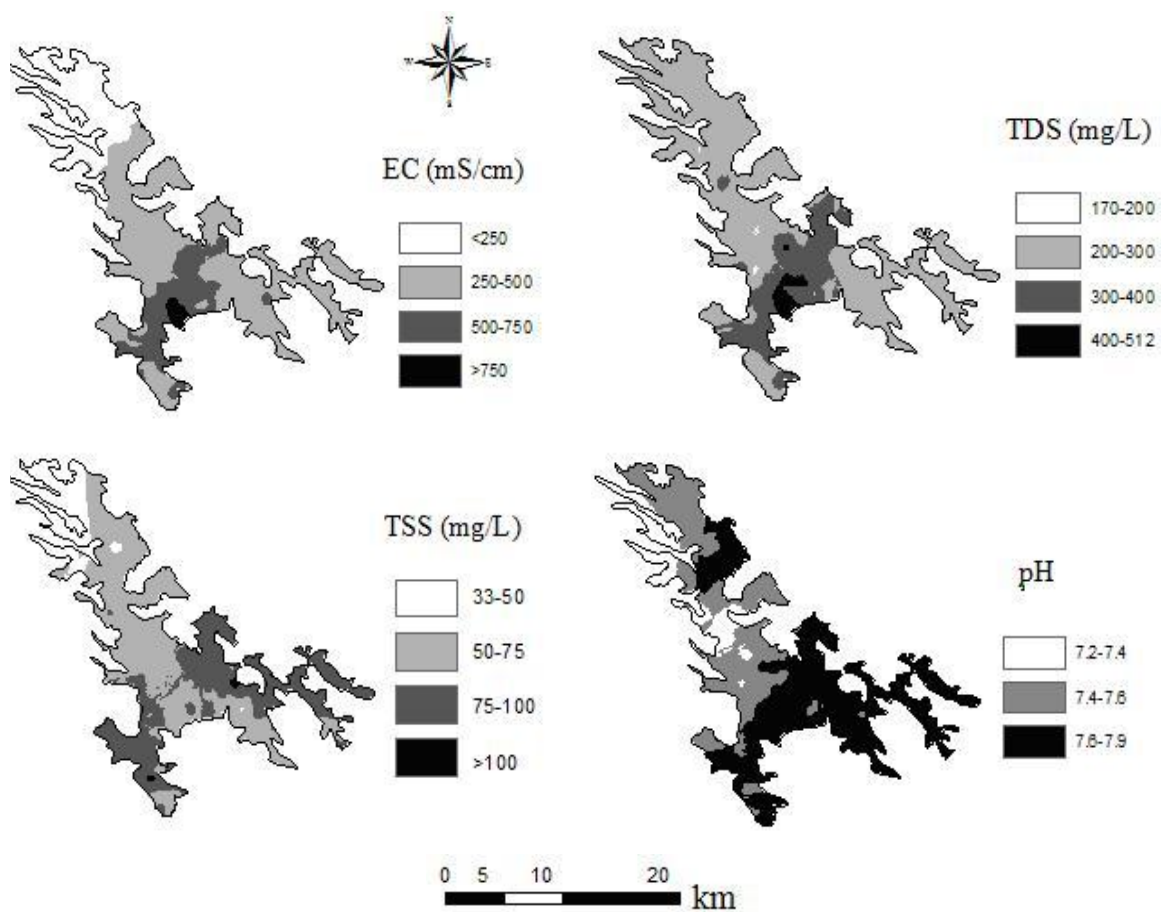
در اکثر قسمت‌های دشت، مقدار شاخص LI منفی است و برای سیستم‌های آبیاری مشکل رسوب‌گذاری ایجاد نمی‌کند (شکل (۷) نقشه LI). مقادیر مثبت شاخص LI در قسمت جنوب شرقی دشت مشاهده می‌شود. آب در این قسمت از دشت، مقداری پتانسیل رسوبگذاری در قطره چکان‌ها را دارد. تغییرات SAR در آب زیرزمینی شهرکرد با تغییرات EC، TDS، TSS، LI، Na%، RSC و PI مشابه است. این شاخص‌ها از شمال غربی به جنوب شرقی افزایش دارند، اما بیشینه SAR، Na%، RSC و PI از حد مجاز برای آبیاری فراتر نرفته است. با توجه به نقشه‌های بدست آمده آب آبخوان شهرکرد، در قسمت‌های شمالی و میانی کیفیت مناسبی برای آبیاری دارد. در جنوب شرقی و جنوب غربی دشت غلظت‌ها به بیشترین مقدار خود رسیده‌اند که این مسئله را باید در آبیاری مد نظر داشت. لاله‌زاری و همکاران (۱۳۸۹) نیز غلظت زیاد شاخص‌های کیفی را در جنوب دشت گزارش کردند. علت این افزایش مقادیر در جنوب دشت را می‌توان به حلالیت کانی‌های سازنده‌های آهکی، شیل و مارن نسبت داد (لاله‌زاری و همکاران ۱۳۸۹). همچنین، در این قسمت از دشت قطب‌های صنعتی دشت متمرکز شده‌اند که می‌توان گفت نفوذ زهاب‌های صنعتی باعث افزایش غلظت شاخص‌ها شده باشد. وجود تصفیه‌خانه نیز در جنوب دشت نیز احتمالاً عامل دیگری بر افزایش مقدار شاخص‌ها است.

