

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره ده، دی ماه ۹۸

انتخاب بهترین مدل درون یابی قطعی و زمین آماری جهت بررسی تغییرات مکانی

فلوراید در آبخوان یزد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

سید علی المدرسی^۱

علیرضا مقدم^۲

رویا پیروی^{۳*}

Peirovi.r@gmu.ac.ir

رضا علی فلاح زاده^۴

هادی اسلامی^۵

رسول خسروی^۶

محمود تقوی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: سازمان جهانی بهداشت برای استفاده از اثرات مفید (پیشگیری از پوسیدگی دندان) و جلوگیری از انواع اثرات منفی مانند فلورزیس دندانی و اسکلتی، پیامدهای بارداری و فشار خون؛ میزان فلوراید آب آشامیدنی را به عنوان رهنمود ۰/۸-۱/۲ میلی گرم بر لیتر بیان می کند. هدف از این مطالعه تعیین بهترین مدل درون یابی قطعی و زمین آماری جهت بررسی تغییرات مکانی فلوراید در آبخوان دشت یزد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بود.

۱- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد ایران

۲- دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه گناباد؛ گناباد، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران (مسئول مکاتبات)

۴- مرکز تحقیقات ژنتیک و مخاطرات محیطی، دانشکده پیراپزشکی ابرکوه، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران

۵- استادیار مرکز تحقیقات محیط کار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، رفسنجان، ایران

۶- مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

روش بررسی: در این مطالعه توصیفی- مقطعی از تعداد ۲۴ حلقه چاه نمونه‌برداری و غلظت فلوراید تعیین شد. به منظور درون یابی پارامتر فلوراید از روش‌های قطعی و زمین آماری در نرم‌افزار GIS استفاده شد. بر مبنای معیارهای ارزیابی خطا بهترین روش درون یابی انتخاب و نقشه تغییرات مکانی فلوراید بر اساس آن ترسیم گردید.

یافته‌ها: میانگین غلظت فلوراید در نمونه‌ها برابر با $0/2 \pm 0/6$ میلی گرم بر لیتر بود. حداقل و حداکثر غلظت فلوراید به ترتیب برابر با $0/3$ و $1/5$ میلی گرم بر لیتر بود. با توجه به معیارهای ارزیابی خطا بهترین مدل برای پهنه‌بندی فلوراید روش چندجمله‌ای محلی انتخاب شد.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به نتایج به دست آمده لازم است سازمان‌های مسوول اقدامات لازم را برای پیشگیری از بروز آثار سو ناشی از کمبود یا مازاد فلوئور بر سلامت مصرف‌کنندگان را به عمل آورند.

واژه‌های کلیدی: درون یابی، پهنه بندی، فلوراید

Select the Best Deterministic and Geostatistical Interpolation Model to Investigate the Spatial Variability of Fluoride in Yazd Aquifer Using GIS

S.Ali Almodaresi¹

Alireza Moghaddam²

Roya Peirovi^{*3}

Peirovi.r@gmu.ac.ir

Raza ali Fallahzadeh⁴

Hadi Eslami⁵

Rasoul Khosravi⁶

Mahmood Taghavi³

Accepted: 2016.12.07

Received: 2016.09.04

Abstract

Background & aim: To use of beneficial effects (prevention of dental caries) and prevent all adverse effects such as dental and skeletal fluorosis, pregnancy outcomes, and blood pressure, the World Health Organization states concentration of fluoride in drinking water as a guideline 1.8-2 mg/L. The aim of this study was to determine the best deterministic and geostatistical interpolation model to investigate the spatial variability of fluoride in Yazd aquifer using a Geographic Information System.

Method: In this cross sectional study, samples were collected from 24 wells, fluoride concentration was determined. To interpolate fluoride, deterministic and geostatistical methods was used in GIS software. Based on cross-validation criteria, best model interpolation was determined and zoning map prepared.

Results: The mean fluoride concentration in the samples was equal to 0.2 ± 0.6 mg/L. The minimum and maximum fluoride concentrations respectively were 0.3 and 1.5 mg/L. by considering cross-validation criteria local polynomial Interpolation method (LPI) was selected as best model for fluoride mapping.

