

## نگرشی نو در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی با روش‌های آماری - فضایی (تحلیل لکه داغ): مطالعه موردی دشت کرمان

رضا حسن‌زاده<sup>۱\*</sup>، محدثه حسینی‌نیا<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۴

### چکیده

در این مقاله کارایی روش‌های درون‌یابی و روش تحلیل لکه داغ در ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت کرمان مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام این امر اطلاعات مربوط به مقادیر هدایت الکتریکی (EC)، کل نمک‌های محلول (TDS) و نسبت جذب سدیم (SAR) ۶۰ نقطه چاه در حال بهره‌برداری در دشت کرمان گردآوری و پس از اطمینان از موقعیت مکانی و صحت داده‌ها با استفاده از روش‌های معکوس فاصله وزن‌دار و کریجینگ نقشه پراکنش این پارامترها با استفاده از داده‌های اولیه و نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ (Z-Score) برای هر پارامتر ترسیم گردید. نتایج حاصل حاکی از ارجحیت کارایی روش کریجینگ نسبت به روش معکوس فاصله وزن‌دار با استفاده از نتایج تحلیل لکه داغ نسبت به استفاده از داده‌های اولیه می‌باشد. زیرا نقشه‌های حاصل بدون دخالت کاربر در تعیین تعداد و حد طبقات بر اساس اصول زمین آماری ترسیم گردید. نقشه‌های حاصله با استفاده از نتایج حاصل از لکه داغ نشان‌دهنده مرز و مساحت مشخص مقادیر بسیار بالا و مقادیر بسیار پایین EC (۱۴۱۱ و ۱۰۶۳)، TDS (۱۸۷۴ و ۱۴۷۰) و SAR (۳۲۱ و ۳۹۶ کیلومتر مربع) در منطقه می‌باشد. به طوری که مساحت‌های محاسبه شده با واقعیت سازگار و نشان‌دهنده تاثیر ناحیه‌ای گسترش یک پارامتر در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین استفاده از نتایج تحلیل لکه داغ در ترکیب با سایر روش‌های درون‌یابی می‌تواند محققین را در ارزیابی میزان گسترش مقادیر بسیار بالا و پایین یک پارامتر و مساحت تحت‌تاثیر آلودگی در منطقه یاری رساند.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی، تحلیل لکه داغ، دشت کرمان، کریجینگ، معکوس فاصله وزن‌دار

### مقدمه ۲۱

محاسبه و قضاوت در مورد پارامترهای کیفی منابع آب برخوردارند. نقطه عطف این روش‌ها، توانایی در لحاظ نمودن تغییرات مکانی متغیرها در روند تخمین می‌باشد (امینی و همکاران، ۱۳۸۱). در این تخمین‌ها از عوامل زیادی چون فاصله نقاط، ناهمسان‌گری و تغییرپذیری مکانی استفاده می‌شود (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر دقت این روش‌ها در مقایسه با هم و در قیاس با سایر روش‌ها در پهنه‌بندی زمانی و مکانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در اغلب مطالعات انجام شده، بر قابلیت روش‌های زمین آمار در مدیریت و پایداری منابع آب زیرزمینی تاکید شده است. از این میان روش کریجینگ توسط بسیاری از محققان به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۱).

از دیگر روش‌ها می‌توان به روش تحلیل لکه داغ (Hotspot Analysis) اشاره نمود. این روش توسط جانگ (Jang et al., 2017) جهت شناسایی نقاط با آسیب‌پذیری بالا سفره آب زیرزمینی در ترکیب با مدل دراستیک استفاده شد و به دلیل ذات آماری - فضایی آن می‌تواند روش خوبی جهت ارزیابی کیفی سفره آب زیرزمینی باشد.

در بسیاری از مناطق ایران و سایر کشورهای دارای اقلیم گرم و خشک، منابع آب زیرزمینی جزو مهم‌ترین منابع آبی برای شرب و کشاورزی به حساب می‌آیند. در سال‌های اخیر، وجود خشک‌سالی‌ها و پمپاژ بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی بدون توجه به ظرفیت تجدیدپذیری آن‌ها سبب افت سطح آب‌های زیرزمینی و پیامدهای نامطلوبی چون کاهش کیفیت آب شده است. کاهش کیفیت این منابع و شور شدن آن‌ها خطر جدی برای فعالیت‌های کشاورزی و درآمد‌های حاصل از آن در مناطق متاثر خواهد شد (Neshat and Pradhan., 2017).

مجموعه روش‌های زمین آمار از دقت قابل ملاحظه‌ای برای

۱- استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم، تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران  
۲- دکتری آبیاری و زهکشی، دانش‌آموخته دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران

\* - نویسنده مسئول: (Email: Hassanzadeh22@yahoo.com)

