

مقدمه

شناخت کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی، به عنوان یکی از مهمترین و آسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب در دهه‌های اخیر، امری بدیهی است [۲۰]. آب‌های زیرزمینی، به عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدیدپذیر جهان به حساب می‌آیند. محاسبه منابع آب جهانی نشان می‌دهد که منابع زیرزمینی چیزی در حدود ۰/۶ درصد از کل منابع آب و ۶۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر قابل دسترس را به خود اختصاص می‌دهد [۲۳]. آب‌های زیرزمینی در قیاس با آب‌های سطحی دارای مزیت‌های مختلفی مانند کیفیت بالاتر، آلودگی کمتر هستند. در مناطق خشک و نیمه خشک در اغلب موارد که آب‌های سطحی به میزان خیلی کم دیده می‌شوند، آب‌های زیرزمینی قابل دسترس می‌باشند [۲۰] اما متأسفانه میزان بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی از یک سو و آلوده کردن سفره‌های زیرزمینی از طرف دیگر، در زمره مسائلی است که در دهه‌های جاری با آن به کرات روبرو هستیم [۲۲]. تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی که به طور معمول بر اثر مدیریت غلط استحصال آب زیرزمینی رخ می‌دهد مقدمه‌ای بر تخریب سایر منابع چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیر مستقیم است. شور شدن خاک‌ها تنها یکی از مشکلات بوجود آمده می‌باشد؛ هرچند مشکلات اجتماعی و اقتصادی که به دنبال خواهد آمد اثر به نسبت پایدارتری از خود به جای خواهد گذاشت [۲۶].

شناسایی به موقع و تهیه نقشه از تغییرات کیفیت و شناسایی عامل آن توسط روش‌های مشاهده‌ای و سنتی کاری سخت، زمانبر و پرهزینه می‌باشد. روش‌های زمین آماری به عنوان روش‌هایی که باعث کاهش هزینه از طریق کاهش نمونه برداری شده و دقت تخمین‌ها را به مقدار قابل ملاحظه‌ای بالا می‌برند، در علوم مختلف محیطی از جمله خاک‌شناسی، هوا و اقلیم شناسی و بیولوژی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین در سال‌های اخیر محققان با استفاده از روش‌های زمین آماری مبادرت به تهیه نقشه‌های خصوصیات آب زیرزمینی نموده‌اند.

نظری زاده و همکاران [۱۶] از تکنیک زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود استفاده کرده و گزارش نمودند که واریوگرام‌های هدایت الکتریکی، کلر و سولفات به ترتیب دارای دامنه تأثیر ۶۱۷۰۰، ۵۰۸۰۰، ۱۰۲۱۰۰ متر و حد آستانه ۰/۵۳۳، ۱/۵۳۲، ۲/۰۵ درصد و از ساختار کروی تبعیت می‌کند. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران [۲۲] در تحقیقی به

بررسی امکان پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک با استفاده از زمین آمار (مطالعه موردی: دشت یزد - اردکان)

فرزانه فتوحی فیروزآباد^۱، علی طالبی^۲ و حمیده افخمی اردکانی^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۲۳

چکیده

امروزه به دلیل کمبود آب در کشور به خصوص در مناطق خشک، مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی لازم و ضروریست. در این پژوهش تغییرات مکانی ویژگی‌های هدایت الکتریکی، سدیم، منیزیم، کلسیم، بی‌کربنات، سختی کل و کل مواد جامد محلول ۴۲ حلقه چاه عمیق واقع در دشت یزد - اردکان در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب از روش کریجینگ ساده استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل برازش داده شده به واریوگرام TDS ، Ca و EC گوسی است. یکسانی مدل واریوگرام این سه شاخص را می‌توان به وجود همبستگی معنی‌دار بین آن‌ها و تغییرات مکانی مشابه آن‌ها در آبخوان نسبت داد. بهترین مدل واریوگرام برای Na ، Mg ، HCO_3 و TH کروی تشخیص داده شد. دامنه تأثیر شاخص‌های مورد بررسی تقریباً بین ۵ تا ۱۰۴ کیلومتر بدست آمد. دامنه تأثیر پارامترهای EC ، TDS و TH و نیز دامنه تأثیر Na و HCO_3 در دشت بسیار شبیه به هم بود. معیار $RMSE$ برای تمام شاخص‌ها کمتر از ۴۰ درصد بوده که نشانه دقت تخمین است. همخوانی همبستگی مشاهدات و نقشه‌ها حاکی از دقت خوب مدل‌های واریوگرام و تخمین‌گر کریجینگ ساده در پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت یزد - اردکان بود.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ ساده، زمین آمار، آب زیرزمینی، دشت یزد - اردکان.

۱- نویسنده مسئول دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه یزد، farzaneh.fotouhi@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه یزد

بررسی روشهای درون یابی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگیهای کیفی آبهای زیرزمینی در دشت رفسنجان پرداختند. نتایج نشان داد که برای پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب، روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بر روش IDW^۱ ارجحیت دارند. در نهایت با استفاده از روش کوکریجینگ به عنوان بهترین روش میان‌یابی، نقشه‌های پهنه بندی ویژگی‌های آب زیرزمینی در محیط GIS تهیه گردید. زهتابیان و همکاران [۲۶] با مدلسازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی آبهای زیرزمینی (آنیون‌ها، کاتیون‌ها) در حوزه آبخیز گرمسار به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین آماری برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش‌های معین به جز در مورد عامل کاتیون داشته که روش تخمین عام بهترین روش بوده است. در عامل‌های آنیون و یون سولفات کمترین میزان RMSE در روش کوکریجینگ و به میزان ۹/۱ و ۲/۵۵ محاسبه شده است، این عدد برای عامل یون بی کربنات در روش کریجینگ گسسته ۰/۹؛ اما در مورد عامل کاتیون برخلاف عامل‌های دیگر روش معین تخمین عام کمترین خطا را به خود اختصاص داده است و عدد ۱۲/۴۵ محاسبه گردیده است. به طوری که استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ دقت نتایج را بجز در عامل بی کربنات افزایش داده است. محمدی و همکاران [۱۵] تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در فصول تر سالهای مورد مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش یافته است. به طوری که با افزایش افت سطح آب، مقادیر TDS و EC آب‌های زیرزمینی دشت قزوین روند نزولی داشته‌اند. بانژاد و محب‌زاده [۳] کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن- قهاوند را توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که ۴۳/۷ درصد از منطقه دارای غلظت نامناسب یون سدیم می‌باشد. احمد [۱] کاربرد روش کریجینگ را در تخمین وابستگی مکانی متغیرهای کیفیت آب مثل TDS بکار برد و نتیجه گرفت که کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد. در پژوهشی که توسط حسینی و همکاران [۱۳] انجام گرفت، دو پارامتر هدایت الکتریکی و سولفات موجود در آب زیرزمینی شهر مشهد با استفاده از روش کریجینگ تخمین زده شد. فینک و همکاران [۸] از کریجینگ ساده برای برآورد تغییرات سطح آب در کشور هلند استفاده نموده و آن را روشی مناسب برای پایش و تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی معرفی کردند. بارکا و پاسارلا [۴] برای تهیه نقشه خطرات نیترا در دو حد آستانه ۱۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر، در دشت مودنای ایتالیا از دو روش کریجینگ گسسته و شبیه‌سازی استفاده نمودند. نتایج این دانشمندان نشان داد که روش کریجینگ گسسته روشی مناسب جهت بررسی میزان تخریب آب زیرزمینی می‌باشد. یثربی و همکاران [۲۵] با استفاده از کریجینگ به بررسی تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی (۱۳ مشخصه)، بافت و ساختمان خاک در منطقه‌ی باجگاه شیراز پرداختند. نتایج آنها