1- Associate Professor, GIS & RS Department, Yazd branch, Islamic Azad university, Yazd,Iran

2- Department of Civil Engineering, University of Gonabad, Gonabad, Iran

3- Assistant professor of Environmental Health Engineering Department, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Social Determinants of Health Research Center, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran (corresponding author)

4- Genetic and Environmental Adventures research center, School of Abarkouh paramedicine, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

5- Assistant professor, Occupational Environment Research Center, Dept. of Environmental Health Engineering, School of Health, Rafsanjan University of Medical Sciences, Rafsanjan, Iran

6- Assistant professor of Environmental Health Engineering Department, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Social Determinants of Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

Conclusion: According to the results, In order to prevent the occurrence of side effects caused by a deficiency or excess fluoride on consumers' health, it is necessary to conduct needful measures by responsible agencies.

Keywords: Interpolation, zoning, fluoride

مقدمه

اضافی برای سلامتی انسان مضر می باشد، و می تواند منجر به ایجاد بیماری های مزمن مانند فلوروزیس اسکلتی و دندانی شود. آب آشامیدنی منبع اصلی دریافت فلوراید می باشد، بنابراین فلورزایی در صورت نیاز برای حفظ سلامتی مصرف کنندگان لازم می باشد (۹). براساس تخمین های خطرات سلامتی، WHO میزان فلوراید ۱/۵ میلی گرم بر لیتر (میزان هدف ۱/۲-۰/۸) را به عنوان رهنمود برای استفاده از اثرات مفید (پیشگیری از پوسیدگی دندان) و جلوگیری از انواع اثرات منفی مانند فلوروزیس دندانی و اسکلتی، پیامدهای بارداری و فشار خون بیان می کند، هرچند در بسیاری از مناطق جهان دست یابی به این حد ممکن است دشوار باشد. در هند حد مجاز آن ۱ و حداکثر مجاز آن ۱/۵ میلی گرم بر لیتر می باشد. برآوردهای انجام شده نشان می دهد که حدود ۲۰۰ میلیون نفر از ۲۵ کشور مختلف ممکن است از فلوروزیس رنج ببرند؛ در هند ۲۰ استان به عنوان مناطق اندمیک فلوروزیس شناخته شده اند. تقریباً ۶۶ میلیون نفر در معرض خطر این بیماری هستند (۱۰) و در ایران حداقل و حداکثر مقدار فلوراید در آخرین ویرایش استاندارد آب آشامیدنی (۱۰۵۳) به ترتیب ۰/۵ و ۱/۵ میلی گرم بر لیتر بیان شده است که مقدار آن بر حسب میزان آب دریافتی، اقلیم، میانگین دمای سالانه و سایر منابع دریافتی متفاوت می باشد. فاصله زمانی بین پایش های منابع آب زیر زمینی برحسب هدف متفاوت می باشد که به عنوان مثال پایش جهت بررسی تغییرات می تواند فصلی یا سالیانه باشد، که در این میان بسته به کاربری آب زیرزمینی و پارامترهای مورد بررسی (میکروبی یا شیمیایی) فواصل زمانی از روز تا ماه نیز متغیر می باشد. بررسی کیفیت آب زیرزمینی یک منطقه احتیاج به نمونه برداری از آب به تعداد نسبتاً زیادی در کل منطقه ی مورد مطالعه دارد که این خود نیازمند صرف وقت و