جدول ۱- مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی با روش‌های مختلف

روش انتخابی	روش‌های مورد آزمون	پارامترهای بررسی شده	منطقه مطالعاتی	
K	K <sup>1</sup> - RBF <sup>2</sup> - IDW <sup>3</sup> - GP <sup>4</sup>	EC-TDS-SAR- TH-Ca <sup>2+</sup> - Mg <sup>2+</sup> - Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - pH	دشت مشهد- استان خراسان رضوی	یزدان پناهی و همکاران (۱۳۹۷)
K	K-IDW- RBF	EC-TDS-SAR	دشت سرایان- استان خراسان جنوبی	نخعی نژاد فرد و همکاران (۱۳۹۶)
K	K-IDW	TDS- TH- Na <sup>+</sup> - Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	مناطق مهران و دهلران- استان ایلام	محمدیاری و همکاران (۱۳۹۶)
K	---	EC -SAR	دشت رفسنجان- استان کرمان	قضاوی و رمضانی سربندی (۱۳۹۶)
K	K-IDW	Ca <sup>2+</sup> - Mg <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> - Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - pH	دشت جیرفت- استان کرمان	سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۵)
IDW	K-CoK <sup>5</sup> -IDW- DM <sup>6</sup>	EC-TDS	دشت ورامین- استان تهران	ملکیان و همکاران (۱۳۹۵)
K	K-CoK-IDW- NDW <sup>7</sup>	EC -SAR- TH- Ca <sup>2+</sup> - Mg <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - pH	دشت کرمان- استان کرمان	یزدان پناه و دژهمت (۱۳۹۴)
CoK	K-CoK-IDW	EC - SAR- TH- TDS- Ca <sup>2+</sup> - Mg <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -Cl <sup>-</sup> - pH	دشت هشتگرد - استان البرز	ملکیان و میردشتوان (۱۳۹۴)
K	K-IDW- RBF	EC - SAR- TDS	حوزه آبریز دریاچه زریبار- استان کردستان	صادقی و همکاران (۱۳۹۳)
K	---	EC-TDS	دشت گیلان- استان گیلان	احمدپور و همکاران (۱۳۹۳)
K	K-CoK-IDW	EC-TDS- Cl <sup>-</sup>	دشت شهرباک- استان کرمان	جهانشاهی و همکاران (۱۳۹۳)
K	K-IDW	EC -SAR- TH- Ca <sup>2+</sup> - Mg <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - pH	دشت فسا- استان فارس	زاهدی فر و همکاران (۱۳۹۲)
CoK	K-CoK-IDW	EC -TDS- Na <sup>+</sup> -Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	دشت سرخه- استان سمنان	قمیشیون و همکاران (۱۳۹۱)
K	K- RBF- DM	EC- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	دشت نی‌ریز- استان فارس	شعبانی و همکاران (۱۳۹۰)
CoK	K-CoK	EC -TDS- SAR- TH- Cl <sup>-</sup>	دشت قزوین- استان قزوین	محمدی و همکاران (۱۳۹۰)
K	K-CoK-IDW	EC	استان مازندران	دلبری و همکاران (۱۳۸۹)
K	K-IDW	EC- SAR- Na <sup>+</sup>	استان گیلان	رضایی و همکاران (۱۳۸۹)
K	K- DM	TDS-pH	دشت ارسنجان- استان فارس	شعبانی و همکاران (۱۳۸۷)
K	---	EC -Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	دشت بالارود- استان خوزستان	نظری زاده و همکاران (۱۳۸۵)
ANN	K-CoK-ANN <sup>8</sup> - ANFIS	EC	Keshti, Bam and Rahmatabad plain - Kerman, Iran	Maroufpoor et al., 2019
K	.....	EC-TDS-SAR-TH-Na <sup>+</sup> - Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Varamin Plain - Tehran, Iran	Karami et al., 2018
IDW	....	EC-pH	Krishnagiri district- Tamil Nadu, India	Kuttimani et al., 2017
IDW	....	EC -TDS- TH- Ca <sup>2+</sup> - Mg <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> - K <sup>+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - pH	Alappuzha district, Kerala, India	Achari et al., 2017
K	....	EC -TDS-SAR	Ravar plain- Kerman, Iran	Babakhani et al., 2016
K	....	EC -TDS- Ca <sup>2+</sup> - Mg <sup>2+</sup> - Na <sup>+</sup> -Cl <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - pH	Orzooiyeh plain- Kerman, Iran	Pourkhosravani, 2016
CoK	K-CoK-IDW	EC -TDS	Dez irrigation network- Khuzestan, Iran	Andik and Eslami, 2015
K	K-IDW	EC -SAR- Na <sup>+</sup> -Cl <sup>-</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - pH	Shahr-e-Babak plain Kerman, Iran	Azareh et al., 2014
K	....	EC -SAR	Ardabil plain- Ardabil, Iran	Mahmoodifard et al., 2014
ANFIS	K- ANN- ANFIS	EC	Tabriz plain- East Azarbaijan, Iran	Jeihouni et al., 2013
CoK	K-CoK- DM	EC- TDS- TH	Garmsar district- Semnan, Iran	Zehtabian et al., 2013- Karami
K	K-IDW	EC -TDS-SAR	Shahr-e-Babak plain Kerman, Iran	Azareh et al., 2012

۱-کریگینگ-۲؛ ۳-وزن‌دهی معکوس؛ ۴-Global Polynomial؛ ۵-Co-Kriging؛ ۶-Deterministic

۷-Method؛ ۸-Normal Distance Weight؛ ۹-Artificial Neural Network

روش‌ها توزیع مکانی غلظت پارامترهای کیفی آب از جمله هدایت الکتریکی (EC)، کل نمک‌های محلول (TDS) و نسبت جذبی سدیم (SAR) در محدوده دشت کرمان مشخص و سپس با مقایسه نتایج با یکدیگر میزان کاربردی بودن هر روش در ارزیابی کیفیت منابع آبی تعیین گردید.

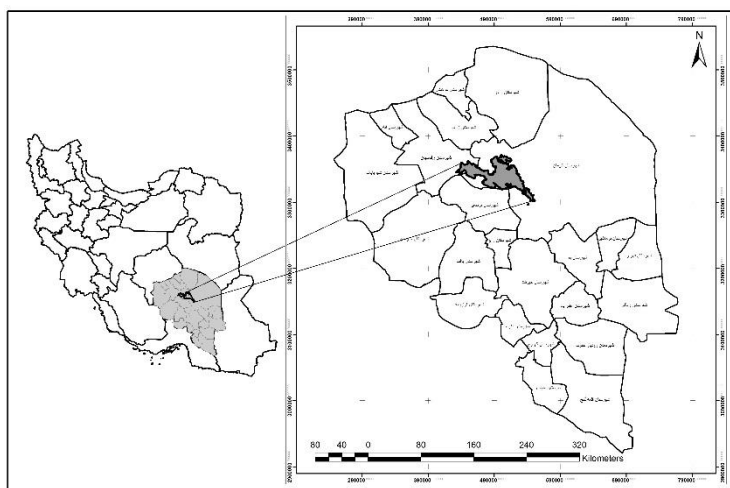
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت کرمان در عرض جغرافیایی ۳۳°۱۰'۱۷" تا ۳۳°۱۱'۱۸" شمالی و طول جغرافیایی ۴۳°۱۵'۱۲" تا ۵۵°۱۴'۰۵" شرقی بر اساس سیستم UTM و در مجاورت شهرهای کرمان، ماهان، جویبار و باغین واقع شده است (شکل ۱). این دشت بالغ بر ۳۲۴۷ کیلومترمربع مساحت داشته و کاربری‌های متنوعی عمدتاً شهری، صنعتی و کشاورزی بر روی این پهنه گسترش یافته‌اند (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۴).

این در حالی است که تاکنون مطالعات اندکی در زمینه میزان کارایی این روش در پهنه‌بندی مکانی کیفیت آب زیرزمینی صورت گرفته است که انگیزه اصلی انجام این تحقیق می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در تحقیق حاضر به بررسی کارایی روش تحلیل لکه داغ و روش زمین آمار کریجینگ و روش معکوس فاصله وزن‌دار در تخمین پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کرمان چون هدایت الکتریکی (EC)، کل نمک‌های محلول (TDS) و نسبت جذبی سدیم (SAR) پرداخته شده.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از روش‌های ارزیابی کمی از جمله روش معکوس فاصله وزن‌دار و روش‌های زمین آماری شامل کریجینگ و تحلیل لکه داغ جهت ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده شد. با کاربرد این



شکل ۱- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

نرمال بودن اطلاعات اولیه ارزیابی شد و در بعضی موارد داده‌ها با کاربرد روش لگاریتمی نرمال‌سازی شدند. جهت تحلیل نقشه‌های به‌دست آمده، میزان حد مجاز مقدار EC، SAR و TDS در آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گرفت.

