

تغییرات فصلی و مکانی غلظت کادمیوم در آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با استفاده از روش‌های قطعی و زمین آمار

عبداله طاهری تیزرو^{۱*}، نصرالدین پارسافر^۲، امین ترنجیان^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۲۰

^۱ دانشجوی گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، همدان

^۳ دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ttizro@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق، با استفاده از بعضی روش‌های قطعی و زمین‌آمار از قبیل کریجینگ، فاصله معکوس، چندجمله‌ای موضعی و توابع پایه شعاعی، تغییرات فصلی و مکانی عنصر کادمیوم در آب‌های زیرزمینی دشت همدان-بهار واقع در استان همدان مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از ۳۰ حلقه چاه در چهار فصل تابستان، پاییز و زمستان ۱۳۸۱ و بهار ۱۳۸۲ نمونه‌گیری به عمل آمد. به منظور تحلیل فصلی و مکانی کیفیت عناصر مورد بررسی در آب‌های زیرزمینی از امکانات نرم‌افزاری زمین‌آمار ArcGIS نسخه ۱۰ استفاده گردید. معیارهای ارزیابی میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD)، با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل بود. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل چند جمله‌ای موضعی، روش کریجینگ (با توابع ساده و گسسته)، روش کریجینگ (با مدل‌های احتمالی و شاخص) و کریجینگ (با مدل‌های احتمالی و شاخص) به ترتیب بهترین روش برای تخمین غلظت کادمیوم در فصل‌های تابستان، پاییز، زمستان و بهار می‌باشند. همچنین روش کریجینگ (با مدل‌های احتمالی و شاخص) در فصل‌های تابستان و پاییز و روش توابع پایه شعاعی در فصل‌های زمستان و بهار به عنوان نامناسب‌ترین روش‌ها تعیین گردیدند. نتایج ارزیابی نشان داد، بهترین روش انتخاب شده در یک مقطع زمانی را نمی‌توان برای سایر فصل‌ها نیز استفاده نمود. همچنین غلظت کادمیوم در فصل تابستان در شمال دشت و در فصل بهار در شمال شرقی دشت بالا بود. این غلظت در فصل پاییز در تمام دشت برابر ۰/۲ میکروگرم بر لیتر و در فصل زمستان از سمت شرق به غرب روبه افزایش مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، دشت همدان-بهار، روش قطعی، زمین‌آمار، کادمیوم

Seasonal and Spatial Variations of Cadmium Concentration in Groundwater of the Hamedan-Bahar Plain using Geostatistics and Deterministic Methods

A Taheri Tizro^{1*}, N Parsafar², A Toranjian³

Received: 15 July 2014

Accepted: 12 October 2014

¹-Assoc. Prof., Dept. of Water Resource Eng., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran

²-Young Researchers & Elites Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

³- Ph.D. Student of Water Resources Eng., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran

* Corresponding Author, E-mail: ttizro@yahoo.com

Abstract

In this research, using different deterministic and geostatistical methods including kriging, inverse distance, local polynomial and radial basis functions, the seasonal and spatial distributions of cadmium (Cd) amounts in groundwater were evaluated in the Hamedan-Bahar plain. To do this groundwater of 30 wells in the plain were sampled in four seasons i.e. summer and autumn 2002, winter and spring 2003. To analyze the seasonal and spatial elements of the quality of ground water, the geostatistical software ArcGIS version 10 was used. The performance criteria for evaluating the used methods were Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and General Standard Deviation (GSD) using the cross validation method. The results showed that local polynomial, kriging (disjunctive and simple), kriging method (probability and indicator) and kriging (probability and indicator) were the best methods to estimate Cd in summer, autumn, winter and spring, respectively. Also, kriging (probability and indicator) for summer and autumn as well as Radial Basis Functions method for winter and spring were illustrated as unsuitable methods for estimating Cd. The interpreted results showed, the best approach adopted for a period of time could not be utilized for other seasons. Also cadmium concentration was high in the northern parts of the plain (summer season) and in the Northeast parts (spring season). This concentration was up to 2.0 micrograms per liter in autumn season, which was covering all the plain. The trend of increase in cadmium concentrations was observed from eastern parts to western parts of the study area in the winter season.

Keywords: Cd, Deterministic method, Geostatistics, Groundwater, Hamedan-bahar plain

مقدمه

نیاز شرب، کشاورزی و صنعت معطوف گردیده است. این در حالی است که کمتر به حفظ کیفی آبخوانها توجه می‌شود (رابرتسون و همکاران ۱۹۹۶). منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای که آب و هوایی مشابه دارند، مهمترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به‌شمار می‌آیند. از سوی دیگر خطر آلودگی کمتر این منابع نسبت به دیگر روش‌های فرآوری آب باعث شده که حتی در مناطقی که

آلودگی محیط ناشی از فلزات سنگین اکنون مشکلی در مقیاس جهانی است. فلزات سنگین با توجه به ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و داشتن قدرت تجمع زیستی در بدن موجودات زنده به سرعت تبدیل به آلاینده‌های سمی می‌شوند. آب‌های زیرزمینی از دو جنبه کمی و کیفی قابل بررسی می‌باشند. در کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته، بیشترین توجه به یافتن سفره‌های آب زیرزمینی مناسب جهت تأمین آب مورد

استاندارد سرب و کروم در ۸۰ درصد این چاه‌ها بود. علت آلودگی، فعالیت‌های صنعتی منطقه و تخریب برخی صخره‌های منطقه به علت شرایط آب و هوایی شناخته شد. جوهانا (۲۰۰۷) نسبت به اندازه‌گیری آرسنیک و منگنز در منابع آب شرب زیرزمینی کامبودیا در بنگلادش با وسعتی برابر ۳۷۰۰ کیلومتر مربع اقدام نمود. در این مطالعه ۱۳۱ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. در مجموع محدوده غلظت آرسنیک ۱ تا ۱۳۴۰ میکروگرم در لیتر بود و غلظت آن در ۴۸ درصد نمونه‌ها بالاتر از ۱۰ میکروگرم در لیتر مشاهده گردید و سلامت بیش از ۱/۲ میلیون نفر در معرض تهدید بود. اگر (۲۰۰۶) نسبت به سنجش فلزات سنگین مس و کادمیوم و سرب در آب‌های سطحی منطقه مایتیلوسپ اقدام نمود. نتایج حاکی از آن بود که غلظت این فلزات در آب‌های سطحی در زمان‌های متفاوت متغیر است و غلظت کادمیوم در محدوده پایین‌تری قرار دارد. ولی غلظت مس و سرب در نمونه‌برداری‌های اولیه بسیار بالاتر بود.