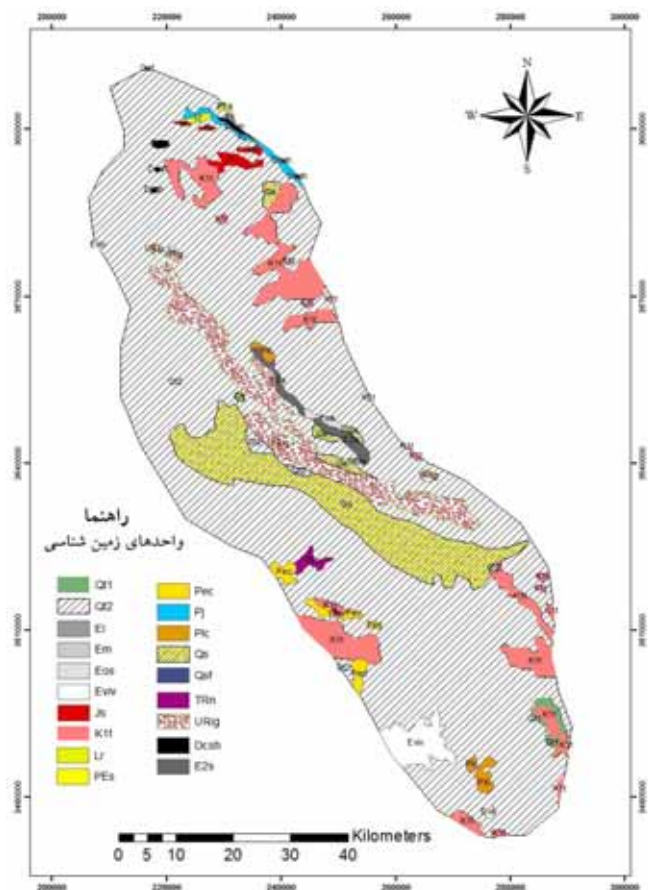
1- Inverse Distance Weighting

نشان داد که دامنه‌ی همبستگی مکانی برای پارامترهای مختلف متفاوت است. فسفر کمترین دامنه‌ی وابستگی مکانی (۴۹/۵ متر) و کربنات کلسیم با (۱۸۱/۹۴ متر) بیشترین دامنه وابستگی مکانی را دارد. قمشیون و همکاران [۹] با بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت سمنان- سرخه با استفاده از روش‌های زمین آمار به این نتیجه رسیدند که میزان عامل‌های کلر، سدیم، غلظت املاح محلول و هدایت الکتریکی، به سمت شهرهای سمنان و سرخه در حال پیشروی می‌باشد و میزان آن‌ها در آب به طور عموم تحت تأثیر لیتولوژی سازندهای حواشی و نیز تبخیر بخشی از حجم آب زیرزمینی می‌باشد. رجیت و همکاران [۲۰] به بررسی کیفیت آب زیرزمینی روستای هیگلاند واقع در ایالت کراالا برای مصارف آشامیدنی پرداختند و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از دو نمونه‌برداری در ماه‌های ژوئن و مارس ۲۰۰۷ نقشه کیفیت آب را برای سه پارامتر pH، کادمیوم و فکال کالیفورم تهیه کردند. ارسلان [۲] تغییرات زمانی و مکانی شوری آب‌های زیرزمینی دشت بافرا در ترکیه را در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۴ با استفاده از کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص بررسی نمودند. و به این نتیجه رسیدند که شوری از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ کاهش یافته است و دلیل آن را اتمام سیستم زهکشی و آبیاری و شسته شدن نمک از اراضی بالادست بیان نمودند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی از شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان با استفاده از امکانات نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها:

۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه:

دشت یزد- اردکان یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان یزد می‌باشد که در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی قرار دارد که از جهت غرب و جنوب غرب به رشته کوه شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خرانق منتهی می‌شود. این دشت شهرهای اردکان، میند، اشکذر، مهریز و یزد را در بر می‌گیرد و طول و عرض تقریبی آن به طور متوسط به ترتیب، ۱۲۰ و ۳۵ کیلومتر می‌باشد. این منطقه به علت واقع بودن در زیر مرکز فشار زیاد جنب استوایی دارای بارندگی کم و نوسانات درجه حرارت زیاد است. این منطقه جزء کمربند خشک فلات مرکزی ایران با متوسط دمای ۱۲ تا ۱۹ درجه سانتی گراد و نوسان رطوبتی پایین بین ۳۰ تا ۵۰ درصد و تبخیر شدید بین ۲۲۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی‌متر همراه با بارش‌های اندک و نامنظم و اقلیم آن از نوع اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد که علاوه بر محدودیت‌های آب و هوایی از لحاظ کمبود آب محدودیت‌های شوری و قلیائیت بودن، نیز با مشکل روبروست. سطح ایستابی در پاره‌ای از نواحی جنوبی دشت بیش از ۱۰۰ متر و در نواحی شمالی به کمتر از ۱۰ متر

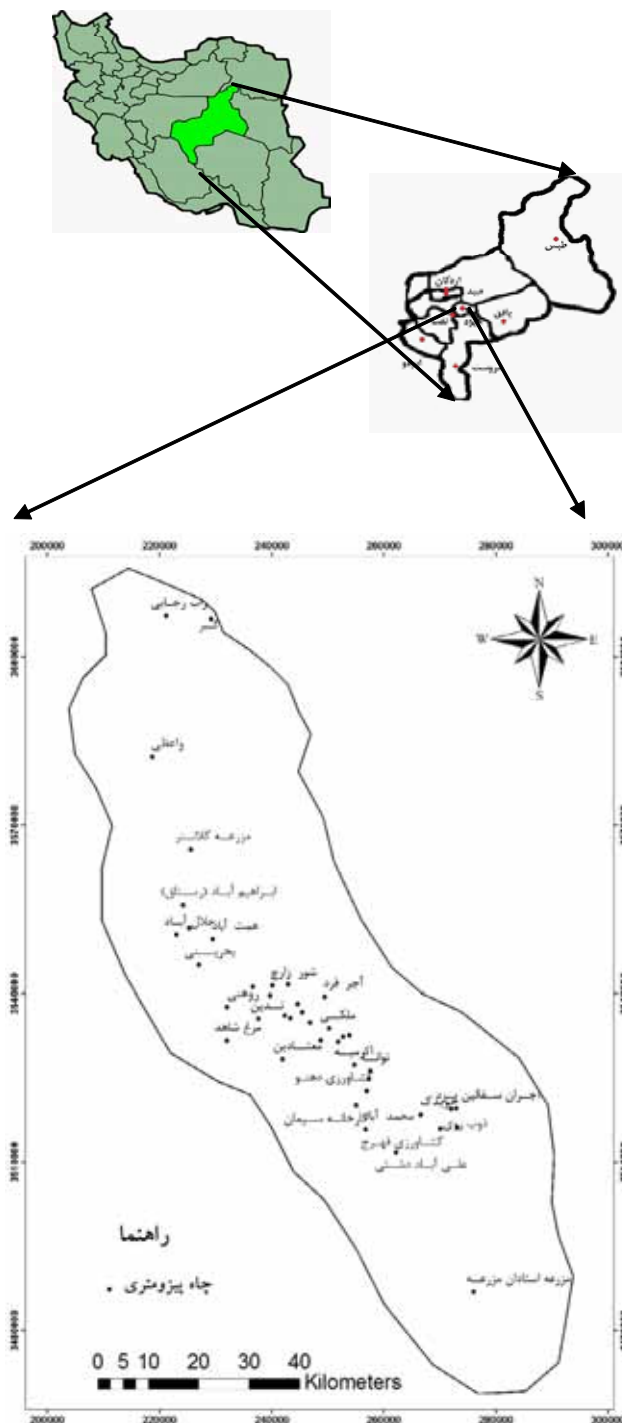


شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
Figure 2- Geological map of the study area

نشان می‌دهد. در این پژوهش تغییرات مکانی ویژگی‌های هدایت الکتریکی، سدیم، منیزیم، کلسیم، بی‌کربنات، سختی کل و کل مواد جامد محلول ۴۲ حلقه چاه عمیق واقع در دشت یزد- اردکان در طول سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر از شرکت آب منطقه‌ای استان یزد تهیه شده است. موقعیت چاه‌ها براساس موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه:

در حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان قدیمی‌ترین سازندها از پرکامبرین تا جدیدترین (کواترن) قابل مشاهده است. این دشت از لحاظ ساختاری جزء زون ساختاری ایران مرکزی بوده و سازندهایی که در منطقه رخنمون دارند جزء سازندهای ایران مرکزی می‌باشد. اصلی‌ترین سنگ‌های موجود در مناطق کوهستانی را آهک کرتاسه، گرانیت شیرکوه و شیل و ماسه سنگ تریاس تشکیل می‌دهند. نهشته‌های موجود در دشت یزد بسیار متنوع بوده و بیشترین مساحت حوضه از رسوبات جوان عهد حاضر تشکیل شده است. اکثر چاه‌های بهره‌برداری در این رسوبات حفر شده‌اند. از اردکان به سمت جنوب شرقی حوزه، رسوبات نفوژن به صورت نوارهای باریکی متشکل از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1- Study area location and distribution of sampled wells