### روش انجام کار

#### روش معکوس فاصله وزن‌دار

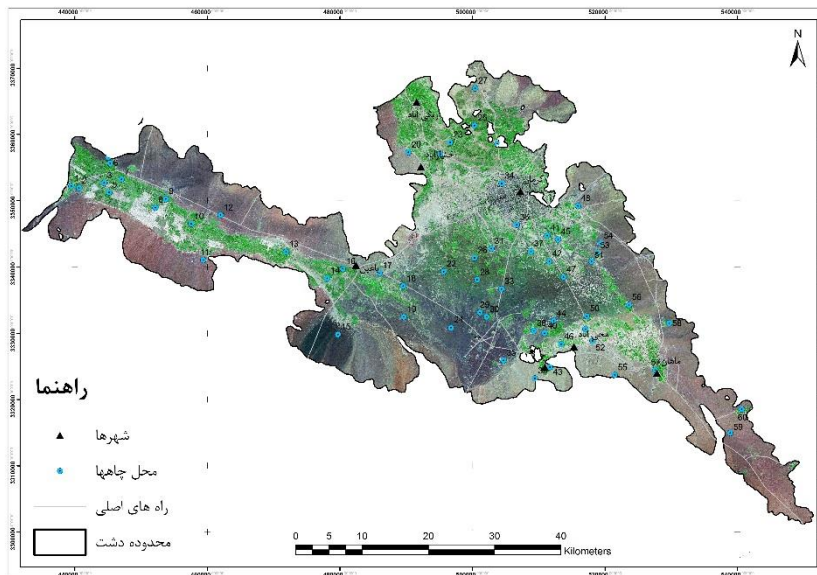
این روش از مجموعه روش‌های تجربی و از کاربردی‌ترین روش‌های درون‌یابی بوده و بر اساس اصل اول جغرافیایی عمل می‌نماید. طبق این اصل عوارض نزدیک به هم تاثیر بیش‌تری بر هم

### اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز شامل داده‌های مربوط به پارامترهای کیفی آب شامل EC، TDS و SAR برداشت شده در شهریورماه ۱۳۹۳ مربوط به ۶۰ چاه در حال بهره‌برداری دشت کرمان می‌باشند. این اطلاعات از سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان دریافت گردید. داده‌های سال‌های اخیر به دلیل افزایش در بازدیدهای کارشناسان جهت برداشت اطلاعات و همچنین کاربرد تجهیزات پیشرفته آزمایشگاهی از دقت خوبی جهت تحلیل ارزیابی کیفی آب زیرزمینی برخوردار می‌باشند. جهت استفاده از این داده‌ها تحلیل موقعیت مکانی آن‌ها از نظر نحوه گسترش در دشت و همچنین یکنواختی توزیع مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲) و سپس جهت استفاده از تحلیل‌های آماری - مکانی میزان

به تحقیقات گذشته میزان توان بهینه برای این محاسبه می‌باشد (رابطه ۱) (Watson and Philip, 1985).

دارند تا عوارض دور از هم (Philip and Watson., 1982 and Cressman., 1959)، بنابراین با افزایش فاصله میزان تاثیر وزن نقاط بر روی محاسبه مقدار مجهول یک نقطه کاهش می‌یابد که با توجه



شکل ۲- موقعیت دشت کرمان و چاه‌های آب در حال بهره‌برداری

### روش تحلیل لکه داغ

تحلیل لکه داغ از آماره گتیس- ارد جی ای (Getis - Ord) (Gi) با استفاده از تحلیل همسایگی در داده‌ها جهت تعیین نواحی با غلظت بالا که نقاطی با غلظت بالا، احاطه شده باشند (لکه داغ) و یا نواحی با غلظت پایین که نقاطی با غلظت پایین احاطه شده باشند (لکه سرد) استفاده می‌کند. این تحلیل آماری- مکانی طبق اصول تست فرضیه استوار می‌باشد که می‌تواند سطح معنی‌داری لکه داغ و سرد را به صورت آماری تعیین نماید. بنابراین پس از محاسبه Z-Score و P-value برای هر نقطه، نقاط با Z بالا و P کم‌تر از ۰/۰۵ از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند که این مهم پس از مقایسه مجموع محلی مقادیر عارضه و همسایه آن به‌طور نسبی با جمع کل مقادیر عوارض حاصل می‌گردد (Getis and Ord., 1992; Ord and Getis., 1995). و به‌صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} - \bar{x} \sum_{i=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (3)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2}$$

در رابطه‌ی فوق،  $x_j$  مقدار خصیصه برای عارضه  $z_j$ ،  $w_{ij}$  وزن مکانی بین عارضه‌های  $i$  و  $j$  و  $n$  برابر تعداد کل عارضه‌ها و  $G_i$  خود

$$z(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{z_i}{d_i^p} \right]}{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{d_i^p} \right]} \quad (1)$$

$z(x, y)$  = مقدار مجهول نقطه،  $Z_i$  = مقدار در نقطه  $i$ ،  $d_i$  = فاصله نقطه با مقادیر معلوم  $i$  از نقطه با مقدار مجهول،  $p$  = مقدار توان تاثیرگذاری مقدار نقطه معلوم در محاسبه مقدار نقطه مجهول.

### روش کریجینگ

این روش از روش‌های زمین آماری مهم که با استفاده از کل اطلاعات مدل ریاضیاتی لازم جهت تخمین مقادیر نامعلوم نقاط را فراهم می‌آورد. در روش کریجینگ ابتدا ساختار اطلاعات و توزیع مکانی آن‌ها تحلیل شده تا نیم تغییرنمای آن ترسیم و سپس با برازش بهترین مدل بر روی ساختار مکانی داده‌ها، نقشه درون‌یابی ترسیم گردید (رابطه ۲) (Cressie., 1990; Oliver., 1990).

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (2)$$

$Z_0$  = مقدار مجهول در یک نقطه (مقدار پیش‌بینی)،  $Z_i$  = مقدار سنجش شده در نقطه  $i$ ،  $\lambda_i$  = وزن محاسبه شده در نقطه  $i$  و  $n$  = تعداد نقاط سنجش شده.

و همچنین نقشه‌های درون‌یابی حاصل از کاربرد روش معکوس فاصله وزن‌دار و کریجینگ بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ به‌صورت بصری مقایسه شدند و محاسبه مساحت‌های نواحی با مقادیر بسیار بالا و مقادیر بسیار پایین بر اساس هر روش در GIS محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفتند.