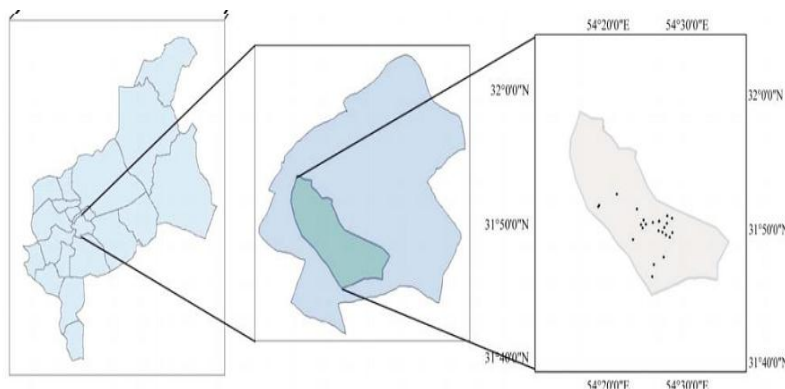
اهمیت آب در زندگی انسان بر کسی پوشیده نیست. آب عنصر اساسی برای زندگی انسان ها، حیات موجودات زنده و اکوسیستم است (۱-۲) در حال حاضر ۹۷ درصد از آب شیرین جهانی در منابع آب زیرزمینی و زیر سطحی ذخیره می شود. در بسیاری از نقاط جهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، هیچ جایگزینی برای جوامع جهت تامین آب آشامیدنی وجود ندارد. بنابراین، در این مناطق آب های زیرزمینی بسیار مهم هستند (۳). با توجه به کمبود منابع آبی و افزایش نیاز آبی بشر در تمامی زمینه ها، حفظ منابع موجود از اولویت های مدیریتی منابع آبی می باشد. در این زمینه علاوه بر کمیت منابع، توجه جدی باید به کیفیت آن ها صورت گیرد. در بحث کیفیت نه تنها پارامترهای میکروبی و فیزیکی بلکه با توجه به رشد صنایع، جوامع و استفاده از انواع مواد مختلف؛ پارامترهای شیمیایی نیز باید مورد توجه قرار گیرد (۴-۶). سازمان جهانی بهداشت (WHO) ارتقا سلامت جامعه و کاهش مرگ و میر کودکان را با فراهم نمودن دسترسی به آب آشامیدنی سالم، بهسازی محیط و افزایش سطح بهداشت مرتبط می داند. (۷). فلورین (F) از نظر فراوانی سیزدهمین عنصر در زمین می باشد. مقادیر جزئی از فلوراید می تواند در هوا، بیش تر مواد غذایی و نوشیدنی ها به ویژه در چای یافت شود، اما منبع اصلی دریافت روزانه برای انسان (۰/۷۵٪) آب آشامیدنی می باشد (۸). رشد جمعیت و بهره برداری نامحدود آب های زیرزمینی، به خصوص در کشورهای در حال توسعه، احتمالاً باعث آلودگی ژئوتکنیک (ناشی از زمین) بیش تری مانند فلوراید می شود هرچند که منابع انسان ساخت دیگر مانند صنایع آلومینیوم و کودسازی وجود دارند. امروزه متون علمی معتبری در رابطه با اثرات فلوراید بر سلامتی وجود دارد اما نتایج این مطالعات ناهمگن است و توافق بر سر آن ها وجود ندارد (۳). بلع فلوراید

هدف تعیین بهترین مدل درون یابی قطعی و زمین آماری جهت بررسی تغییرات مکانی فلوراید در آبخوان دشت یزد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد.

مواد و روش ها

محدوده مورد مطالعه واقع در شهرستان یزد و در ارتفاع ۱۲۳۵ متری از سطح دریا و در طول جغرافیایی ۵۴/۱۵ تا ۵۴/۳۵ شمالی و عرض جغرافیایی ۳۱/۴۴ تا ۳۱/۵۸ شرقی قرار گرفته است که تعداد ۲۴ حلقه چاه آب شرب را دربردارد (۱۴) (شکل ۱). اقلیم شهرستان یزد گرم و خشک می باشد و متوسط بارندگی سالیانه آن ۵۹/۳ است. حداقل دمای هوا در این شهرستان ۱۶- و حداکثر ۴۵ درجه سانتی گراد می باشد. جهت سنجش میزان فلوراید در این چاه ها، با همکاری مرکز بهداشت نمونه برداری طی سال ۱۳۹۴ انجام شد و غلظت فلوراید در نمونه ها طبق روش های ذکر شده در کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب تعیین شد. داده های به دست آمده از آزمایشات پس از نرمال سازی، وارد محیط نرم افزار GIS گردید. در نهایت با توجه به معیارهای ارزیابی خطا بهترین روش درون یابی (در ادامه به توضیح انواع این روش ها پرداخته شده است) انتخاب و نقشه تغییرات مکانی فلوراید براساس آن ترسیم گردید.