امروزه به منظور تخمین متغیرهای مکانی یک منطقه از روش‌های آماری تحت عنوان زمین‌آمار^۱ استفاده می‌گردد. تفاوت اصلی این روش با آمار کلاسیک^۲ این است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه آماری، مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی‌دهد. اما روش زمین‌آمار وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌نماید. روش‌های مختلف زمین‌آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را نشان می‌دهند. به طور کلی می‌توان گفت زمین‌آمار به بررسی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر مختلف آنها و فاصله و جهت قرار گرفتن آنها یک ارتباط فضایی وجود دارد (حسینی‌پاک ۱۳۸۹).

در سال ۱۹۹۰ میلادی نتایج حاصل از تخمین سطح ایستابی با روش زمین‌آمار که برای بهینه کردن شبکه-

کامبودی از لحاظ آب سطحی احساس نمی‌شود نیز استفاده از این منابع رونق داشته باشد. موضوع آلودگی آب‌ها نه تنها در کشورهای صنعتی بلکه در کشورهای در حال توسعه نیز مطرح است. برای مثال در بیشتر شهرهای ایران که آب شرب از منابع زیرزمینی تامین می‌شود، باید به مسأله آلوده بودن این منابع به نیترات و سایر عناصر سمی که ممکن است به وسیله چاه‌های فاضلاب یا کودها و سمومی که در کشاورزی مصرف شده و همراه با آب نفوذی به لایه‌های آبدار می‌رسد، توجه شود. بنابراین در مطالعات هیدرولوژی همراه با مطالعه کمی آب، معیارهای کیفی آن نیز بررسی می‌شوند (مهدوی ۱۳۸۴).

یکی از عوارض جانبی صنعتی شدن، مصرف مواد شیمیایی مختلف به طور عمدی یا اتفاقی توسط انسان می‌باشد که پیامد آن مسمومیت‌های مختلف است که عمدتاً بسیار خطرناک و کشنده‌اند (دبیری ۱۳۷۵). فلزات سرب و کادمیوم جزء آن دسته از عناصری هستند که وجودشان در مواد غذایی و محیط به عنوان عوامل مخاطره‌انگیز مورد توجه زیاد پژوهشگران قرار گرفته است. اخیراً بحث‌های متعددی درباره مسمومیت حاد و مزمن ناشی از آلودگی مواد غذایی و آب به فلزات به عمل آمده است و شناسایی عامل این مسمومیت‌ها که روز به روز در حال افزایش است، اهمیت بسیاری دارد (بالانتاین و همکاران ۱۹۹۴).

کادمیوم معمولاً به طور طبیعی در آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد. کادمیوم از طریق فرسایش خاک و سنگ بستر، رسوبات آلوده اتمسفری ناشی از کارخانجات صنعتی، پساب مناطق آلوده و استفاده از لجن و کود در کشاورزی وارد آب‌ها می‌شود. حلالیت کادمیوم در آب تحت تاثیر عواملی نظیر نوع ترکیبات و pH آب است. غلظت بیش از چند میکروگرم در لیتر کادمیوم احتمالاً ناشی از تخلیه فاضلاب آلوده به کادمیوم می‌باشد (شریعت پناهی ۱۳۸۸).

باسمایاکی (۲۰۰۷) نسبت به بررسی غلظت فلزات سنگین در آب ۳۶۴ چاه شخصی منطقه باتینای عمان اقدام نمود که نتایج نشان‌دهنده افزایش بیش از حد

¹Geostatistics

²Classic Statistics

نخایر آن و روند افزایشی تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مواد جامد، کاربرد سموم و کودهای شیمیایی در محدوده آن مورد توجه است (احسانی و همکاران ۱۳۸۶). در این دشت بخش‌های مرکزی از شهرستان همدان و بخش‌های لالچین، صالح آباد و بخش مرکزی از شهرستان بهار قرار دارد. این دشت بر اساس دیاگرام اقلیمی آمبرژه، در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار گرفته و دارای آب و هوای سرد کوهستانی می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود، مجموع برداشت سالیانه آب از منابع زیرزمینی دشت برای مصارف مختلف حدود ۲۵۲ میلیون متر مکعب است، که حدود ۲۲۰ میلیون متر مکعب آن توسط چاه‌ها، ۱۹ میلیون متر مکعب آن توسط قنات‌ها و ۱۳ میلیون متر مکعب آن توسط چشمه‌ها به دست می‌آید. این میزان برداشت در سه بخش شرب، کشاورزی و صنعت در سطح دشت به مصرف می‌رسد (بی‌نام ۱۳۸۰). دشت همدان-بهار با اینکه فقط نه درصد مساحت دشت‌های استان را تشکیل می‌دهد، یکی از مهم‌ترین مراکز تولید محصولات کشاورزی استان محسوب می‌شود. شیب عمومی منطقه، جنوبی-شمالی و شمال شرقی-غربی است. عمده‌ترین رودخانه‌های حوضه از کوه‌های الوند سرچشمه می‌گیرند و در قسمت‌های مرکزی دشت به هم پیوسته و رودخانه سیمینه رود را تشکیل می‌دهند. متوسط آبدی رودخانه مذکور در ۷ سال اخیر برابر $\frac{1}{43}$ مترمکعب در ثانیه بوده که حاکی از کاهش آبدی ۵۷ درصدی است (ترنجیان ۱۳۸۸).

موقعیت استان همدان در کشور و دشت بهار در این استان و همچنین موقعیت چاه‌های مورد بررسی و نقشه زمین‌شناسی منطقه در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد چاه‌ها دارای پراکندگی مناسبی در سطح دشت می‌باشند. در شکل ۲ نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۱ تهیه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد کشت گیاهان زراعی دیم و آبی، باغ و مرتع سطح دشت را پوشش داده‌اند. لذا کاربری عمده این دشت کشاورزی می‌باشد. مهم‌ترین محصولات زراعی دشت گندم، جو آبی و دیم و پس از آن به ترتیب یونجه، سیب‌زمینی و سیر است.