### نتایج و بحث

نقشه‌های هم‌مقدار پارامترهای EC، TDS و SAR در محدوده دشت کرمان با استفاده از روش‌های معکوس فاصله وزن‌دار و کریجینگ بر روی داده‌های اولیه و همچنین نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ ترسیم گردیدند. اعمال روش معکوس فاصله وزن‌دار و کریجینگ بر روی داده‌های اولیه و همچنین نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ جهت تعیین روش بهینه تهیه نقشه‌های ارزیابی کیفی آب زیرزمینی انجام گردید. این مهم از اهمیت شایانی برخوردار می‌باشد که تاکنون به خوبی به انجام نرسیده است و هدف اصلی انجام این تحقیق می‌باشد. آمار توصیفی نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- آمار توصیفی نمونه‌ها

پارامترهای توصیفی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف از معیار
TDS	۱۵۹	۵۸۸۰	۱۳۹۳/۰۳	۱۲۱۵/۷۷
EC	۲۴۵	۹۰۴۶	۲۱۴۲/۸۵	۱۸۷۰/۴۳
SAR	۱	۲۱	۵/۲۳	۴/۲۸

فاصله وزن‌دار و کریجینگ بر روی داده‌های اولیه بسیار زیاد می‌باشد. در حالی که این مقادیر برای نواحی با مقدار بسیار بالا بسیار اندک است. از طرفی نحوه طبقه‌بندی نتایج درون‌یابی بر اساس نظر کاربر و کارشناس صورت می‌گیرد. که این امر می‌تواند مفسر را در تفسیر نهایی ارزیابی کیفی میزان گسترش و نحوه گسترش پارامترها به خطا دچار سازد. این در حالی است که مساحت نواحی با مقدار بسیار کم بر اساس روش معکوس فاصله وزن‌دار و کریجینگ بر روی نتایج لکه داغ قابل تامل می‌باشند (جدول ۴). این مقادیر برای نواحی با مقدار بسیار پایین و بسیار بالا به‌طور قابل توجه‌ای نزدیک به هم هستند. این خود نشان‌دهنده نحوه عملکرد محاسباتی بر اساس روش لکه داغ بوده و میزان تاثیرگذاری نقطه‌ای پارامترها را کم و تاثیرگذاری ناحیه‌ای آن‌ها را افزایش می‌دهد. که این خود می‌تواند ملاک عمل جهت تعیین وسعت تحت تاثیر آلودگی قرار گیرد. از طرفی میزان غلظت پارامترهای مدنظر در این ناحیه به‌صورت آماری معنی‌دار و نشان‌دهنده غیرتصادفی بودن آلودگی در این بخش می‌باشد.

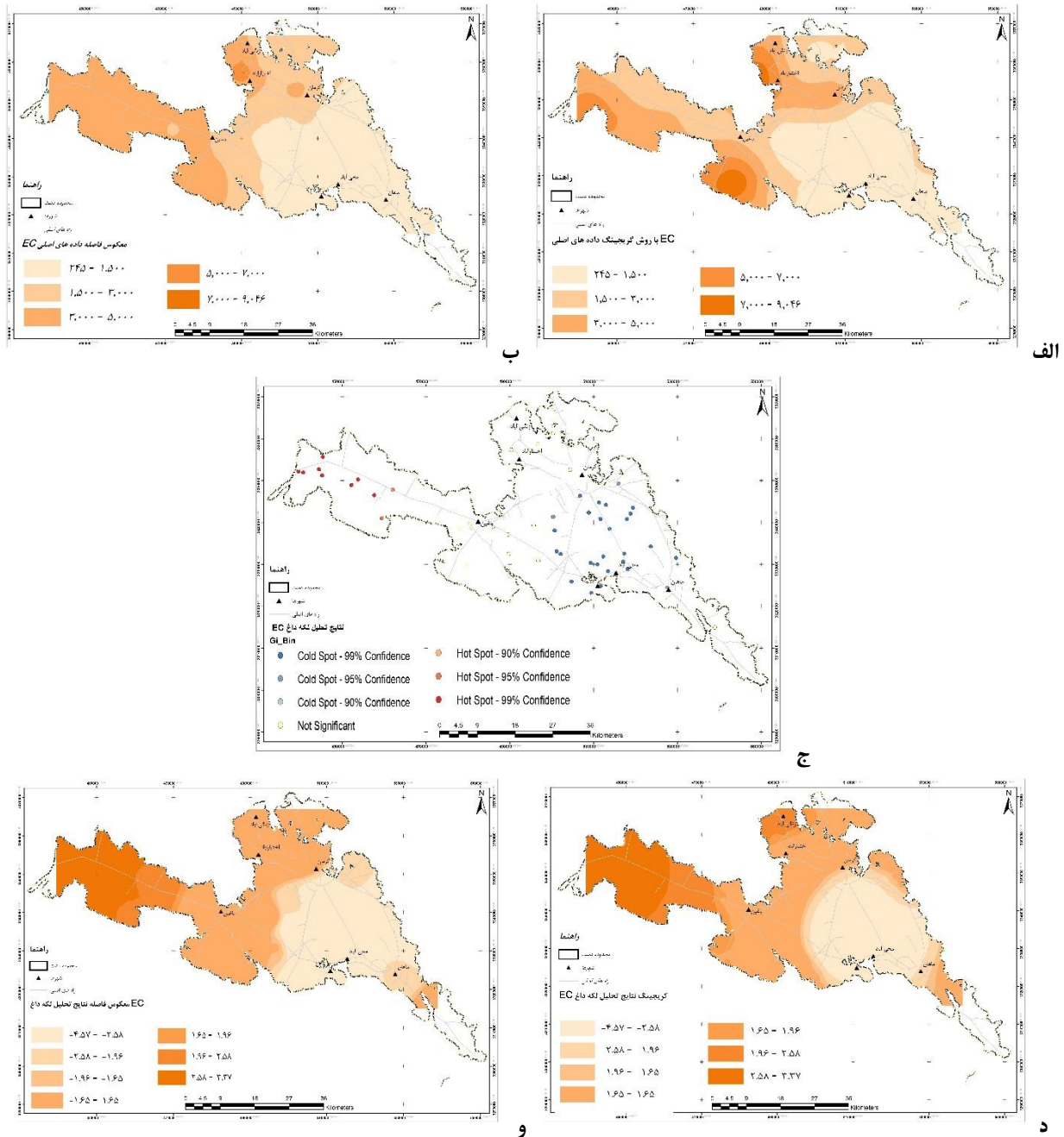
نوعی Z محسوب می‌گردد، S انحراف از معیار و  $\bar{x}$  میانگین مقادیر خصیصه مدنظر می‌باشند.

برای اجرای روش‌های درون‌یابی IDW و کریجینگ و همچنین محاسبه تحلیل آماری- مکانی لکه داغ (Hotspot Analysis) از نرم‌افزار ArcGIS v10.4 استفاده شد. در این نرم‌افزار پس از اجرای این روش‌ها، نقشه‌ای ایجاد شد که براساس مقدار حد مجاز هر پارامتر کیفی طبقه‌بندی شدند که مقادیر با غلظت بالای هر پارامتر نشان‌دهنده مناطق با غلظت بالاتر از حد مجاز می‌باشند. پس از محاسبه تحلیل لکه داغ نقشه‌های درون‌یابی برای هر پارامتر با استفاده از مقدار Z-Score با روش IDW و کریجینگ تهیه گردید و سپس این نقشه‌ها بر اساس مقادیر سطوح ۹۰ (۱/۶۵)، ۹۵ (۱/۹۶) و ۹۹ (۲/۵۸) درصد طبقه‌بندی شدند. که سطوح بالای ۹۹ (۲/۵۸) درصد با مقادیر مثبت و بالای Z نشان‌دهنده مناطق و خوشه‌های داغ (غلظت بسیار بالا) و مقادیر منفی و پایین Z نشان‌دهنده مناطق و خوشه‌های سرد (غلظت بسیار پایین) ایجاد شده می‌باشند.