هزینه زیاد (از نظر عملیات صحرایی و آزمایشگاهی) می باشد. یکی از راه های مقابله با این مشکل نمونه برداری از تعداد مکان های محدودی که معرف کل منطقه باشند و سپس بکارگیری نتایج حاصل از آن ها برای کل منطقه به وسیله روش های متداول زمین آماری است (۱۱). روش های درون یابی زمین آماری سطح پیوسته ای به کمک نقاط اندازه گیری شده و روش پلیگون بندی ایجاد می نمایند تا در مکان های فاقد داده بتوان مقادیر موردنظر را پیش بینی نمود (۱۲). در شمال تابند بروز فلوریزس ناشی از مصرف آب با فلوراید بالا ثبت شده است. در مطالعه Chuah و همکارانش نقشه نواحی اندمیک فلوراید بالا ترسیم و ارتباط فرآیندهای انتقال فلوراید در آب های غنی شده در استان های Chiang Mai و Lamphun توصیف شد. نتایج آنالیز ۹۹۵ نمونه از چاه های سطحی و عمیق نشان داد که ۳۱٪ از چاه های سطحی ۱۸٪ از چاه های عمیق حاوی غلظت های خطرناکی (بیش از ۱/۵ میلی گرم بر لیتر) از فلوراید بودند (۱۳). Davraz و همکارانش تغییرات مکانی غلظت فلوراید در سیستم آب Isparta را بررسی نموده و به ارزیابی اثرات آن بر سلامتی پرداختند و نتایج حاکی از آن بود که آب دریاچه Golcuk و آب های زیرزمینی اطراف آن دارای غلظت هایی بالاتر از حد استاندارد WHO می باشند (۱۱). این مطالعه با



شکل ۱- موقعیت چاه ها در محدوده ی مورد مطالعه (به ترتیب از چپ: استان یزد- شهر یزد و محدوده ی مورد بررسی)

Fig1- Position of wells in the study area

روش های درون یابی

روش های درون یابی شامل دو گروه اصلی: روش های قطعی^۱

زمین آماری^۲ می باشند. در روش های قطعی درون یابی بر مبنای سطحی از نقاط اندازه گیری شده و بیش ترین شباهت مانند روش IDW یا درجه هموارسازی مانند روش RBF صورت می گیرد در حالی که در روش های زمین آماری مانند روش کریجینگ از خصوصیات آماری نقاط اندازه گیری شده و فرآیندهای تصادفی با همبستگی مکانی جهت تخمین مقدار مکان های اندازه گیری نشده، استفاده می شود (۱۲).

روش های درون یابی قطعی

وزن دهی عکس فاصله (IDW)

این روش بر این فرض استوار است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می یابد و برای پیش بینی در مکان هایی با داده های مجهول از مقادیر اندازه گیری شده پیرامون آن مکان استفاده می شود. در پیش بینی، عامل وزن بر اساس فاصله نقاط از یکدیگر تعیین می شود و به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیش تر و به نقاط دورتر وزن کم تر اختصاص می یابد. در روش IDW از رابطه ۱ برای تخمین مقادیر مجهول مربوط به نقاط مختلف استفاده می شود:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^m}} \quad (1)$$

که در این رابطه Z مقادیر مجهول برای مکان هایی که بایستی تعیین شوند، Z_i مقادیر نمونه اندازه گیری شده در نقطه i ، d_i فاصله اقلیدسی بین Z و Z_i ، m عامل توان وزن (اصطکاک فاصله) و N تعداد نقاط نمونه برداری است که برای تخمین استفاده می شود. در پیش بینی، عامل وزن بر اساس فاصله نقاط از یکدیگر تعیین می شود و به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیش تر و به

نقاط دورتر وزن کم تر اختصاص می یابد. نسبت کاهش وزن به مقدار m بستگی دارد و معمولاً در بازه ۱ تا ۵ تغییر می کند (۱۵).