می‌رسد. تخلیه کل سالانه منابع آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان با احتساب چاه‌های خانگی در مناطق مهریز و اردکان جمعاً ۵۶۴/۴۶ میلیون مترمکعب می‌باشد که از این مقدار میزان ۸۲ درصد مصرف کشاورزی، ۵ درصد صنعت و ۱۳ درصد باقیمانده به مصرف شرب و بهداشت می‌باشد [۷]. شکل ۱ موقعیت دشت یزد- اردکان را

جدول ۱- خصوصیات واحدهای زمین شناسی

Table1- Properties of geological units

علامت Sign	خصوصیات زمین شناسی Geological characteristics	علامت Sign	خصوصیات زمین شناسی Geological characteristics
Qt1	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای قدیمی مرتفع High level piedmont fan and valley traces deposit	PEs	واحد دولومیت ضخیم و سنگ آهک، بطور بخشی چرتی با میان لایه های شیل ضخیم (سازند سلطانیه) Thick dolomite and limestone unit, partly cherty with thick shale intercalation (soltanieh F.M)
Qt2	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع Low level piedmont fan and valley traces deposit	Pj	سنگ آهک ضخیم لایه تا توده ای و دولومیت (سازند جمال) Massive to thick limestone and dolomite (jamal F.M)
EL	ماسه سنگ آرکوز تا نیمه آرکوزی قرمز تیره متوسط دانه و سیلتستون میکا دار (سازند لالون) Dark red, medium-grained arkosic to subarkosic sandstone and micaceous siltstone (lalun F.M)	PLC	کنگلومرای پلی متال و ماسه سنگ Polymictic Conglomerate and sandstone
Em	دولومیت، سنگ آهک سست حاوی تریلوبیت، ماسه سنگ و شیل (سازند میلا) Dolomite, flaggy limestone containing trilobite, sandstone and shale (mila F.M)	Qs	رسوبات ماسه بادی و تپه های ماسه ای پشت ساحل wind sand deposit and back shore sand dunes
Eos	گنبد نمکی Salt dome	Qsf	پهنه نمکی Salt flat
Pec	کنگلومرای و ماسه سنگ Conglomerate and sandstone	TRn	شیل خاکستری مایل به سبز و آهک خاکستری Greenish gray shale and gray limestone
Js	ماسه سنگ، سیلتستون و گل سنگ و تناوب لایه هایی از زغال سنگ رگه ای Sandstone, siltstone and claystone variously alternating with thin coal seams	URig	مارن، مارن ژپس دار، ماسه سنگ و کنگلومرای (سازند قرمز بالایی) Red marl, gypsiferous marl, sandstone and conglomerate (upper red F.M)
K1t	سنگ آهک آرژیلی نازک لایه و سنگ آهک اربیتولین دار ضخیم لایه و تا توده ای Thin to medium bedded argillaceous limestone and thick bedded to massive, grey orbitolina bearing limestone	Dcsh	تناوب شیل، مارن و سنگ آهک (سازند شیشتو) Alternation of shale, marl and limestone (sheshto F.M)
Lr	شیل سیلتی، مارن ژپس دار، ماسه سنگ و ژپس (سازند قرمز تحتانی) Red and green silty shale, gypsiferous marl, sandstone and gypsum (lower red F.M)	E7s	ماسه سنگ، مارن و سنگ آهک Sandstone, marl and limestone

۳- تجزیه و تحلیل های آماری:

در این مرحله برای تحلیل داده ها با نرم افزار SPSS ۱۶، شاخص های آماری نظیر میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، چولگی و ضریب تغییرات به دست آمد. به منظور استفاده از روش های درون یابی زمین آمار، داده ها باید به صورت نرمال توزیع شده

سنگ های شنی - مارنی همراه با لایه های گچی و نمکی دیده می شود که علت اصلی شوری آب های زیرزمینی می باشد. شکل (۲) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. جدول (۱) خصوصیات واحدهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

باشند. جهت اثبات فرض نرمال بودن داده‌ها از آزمون غیرپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف^۱ استفاده شد. برای بررسی میزان ارتباط بین متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

۴- تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری:

آنالیز همبستگی مکانی و ابزار تحقیق در شرایط صدق فرضیات پایایی، تغییرنا^۲ است. تغییرنا به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آن را بیان می‌کند. اگر تغییرنا به سقف معینی برسد و در نتیجه دامنه تأثیر مشخصی داشته باشد، ساختار فضایی و شرایط صدق فرضیه ذاتی می‌تواند وجود داشته باشد. با توجه به این که محاسبه نیم تغییرنا^۳ برای همه جامعه مورد مطالعه امکان‌پذیر نبود، نیم تغییرنا در یک فاصله تفکیک مشخص به وسیله تابع زیر تخمین زده شد [۵].

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

که در آن $\gamma(h)$ مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی با فاصله h از هم، $n(h)$ تعداد زوج نقاطی که با فاصله h از هم قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر X و $Z(x_i + h)$ مقدار مشاهده شده متغیری با فاصله h از X می‌باشد. به ازای هر مقداری از h (فاصله)، عبارت $[Z(x + h) - Z(x)]$ دارای واریانس معینی بوده که بستگی به مختصات ندارد، بلکه تابعی از h می‌باشد:

$$\{Z(x + h) - Z(x)\} = 2\gamma(h)Var \quad (2)$$

ارزایی اعتبار مدل و برآوردها با محاسبه آماره‌های میانگین خطا (ME)^۴ و درصد ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)^۵ انجام شد [۲۵]:

$$ME = \sum_{i=1}^n \frac{Z^*(x_i) - Z(x_i)}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \frac{100 \left[\frac{\sum (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2}{n} \right]^{1/2}}{\bar{X}} \quad (4)$$

که در آن $Z^*(x_i)$ ، $Z(x_i)$ ، \bar{X} و n به ترتیب مقدار برآورد شده، مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر، میانگین و تعداد داده‌ها می‌باشد. 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 [۱۱]. به منظور رسم و تدقیق تغییرنا از نرم افزار ArcGIS ۹.۳ استفاده شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها تغییرناهای مختلف رسم و

دقت آن‌ها به صورت بصری و با استفاده از شاخص‌های آماری ME و درصد RMSE انتخاب گردید. جهت بررسی تغییرات مکانی و تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی از بین روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و نسبت عکس فاصله، روش کریجینگ ساده^۶ با استفاده از شاخص آماری ریشه دوم میانگین مربع خطا انتخاب شد.

۴-۱- کریجینگ ساده:

کریجینگ تخمین‌گر زمین آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و نیم تغییرنا، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند. روش کریجینگ بر اساس میانگین متحرک وزنی بوده و می‌توان آن را بهترین تخمین‌گر خطی ناریب (B.L.U.E) با کمترین مقدار واریانس خواند. بنابراین باید عاری از خطای سیستماتیک باشد. همچنین واریانس تخمین نیز باید حداقل و برای شرط عاری از خطا بودن، باید میانگین خطای تخمین صفر باشد [۱۳].

تخمین‌گر کریجینگ ساده به شکل ترکیب خطی وزن‌دار است و جهت استفاده از آن بایستی واریوگرام‌ها دارای حد آستانه باشد [۱۶]. مقدار متغیر ناحیه‌ای $Z(x)$ در هر نقطه را می‌توان به دو مؤلفه قطعی و تصادفی تقسیم نمود. در کریجینگ ساده فرض بر آن است که بخش قطعی مؤلفه ثابت و شناخته شده و برابر با μ است. $L(x)$ بخش غیر قطعی و تصادفی مؤلفه می‌باشد. در این حالت رابطه زیر حاصل می‌شود:

(5) $Z(x) = \mu + L(x)$ بدین لحاظ در کریجینگ ساده در هر موقعیت به دلیل مشخص بودن μ مقدار $L(x)$ نیز دقیقاً مشخص شده است. البته بدیهی است که ثابت در نظر گرفتن بخش قطعی مؤلفه (μ)، اغلب غیر واقعی است. لیکن در شرایطی که به اطلاعات دسترسی وجود دارد، چنین فرض امکان‌پذیر است. در روش کریجینگ ساده نیز پس از رسم واریوگرام می‌توان به مقدار خطای اندازه‌گیری و درون‌یابی دست یافت.