در این مقاله نقشه‌های درون‌یابی حاصل از کاربرد روش معکوس فاصله وزن‌دار و کریجینگ بر روی داده‌های اولیه براساس هر پارامتر

نقشه‌های پهنه‌بندی نشان‌دهنده مقادیر بسیار پایین EC (شکل‌های ۳ الف - و)، TDS (شکل‌های ۴ الف - و) و SAR (شکل‌های ۵ الف - و) در بخش‌های شرقی دشت و مقادیر بسیار بالای EC در بخش‌های غربی دشت کرمان می‌باشد. تفسیر بصری نقشه‌ها بر اساس روش‌های مختلف نشان‌دهنده تغییرات در نواحی با مقادیر بسیار پایین و بسیار بالا می‌باشد که بر اساس اصول محاسباتی هر روش می‌باشند. اما این تغییرات در برخی نواحی از لحاظ وسعت و نحوه پراکنش قابل بحث هستند. حتی نتایج تحلیل لکه داغ نشان‌دهنده تمرکز لکه داغ (نقاط قرمز تیره) در محدوده غربی دشت کرمان و لکه سرد (نقاط آبی تیره) در بخش مرکزی رو به شرق دشت کرمان می‌باشد (شکل ۳ ج، ۴ ج و ۵ ج). این روند تغییرات بدلیل قرار گیری نواحی شهری و صنعتی در بخش غربی و عدم وجود چنین نواحی در بخش شرقی دشت می‌باشد.

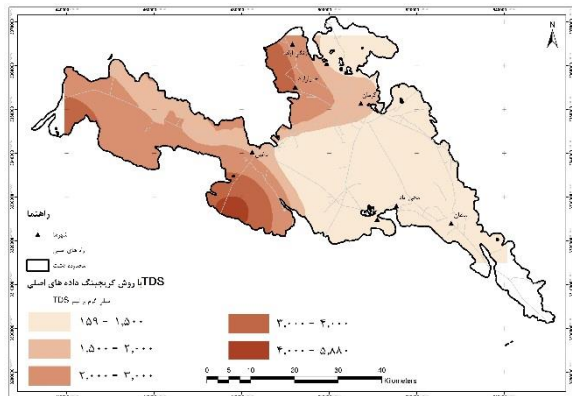
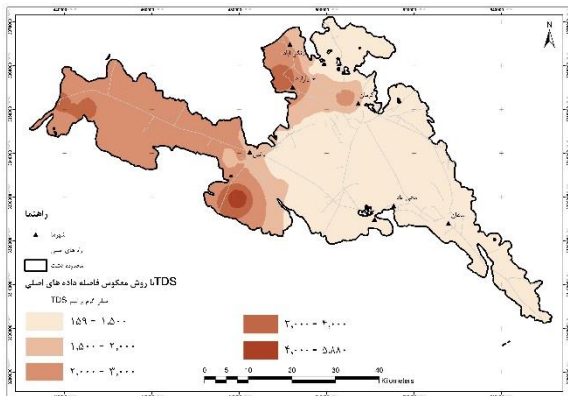
همان‌طوری که در جدول ۳ نشان داده شده است، تفاوت در میزان مساحت نواحی با مقادیر بسیار پایین بر اساس روش معکوس



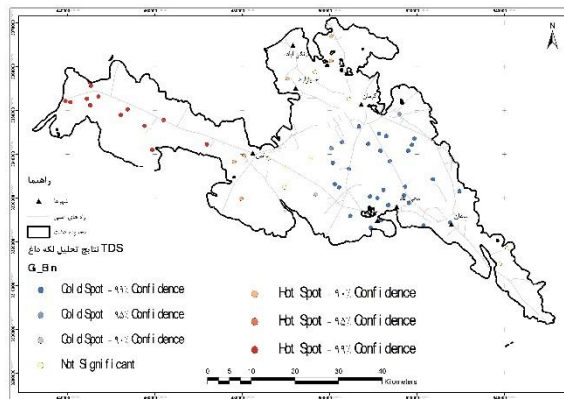
شکل ۳- نقشه‌های هم‌مقدار EC با اعمال روش‌های: الف) کریجینگ بر روی داده‌های اولیه، ب) معکوس فاصله وزن‌دار بر روی داده‌های اولیه، ج) نتایج تحلیل لکه داغ، د) کریجینگ بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ، و) معکوس فاصله وزن‌دار بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ.

جدول ۳- مساحت (کیلومتر مربع) محدوده‌های مقدار بسیار پایین و بالای EC، TDS و SAR با اعمال روش‌های درون‌یابی بر روی داده‌های اصلی (اولیه)

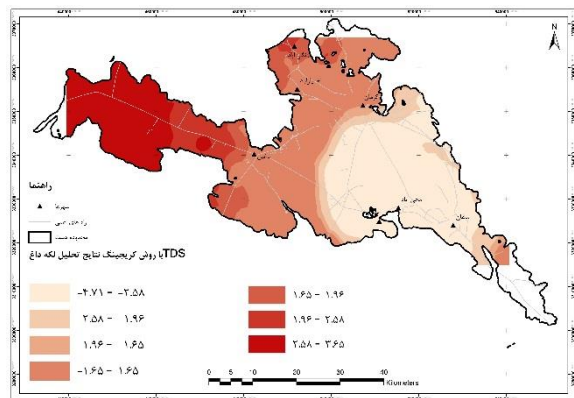
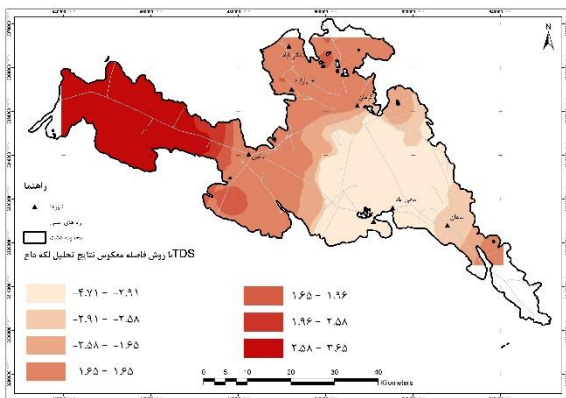
غلظت بسیار بالا	غلظت بسیار پایین	غلظت بسیار بالا	غلظت بسیار پایین	غلظت بسیار بالا	غلظت بسیار پایین	روش
TDS	TDS	EC	EC	SAR	SAR	
۶۳	۳۸۸۱	۹۷	۱۲۶۹	۱۲	۲۶۳۶	کریجینگ داده‌های اولیه
۲۱	۴۴۲۸	۹	۱۸۳۰	۱۸	۳۰۰۰	معکوس فاصله وزن‌دار داده‌های اولیه