معیار RMSE برای تمام شاخص‌ها به غیر از LI کمتر از ۴۰ درصد یا نزدیک به آن شد که نشانه دقت تخمین است (هنگل و همکاران ۲۰۰۴). بنابراین، روش کریجینگ برای پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد روش مناسبی است. استواری (۱۳۹۰) نیز از روش کریجینگ برای پهنه‌بندی EC، TDS، TSS، pH و LI استفاده کردند.

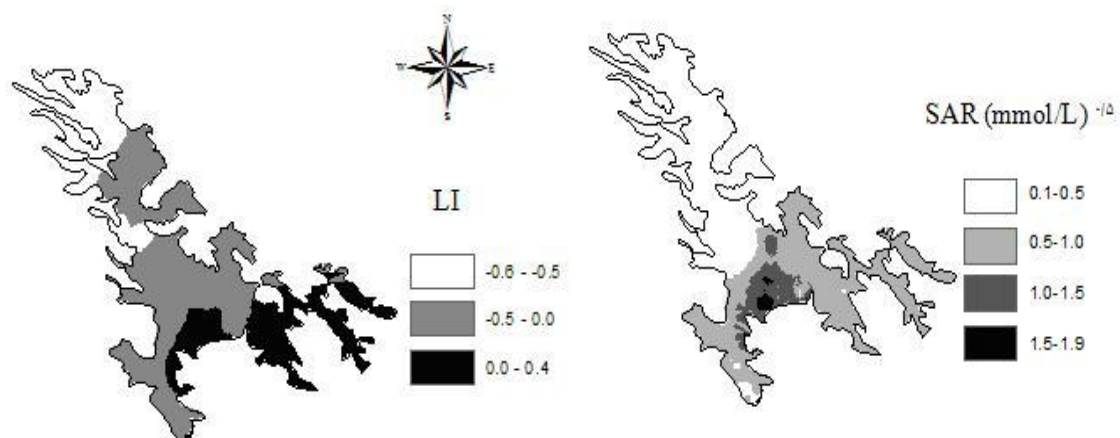
### پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی