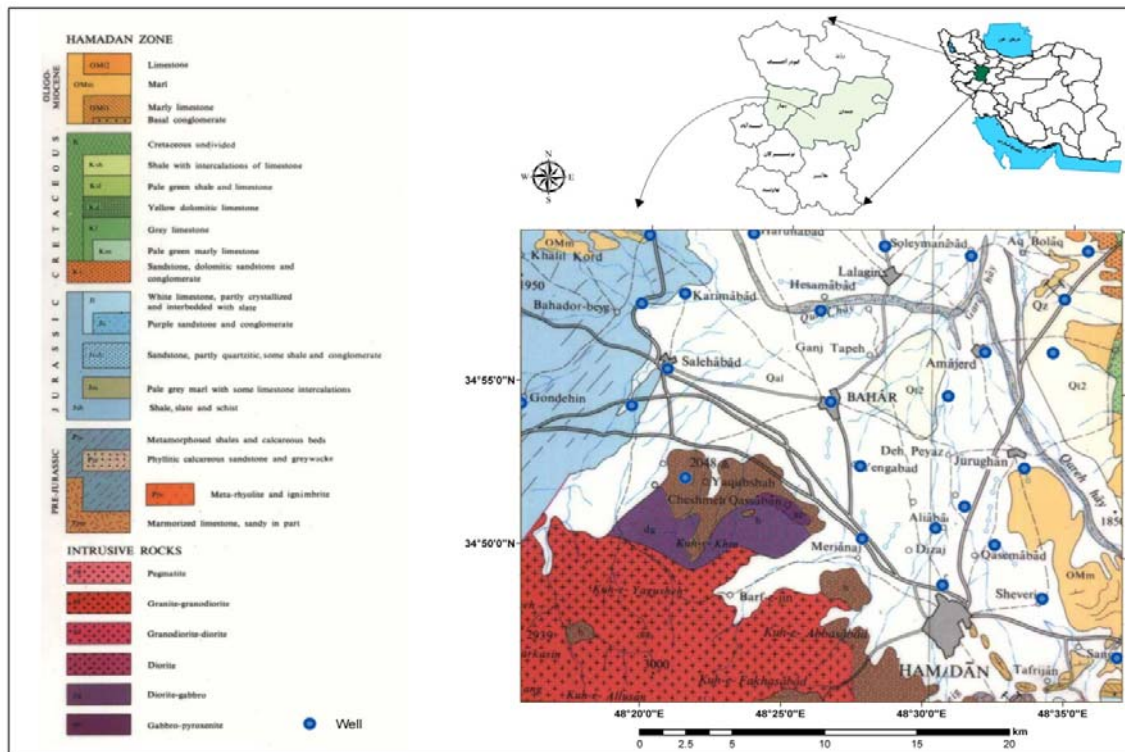
های پایش در کشور مراکش انجام شده بود، توسط بن-جما و مارینو (۱۹۹۰) ارائه گردید. این نتایج حاکی از برتری روش‌های زمین‌آماری بر روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک بود. در تحقیقی که توسط حسینی و همکاران (۱۳۸۲) انجام گرفت، دو پارامتر هدایت الکتریکی و سولفات موجود در آب زیرزمینی شهر مشهد با استفاده از روش کریجینگ تخمین زده شد. رضوانی (۱۳۷۵) برای تخمین انتقال فسفر در سیلاب خروجی از حوضه‌های آبخیز، با استفاده از مقادیر فسفر اندازه‌گیری شده در حوضه، از تخمین‌های زمین-آماری استفاده کرد.

دشت همدان-بهار یکی از چهار دشت منطقه همدان می‌باشد که به دلیل بروز افت مداوم و کاهش نخایر مخازن آب زیرزمینی در طی دو دهه گذشته از یک طرف و همچنین روند افزایشی تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مواد زائد و جامد و کاربرد سموم و کودهای شیمیایی در محدوده آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. با توجه به مطالب گفته شده و با توجه به اینکه تغییرات فصلی با روش‌های قطعی و زمین‌آمار بسیار کم مورد بررسی قرار گرفته است لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات فصلی و مکانی عنصر کادمیوم در آب‌های زیرزمینی دشت همدان-بهار بر اساس روش‌های قطعی و زمین‌آمار در فصل‌های تابستان، پاییز و زمستان ۱۳۸۱ و بهار ۱۳۸۲ می‌باشد.

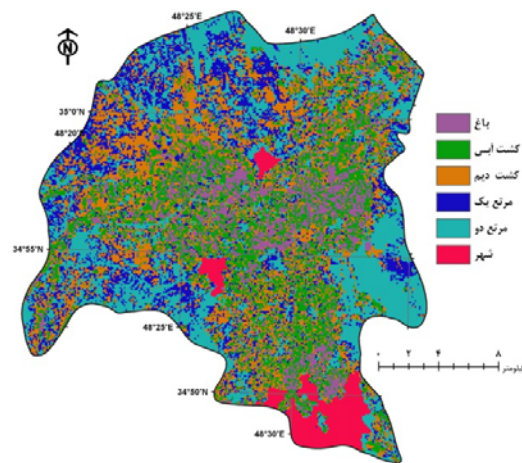
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه و منابع داده‌ها

دشت همدان-بهار در طول دره وسیعی که از دو طرف به کوه‌های بلند و ارتفاعات الوند محصور است، با مساحت تقریبی ۹۳۰ کیلومتر مربع در حد فاصل ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا واقع شده، دارای کمترین وسعت در بین دشت‌های منطقه همدان می‌باشد. دشت همدان-بهار در محدوده طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و عرض شمالی ۳۴ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲ دقیقه واقع شده است. این دشت یکی از دشت‌های اصلی تأمین‌کننده آب شرب و کشاورزی همدان است که به دلیل افت مداوم و کاهش



شکل ۱- موقعیت استان همدان در نقشه کشوری به همراه دشت بهار در استان.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی دشت همدان- بهار در سال ۱۳۸۱.

عنوان ایستگاه‌های ثابت جهت برداشت نمونه انتخاب شد. جهت تعیین غلظت کادمیوم در آب زیرزمینی در این تحقیق، از نتایج تجزیه شیمیایی آب‌های ۳۰ عدد چاه در چهار فصل تابستان، پاییز و زمستان ۱۳۸۱ و بهار ۱۳۸۲ در دشت همدان- بهار که این داده‌ها از سازمان

روش نمونه‌برداری جهت دستیابی به کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت همدان- بهار، محدوده دشت در بلوک‌های ۲۵ کیلومترمربعی تقسیم گردید. بلوک به‌طور تصادفی انتخاب گردید و در هر بلوک نزدیک‌ترین اجتماع به-

۲- چند جمله‌ای موضعی^۴: روش چندجمله‌ای موضعی، کمینه مجذورات متناسب را بین گره‌های شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به عنوان وزن گره تخصیص می‌دهد. در این روش بر اساس ضرایب تخصیص داده شده، با به دست آوردن رابطه درجه اول، دوم و یا سوم بین مقادیر x ، y و z و کمینه‌سازی اطلاعات محاسبه شده، درون‌یابی صورت می‌گیرد. در تحقیق حاضر از روش چند جمله‌ای موضعی با توابع ثابت^۵، اپانچنیکوف^۶، نمایی^۷، گوسی^۸، چند جمله‌ای درجه پنج^۹ و درجه چهارم^{۱۰} استفاده گردید.