الف



ج

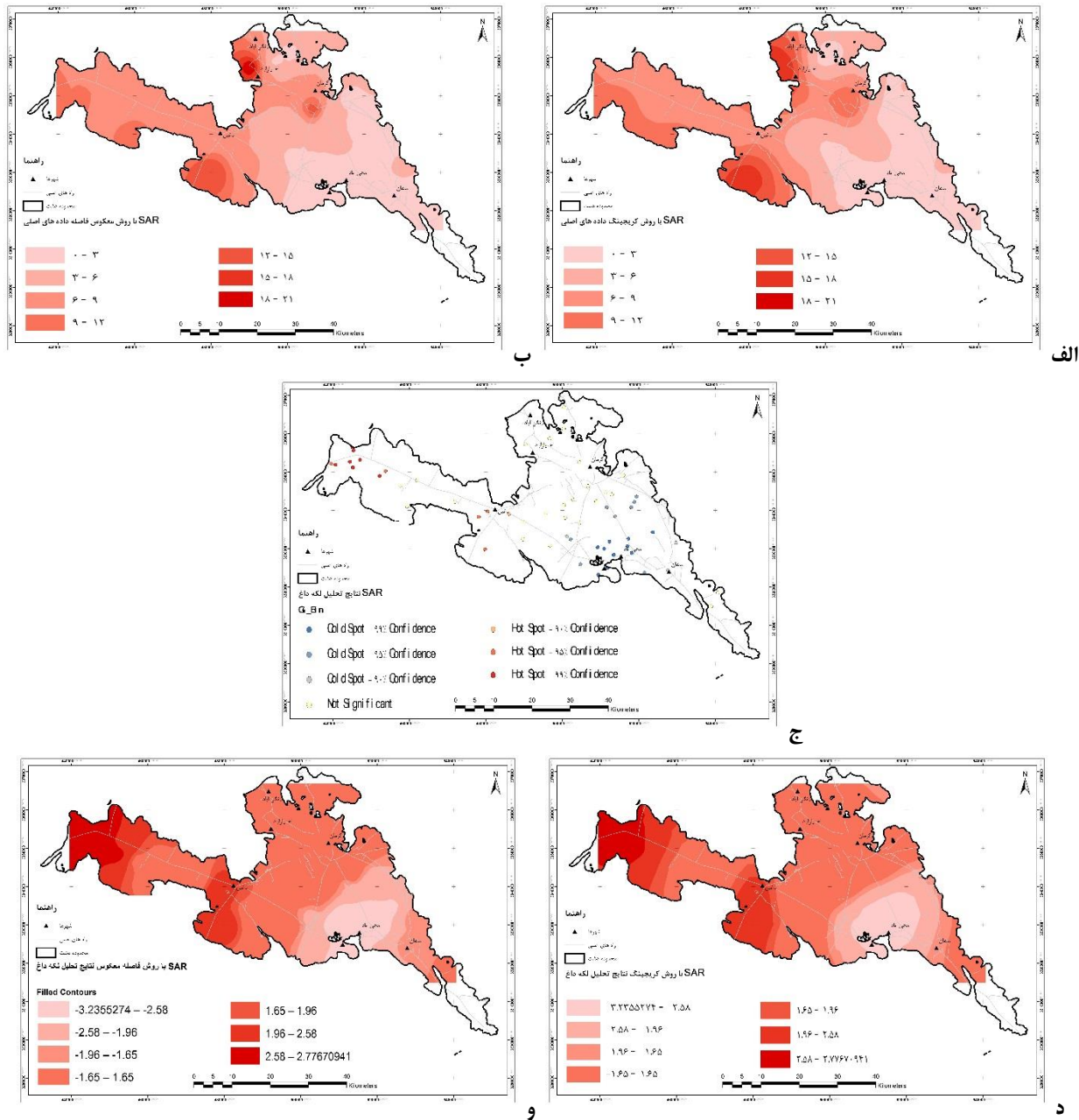


د

شکل ۴- نقشه‌های هم‌مقدار TDS با اعمال روش‌های: الف) کریجینگ بر روی داده‌های اولیه، ب) معکوس فاصله وزن‌دار بر روی داده‌های اولیه، ج) نتایج تحلیل لکه داغ، د) کریجینگ بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ، و) معکوس فاصله وزن‌دار بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ.

جدول ۴- مساحت (کیلومتر مربع) محدوده‌های مقدار بسیار پایین و بالای EC، TDS و SAR با اعمال روش‌های درون‌یابی بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ

غلظت بسیار بالا	غلظت بسیار پایین	غلظت بسیار بالا	غلظت بسیار پایین	غلظت بسیار بالا	غلظت بسیار پایین	روش
TDS	TDS	EC	EC	SAR	SAR	
۱۴۷۰	۱۸۷۴	۱۰۶۳	۱۴۱۱	۳۹۶	۳۲۱	کریجینگ نتایج تحلیل لکه داغ
۱۳۳۹	۲۶۷۸	۸۵۹	۶۸۶	۶۳۸	۴۷۶	معکوس فاصله وزن‌دار نتایج تحلیل لکه داغ



شکل ۵- نقشه‌های هم‌مقدار SAR با اعمال روش‌های: الف) کریجینگ بر روی داده‌های اولیه، ب) معکوس فاصله وزن‌دار بر روی داده‌های اولیه، ج) نتایج تحلیل لکه داغ، د) کریجینگ بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ، و) معکوس فاصله وزن‌دار بر روی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ.

2019; شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷، محمدی و همکاران، ۱۳۹۰، قمیشیون و همکاران، ۱۳۹۱، جهانشاهی و همکاران، ۱۳۹۳، یزدان-پناهی و همکاران، ۱۳۹۷) و روش کوکریجینگ (Andik and Zehtabian et al., 2019, Eslami., 2015, al., 2013 انجام شده است. اما کاربرد نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ در تحقیقاتی کنونی مغفول مانده که این مهم هدف اصلی انجام این تحقیق را مبرهن می‌سازد.

ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی توسط محققین زیادی با استفاده از روش‌های درون‌یابی از جمله روش معکوس فاصله وزن‌دار (یزدان-پناهی و همکاران، ۱۳۹۷، نخعی‌نژاد فرد و همکاران، ۱۳۹۶، سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۹۵، یزدان‌پناه و دژهمت، ۱۳۹۴، جهانشاهی و همکاران، ۱۳۹۳، دلبری و همکاران، ۱۳۸۹، Kuttimani et al., 2017, Azareh et al., 2012 Andik and Eslami, 2015, Maroufpoor et al., Jeihouni et al., 2013), روش کریجینگ



تحت‌تاثیر آلودگی با مقادیر بسیار پایین و بالای عناصر و پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی خواهد نمود.