۴-۲- کریجینگ معمولی^۷

در این روش نیز فرض می‌شود مقدار متغیر ناحیه‌ای از دو مؤلفه قطعی و تصادفی تشکیل یافته است. تفاوت این روش با کریجینگ ساده آن است که بخش مؤلفه‌ی قطعی دارای روندی خطی همگام با تغییر مختصات جغرافیایی است. به عبارت دیگر بخش قطعی مؤلفه متغیر ناحیه‌ای برابر با مقداری ناشناخته است و از طریق معادله‌ای خطی و ساده بین متغیر ناحیه‌ای و مختصات قابل تخمین است. رابطه حاکم بر کریجینگ معمولی مانند معادله (۵) خواهد بود. با این تفاوت که در این حالت بخش مؤلفه قطعی مقداری نامشخص است [۱۰].

- 1-Kolmogorov-Smirnov
- 2-Variogram
- 3-Semi variogram
- 4-Mean Error
- 5-Root Mean Square Error

- 6- Simple Kriging
- 7- Best Linear Unbiased Estimator
- 8- Ordinary Kriging

جدول ۲- خلاصه نتایج بررسی اولیه آماری چاه‌های مورد مطالعه

Table 2- Summary results of statistics of wells

پارامتر	واحد	تعداد	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی	درصد ضریب تغییرات CV%
Parameter	Unit	Count	Max	Min	Mean	SD	Skewness	
هدایت الکتریکی (EC)	میکروموس بر سانتی‌متر (μmoh/cm)	42	19110	983	4808	5047	1.6	105
سدیم (Na)	درصد (%)	42	81	31	54.2	13.8	0.3	25
منیزیم (Mg)	میلی‌گرم بر لیتر (mg/lit)	42	29.2	1.7	8.8	7.4	1.5	84
کلسیم (Ca)	میلی‌گرم بر لیتر (mg/lit)	42	50.7	2	10.2	9.7	2.2	95
بی‌کربنات (HCO ₃)	میلی‌گرم بر لیتر (mg/lit)	42	7.2	1.8	3.6	1	1	29
کل‌مواد جامد محلول (TDS)	میلی‌گرم بر لیتر (mg/lit)	42	12600	630	3103	3278	1.6	106
سختی کل (TH)	میلی‌گرم بر لیتر (mg/lit)	42	3975	191	950	840	1.8	88

جدول ۳- ضرایب همبستگی داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی آب‌های زیرزمینی

Table 3-Correlation coefficients of data of the chemical analysis of groundwater

	هدایت الکتریکی (EC)	درصد سدیم (Na)	منیزیم (Mg)	کلسیم (Ca)	بی‌کربنات (HCO ₃)	کل‌مواد جامد محلول (TDS)	سختی کل (TH)
هدایت الکتریکی (EC)	1						
درصد سدیم (Na)	0.52**	1					
منیزیم (Mg)	0.92**	0.26	1				
کلسیم (Ca)	0.80**	0.10 ^{ns}	0.93**	1			
بی‌کربنات (HCO ₃)	0.11 ^{ns}	0.36*	-0.17 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	1		
کل‌مواد جامد محلول (TDS)	0.99**	0.51**	0.91**	0.80**	0.11 ^{ns}	1	
سختی کل (TH)	0.87**	0.17 ^{ns}	0.97**	0.99*	0.24 ^{ns}	0.87**	1

معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، **: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ns: غیر معنی دار.

۳-۴- نسبت عکس فاصله (IDW)

در روش IDW، به هر یک از نقاط، وزنی بر اساس فاصله بین هر نقطه تا موقعیت نقطه مجهول تخصیص می‌یابد. این اوزان توسط توان وزنی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش می‌دهد و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کند. در این روش مقدار فاکتور وزنی با استفاده از فرمول (۶) محاسبه می‌گردد:

$$Z^*(x_0) = \frac{d_i^\alpha}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^\alpha}} Z(x_i) = \lambda_i Z(x_i) \quad (6)$$

1- Inverse Distance Weighting

که در آن λ_i وزن ایستگاه i ، d_i فاصله بین نقطه تخمین تا هر کدام از نمونه‌های واقع در همسایگی آن، $Z(x_i)$ مقدار نمونه‌های واقع در همسایگی محل تخمین، $Z^*(x_0)$ مقدار برآورد در محل مورد تخمین و α توان وزنی می‌باشد [۱۰].

نتایج:

نتایج نرمال بودن متغیرهای مورد بررسی به روش کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد کلیه متغیرها به جزء هدایت الکتریکی، سختی کل، کل‌مواد جامد محلول و منیزیم دارای توزیع نرمال بوده است. لذا به منظور نرمال سازی این متغیرها از روش لگاریتم‌گیری استفاده شد. پس از نرمال‌سازی داده‌ها اقدام به ترسیم واریوگرام تجربی

جدول ۴- پارامترهای تغییرنمای متغیرهای مورد مطالعه

Table 4- Variogram of parameters of variables

پارامتر	مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	وابستگی مکانی	حداکثر دامنه تأثیر (کیلومتر)	حداقل دامنه تأثیر (کیلومتر)	ضریب ناهمسانگردی	درصد ریشه دوم میانگین مربع خطا	میانگین خطا
Parameter	Model	Nugget effect	Sill	Spatial dependence	Major Range	Minor Range	Anisotropy	RMSE%	ME
هدایت الکتریکی (EC)	گوسی (Gaussian)	0.012	0.16	0.07	25	13.8	1.81	0.005	-0.03
درصد سدیم (Na)	کروی (Spherical)	50	200	0.33	11.4	11	1.04	23.2	-1.1
منیزیم (Mg)	کروی (Spherical)	0.002	0.091	0.02	14.5	6.3	2.29	2.9	-0.01
کلسیم (Ca)	گوسی (Gaussian)	0.22	0.63	0.35	24.4	14.5	3.39	34.3	-1.4
بیکربنات (HCO ₃)	کروی (Spherical)	0.1	1.13	0.09	14.4	5.3	2.72	22.2	-0.04
کل مواد جامد محلول (TDS)	گوسی (Gaussian)	0.013	0.16	0.08	25.3	13.9	1.81	0.007	-0.03
سختی کل (TH)	کروی (Spherical)	0.024	0.11	0.22	24.3	15.5	1.57	0.026	-0.02

بین این دو شاخص بدست آوردند. شاخص‌های EC و TDS همبستگی معنی‌دار مثبتی با سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و سختی کل (TH) و همبستگی منفی با بی‌کربنات (HCO₃) نشان دادند. در تحقیق تقی‌زاده مهرجردی و همکاران [۲۲] بین EC و SAR همبستگی ۰/۹۱ بدست آمد. با توجه به نتایج، همبستگی درصد Na و Mg با EC قویتر از TDS است (۰/۰۱). همچنین همبستگی درصد Na و Mg با EC قویتر از همبستگی کلسیم (Ca) و بی‌کربنات (HCO₃) با EC است، می‌توان نتیجه گرفت نقش کاتیون‌ها در EC بیشتر از آنیون‌ها بوده است.

۲- تغییرات مکانی داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی آب‌های

زیرزمینی:

خلاصه آماری مربوط به متغیرهای کیفی که در جدول (۲) ارائه شد، اطلاعات کافی در مورد چگونگی توزیع و تغییرات مکانی مقادیر متغیرها در سطح آبخوان ارائه نمی‌کند. از این رو، در اینجا به بررسی زمین‌آمار متغیرهای مورد بررسی پرداخته شد که می‌تواند اطلاعاتی در مورد تغییرات مکانی متغیرها در سطح آبخوان فراهم کند. بر اساس واریوگرام سطحی، متغیرها همسانگرد بودند. از این رو واریوگرام‌های همه‌جهته هر متغیر کیفی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان ترسیم شد. نتایج مربوط به تحلیل واریوگرام‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

بهترین مدل برای واریوگرام‌های TDS، Ca و EC با توجه به شاخص‌های آماری ME و درصد RMSE گوسی می‌باشد. یکسانی مدل واریوگرام این سه شاخص را می‌توان به وجود همبستگی مثبت، معنی‌دار و قوی بین آنها و تغییرات مکانی مشابه آنها در آبخوان نسبت داد. استواری [۱۷] در آبخوان دشت لردگان و حشمتی و بیگی هرچگانی [۱۲] در آبخوان دشت شهرکرد نیز برای EC و

گردید. خلاصه آماری توصیفی داده‌های مربوط به هفت عامل کیفیت آب در جدول (۲) آورده شده است.