چند جمله ای جهانی (GPI)

روش چند جمله ای جهانی برازش دهنده یک سطح هموار توسط توابع ریاضی بر روی نقاط ورودی می باشد. در این روش امکان جستجو و محاسبه نقاط مجهول با استفاده از نقاط موجود در همسایگی آن ها وجود ندارد. تغییرات سطح در چند جمله ای جهانی تدریجی است و اثرات تغییرات ناگهانی در داده ها کاهش می یابد. در این روش فقط یک چند جمله ای بر تمامی داده ها برازش داده می گردد (۱۶).

روش درون یابی زمین آماری

روش کریجینگ

کریجینگ روش زمین آماری شبیه به IDW است که از یک ترکیب خطی از وزن های نقاط شناخته شده برای تخمین مقادیر نقاط ناشناخته استفاده می کند. کریجینگ از یک نیم تغییر نما^۳ استفاده می کند که معیاری از همبستگی مکانی بین دو نقطه به گونه ای است که وزن آن ها بر اساس ترتیب مکانی نمونه ها تغییر می کند. در مقابل سایر روش های تخمین گر، کریجینگ معیاری از خطا یا عدم قطعیت از سطح تخمین زده شده را فراهم می کند (۱۷). شکل های متفاوتی از روش درون یابی کریجینگ به نام کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK) و کریجینگ جهانی (UK) وجود دارد.

تحلیل نیم تغییر نما

نیم تغییر نما متداول ترین ابزاری است که همبستگی مکانی را در زمین آمار بررسی می کند. نیم تغییر نما میزان عدم تشابه را بین مقادیر یک ویژگی هنگامی که فاصله بین نمونه ها افزایش می یابد، نشان می دهد. در عمل برای محاسبه نیم تغییر نمای تجربی از رابطه زیر استفاده می شود:

1 -Deterministic
2 -Geostatistical

معیارهای ارزیابی خطا

به منظور بررسی و تعیین بهترین روش درون یابی از معیارهای میانگین خطای مطلق^۴ (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا^۵ (RMSE) و همبستگی (R) بر اساس روابط ۳ تا ۵ استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (۴)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [z(x_i) - \bar{z}(x_i)][z^*(x_i) - \bar{z}^*(x_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [z(x_i) - \bar{z}(x_i)]^2 \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - \bar{z}^*(x_i)]^2}} \quad (۵)$$

در این معادلات $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر x در نقطه i ، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر x در نقطه i ، میانگین $\bar{Z}(x_i)$ مقادیر مشاهده شده متغیر x در نقطه i ، میانگین $\bar{Z}^*(x_i)$ مقادیر برآورد شده متغیر x در نقطه i ، و n تعداد متغیر مشاهده شده است. بهترین مقدار برای معیارهای RMSE و MAE برابر صفر و برای معیار R برابر یک می باشد (۱۵، ۲۲).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (۲)$$

که در آن $\gamma(h)$ نیم تغییرنمای تجربی، $N(h)$ تعداد جفت نقاطی که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار متغیر در نقطه ای به مختصات x و $Z(x_i + h)$ مقدار متغیر در نقطه ای به مختصات $(x_i + h)$ می باشد. به مقدار نیم تغییرنما به ازای $h = 0$ ، اثر قطعه ای^۱ (C_0) گفته می شود. با افزایش h مقدار نیم تغییرنما تا فاصله معینی اضافه می شود و پس از آن به حد ثابتی می رسد که به آن حد آستانه^۲ ($C+C_0$) گویند. فاصله بین نمونه ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند، دامنه یا شعاع تأثیر^۳ (A_0) نام دارد (۱۸). این دامنه محدوده ای را مشخص می کند که می توان از داده های موجود در آن، برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگ تر، دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده تر دارد (۱۹). نسبت ($C_0/C+C_0$) در طبقه بندی همبستگی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بکار گرفته می شود و شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها است. چنانچه این نسبت کم تر از ۰/۲۵ گردد نشان دهنده همبستگی مکانی قوی و اگر بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد، بیان گر همبستگی مکانی متوسط و در غیر این صورت نشان دهنده همبستگی مکانی ضعیف است (۲۰-۲۱).