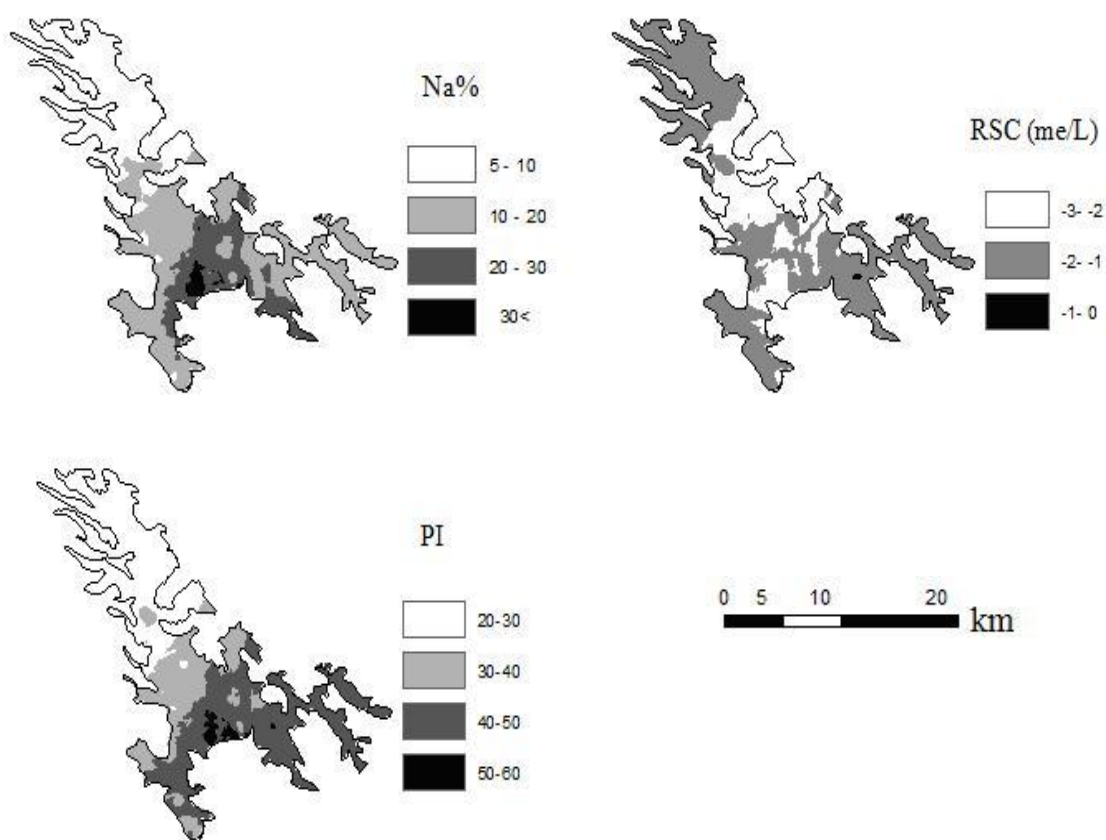
توزیع مقدار یک متغیر در سطح سفره می‌تواند ناشی از عکس‌العمل سازند زمین‌شناسی و ویژگی‌های آب باشد. همچنین، نقشه‌های توزیع یک متغیر می‌تواند در نحوه مدیریت آب یا مدیریت کاربرد آن مفید واقع شود. نقشه مربوط به شاخص‌های اندازه‌گیری شده در آب زیرزمینی شهرکرد در شکل (۶) و نقشه مربوط به شاخص‌های محاسبه شده در آب زیرزمینی شهرکرد در شکل (۷) نشان داده شده است.

نقشه‌های EC و TDS پهنه‌بندی مشابهی را نشان می‌دهند. در هر دو نقشه، از شمال غربی به جنوب بر غلظت املاح آب افزوده می‌شود. علت این افزایش، می‌تواند وجود تصفیه‌خانه در جنوب دشت باشد. بر اساس نقشه EC آب زیرزمینی اکثر قسمت‌ها جز جنوب دشت در کلاس خیلی خوب و خوب قرار می‌گیرد. آب زیرزمینی تمام دشت از نظر TDS مشکلی برای آبیاری ندارد. با این وجود، مقدار این شاخص در جنوب دشت به ۵۱۲ میلی‌گرم در لیتر رسید که خطر متوسطی برای گرفتگی قطره‌چکان‌ها دارد. بر اساس نقشه pH و TSS آب زیرزمینی شهرکرد در اکثر قسمت‌ها پتانسیل متوسطی برای گرفتگی قطره‌چکان‌ها دارد.



شکل ۶. پهنه بندی آب زیرزمینی شهرکرد از نظر EC, TDS, TSS و pH





شکل ۷. پهنه‌بندی آب زیرزمینی شهرکرد از نظر  $Na\%$ ،  $PI$ ،  $RSC$ ،  $SAR$ ،  $LI$

شاخص‌های  $EC$  و  $TDS$  هم‌بستگی معنی‌دار مثبتی با  $LI$ ،  $SAR$ ،  $Na\%$  و  $PI$  و هم‌بستگی منفی با  $RSC$  نشان دادند. در تحقیق تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) بین  $EC$  و  $SAR$  هم‌بستگی ۰/۹۱ بدست آمد. با توجه به نتایج، هم‌بستگی  $SAR$ ،  $Na\%$  با  $EC$  قوی‌تر از  $TDS$  است ( $p < 0/05$ ). می‌توان نتیجه گرفت نقش کاتیون‌ها در  $EC$  بیشتر از آنیون‌ها بوده است. با توجه به هم‌بستگی  $TDS$  و  $pH$  با  $LI$  اثر  $pH$  بر  $LI$  بیشتر است ( $p < 0/05$ ).