ضریب تغییرات سدیم (Na) و بی‌کربنات (HCO₃) کمتر از ۳۰ درصد شده است که نشان‌دهنده یکنواختی نسبی مقادیر شاخص‌ها در سطح دشت است [۳]، در حالی که بقیه شاخص‌ها دارای ضریب تغییرات نسبتاً بزرگ است که حاکی از تغییرات زیاد آنها در نقاط مختلف آبخوان است.

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود مقدار هدایت الکتریکی از حداکثر مجاز استانداردهای ایران فراتر رفته است. حد استاندارد (حداکثر مجاز) هدایت الکتریکی ۱۵۰۰ و حداکثر غلظت مطلوب ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

قابل ذکر است که سطح آب سفره زیرزمینی سالانه ۵۰ سانتی‌متر افت داشته است و این امر حاکی از برداشت بی‌رویه و غیر اصولی از سفره آب زیرزمینی می‌باشد [۷]. کاهش ذخیره منابع آب از نظر کمی و تغییر کیفیت آب‌ها به سمت شوری باعث ناپایداری سفره‌های آب زیرزمینی گردیده است.

۱- همبستگی داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی آب‌های

زیرزمینی در دشت یزد- اردکان:

به منظور تعیین میزان همبستگی داده‌های مربوط به نتایج تجزیه شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت یزد- اردکان، ضرایب همبستگی آن‌ها محاسبه گردید. جدول (۳) نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود بین TDS و EC همبستگی مثبت معنی‌دار و قوی وجود دارد (r=۰/۹۹). تقی‌زاده مهرجردی و همکاران [۲۲] نیز همبستگی بالایی (r=۰/۹۹) و

۰/۲۵ بدست آمد که وجود وابستگی مکانی قوی را نشان می‌دهد.

۳- ارزیابی روش کریجینگ ساده:

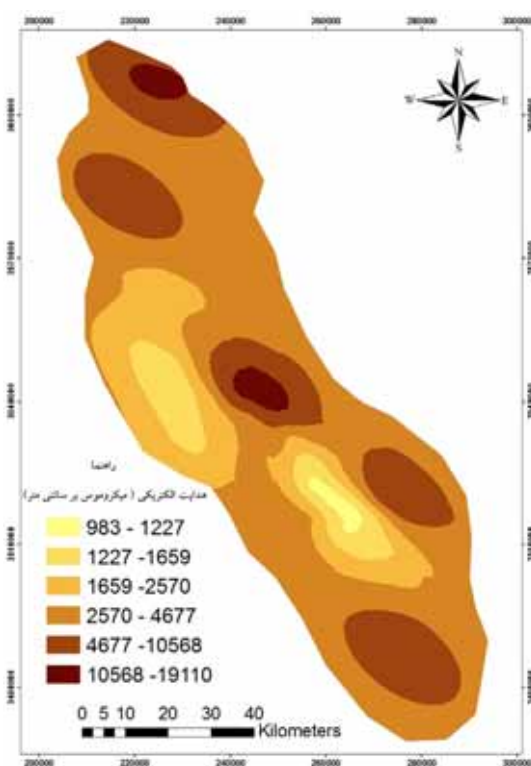
قبل از هر گونه نتیجه‌گیری در مورد پهنه‌بندی و توزیع مکانی متغیرها در سطح سفره، باید از صحت و دقت قابل قبول روش به کار رفته اطمینان حاصل شود. در این تحقیق، از روش کریجینگ ساده برای پهنه‌بندی متغیرها استفاده شد. نتایج ارزیابی روش یادشده نسبت به دو روش کریجینگ معمولی و نسبت عکس فاصله در جدول (۵) ارائه شده است.

همان طور که در جدول (۵) مشخص شده است معیار RMSE برای تمام شاخص‌های کیفیت آب در روش کریجینگ ساده کمتر از دو روش کریجینگ معمولی و نسبت عکس فاصله شده است. بنابراین روش کریجینگ ساده دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها داشته است. در ضمن درصد RMSE نیز برای این روش در تمام شاخص‌ها کمتر از ۴۰ درصد شده که نشان‌دهنده دقت تخمین است [۵]. در نتیجه، روش کریجینگ ساده برای پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان روش مناسبی است. استواری [۱۷] در مقایسه دو روش کریجینگ و نسبت عکس فاصله در بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان، نیز به این نتیجه رسید که روش کریجینگ دقت بالاتری دارد.

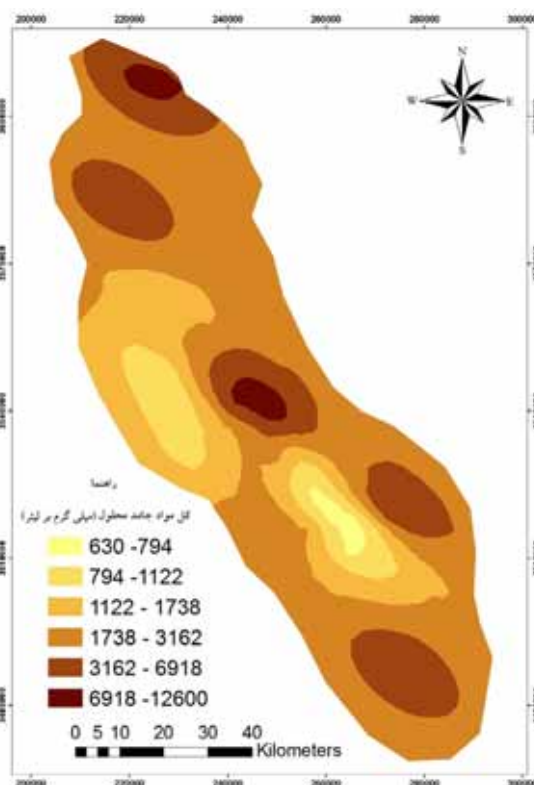
۴- پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی:

توزیع مقدار یک متغیر در سطح سفره می‌تواند ناشی از عکس‌العمل سازند زمین‌شناسی و ویژگی‌های آب باشد. همچنین،

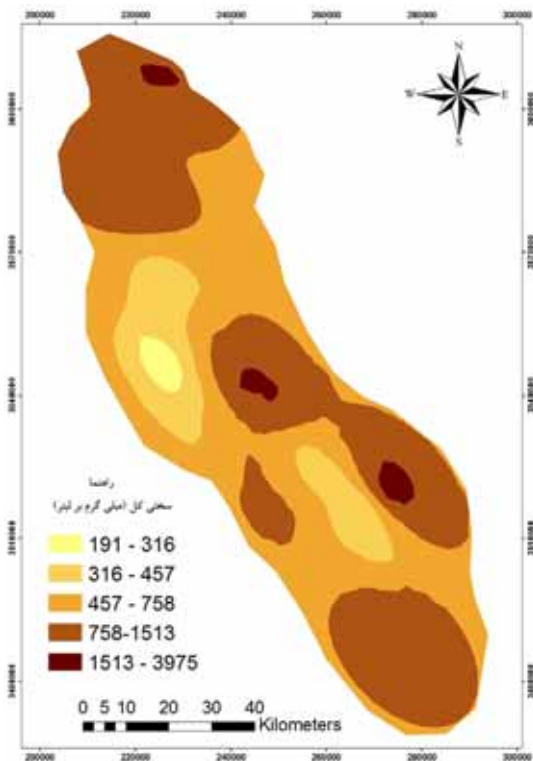
TDS مدل گوسی را مناسب دانستند. علت تشابه مدل واریوگرام در این دو تحقیق می‌تواند قرار گرفتن آبخوان‌های شهرکرد و لردگان در یک منطقه‌ی جغرافیایی و تشابه زمین‌شناختی آبخوان‌ها باشد. مدل برازش داده شده به TDS و EC در تحقیق تقی‌زاده مهرجردی و همکاران [۲۲] در دشت یزد- اردکان نیز یکسان اما کروی بود و بین TDS و EC نیز همبستگی قوی وجود داشت ($r=0/99$). مدل مناسب برای EC در گیلان در تحقیق رضایی و همکاران [۱۹] کروی و در تحقیق شعبانی [۲۱] در ارسنجان مدل برازش داده شده به TDS کروی بود. احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت الگوی تغییرات مکانی TDS و EC در یک دشت مشابه و از دشتی به دشت دیگر به علت تفاوت در مناطق جغرافیایی و تفاوت در زمین‌شناسی مناطق، تفاوت است. بهترین مدل برای واریوگرام‌های سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، بی‌کربنات (HCO_3) و سختی کل (TH) با توجه به شاخص‌های آماری ME و درصد RMSE کروی تشخیص داده شد. رضایی و همکاران [۱۹] برای Na مدل کروی را تشخیص دادند. زهتابیان و همکاران [۲۶] برای یون بی‌کربنات مدل کروی را مناسب دانستند. دامنه تأثیر شاخص‌های مورد بررسی تقریباً بین ۵ تا ۱۰۴ کیلومتر بدست آمد. دامنه تأثیر EC، TDS و TH و نیز دامنه تأثیر Na و HCO_3 در دشت بسیار شبیه به هم بود. دامنه تأثیر TDS و EC در دشت لردگان نیز مشابه با این دشت بوده و حدود ۲۷۰۰ متر بدست آمد [۱۷]. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (وابستگی مکانی) برای اکثر شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان کمتر از