۳- توابع پایه شعاعی^{۱۱}: از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. از خصوصیات این روش که حالتی از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد این است که مقادیر بیشتر از بیشینه مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از کمینه مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. در روش فاصله معکوس نیز سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌نماید اما این روش هیچ‌گاه مقادیر بیشتر از بیشینه و کمتر از کمینه داده‌های مشاهده‌ای را تخمین نمی‌زند. در این تحقیق از روش توابع پایه شعاعی با توابع نواری کاملاً مرتب شده^{۱۲}، چندربعی معکوس^{۱۳}، نواری همراه با کشش^{۱۴}، چندربعی^{۱۵} و نواری کم ضخامت^{۱۶} استفاده شده است. این روش بر اساس پنج تابع مختلف درون‌یابی اطلاعات را انجام می‌دهد. هسته اصلی توابع، مجموع مقادیر مجذورات $(h^2 + R^2)$ می‌باشد. مقادیر h و R

محیط زیست استان همدان اخذ شده بود استفاده گردید (رحمانی ۱۳۸۲). جهت نمونه برداری از ظروف پلی اتیلن که از قبل با نیتریک اسید غلیظ شستشو داده شده بود، استفاده گردید. به منظور جلوگیری از ترسیب فلزهای سنگین یک میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به ۱۰۰ میلی لیتر نمونه اضافه شد. برای اندازه‌گیری غلظت کادمیوم در نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی دارای کوره گرافیتی استفاده شد.

روش‌های مورد بررسی

در این تحقیق از دو روش قطعی و زمین‌آمار استفاده گردید.

الف: روش‌های قطعی^۱

۱- روش فاصله معکوس^۲: روش فاصله معکوس یک روش درون‌یابی با وزندهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده وزندهی می‌شوند. هنگامی که گره شبکه برآورد می‌گردد، وزن‌های تخصیص داده شده نقاط به مقادیر کوچکی تقسیم گردیده به طوری که مجموع همه وزن‌های تخصیص داده شده نقاط برابر یک می‌باشد. زمانی که یک نقطه بر گره شبکه منطبق شود، فاصله این نقطه تا گره برابر با صفر بوده، بنابراین در این حالت وزن تخصیص داده شده به نقطه مذکور برابر یک و وزن سایر نقاط اطراف گره برابر با صفر می‌باشد (فرانک ۱۹۸۲). روش فاصله معکوس بر این فرضیه استوار است که با افزایش فاصله داده‌ها از یکدیگر، تأثیر داده‌ها بر یکدیگر نیز کم‌رنگ‌تر می‌شود. بنابراین ضریب وزنی با فاصله رابطه معکوسی دارد. در تحقیق حاضر از سه مدل روش فاصله معکوس (بر حسب نوع قطاع^۳) شامل یک قطعه‌ای، دو قطعه‌ای و سه قطعه‌ای استفاده گردید.

⁴ Local Polynomial Method

⁵ Constant

⁶ Epanechnikov

⁷ Exponential

⁸ Gaussian

⁹ Polynomial Order 5

¹⁰ Quadratic

¹¹ Radial Basis Function Method

¹² Completely Regularized Spline

¹³ Inverse Multiquadric

¹⁴ Spline with Tension

¹⁵ Multiquadric

¹⁶ Thin Plate Spline

¹ Deterministic Methods

² Inverse Distance Method

³ Sectori Type

نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. در این تحقیق برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی از میانگین خطای مطلق^{۱۱} (MAE)، ریشه میانگین مربع خطا^{۱۲} (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی^{۱۳} (GSD) استفاده گردید.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]}{n} \quad [1]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad [2]$$

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x)} \quad [3]$$

n تعداد نقاط مشاهده‌ای، $\bar{Z}(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای، $Z^*(x_i)$ مقدار برآوردی در نقطه نام و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای برای نقطه نام می‌باشد.

نتایج و بحث

غلظت حدی کادمیوم موجود در آب‌های زیرزمینی دشت همدان - بهار در جدول ۱ آمده است. بررسی غلظت فوق‌الذکر در ۳۰ چاه مورد بررسی نشان داد که بیشترین غلظت کادمیوم در چاه حسام‌آباد می‌باشد. بررسی مقادیر فصلی نشان داد که در مورد کادمیوم ۳۳/۶۳ درصد چاه‌ها در فصل تابستان (تیر ماه) دارای بیشترین غلظت عنصر مورد نظر می‌باشند. همچنین مقایسه غلظت عنصر با بیشینه مقادیر مجاز بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای شرب (بی‌نام ۲۰۰۸) و استاندارد FAO برای آبیاری کشاورزی (پسکاد ۱۹۹۲) نشان داد که غلظت این عنصر در آب زیرزمینی مورد مطالعه در حد مجاز می‌باشد

در پژوهش حاضر از روش‌های کریجینگ، توابع پایه شعاعی، چندجمله‌ای موضعی و فاصله معکوس با توابع

به ترتیب عامل هموار کننده^۱ و ترسیم ناهمسان‌گرد^۲ مرتبط با فاصله نقطه تا گره می‌باشد (کارل سون و فولی ۱۹۹۱).

ب: روش زمین‌آمار

در بین روش‌های زمین‌آمار نیز، روش کریجینگ^۳ مورد مورد استفاده قرار گرفت. این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی و بهترین تخمین‌گر نارایب می‌باشد که علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید (کیتانیدیس ۱۹۹۳). شرط نارایب بودن در سایر روش‌های تخمین نظیر روش چندجمله‌ای و فاصله معکوس نیز اعمال می‌شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین نارایب بودن، واریانس تخمین نیز کمینه می‌باشد. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز ارائه می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان قسمت‌هایی که در آنجا خطا زیاد بوده و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است را مشخص نمود (گل محمدی ۱۳۸۵). در این تحقیق از روش کریجینگ با توابع گسسته^۴، شاخص^۵، معمولی^۶، معمولی^۷، احتمالی^۸، ساده^۹ و عمومی^{۱۰} استفاده شده است.