## هم‌بستگی شاخص‌های کیفی در آب

### زیرزمینی شهرکرد

هم‌بستگی شاخص‌های کیفی مرتبط با آبیاری در آب زیرزمینی شهرکرد که بر مبنای مشاهدات محاسبه شده است در جدول (۴) مشاهده می‌شود. بین  $EC$  و  $TDS$  هم‌بستگی مثبت معنی‌دار و قوی وجود دارد (جدول ۴). تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) نیز هم‌بستگی بالایی ( $r=0/99$ ) بین این دو شاخص بدست آوردند.

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین شاخص های کیفی مرتبط با آبیاری در آب زیرزمینی شهرکرد (n=۲۹۱)

شاخص	EC	TDS	TSS	pH	LI	SAR	Na%	RSC
TDS	۰/۱۸۶*							
TSS	۰/۰۸	۰/۰۵						
pH	۰/۴۰*	۰/۴۰*	۰/۰۶					
LI	۰/۶۷*	۰/۶۱*	۰/۱۲	۰/۱۸۹*				
SAR	۰/۷۷*	۰/۶۰*	۰/۱۳	۰/۵۰*	۰/۶۷*			
Na%	۰/۷۵*	۰/۶۰*	۰/۱۶	۰/۵۰*	۰/۶۵*	۰/۹۷*		
RSC	-۰/۲۷*	-۰/۲۷*	۰/۲۹*	۰/۲۲*	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۱۱	
PI	۰/۶۵*	۰/۵۳*	۰/۲۵*	۰/۵۹*	۰/۷۵*	۰/۹۰*	۰/۹۳*	۰/۳۹*

\* معنی دار بودن همبستگی را نشان می دهد (p < ۰/۰۵).

هستند، بررسی شاخصی که اندازه گیری آن وقت و هزینه کمتری دارد، برای ارزیابی برای آبیاری کفایت می کند. به عنوان مثال، SAR که عناصر کمتری در محاسبه آن شرکت دارند، شاخص مفیدتری برای ارزیابی خطر درازمدت سدیم بر خاک است. به منظور ارزیابی مدل های واریوگرام انتخاب شده برای هر شاخص و کاربرد روش کریجینگ معمولی، همبستگی بین نقشه های حاصله محاسبه شد. مقادیر همبستگی در جدول (۵) داده شده است.

همبستگی بین SAR و Na% مثبت، معنی دار و قوی است. علت آن می تواند مقادیر کم پتاسیم ( $K^+$ ) در آب زیرزمینی شهرکرد و در نتیجه تأثیر کم آن در محاسبه Na% باشد. این بدان مفهوم است که SAR و Na% عموماً تحت تأثیر غلظت های  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$  و Na% و  $HCO_3^-$  آب زیرزمینی هستند. شاخص PI با تمام شاخص های محاسبه شده به ویژه با SAR و Na% همبستگی قوی و مثبتی دارد که علت آن اشتراک عوامل در محاسبه آن ها است. می توان گفت در بین شاخص هایی که دارای همبستگی های مثبت، قوی و معنی داری

جدول ۵- همبستگی بین نقشه شاخص های مرتبط با آبیاری در آب زیرزمینی شهرکرد (n=۱۲,۸۵۱)

نقشه	EC	TDS	TSS	pH	LI	SAR	Na%	RSC
TDS	۰/۹۴							
TSS	۰/۶۴	۰/۵۴						
pH	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۴۷					
LI	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۹۱				
SAR	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۸۵			
Na%	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۸۶	۰/۹۹		
RSC	-۰/۱۱۸	-۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۱۵	
PI	۰/۷۸	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۳۹

11: تعداد پیکسل های هر نقشه است.

در میان‌یابی و پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد بود.