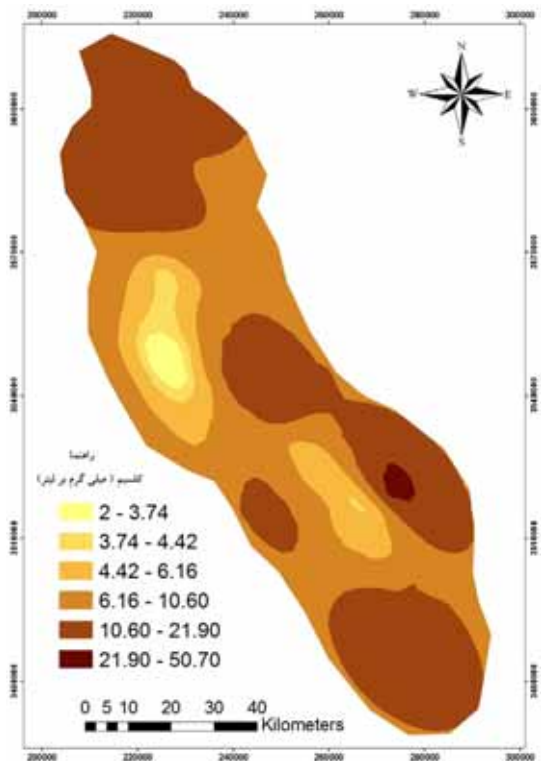
ب) هدایت الکتریکی
(EC)Electrical conductivity



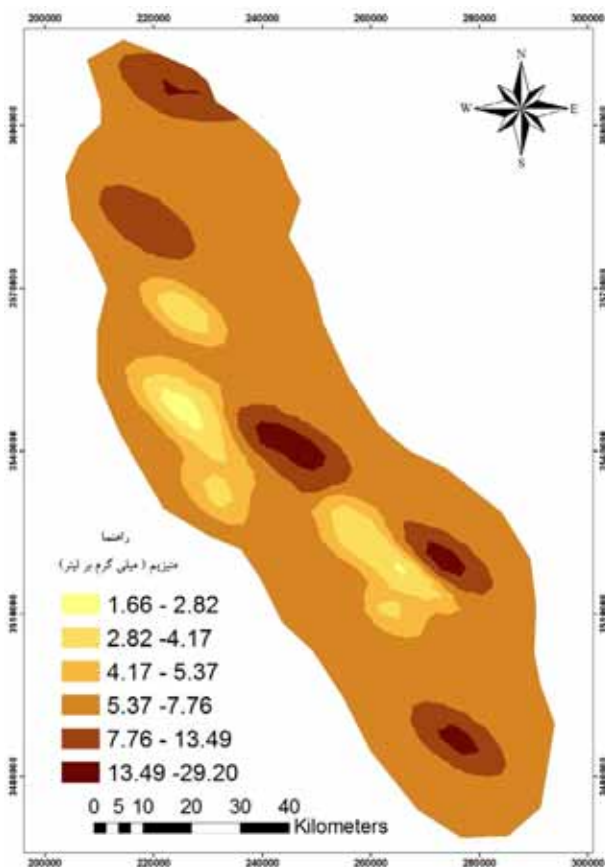
الف) کل مواد جامد محلول
(TDS) Total Dissolved Solids



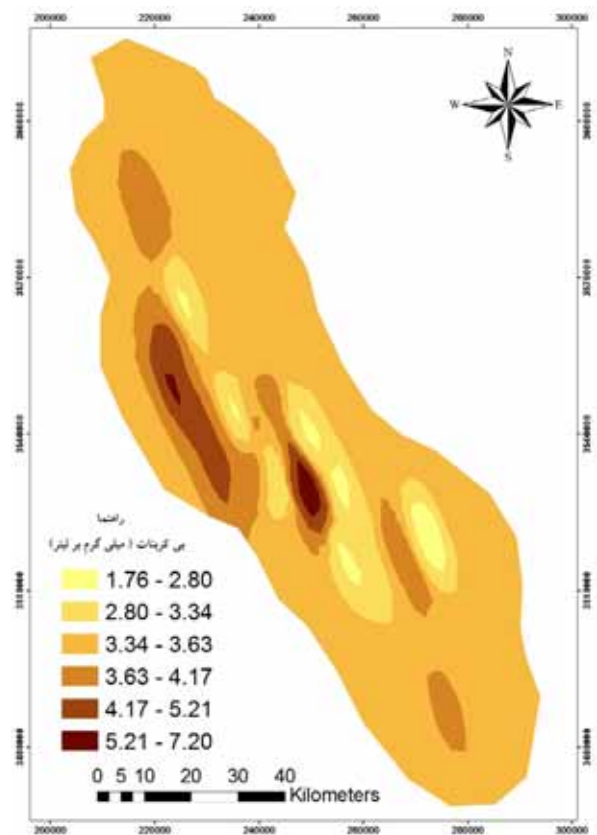
د) کلسیم
(Ca) Calcium



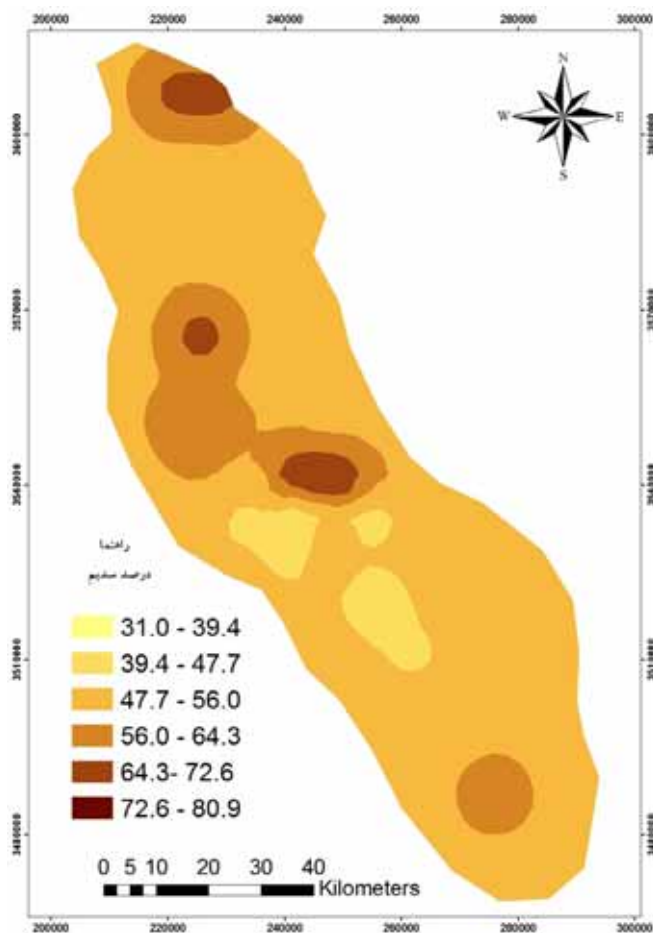
ج) سختی کل
(TH) Total Hardness



و) منیزیم
(Mg) Magnesium



ه) بیکربنات
Bicarbonate (HCO_3^-)



ی) درصد سدیم
(%Na) Sodium percent

شکل ۳- پهنه‌بندی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان به روش کریجینگ ساده

Figure 3- Zonation of characteristics of water quality in Yazd-Ardakan plain with Simple kriging method

و چاه‌های آجر بهممن و آجر فرد در نواحی مرکزی از نظر TDS بدترین کیفیت را دارند.