1 -Nugget effect

2 -Sill

3 -Range of influence

4 -Mean Absolute Error

5 -Root Mean Square Error

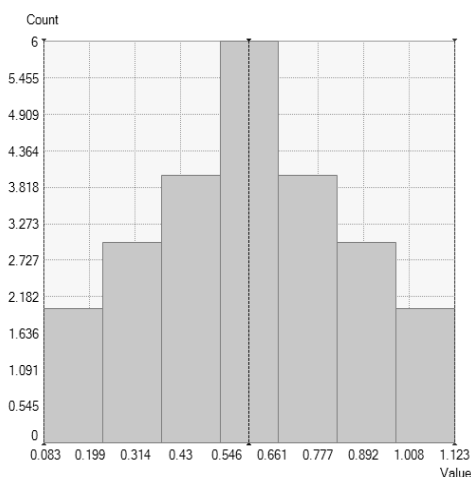
جدول ۱- نتایج آنالیز آماری پارامتر فلوراید در آب زیرزمینی محدوده ی مورد مطالعه

Table1- Results of statistical analysis of Fluoride in groundwater

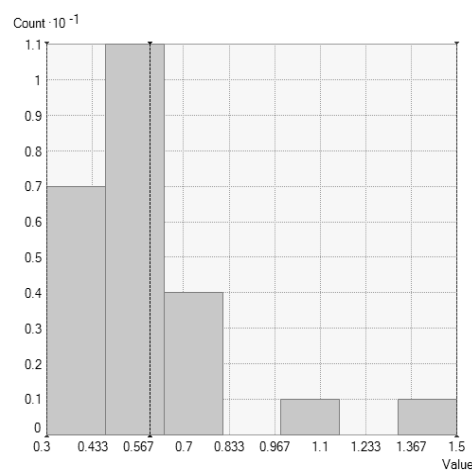
توزیع	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	میانگین	حداکثر	حداقل	
-----	۴/۹۳۵	۱/۸۷۸	۰/۲۶۷	۴۴/۲۶۱	۰/۶۰۳	۱/۵۰۰	۰/۳۰۰	داده های اصلی
توزیع نرمال	-۰/۳۴۷	۰/۰۰۰	۰/۲۵۸	۴۲/۸۴۳	۰/۶۰۳	۱/۱۲۳	۰/۰۸۳	داده های نرمال شده

پذیری متوسط می باشد(۲۴). همانطور که مشاهده می شود ضریب چولگی پیش از نرمال سازی خارج از بازه ۱ و ۱- قرار دارد که نشان دهنده نرمال نبودن داده ها می باشد. بدین منظور جهت نرمال سازی آنها از توزیع نرمال استفاده گردید. شکل ۲ نمودار ستونی مربوط به پارامتر فلوراید را قبل و بعد از نرمال سازی را نشان می دهد. با توجه به هیستوگرام ها واضح است که چولگی داده ها پس از اعمال تبدیل لگاریتمی کاهش یافته است.

در استفاده از روش های مختلف درون یابی قطعی و زمین آماری اگر داده ها نرمال باشند بهترین نتیجه حاصل می شود(۲۳). در جدول ۱ نتایج آنالیز آماری پارامتر فلوراید برای چاه های مورد مطالعه ارائه شده است. اگر ضریب تغییرات کم تر از ۱۰ درصد باشد نشان دهنده تغییر پذیری کم، بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر پذیری متوسط و بیش از ۱۰۰ درصد تغییر پذیری زیاد می باشد. همان طور که مشاهده می شود ضریب تغییرات پیش از اعمال تبدیل بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد می باشد که نشان دهنده تغییر



(ب)



(الف)