بر اساس نقشه‌ها، شاخص‌های کیفی در جنوب شرقی دشت بیشترین مقادیر را داشتند. علت بالا بودن EC، TSS و TDS در نواحی جنوبی دشت که شامل شهرهای فرخشهر، شمس‌آباد، بهرام‌آباد و هفشجان است احتمالاً می‌تواند انحلال بیشتر کانی‌های سازنده‌های آهکی، شیل و مارن، نفوذ زهاب‌های صنعتی از مناطق صنعتی و وجود تصفیه‌خانه در جنوب، نشت فاضلاب‌های شهری و همچنین جهت جریان شمالی - جنوبی آب زیرزمینی باشد. از طرف دیگر، از شمال به جنوب دشت عمق سطح ایستابی کاهش می‌یابد، در نتیجه نفوذ آب‌های سطحی به آب زیرزمینی با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد و بر غلظت املاح افزوده می‌شود.

نقشه EC نشان داد آب زیرزمینی اکثر قسمت‌ها جز جنوب دشت در کلاس خیلی خوب و خوب قرار دارد. آب زیرزمینی در هیچ‌جای دشت از نظر TDS مشکلی برای آبیاری ایجاد نمی‌کند. مقدار این شاخص در جنوب دشت به ۵۱۲ میلی‌گرم در لیتر رسید که خطر متوسطی برای گرفتگی فیزیکی قطره‌چکان‌ها دارد. بر اساس نقشه pH و TSS آب زیرزمینی شهرکرد، در اکثر قسمت‌ها پتانسیل متوسطی برای گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها دارد. منفی بودن LI در اکثر قسمت‌های دشت نشان‌دهنده‌ی تناسب خوب آب زیرزمینی برای آبیاری قطره‌ای است. نتایج نشان داد که کیفیت آب قسمت شمال غربی آبخوان خطری برای آبیاری ندارد اما در جنوب شرقی دشت به علت بالا بودن مقادیر شاخص‌ها برای آبیاری محدودیت‌هایی دارد. از جمله باعث گرفتگی فیزیکی و شیمیایی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای می‌شود. اصولاً در آبیاری نیز افزایش EC در جنوب شرقی دشت می‌تواند باعث افزایش فشار اسمزی شده و جذب آب به وسیله گیاه کاهش می‌یابد.

با توجه به تعداد پیکسل زیاد، مقادیر هم‌بستگی حتی مقادیر کوچک مانند  $r = 0/05$  معنی دار هستند ( $p < 0/05$ ). آنچه در مورد هم‌بستگی پیرسون مشاهدات گفته شد در مورد هم‌بستگی اکثر نقشه‌ها نیز صادق است. هم‌بستگی اکثر نقشه‌ها حتی از هم‌بستگی پیرسون نظیر خود هم مقداری قوی‌تر است ( $p < 0/05$ ). فقط در یک مورد هم-بستگی دو نقشه (RSC و TSS) از مقدار متناظر پیرسون آن کمتر شده است که آن هم به علت ماهیت این دو شاخص است که لزوماً ارتباطی به هم ندارند. این همخوانی هم‌بستگی‌ها که به دو طریق مختلف محاسبه شده‌اند حاکی از دقت خوب مدل‌های واریوگرام و تخمین گر کریجینگ معمولی در میان‌یابی و پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی شهرکرد است.

### نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی شهرکرد از نظر EC و TDS به ترتیب با میانگین‌های ۴۵۶ میکروموس بر سانتی‌متر و ۲۹۶ میلی‌گرم در لیتر در گروه خوب برای آبیاری قرار گرفت (کردا، ۱۹۹۷). طبق طبقه‌بندی ویلکوکس، آب در گروه  $C_2S_1$  قرار دارد که خطر شوری متوسط و بی‌خطر بودن سدیم را نشان می‌دهد. آب زیرزمینی شهرکرد از نظر شاخص‌های خطر سدیم: SAR، Na%، RSC و PI و نیز RSC برای آبیاری مناسب است. بر اساس میانگین‌های TSS و pH برای آبیاری قطره‌ای آب در گروه متوسط قرار گرفت (ناکایاما و باکس ۱۹۹۶). منفی بودن میانگین شاخص LI نشان داد آب زیرزمینی شهرکرد پتانسیل رسوب‌گذاری در قطره‌چکان‌ها را ندارد (مصطفی‌زاده و معیدی‌نیا، ۱۳۷۹). مدل واریوگرام گوسی برای EC و TDS و مدل کروی برای دیگر شاخص‌ها مناسب بود. دامنه‌های تأثیر این شاخص‌ها بین ۱۹۰۰ تا ۲۶۰۰ متر بدست آمد و نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر نشان داد در این دامنه‌ها وابستگی مکانی قوی است. همخوانی هم‌بستگی‌های مشاهدات و نقشه‌ها که به دو طریق مختلف محاسبه شد، حاکی از دقت خوب مدل‌های واریوگرام و تخمین گر کریجینگ معمولی