معیار ارزیابی

در این تحقیق، به منظور مقایسه و انتخاب مناسب‌ترین روش قطعی و زمین‌آمار، از روش اعتبارسنجی استفاده گردید. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه

¹Smoothing Factor

²Anisotropically Rescaled Factor

³Kriging Method

⁴Disjunctive

⁵Indicator

⁶Ordinary

⁷Probability

⁸Simple

⁹Universal

¹⁰Cross Validation

¹¹ Mean Absolute Error

¹² Root Mean Square Error

¹³ General Standard Deviation

شکل ۴ نقشه تغییرات کادمیوم آب زیرزمینی دشت همدان- بهار را در فصل پاییز بر اساس روش کریجینگ با مدل گسسته و ساده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد غلظت کادمیوم در تمام دشت برابر ۰/۲ میکروگرم بر لیتر مشاهده گردید.

نتایج ارزیابی روش‌های مورد بررسی در تخمین فلز کادمیوم برای دو فصل زمستان و بهار در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به کمینه مقادیر میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربع خطا و انحراف استاندارد عمومی، روش کریجینگ به‌عنوان بهترین روش جهت برآورد کادمیوم در فصل زمستان انتخاب گردید. که بر همین اساس در بین توابع مختلف این روش، کریجینگ با مدل احتمالی و کریجینگ با مدل شاخص دارای بهترین برآورد بودند. شایان ذکر است که نتایج مدل احتمالی و مدل شاخص دقیقاً مشابه هم بودند. همچنین مقادیر معیارهای ارزیابی نشان داد که نامناسب‌ترین روش، روش توابع پایه شعاعی (توابع پایه شعاعی با مدل نواری کم ضخامت و با مدل چند ربعی) می‌باشد. با توجه به کمترین مقادیر میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربع خطا و انحراف استاندارد عمومی روش کریجینگ به‌عنوان بهترین روش جهت برآورد کادمیوم در فصل بهار مشخص شد که در بین توابع مختلف این روش، کریجینگ با مدل احتمالی و کریجینگ با مدل شاخص دارای بهترین برآورد بودند. شایان ذکر است که نتایج مدل احتمالی و مدل شاخص دقیقاً مشابه هم بودند. همچنین نتایج حاصل از برآورد معیارهای ارزیابی نشان داد که نامناسب‌ترین روش، روش توابع پایه شعاعی (توابع پایه شعاعی با مدل نواری همراه با کشش و با مدل چند ربعی) می‌باشند. سایر نتایج در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

و توان‌های مختلف استفاده شده است. نتایج ارزیابی دقت درونیابی عنصر کادمیوم به‌طور جداگانه برای هر فصل در جداول مربوطه ارائه شده است. نتایج ارزیابی روش‌های مورد بررسی در تخمین فلز کادمیوم برای دو فصل تابستان و پاییز در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس معیارهای ارزیابی، روش چند جمله‌ای موضعی جهت برآورد کادمیوم در فصل تابستان انتخاب شد. که در بین توابع مختلف این روش، توابع چند جمله‌ای موضعی با مدل نمایی و چند جمله‌ای موضعی با مدل ثابت با کمترین مقدار مجموع میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربع خطا و انحراف استاندارد عمومی دارای بهترین برآورد بودند. همچنین با توجه به بیشترین مقدار مجموع میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربع خطا و انحراف استاندارد عمومی، روش کریجینگ (کریجینگ با مدل احتمالی و کریجینگ با مدل شاخص) به‌عنوان نامناسب‌ترین روش تعیین شد. روش کریجینگ جهت برآورد کادمیوم در فصل پاییز به‌عنوان بهترین روش، ارزیابی گردید. که در بین توابع مختلف این روش، با استناد به کمترین معیارهای میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربع خطا و انحراف استاندارد عمومی، کریجینگ با مدل گسسته و کریجینگ با مدل ساده دارای بهترین برآورد بودند. شایان ذکر است که نتایج مدل‌های گسسته و ساده مشابه هم بودند. همچنین نتایج نشان داد که نامناسب‌ترین روش در فصل پاییز نیز روش کریجینگ (کریجینگ با مدل‌های احتمالی و شاخص) می‌باشند. سایر نتایج در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

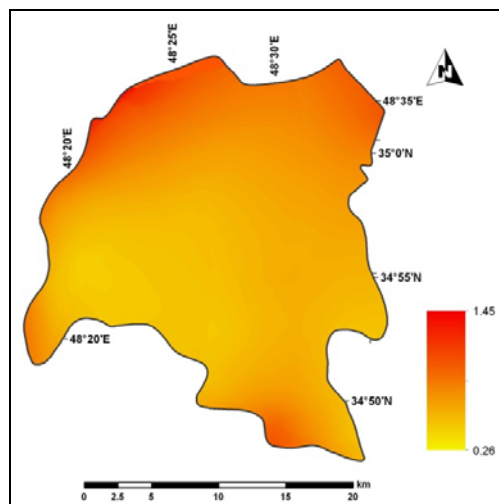
در شکل ۳ نقشه تغییرات کادمیوم آب زیرزمینی دشت همدان-بهار در فصل تابستان بر اساس روش چند جمله‌ای موضعی به‌عنوان بهترین روش ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد غلظت کادمیوم در شمال دشت، زیاد (۱/۴۵ میکروگرم بر لیتر) و در قسمت شرقی مرکز دشت، کم (۰/۲۶ میکروگرم بر لیتر) بود.

جدول ۱- خلاصه نتایج بررسی اولیه آماری غلظت کادمیوم (ppb) برای چاه‌های مورد مطالعه.

پارامتر	بیشینه	میانگین	کمینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	WHO	FAO
کادمیوم	۶/۲۲۳	۰/۶۱۴	۰/۰	۱/۱۲۶	۱/۸۳۵	۵	۱۰

جدول ۲- نتایج روش‌های قطعی و زمین‌آمار در تخمین کادمیوم آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در دو فصل تابستان و پاییز.