### منابع

احمدپور، ح.، خالدیان، م.، اشرفزاده، ا. و رضایی، م. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی مکانی و زمانی هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی دشت گیلان، نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳: ۶۶۷ - ۶۶۶

امینی فسخودی، م.، خادمی موعاری، ح.، فتحیان‌پور، ن. ۱۳۸۱. مقایسه کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد غلظت کلر محلول در خاک. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۳: ۴: ۷۴۱ - ۷۴۸.

جهانشاهی، ا.، روحی مقدم، ع.، دهواری، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار (مطالعه موردی: آبخوان دشت شهر بابک). دانش آب و خاک. ۲۴: ۱۸۳ - ۱۹۷.

دلبری، م.، افراسیاب، پ. و میرعمادی، س. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی - زمانی شوری و عمق آب زیرزمینی (مطالعه موردی: استان مازندران) آبیاری و زهکشی ایران. ۴: ۳: ۳۵۹ - ۳۷۴.

رضایی، م.، دواتگر، ن.، تاجداری، خ. و ابول‌پور، ب. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار. نشریه آب و خاک (دانشگاه فردوسی مشهد). ۲۴: ۵: ۹۳۲ - ۹۴۱.

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

سازمان برنامه و بودجه استان کرمان. ۱۳۷۴. مطالعات جامع اقتصادی - اجتماعی استان کرمان - آب‌های زیرزمینی، انتشارات سازمان برنامه و بودجه استان کرمان.

سلیمانی ساردو، ف.، برومند، ن.، آذر، ع. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت جیرفت، مرتع و آبخیزداری. ۶۹: ۴: ۹۲۱ - ۹۳۲.

شعبانی، م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه‌ی تغییرات pH و TDS آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان. مجله مهندسی آب. ۱: ۴۷ - ۵۸.

شعبانی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه‌های

در این تحقیق به دلیل توصیه محققین قبلی روش درون‌یابی معکوس فاصله وزن‌دار (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۵، Kuttimani et al., 2017; Achari et al., 2017) و کریجینگ (یزدان‌پناهی و همکاران، ۱۳۹۷، نخعی‌نژاد فرد و همکاران، ۱۳۹۶، محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۶، قضاوی و رضایی سربندی، ۱۳۹۶، Azareh et al., 2012 و Mahmoodifard et al., 2014) مورد استفاده قرار گرفتند. این روش‌ها برای تهیه نقشه‌های هم‌مقدار با استفاده از داده‌های اولیه و هم‌چنین نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ اعمال شدند تا کارایی نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ آشکار شود که در زیر به آن پرداخته می‌شود.

بر اساس نتایج حاصل از روش‌های درون‌یابی فقط می‌توان محدوده توزیع مکانی مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین را شناسایی نمود و روند تغییرات در محدوده دشت را مشخص کرد. در این تحلیل‌ها امکان آنالیز آماری نتایج وجود نداشته و کاربر بر اساس نظر خود تعداد طبقات را تعیین می‌نماید. اما با استفاده از نتایج تحلیل لکه داغ به دلیل عدم دخالت کاربر، با استفاده از نقشه هم‌مقدار حاصله می‌توان قطع به یقین در ارتباط با توزیع آماری - مکانی محدوده‌های با مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین بحث نمود. می‌توان مناطقی که به احتمال ۹۹ درصد دارای مقادیر بسیار پایین یا مقادیر بسیار بالا می‌باشند را مشخص کرد.

تعیین مرز محدوده با مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین در نتایج روش‌های درون‌یابی به دلیل دخالت مستقیم کاربر در تعیین حد طبقات امکان‌پذیر نیست، در حالی که نتایج حاصل از لکه داغ به دلیل رعایت اصول آماری، مرز محدوده‌ها به‌طور آماری ترسیم گردید و محاسبه مساحت محدوده با مقادیر بسیار بالا و پایین را میسر می‌سازد. در نتایج حاصل از روش‌های درون‌یابی داده‌های اولیه، محدوده‌هایی با مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین مشخص می‌گردند که این مهم می‌تواند فقط ناشی از اثرات محلی و نقطه‌ای یک منبع آلاینده باشد، در حالی که نتیجه تحلیل لکه داغ محدوده به‌صورت ناحیه‌ای و حاصل عملکرد چندین همسایه (چاه) مجاور می‌باشد. بنابراین تعیین نواحی با مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین با قطعیت بیش‌تری صورت می‌گیرد و مفسر می‌تواند به این نتایج اعتماد نماید.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از نتایج تحلیل لکه داغ (مقادیر فیلد Z-Score) جهت تهیه نقشه‌های درون‌یابی به روش کریجینگ و سپس طبقه‌بندی این نقشه‌ها بر اساس سطوح Z-Statistic در ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی پیشنهاد گردید. نقشه‌های حاصل در ترکیب با نقشه‌های حاصل از درون‌یابی داده‌های اولیه کمک شایانی به کارشناسان جهت تفسیر مرز و وسعت محدوده