شکل ۲- نمودار ستونی مربوط به پارامتر فلوراید (الف) قبل و (ب) بعد از نرمال سازی

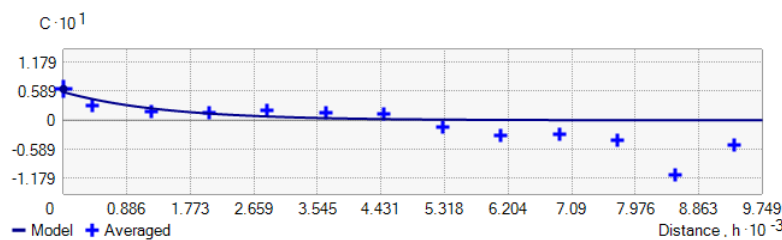
Fig2- Histogram of Fluoride (a) before and (b) after normalization

جدول ۲ پارامترهای بهترین مدل نیم تغییر نمای برازشی بر داده های فلوراید را نشان می دهد. با توجه به جدول، نسبت اثر قطعه ای (C_0) به آستانه تأثیر ($C_0/C + C_0$) برای مدل های Rational Quadratic و Exponential کم تر از ۰/۲۵ است که بیانگر همبستگی مکانی قوی مدل های موردنظر می باشد و نیم تغییر نماهای آنها نیز در شکل ۳ رسم شده است.

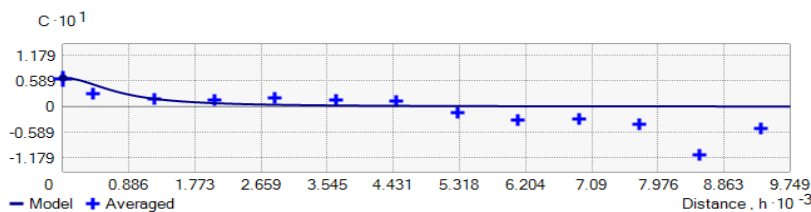
جدول ۲- پارامترهای بهترین مدل نیم تغییر نمای برازشی برای فلوراید در آب زیرزمینی محدوده ی مورد مطالعه

Table2- Summary of best-fitted models for Fluoride in groundwater

همبستگی مکانی	$C_0 / (C_0 + C)$	دامنه تأثیر (A_0)	آستانه تأثیر ($C_0 + C$)	اثر قطعه ای (C_0)	مدل
متوسط	۰/۴۵۵	۵۸۵۷/۷۷۴	۰/۰۶۴	۰/۰۲۹	Circular
متوسط	۰/۴۳۳	۶۲۹۴/۵۳۰	۰/۰۶۴	۰/۰۲۸	Spherical
قوی	۰/۱۰۳	۴۲۶۳/۸۰۵	۰/۰۶۴	۰/۰۰۷	Exponential
متوسط	۰/۵۳۲	۵۳۲۲/۲۰۷	۰/۰۶۴	۰/۰۳۴	Gaussian
قوی	۰/۰۰۱	۳۲۹۵/۲۴۴	۰/۰۶۶	۰/۰۰۰	Rational Quadratic
متوسط	۰/۵۲۰	۵۳۲۲/۲۰۷	۰/۰۶۴	۰/۰۳۳	K-Bessel
متوسط	۰/۳۱۴	۹۷۴۸/۷۶۷	۰/۰۶۴	۰/۰۲۰	J-Bessel
متوسط	۰/۵۳۲	۵۳۲۲/۲۰۷	۰/۰۶۴	۰/۰۳۴	Stable



(الف)



(ب)

شکل ۳- نیم تغییر نماهای برازشی پارامتر فلوراید در آب زیرزمینی محدوده ی مورد مطالعه

مدل های (الف) Exponential (ب) Rational Quadratic

Fig3-Best-fitted semivariogram of Fluoride in groundwater

a)Exponential b)Rational Quadratic

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش های درون یابی برای پارامتر فلوراید در آب زیرزمینی محدوده ی مورد مطالعه

Table3-Cross- validation test of interpolation method for fluoride in groundwater