روش	مدل	فصل پاییز			فصل تابستان		
		MAE(ppb)	RMSE(ppb)	GSD	MAE(ppb)	RMSE(ppb)	GSD
فاصله	یک قطعه‌ای	۰/۲۶۰۸	۰/۲۹۱۵	۱/۴۸۱۱	۰/۴۹۲۸	۰/۲۲۵۳	۰/۱۵۸۹
	چهار قطعه‌ای	۰/۲۴۷۷	۰/۲۸۲۸	۱/۴۳۶۸	۰/۴۸۴۴	۰/۲۲۱۵	۰/۱۵۸۸
	هشت قطعه‌ای	۰/۲۴۵۷	۰/۲۷۹۶	۱/۴۲۰۴	۰/۴۷۸۷	۰/۲۱۸۹	۰/۱۵۸۷
کریجینگ	گسسته	۰/۲۲۳۸	۰/۲۶۶۱	۱/۳۵۲۰	۰/۴۵۳۲	۰/۲۰۷۲	۰/۱۵۳۱
	شاخص	۰/۴۸۰۰	۰/۴۹۹۵	۱/۵۳۷۷	۱/۰۰۸۴	۰/۴۶۱۱	۰/۴۰۵۶
	معمولی	۰/۲۴۶۰	۰/۲۸۸۹	۱/۴۶۷۸	۰/۴۷۸۶	۰/۲۱۸۸	۰/۱۵۲۷
	احتمالی	۰/۴۹۵۵	۰/۵۰۷۸	۱/۵۷۹۷	۱/۱۸۶۷	۰/۵۴۲۶	۰/۴۸۱۳
	ساده	۰/۲۲۳۸	۰/۲۶۶۱	۱/۳۵۲۰	۰/۴۵۲۷	۰/۲۰۷۰	۰/۱۵۲۷
	عمومی	۰/۲۴۶۰	۰/۲۸۸۹	۱/۴۶۷۸	۰/۴۷۷۸	۰/۲۱۸۵	۰/۱۵۱۸
	ثابت	۰/۲۴۴۲	۰/۲۸۶۰	۱/۴۵۲۹	۰/۴۵۴۲	۰/۱۹۸۳	۰/۱۵۰۸
چند جمله‌ای موضعی	اپانچنیکوف	۰/۲۵۰۶	۰/۲۹۱۹	۱/۴۸۳۰	۰/۴۵۷۸	۰/۱۹۹۹	۰/۱۵۲۳
	نمایی	۰/۲۵۹۳	۰/۲۹۹۲	۱/۵۲۰۲	۰/۴۵۱۹	۰/۱۹۷۳	۰/۱۵۳۸
	گوسی	۰/۲۵۵۷	۰/۲۹۷۰	۱/۵۰۹۰	۰/۴۷۲۰	۰/۲۱۵۸	۰/۱۷۲۰
	درجه پنج	۰/۳۰۰۳	۰/۳۰۰۳	۱/۵۲۵۹	۰/۴۸۲۰	۰/۲۲۰۴	۰/۱۷۶۸
	درجه چهارم	۰/۲۵۵۷	۰/۲۹۶۹	۱/۵۰۸۳	۰/۴۵۸۷	۰/۲۰۰۳	۰/۱۵۲۶
توابع پایه شعاعی	نواری کاملاً مرتب	۰/۲۸۶۸	۰/۲۸۶۸	۱/۴۵۶۹	۰/۴۹۰۰	۰/۲۲۴۰	۰/۱۵۹۱
	چند ربعی معکوس	۰/۲۷۷۰	۰/۲۷۷۰	۱/۴۰۷۳	۰/۴۸۹۳	۰/۲۲۳۷	۰/۱۶۰۳
	چند ربعی	۰/۳۰۹۰	۰/۳۰۹۰	۱/۵۶۹۹	۰/۴۸۹۲	۰/۲۲۳۷	۰/۱۶۳۲
	نواری همراه با	۰/۲۸۷۶	۰/۲۸۷۶	۱/۴۶۱۱	۰/۴۸۹۵	۰/۲۲۳۸	۰/۱۵۹۵
	نواری کم ضخامت	۰/۳۴۶۶	۰/۳۴۶۶	۱/۷۶۰۷	۰/۳۰۰۴	۰/۲۳۷۰	۰/۱۸۰۶



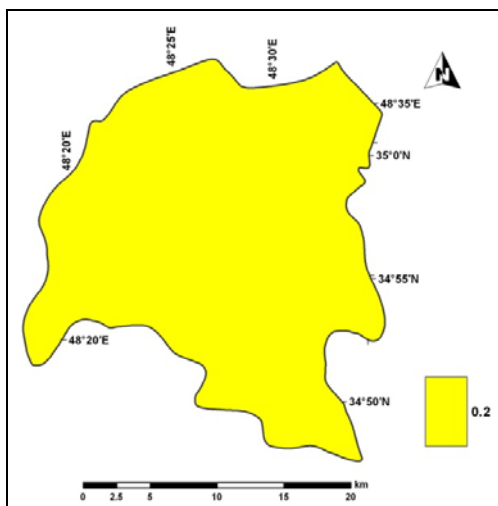
شکل ۳- تغییرات مکانی کادمیوم در منابع آب زیرزمینی دشت مذکور در فصل تابستان براساس روش چند جمله‌ای موضعی.

جدول ۳- نتایج روش‌های قطعی و زمین‌آمار در تخمین غلظت کادمیوم آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در فصل‌های زمستان و بهار.