- کیفی آب‌های زیرزمینی و پهنه‌بندی آن‌ها مطالعه موردی: دشت نیریز، استان فارس، جغرافیای طبیعی. ۴: ۱۳: ۸۳ - ۹۶.
- صادقی، آ.، زهتابیان، غ.، ملکیان، آ. و خسروی، ح. ۱۳۹۳. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب زیرزمینی حوزه آبخیز دریاچه زریبار. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۴: ۲۷: ۹۰ - ۹۷.
- قضاوی، ر.، رضائی سربندی، م. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر تغییرات میزان بارش و برداشت از آب‌های زیرزمینی بر تغییرات کمی و کیفی آب آبخوان (مطالعه‌ی موردی: دشت رفسنجان). هیدروژئومورفولوژی. ۳: ۱۲: ۱۱۱-۱۲۹.
- قمشیون، م.، ملکیان، آ.، حسینی، خ.، قره‌چلو، س.، خاموشی، م. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت سمنان - سرخه با استفاده از روش‌های زمین آمار، تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۹: ۳ (پیاپی ۴۸): ۵۳۵ - ۵۴۵.
- محمدیاری، ف.، اقدر، ح و بصیری، ر. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب با استفاده از روش‌های زمین آمار مطالعه موردی: مناطق خشک مهران و دهلران، فصل‌نامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۲۶: ۱۰۱: ۱۹۹ - ۲۰۸.
- محمدی، م.، محمدی قلعه‌نی، م.، ابراهیمی، ک. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین، مجله پژوهش آب ایران. ۵: ۸: ۴۱ - ۵۲.
- ملکیان، آ.، زرنندی، ی.، خلیقی سیگارودی، ش.، فرخ‌زاده، ب. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی منطق بول، فازی و زمین آمار مطالعه موردی: دشت ورامین. پژوهش‌های آبخیزداری. ۲: ۲۹: ۸۷-۹۹.
- ملکیان، آ. و میردشتوان، م. ۱۳۹۴. بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی بر اساس تحلیل‌های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت هشتگرد استان البرز). مرتع و آبخیزداری ۶۴: ۴: ۸۰۹ - ۸۲۰.
- نخعی نژاد، س.، زهتابیان، غ.، ملکیان، آ. و خسروی، ح. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی دشت سرایان در خراسان جنوبی. تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲: ۲۴: ۲۶۸-۲۷۹.
- نظری‌زاده، ف.، ارشدیان، ب. و زندوکیلی، ک. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد.
- یزدان‌پناه، ن.، دژ همت، ع. ۱۳۹۴. توزیع مکانی برخی ویژگی‌های آبیاری زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش‌های زمین آمار. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۲۸: ۳: ۱۴-۲۵.
- یزدان‌پناهی، ع.، اکبری، م.، بهرنگ‌منش، م. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات زمانی - مکانی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار در دشت مشهد. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری. ۶: ۲۰: ۲۵-۳۴.
- Achari, V.S., George, T.R., Ambili, M.S., Jayasree, S., Rajalakshmi, A.S and Lopez, R.M. 2017. Hydrogeochemistry of groundwater along a tsunami devastated coastal segment of Kerala: Arattupuzha Village, Alappuzha, India. Indian Journal of Marine Sciences. 46.9: 1765-1779.
- Andik, H. and Eslami, H., 2015. Evaluate the spatial variability of EC and TDS in groundwater of Dez irrigation network. Journal of Scientific Research and Development, 2.5: 95-98.
- Azareh, A., Saravi, M.M., Keshavarzi, A and Tirado-Corbala, R. 2013. Developing groundwater quality maps using geostatistical methods. International Journal of Agriculture. 3.3: 590-596.
- Babakhani, M., Zehatabian, G.R., Keshtkar, A.R., Khosravi, H. 2016. Trend of groundwater quality changes, using geo statistics (Case Study: Ravar Plain). Pollution. 2.2: 115-129.
- Cressie, N. 1990. The origins of kriging. Mathematical Geology. 22.3: 239-252.
- Cressman, G.P. 1959. An operational objective analysis system. Monthly Weather Review. 87.10: 367-374.
- Getis, A and Ord, J.K. 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geographical Analysis 24.3: 189-206.
- Jang, W., Engel, B., Harbor, J., Theller, L. 2017. Aquifer vulnerability assessment for sustainable groundwater management using DRASTIC. Water. 9.10.792: 1-20.
- Jeihouni, M., Delirhasannia, R., Alavipanah, S.K., Shahabi, M., Samadianfard, S. 2015. Spatial analysis of groundwater electrical conductivity using ordinary kriging and artificial intelligence methods (case study: Tabriz plain, Iran). Geofizika, 32.2: 192-208.
- Karami, S., Madani, H., Katibeh, H., Fatehi Marj, A. 2018. Assessment and modeling of the groundwater hydrogeochemical quality parameters via geostatistical approaches. Applied Water Science. 8.1.23: 1-13.
- Kuttimani, R., Raviraj, A., Pandian, B.J. and Kar, G., 2017. An overview of groundwater quality in Tamil nadu. Environment Conservation Journal. 18.3: 27-37.

- statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis*. 27.4: 286-306
- Philip, G.M and Watson, D.F. 1982. A precise method for determining contoured surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*. 22: 205-212.
- Pourkhosravani, M. 2016. Qualitative analysis of orzooiyeh plain groundwater resources using GIS techniques. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 3.4: 209-215.
- Watson, D.F., Philip, G.M. 1985. A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geoprocessing*. 2:315-327.
- Zehtabian, G., Azareh, A., Samani, A.N., Rafei, J. 2013. Determining the most suitable geostatistical method to develop zoning map of parameters EC, TDS and TH groundwater (case study: Garmsar Plain, Iran). *International Journal Of Agronomy And Plant Production*. 4:1855-1862.
- Maroufpoor, S., Fakhri-Fard, A. and Shiri, J., 2019. Study of the spatial distribution of groundwater quality using soft computing and geostatistical models. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 25.2: 232-238.
- Mahmoodifard, Z., Nazemi, A.H., Sadraddini, S.A. and Shahbazi, F. 2014. Assessment of spatial and temporal distribution of groundwater salinity and alkalinity using ordinary kriging; case study: Ardabil plain aquifer. *Agriculture Science. Development*. 3.7: 244-250.
- Neshat, A.R., Pradhan, B. 2017. Evaluation of groundwater vulnerability to pollution using DRASTIC framework and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*. 10.22.501: 2-8
- Oliver, M.A. 1990. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographic Information Systems*. 4: 313-332.
- Ord, J.K and Getis, A. 1995. Local spatial autocorrelation

## New Approach in Assessing Groundwater Quality Using Geo-statistical methods (Hotspot Analysis): Case Study of Kerman Plain

R. Hassanzadeh\*<sup>1</sup>, M. Hosseininia<sup>2</sup>

Received: Jul.30, 2018

Accepted: Sep.17, 2018

### Abstract

This paper investigates the effectiveness of Kriging and Inverse Distance Weighting (IDW) methods and Hotspot analysis in evaluation of groundwater quality in Kerman Plain, Iran. In order to conduct this study the information regarding the concentration level of electrical conductivity (EC), total dissolved salts (TDS) and sodium adsorption ratio (SAR) of 60 exploiting wells in the study area were obtained. The positional accuracy and correctness of this information were confirmed. Then, interpolation maps were produced for EC, TDS and SAR parameters using the raw data and the output of hotspot analysis (Z-Score) with the application of IDW and Kriging methods. This result demonstrates preferability of Kriging in regard to IDW using the output of Hotspot analysis (Z-Score), as the experts don't interfere with the range and number and produced maps are based on geostatistical analysis. Furthermore, the resulted maps indicated sharp boundaries of very high and very low concentration of each parameter and the calculated area for EC (1411, 1063 km<sup>2</sup>), TDS (1874, 1470 km<sup>2</sup>) and SAR (321, 396 km<sup>2</sup>) are very close to reality. Accordingly, applying the output of hotspot analysis in combination with other interpolation methods can assist researchers in determining the extent of very high and very low concentration of a parameter and in calculating the area of the affected region.

**Keywords:** Assessing Quality of Groundwater, Hotspot Analysis, IDW, Kerman Plain Kriging.

---

1- Assistant Professor Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

2- Researcher, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.

(\*- Corresponding Author Email: Hassanzadeh22@yahoo.com)