از آنجایی که حد مجاز سختی کل آب‌های زیرزمینی طبق استاندارد WHO ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد، نقشه میان‌یابی نشان داد که میزان سختی کل آب‌های زیرزمینی در بخش وسیعی از دشت بالاتر از حد مجاز می‌باشد. از نظر سختی کل چاه‌های مزرعه کلانتر، ابراهیم آباد (رستاق)، همت آباد، جلال آباد، بحرینی، روهنی، مرغ شاهد، اکرمیه، کشاورزی دهنو، کشاورزی فهرج، علی آباد دشتی، ذوب روی، محمد آباد، توانا کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سختی دارند.

میزان منیزیم آب‌های زیرزمینی کمتر از حداکثر مجاز یعنی کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. میزان کلسیم نیز کمتر از حداکثر مجاز یعنی کمتر از ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. وجود کلسیم و منیزیم در آب باعث افزایش نفوذ آب به داخل خاک می‌شود. از نظر آبیاری هر چه مقدار کلسیم و منیزیم محلول آب بیشتر باشد آن آب مطلوبتر خواهد بود.

نقشه‌های توزیع یک متغیر می‌تواند در نحوه مدیریت آب یا مدیریت کاربرد آن مفید واقع شود. نقشه‌های مربوط به شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ضرایب همبستگی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی مشخص شد بین TDS و EC همبستگی مثبت معنی‌دار و قوی وجود دارد ($r=0/99$). بنابراین نقشه‌های TDS و EC پهنه‌بندی مشابهی را نشان می‌دهند. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود بین TH و Ca همبستگی مثبت معنی‌دار و قوی وجود دارد ($r=0/99$). همچنین بین TH و Mg همبستگی مثبت معنی‌دار و قوی وجود دارد ($r=0/97$). بین Ca و Mg نیز همبستگی مثبت معنی‌دار و قوی وجود دارد ($r=0/93$). بنابراین نقشه‌های Ca، TH و Mg نیز پهنه‌بندی مشابهی را نشان می‌دهند.

حد مجاز TDS آب‌های زیرزمینی طبق استاندارد WHO ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نقشه میان‌یابی نشان داد که میزان سختی کل آب‌های زیرزمینی دشت بالاتر از حد مجاز می‌باشد. چاه‌های ابوتراب رجایی و مهدی آباد حوض گبر در نواحی شمالی منطقه

حد مجاز هدایت الکتریکی (EC) ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر می باشد. چاه های توانا، اکرمیه، جلال آباد، حسین آباد ریسمانی، خویدک، مرغ شاهد، روهنی، علی آباد دشتی، کارخانه سیمان، کشاورزی دهنو، کشاورزی فهرج، همت آباد دارای EC کمتر از ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر می باشند و در سایر قسمت های آبخوان مقدار EC از حد مجاز فراتر رفته است.

حد مجاز میزان بی کربنات آب های زیرزمینی کمتر از ۹۱/۵ میلی گرم بر لیتر می باشد که غلظت بی کربنات چاه های موجود در منطقه مورد مطالعه در حد استاندارد و مجاز می باشد.

با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه اکثر چاه ها بر روی رسوبات ماسه بادی و تپه های ماسه ای (Qs) و همچنین بر روی ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع (Qt₂) واقع شده اند. بنابراین کیفیت آب های زیرزمینی را نمی توان تنها به سازندهای محلی ارتباط داد. سازندهای بالادست چاه ها نیز می توانند بر روی کیفیت آب آن ها اثر بگذارد که بررسی تأثیر سازندهای بالادست بر روی کیفیت آب های زیرزمینی نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. خشکسالی های اخیر، تغذیه کم سفره ها و افت ۵۰ سانتی متری آب های زیرزمینی و برداشت بیش از حد از منابع باعث وارد آمدن فشار بر منابع آب زیرزمینی شده است [۷] و در نتیجه برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی باعث کاهش کیفیت آب در این منطقه شده است.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با هدف بررسی تغییرات مکانی کیفی آب زیرزمینی، از نتایج تجزیه شیمیایی ۴۲ حلقه چاه عمیق واقع در دشت یزد- اردکان استفاده شده است. نتایج نرمال بودن متغیرهای مورد بررسی به روش کولموگروف- اسمیرنوف نشان داد کلیه متغیرها به جزء هدایت الکتریکی، سختی کل، کل مواد جامد محلول و منیزیم دارای توزیع نرمال بوده است. ضریب تغییرات سدیم (Na) و بیکربنات (HCO₃) کمتر از ۳۰ درصد شده است که نشان دهنده یکنواختی نسبی مقادیر شاخص ها در سطح دشت است، در حالی که بقیه شاخص ها به طور نسبی دارای ضریب تغییرات بزرگ است که حاکی از تغییرات زیاد آنها در نقاط مختلف آبخوان است. نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی نشان داد که بین EC و TDS همبستگی مثبت معنی دار و قوی وجود دارد (r=۰/۹۹). شاخص های EC و TDS همبستگی معنی دار مثبتی با سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و سختی کل (TH) و همبستگی منفی با بی کربنات (HCO₃) نشان دادند. همچنین همبستگی درصد Na و Mg با EC قویتر از همبستگی کلسیم (Ca) و بی کربنات (HCO₃) با EC است، می توان نتیجه گرفت نقش کاتیون ها در EC بیشتر از آنیون ها بوده است. مدل های برازش داده شده به واریوگرام Ca، TDS، EC گوسی است. یکسانی مدل واریوگرام این سه شاخص را می توان به وجود

همبستگی مثبت، معنی دار و قوی بین آنها و تغییرات مکانی مشابه آنها در آبخوان نسبت داد. بهترین مدل واریوگرام برای سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، بی کربنات (HCO₃) و سختی کل (TH) کروی تشخیص داده شد. دامنه تأثیر شاخص های مورد بررسی تقریباً بین ۵ تا ۱۰۴ کیلومتر بدست آمد. دامنه تأثیر EC، TDS و TH و نیز دامنه تأثیر Na و HCO₃ در دشت بسیار شبیه به هم بود. نسبت اثر قطعه ای به سقف (وابستگی مکانی) برای اکثر شاخص های کیفی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان کمتر از ۰/۲۵ بدست آمد که وجود وابستگی مکانی قوی را نشان می دهد. معیار RMSE برای تمام شاخص ها کمتر از ۴۰ درصد به دست آمد که نشانه دقت تخمین می باشد. همخوانی همبستگی های مشاهدات و نقشه ها حاکی از دقت خوب مدل های واریوگرام و تخمینگر کریجینگ در میان یابی و پهنه بندی شاخص های کیفی آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان بود. نتایج نشان می دهد که در قسمت هایی از آبخوان مقدار هدایت الکتریکی از حداکثر مجاز استانداردهای ایران فراتر رفته است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی چاه های واقع در حاشیه کویر سیاه کوه شامل ابوتراب رجایی و سازند نئوژن در شمال شرقی شهر یزد شامل (آجر فرد، آجر بهمن و شرکت احرار) می باشد و کمترین میزان EC مربوط به چاه های ذوب روی، کشاورزی دهنو و بحرینی در محدوده مطالعاتی می باشد (شکل ۳-ب). کاهش ذخیره منابع آب از نظر کمی و تغییر کیفیت آب ها به سمت شوری باعث ناپایداری سفره های آب زیرزمینی گردیده است.