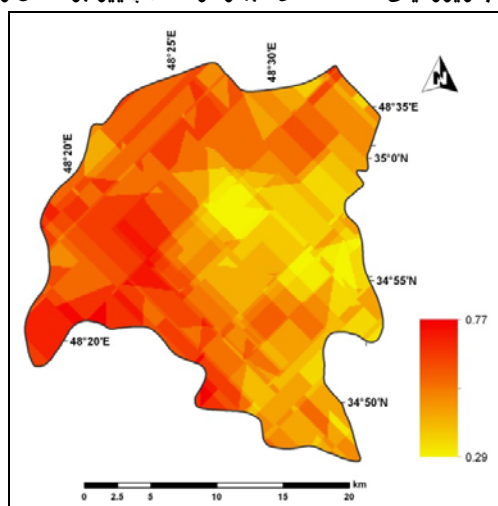
فصل زمستان			فصل بهار			مدل	روش
MAE(ppb)	RMSE(ppb)	GSD	MAE(ppb)	RMSE(ppb)	GSD		
۱/۲۵۵۴	۱/۷۳۹۰	۱/۸۳۶۹	۱/۲۰۶۰	۱/۶۱۶۰	۱/۸۹۲۰	یک قطعه‌ای	فاصله
۱/۲۱۳۲	۱/۶۹۰۵	۱/۷۸۵۷	۱/۱۶۰۸	۱/۵۶۸۴	۱/۸۳۶۳	چهار قطعه‌ای	معکوس
۱/۲۱۶۱	۱/۶۸۰۶	۱/۷۷۵۲	۱/۱۶۵۷	۱/۵۶۳۹	۱/۸۳۱۱	هشت قطعه‌ای	
۱/۰۹۷۳	۱/۵۶۸۸	۱/۶۵۷۲	۱/۰۰۳۷	۱/۴۵۱۲	۱/۶۹۹۱	گسسته	
۰/۵۲۱۸	۰/۵۲۹۰	۰/۵۵۸۷	۰/۵۰۷۵	۰/۵۲۲۵	۰/۶۱۱۷	شاخص	کریجینگ
۱/۲۴۳۹	۰/۶۶۹۵	۱/۷۶۳۶	۱/۱۶۹۰	۱/۵۴۱۷	۱/۸۰۵۰	معمولی	
۰/۵۲۱۸	۰/۵۲۹۰	۰/۵۵۸۷	۰/۴۸۰۹	۰/۵۱۵۵	۰/۶۰۳۶	احتمالی	
۱/۰۹۷۳	۱/۵۶۸۸	۱/۶۵۷۲	۱/۰۰۳۷	۱/۴۵۱۲	۱/۶۹۹۱	ساده	
۱/۲۴۳۹	۱/۶۶۹۵	۱/۷۶۳۶	۱/۱۳۴۳	۱/۵۲۵۰	۱/۷۸۵۵	عمومی	
۱/۲۳۳۹	۰/۷۱۷۶	۱/۸۱۴۳	۱/۱۷۲۳	۱/۵۹۲۶	۱/۸۶۴۶	ثابت	چند جمله‌ای موضعی
۱/۲۵۰۶	۱/۷۴۱۵	۱/۸۳۹۶	۱/۱۸۹۴	۱/۶۱۴۸	۱/۸۹۰۶	اپانچنیکوف	
۱/۲۶۲۳	۱/۷۵۸۳	۱/۸۵۷۳	۱/۲۱۱۳	۱/۶۴۳۲	۱/۹۲۳۹	نمایی	
۱/۲۵۵۵	۱/۷۴۷۳	۱/۸۴۵۷	۱/۱۹۶۴	۱/۶۲۶۱	۱/۹۰۳۸	گوسی	
۱/۲۶۷۸	۱/۷۶۴۶	۱/۸۶۳۹	۱/۲۰۵۰	۱/۶۳۶۵	۱/۹۱۶۱	درجه پنج	
۱/۲۶۱۶	۱/۷۵۷۵	۱/۸۵۶۵	۱/۱۹۹۳	۱/۶۳۰۰	۱/۹۰۸۵	درجه چهارم	توابع پایه شعاعی
۱/۳۱۲۹	۱/۸۲۸۲	۱/۹۳۱۱	۱/۲۶۶۴	۱/۷۰۴۷	۱/۹۹۶۰	نواری کاملا	
۱/۲۲۴۹	۱/۶۷۲۹	۱/۷۶۷۲	۱/۱۵۶۰	۱/۵۳۲۲	۱/۷۹۳۹	چند ربعی	
۱/۳۹۱۳	۲/۰۰۸۴	۲/۱۲۱۵	۱/۳۲۴۷	۱/۸۸۲۶	۱/۲۰۴۲	چند ربعی	
۱/۲۹۸۴	۱/۸۰۴۶	۱/۹۰۶۲	۱/۵۱۵۷	۲/۰۶۱۲	۲/۴۱۳۳	نواری همراه با	
۱/۶۰۳۹	۲/۱۸۰۵	۱/۳۰۳۳	۱/۲۵۳۲	۱/۶۷۹۹	۱/۹۶۷۰	نواری کم	

تغییرات کادمیوم آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در فصل بهار بر اساس روش کریجینگ با مدل احتمالی و کریجینگ با مدل شاخص ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد غلظت کادمیوم در شمال شرقی (۰/۹۳ میکروگرم بر لیتر) نسبت به سایر مکان‌های دشت روبه افزایش مشاهده گردید.

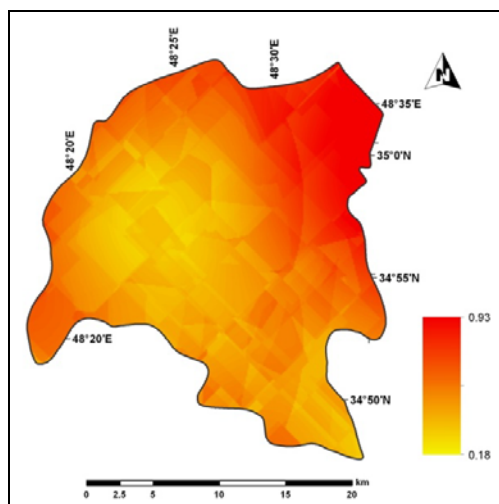
در شکل ۵ نقشه تغییرات کادمیوم آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در فصل زمستان بر اساس روش کریجینگ با مدل احتمالی و کریجینگ با مدل شاخص ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد غلظت کادمیوم از سمت شرق (۰/۲۹ میکروگرم بر لیتر) به غرب (۰/۷۷ میکروگرم بر لیتر) روبه افزایش مشاهده گردید. در شکل ۶ نقشه



شکل ۴- تغییرات مکانی کادمیوم در آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در فصل پاییز براساس روش کریجینگ (گسسته و ساده).



شکل ۵- تغییرات مکانی کادمیوم در آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در فصل زمستان براساس روش کریجینگ (احتمالی و شاخص).



شکل ۶- تغییرات مکانی کادمیوم در آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در فصل بهار بر اساس روش کریجینگ (احتمالی و شاخص).

و توان‌های مختلف جهت برآورد کادمیوم در فصل‌های مختلف و همچنین بررسی تغییرات مکانی آن در منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که نمی‌توان با اعتماد به ارزیابی روش‌های قطعی و زمین‌آمار برای انتخاب بهترین یا نامناسب‌ترین روش در یک فصل، نتیجه را به تمام فصل‌ها عمومیت بخشید. به‌طورکلی می‌توان گفت که روش کریجینگ با مدل‌های شاخص و احتمالی بهترین روش‌ها در فصل‌های زمستان و بهار و نامناسب‌ترین روش‌ها در فصل‌های تابستان و پاییز می‌باشند. همچنین روش توابع پایه شعاعی به‌عنوان نامناسب‌ترین روش در فصل‌های زمستان و بهار، روش چندجمله‌ای موضعی در فصل تابستان و روش کریجینگ (نمایی و ساده) در فصل پاییز به‌عنوان بهترین روش شناخته شدند. بر اساس بهترین روش درونیابی برای هر فصل نقشه تغییرات مکانی غلظت کادمیوم ترسیم گردید. نتایج نشان داد که غلظت کادمیوم در فصل تابستان در شمال دشت دارای مقادیر بالا و در مرکز دشت دارای مقادیر پایین، در فصل پاییز در تمام دشت برابر $0/2$ میکروگرم بر لیتر، در فصل زمستان از سمت شرق به غرب روبه افزایش و در فصل بهار در شمال شرقی دشت روبه افزایش مشاهده گردید. تنوع روش‌های انتخاب‌شده لزوم ارزیابی روش‌ها را در زمان‌های مختلف بیان می‌نماید. لذا در منطقه‌بندی کیفی باید به نوع روش و زمان نمونه‌برداری توجه نمود. از آنجاکه در بسیاری از تحقیقات انجام‌شده بر روی روش‌های زمین‌آمار، بررسی زمانی بهترین و نامناسب‌ترین روش صورت نمی‌گیرد، شایسته است در مناطق مختلف کشور ارزیابی روش‌های قطعی و زمین‌آمار در تخمین پارامترهای کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی مورد مطالعه قرار گیرد.