### فهرست منابع

۱. استواری، ی. ۱۳۹۰. ارزیابی کیفیت آب آبخوان های منطقه ی لردگان و تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت این ابخوان ها. پایان نامه ی کارشناسی ارشد، رشته علوم خاک دانشگاه شهرکرد. ۱۱۰ ص.
۲. حسن لی، ع. م. ۱۳۷۹. گرفتگی قطره چکان ها در آبیاری قطره ای (مطالعه ی موردی) و راهکارهای کنترل آن. مجله دانش کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۳، صص. ۴۹ تا ۵۹.
۳. رضایی، م.، ن.، دوانگر، خ. تاجداری، و ب.، ابولپور. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص های کیفی آب های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک. جلد ۲۴، شماره ۵، صص. ۹۳۲ تا ۹۴۱.
۴. شعبانی، م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب ترین روش زمین آمار در تهیه ی نقشه ی تغییرات pH و TDS آب های زیرزمینی (مطالعه ی موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب، سال اول، صص ۴۷ تا ۵۸.
۵. لاله زاری، ر. و س. ج.، طباطبائی. ۱۳۸۹. خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد. محیط شناسی، سال سی و ششم، شماره ۵۳، ۸ صفحه.
۶. مختاری، س.ا.، م.، عالیقدری، ص.، حضرتی، ه.، صادقی، ن.، قراری، و ل.، قربانی. ۱۳۸۹. ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوب گذاری شبکه ی توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص های لائزلیز و رایزنر. مجله علمی پژوهشی سلامت و بهداشت اردبیل، جلد ۱، شماره ۱، صص. ۱۴ تا ۲۳.
۷. مصطفی زاده، ب. و ع. ح. معیدی نیا. ۱۳۷۹. تأثیر ترکیبات شیمیایی مختلف آب آبیاری بر گرفتگی قطره چکان ها در آبیاری قطره ای. مجله ی علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۱، شماره ۳، صص. ۴۹۷ تا ۵۱۱.
۸. میرزایی، س. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب پذیری و تهیه خطر الودگی ابخوان دشت شهرکرد با استفاده از GIS و مدل های دراستیک و سیتکس. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته علوم خاک دانشگاه شهرکرد. ۱۷۰ ص.
9. Aghazadeh, N. and A. Asghari Mogaddam. 2010. Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh area, northwest of Iran. *Journal of Environmental Protection*, 1: 30-40.
10. APHA. 1998. Standard methods for examination of water and wastewater. (20th Edition) American Public Health Association Inc. Washington, USA.
11. Cambardella, C. A., T. B., Moorman J. M., Novak T. B., Parkin, D. L., Karlen, R.F., Turco, and A. E. Koropaka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1501-1511.
12. ESRI Inc. 2008. ArcMap™. Version 9.3. www.esri.com.
13. Hengel, T., G. B. M., Huvelink and A.. Stein. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variabls based on regression-kriging. *Geoderma* , 120:75-93.
14. Kirda, C. 1997. Assessment of irrigation quality. *Options Mediterraneenes*, 367-377.
15. Nakayama, F. S., and D.A. Bucks. 1991. Water quality for drip trickle irrigation. *Irrigation Science*, 12:187-192.
16. Pannatier, Y. 1998. Variowin: software for data analysis in 2D. Version 2.21. Springer Verlag. 93 pages.
17. Sheng Ye, M., Y. Pin Lin and L., Cheng. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial kriging and genetic algorithms. *Environmental Geology*, 50: 101-121.
18. Scott, D. 2000. Soil physics, agricultural & environmental applications. Iowa University Press, 410 Pages.



19. StatSoft. 2008. STATISTICA (data analysis software system). Version 8. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
20. Taghizade-Mehrjardi, R., M., Zareian Mahmodi S.h., and Heidari A. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain). *World Applied Science Journal*, 4(1): 9-17.
21. US EPA 1991. GeoEas 1.2.1 (Geostatistical environmental assessment software). User's guide, 186 pages.
22. Wilcox, LV.1955. Classification and use of irrigation water, US Department of Agriculture., Circ. 696, Washington, DC.