زون هایی که به طور نسبی دارای آب زیرزمینی با کیفیت مناسب هستند و تاکنون کیفیت نسبی خود را حفظ نموده به طور معمول در طرف غرب و جنوب غرب دشت یزد، در تپه های ژئومورفولوژی دشت سر لخت و اپانداژ قرار دارد که شامل چاه های تدین، بحرینی، کشاورزی دهنو، کشاورزی فهرج، ذوب روی می باشد. زون هایی که به لحاظ ارتباط هیدرولوژیکی و هیدروشیمیایی با زون های گروه اول، کیفیت خود را کنترل می نمایند به طور معمول در قسمت میانی دشت و دشت سر پوشیده واقع شده اند و شامل چاه های شرکت احرار، اکرمیه، همت آباد، شیرین زارچ، خویدک می باشد. زون هایی که در ارتباط هیدروشیمیایی قوی با تشکیلات نئوژن منطقه و دلتای پلایای اردکان قرار دارند، در حد شمالی دشت واقع شده اند که شامل مزرعه کلانتر و ابوتراب رجایی است.

با توجه به نتایج می توان گفت که تنها راه اساسی و اصولی جهت جلوگیری از عواقب خطرناک افت سطح ایستابی و کاهش کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی، مصرف درست و قانونمند آب و جلوگیری از برداشت بی رویه آب های زیرزمینی می باشد.

منابع:

1. Ahmed, S. Sherif, M.M. Singh, V.P. and Al-Rashed, M. 2002. Groundwater monitoring network design: application of Geostatistics with a few Case

based on regression-kriging. *Geoderma*. 120:75-93.

12.Heshmati, S. and Beygi harchagani, H. 2012. Zonation of Shahrekord groundwater quality indices for using in the design of irrigation systems. *Water Research in agricultural*. 26(1):43-59. (In Persian).

13.Hoseini S.M., Ghahremanm B., and Asgari H. 2003. Sulphate in Mashhadgroundwater using kriging method. Estimation of electrical conductivity. In: Mostofinejad, D., Asghari, K., and Chamani, M.R. (eds.), *Proceeding of the 6th International Conference on Civil Engineering (ICCE)*, Arkan, Isfahan, (In Persian).

14.Kravchenko A.N. 2003. Influence of Spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of America Journal*, 67 (2): 1564-1571.

15.Mohamadi J. 2006. *Pedometry, Spatial Statistics*. Pelk Publications. 453pages. (In Persian).

16.Nazarizadeh, F. Ershadian, B. and Zandvakili, K. 2006. A survey on spatial variations of groundwater quality in Khozestan province. *First Regional Conference optimal utilization of water resources in the watersheds of Karoun and Zayandehroud*. Shahrekord university. 1240pages. (In Persian).

17.Ostovari, y. 2011. *Assessment water quality of Lordegan aquifers and the impact geological formations on the quality of these aquifers*. MSc Thesiss, Shahrekord University, 110 pages. (In Persian).

18.Rejith P.G., jeeva S.P., Vijith H., Sowmya M., Mohamed Hatha A.A. 2009. Determination of groundwater quality index of a highland village of kerala (india) using geographical information system. *Journal of environmental health*. 71:51-57.

19.Rezaei, M. Davatgar, N. Tajdari, KH. and Abolpour, B. 2010. Investigation the Spatial Variability of Some Important Groundwater Quality Factors in Gilan using geostatistic, Iran. *Journal of Water and Soil*. 24(5): 932-941. (In Persian).

20.Rizzo D.M., and Mouser J.M. 2000. Evaluation of Geostatistics for Combined Hydrochemistry and Microbial Community Fingerprinting at a Waste Disposal Site. pp.1-11.

21.Shabani, M. 2008. Determine the most appropriate

studies from a granitic aquifer in a semiarid region. *Groundwater Hydrology*. 2: 37-57.

2.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*. 113:57-63.

3.Banzhad, H. and Mohebzadeh, H. 2012. Assessment groundwater quality of Rezn-Ghahavand Plain for providing water of agriculture using GIS. 38: 99-110. (In Persian).

4.Barca, E. and Passarella, G. 2007. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation. A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. *Environ Monit Assess*. (in press).

5.Burgess T.M., and Webster R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties the semivariogram and punctual kriging, I. The semivariogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science*. 31: 315-331.

6.Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F., and Koropaka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1501-1511.

7.Ekrami, M., Ektesasi, M.R. and Amirbeygi, M.A. 2010. *Investigation Effects of climatic drought on the intensity and time delay hydrological drought using GRI Index (case study: Yazd-Ardakan plain)*. MSc Thesiss, Yazd University, 100 pp. (In Persian).

8.Finke P.A, Brus D.J., Bierkens M.F.P., Hoogland T., Knotters M., and Vries F. 2004. Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. *Geoderma*. 123:23-39.

9.Ghameshion, M. Malekian, A. Hoseini, Kh. Gharachelo, S. and Khamoushi, M.R. 2012. A survey on spatial variations of groundwater quality in Semnan/Sorkheh plain using geostatistical techniques. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*. 19 (3):535-545. (In Persian).

10.Hasani pak A.A. 1999. *Geostatistics*. Tehran university Publications. 314pages. (In Persian).

11.Hengel T., Huvelink G.B.M., and Stein A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variabls

25. Yasrebi J., Sharifi M., Fathi H., Karimian N., Emadi M., and Baghernejad M. 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. *Journal of Applied Sciences* 8(9):1612-1650.

26. Zehtabian, Gh. Janfaza, E. Mohammad asgari, H. and Nematollahi, M.J. 2010. Modeling of ground water spatial distribution for some chemical properties (Case study in Garmsar watershed). *Iranian journal of Range and Desert Reseach.* 17 (1):61-73. (In Persian).

method of geostatistical for preparation of the plan of groundwater pH and TDS (case study: Arsenjan Plain). *Water Engineering Journal.* 1:47-58. (In Persian).

22. Taghizadeh mehrjerdi, R. Zareian jahromi, M. Mahmoodi, Sh. Heydari, A. and Sarmadian, F. 2008. Investigation spatial interpolation methods for spatial variations of quality characteristics of groundwater in Rafsanjan plain. *Iran-Watershed Management Science and Engineering.* 5: 63-70. (In Persian).

23. The Department of Environment and Conservation NSW, (2007). *Guidelines for the Assessment and Management of groundwater Contamination*, Published by: Department of Environment and Conservation NSW, Website: www.environment.nsw.gov.au.

24. Vaezi A.R , Bahrami H.A. Sadeghi S.H.R., and Mahdian M.H. 2010. Spatial Variability of Soil Erodibility Factor (K) of the USLE in North West of Iran. *JAST.* 12: 241-252.

*Abstract*

Investigation of Possibility of Groundwater Quality Zonation in Arid Regions Using Geostatistic (Case Study: Yazd-Ardakan plain)

F. Fotouhi Firoozabad¹, A. Talebi² and H. Afkhami Ardakani³

Received: 2013/07/12 Accept: 2014/08/12

Nowadays, due to water resources scarcity (especially in arid regions), groundwater resource quality and quantity management is essential. In this research, spatial variations of chemical characteristics of groundwater such as EC, Na, Mg, Ca, HCO₃, TH and TDS were investigated in one-year period (2010-11) based on the data collected from 42 deep wells of Yazd-Ardakan Plain. In order to prepare zonation characteristics of water quality, Simple kriging was used. The results showed that the fitted model to the variogram of Ca, TDS and EC are Gaussian. Homogeneity of variogram model of these three parameters can be considered due to positive, significant and strong correlation between them and the same spatial variation in aquifer. Best Model variogram for Na, Mg, HCO₃, TH is spherical. Effective range of investigated indices was approximately obtained between 5 to 104 kilometers. Effective range of EC, TDS and TH and the effective range of Na and HCO₃ were very similar in the plain. RMSE criteria was obtained less than 40 percent for all indices that shows the accuracy of estimates. Agreement of correlation between the observations and the maps showed good accuracy of variogram model and Simple kriging method for zonation of characteristics of ground water quality in Yazd-Ardakan plain.

Keywords: *Simple kriging, Geostatistic, Groundwater, Yazd-Ardakan plain.*

1- PhD student of Watershed management engineering, yazd university, - Corresponding author Email: farzaneh.fotouhi@gmail.com,

2-Academic staff member (Associated professor) of Natural Resources and Desert Studies faculty, yazd university

3- PhD student of Watershed management engineering, yazd university