نتایج معروفی و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که روش چندجمله‌ای موضعی و روش فاصله معکوس به‌ترتیب بهترین روش برای تخمین هدایت الکتریکی و pH آب‌های سطحی دشت همدان- بهار می‌باشند. همچنین روش توابع پایه شعاعی به‌عنوان نامناسب‌ترین روش در تخمین هدایت الکتریکی و pH شناخته شد. نتایج شعبانی (۱۳۸۷) در بررسی تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS در آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان نشان داد که روش زمین‌آمار کریجینگ ساده و معمولی نسبت به روش‌های قطعی برتری داشته و به‌ترتیب به‌عنوان روش مناسب جهت تهیه نقشه نهایی تغییرات pH و TDS در دشت ارسنجان انتخاب شدند. بارکای و پاسارلا (۲۰۰۸) جهت تهیه نقشه خطر نترات در دشت مادنا در ایتالیا از روش کریجینگ گسسته و روش‌های شبیه‌سازی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ گسسته برای مطالعه خطر تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی مناسب است. نتایج تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) در تحلیل مکانی برخی از ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان مانند TDS, TH, EC, SAR, CL^{-1} و SO_4^{-2} با استفاده از سه روش معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش دیگر برتری داشته و در نهایت به‌عنوان روش نهایی و مناسب جهت تهیه نقشه ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی انتخاب شد. گاوس و همکاران (۲۰۰۳) به‌منظور بررسی غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی بنگلادش از روش کریجینگ گسسته جهت برآورد و تهیه نقشه احتمال استفاده کردند.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر از روش‌های کریجینگ، توابع پایه شعاعی، چندجمله‌ای موضعی و فاصله معکوس با توابع

- احسانی حر، جاوید اح، حسنی اح، شریعت س م و رحمانی ع، ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات نیترات و کل جامدات محلول در آبهای شرب زیرزمینی دشت همدان - بهار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجموعه مقالات دهمین همایش کشوری بهداشت محیط، همدان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، آبان ۱۳۸۶.
- بی‌نام، ۱۳۸۰. گزارش هیدرولوژیکی دشت همدان-بهار، دفتر مطالعات منابع آب استان همدان، سازمان آب منطقه‌ای استان همدان.
- ترنجیان ا، ۱۳۸۸. بررسی مکان‌های آسیب‌پذیر به آلودگی در سفره آب زیرزمینی دشت همدان-بهار با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
- حسینی پاک ع ا. ۱۳۸۹. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). دانشگاه تهران، ۳۳۰ صفحه.
- حسینی س م، قهرمانی ب و عسکری ح ر، ۱۳۸۲. تخمین هدایت الکتریکی و سولفات موجود در آب زیرزمینی مشهد با استفاده از روش کریجینگ. ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۵ اردیبهشت.
- دبیری م، ۱۳۷۵. آلودگی محیط زیست (هوا، خاک، آب، صوت). تهران، نشر اتحاد.
- رحمانی ع، ۱۳۸۲. مطالعه و بررسی منابع آب تحت الارضی دشت همدان- بهار. اداره کل محیط زیست استان همدان.
- رضوانی س، ۱۳۷۵. کاربرد مدل ANSWERS برای تخمین انتقال فسفر در سیلاب خروجی از حوضه‌های آبخیز با استفاده از مقادیر فسفر اندازه‌گیری شده در حوضه آبخیز و مقادیر تخمین زده شده به‌وسیله روش‌های ژئواستاتستیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
- شریعت پناهی م، ۱۳۸۸. اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب. ویرایش اول، چاپ هشتم، دانشگاه تهران.
- شعبانی م، ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS در آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب، سال ۱، صفحه‌های ۴۷ تا ۵۸.
- گل‌محمدی گ، ۱۳۸۵. تخمین توزیع مکانی ضریب رواناب با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در سطح استان همدان با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
- معروفی ص، ترنجیان ا و زارع ایبانه ح، ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های آبراه‌های دشت همدان- بهار. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال ۱۶، شماره ۲، صفحه‌های ۱۶۹ تا ۱۸۷.
- مهودی م، ۱۳۸۴. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- Aker F, 2006. Calculate the amount of heavy metals copper and cadmium and lead in surface water area Mytilus sp. *Water Science and Technology* 75: 98-105
- Anonymous, 2008. Guidelines for drinking-water quality. Third ed, WHO, Incorporating the first and second addenda, Volume 1: Recommendations, Geneva, 668p.
- Ballantyne B, Marrs TC and Syverson T, 1994. *General Applied Toxicology*. Second ed. Grove's Dictionaries Inc, NewYork.
- Barcae E, Passarella G. 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. *Environmental Monitoring and Assessment* 133: 261-273.
- Basma Y, 2007. Concentration of heavy metals in the 364 water wells batynay region of oman. *Water research* 36: 1343-1348.
- Ben-Jemaa F and Marino MA, 1990. Optimization of a groundwater well monitoring network. Pp. 610-615. International Conference on Optimizing the Resources for Water Management. April 17-21, Forth worth, Texas.
- Carlson RE and Foley TA, 1991. Radial basis interpolation methods on track data. Lawrence Livermore national laboratory. UCRL-JC-1074238.
- Frank, R. 1982. Scattered data interpolation: test of some methods. *Mathematics of Computations* 33:181-200.
- Gaus I, Kinniburgh DG, Talbot JC and Webster R, 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging. *Environmental Geology* 44: 939-948.
- Johana B, 2007. Measurement of arsenic and manganese in underground water sources in bangladesh Cambodia. *Water Research* 36: 1211-1218
- Kitanidis PK, 1993. *Geostatistics*. McGraw-Hill Book Co, NewYork.

- Pescod MB, 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, Irrigation and Drainage. Paper no. 47, Rome.
- Robertson WD, Russel and BM and Cherry JA, 1996. Attenuation of nitrate acquitted sediments of southern Ontario. *Journal of Hydrology* 180(1-4): 267-81.
- Taghizade-Mehrjardi R, Zareian M, Mahmodi Sh and Heidari A, 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (case study: Yazd-Ardakan plain). *World Applied Science Journal* 4(1): 9-17.