روش	مدل	بهترین مدل برازشی	توان	R	RMSE	MAE	
روش های قطعی	IDW		۱	۰/۷۸۳	۰/۱۶۹	۰/۱۳۲	
			۲	۰/۷۸۳	۰/۱۵۸	۰/۱۲۸	
			۳	۰/۷۸۵	۰/۱۵۷	۰/۱۲۹	
	GPI			۱	-۰/۱۵۷	۰/۲۷۶	۰/۲۳۱
				۲	۰/۸۰۴	۰/۱۵۳	۰/۱۱۹
				۳	۰/۶۱۲	۰/۲۲۳	۰/۱۶۷
	LPI	Exponential		۱	۰/۸۰۶	۰/۱۵۱	۰/۱۱۸
		PolynomialOrder Δ		۱	۰/۷۹۰	۰/۱۵۷	۰/۱۱۹
		Gaussian		۱	۰/۷۹۸	۰/۱۵۴	۰/۱۱۷
		Epanechnikov		۲	۰/۷۹۵	۰/۱۵۸	۰/۱۲۲
		Quartic		۱	۰/۷۹۰	۰/۱۵۷	۰/۱۱۹
	RBF	Multiquadric			۰/۷۷۰	۰/۱۶۲	۰/۱۳۷
		Completely Regularized Spline			۰/۷۷۹	۰/۱۶۴	۰/۱۳۵
		Spline with Tension			۰/۷۷۹	۰/۱۶۴	۰/۱۳۵
		Inverse Multiquadric			۰/۷۳۱	۰/۱۷۴	۰/۱۵۰
		Thin Plate Spline			۰/۶۴۱	۰/۲۱۹	۰/۱۷۸
روش های زمین آماری	OK	Exponential		۰/۷۵۵	۰/۱۶۶	۰/۱۴۲	
		Rational Quadratic		۰/۷۳۲	۰/۱۷۳	۰/۱۴۷	
	SK	Exponential		۰/۷۱۳	۰/۱۸۰	۰/۱۴۹	
		Rational Quadratic		۰/۶۷۸	۰/۱۸۶	۰/۱۶۲	
	UK	Exponential		۰/۷۵۵	۰/۱۶۶	۰/۱۴۲	
		Rational Quadratic		۰/۷۳۲	۰/۱۷۳	۰/۱۴۷	

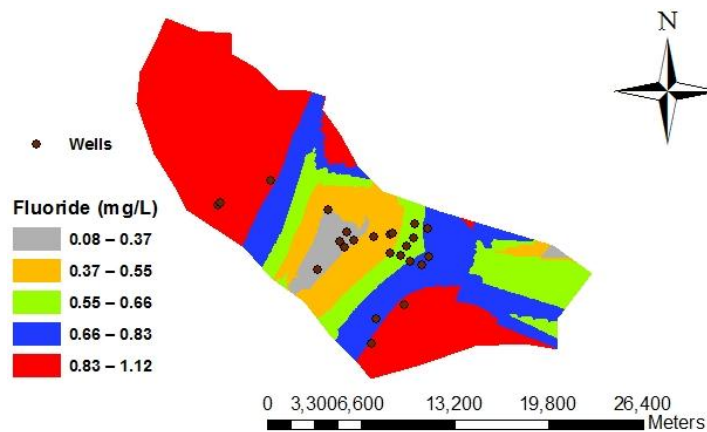
های درون یابی زمین آماری OK, SK و UK به همراه مدل های توانی^۱ و Rational Quadratic به منظور شناخت مناسب

در این پژوهش پس از نرمال سازی داده ها و بهترین مدل نیم تغییر نمای برازشی از نرم افزار ArcGIS و روش های درون یابی قطعی IDW, GPI, LPI و RBF با توان های ۱ تا ۳ و روش

1-Exponential

Tension به ترتیب در جایگاه دوم تا چهارم قرار گرفته اند. اما در روش های درون یابی زمین آماری روش های UK و OK با مدل Exponential با مقادیر $RMSE=0.166$, $R=0.755$ و $MAE=0.142$ بهترین عملکرد را دارند. در نهایت می توان روش درون یابی قطعی LPI را موفق تر نسبت به روش های درون یابی زمین آماری UK و OK دانست. بنابراین نقشه پهنه بندی و توزیع مکانی فلوراید در محدوده ی مورد مطالعه بر اساس روش درون یابی LPI با مدل توانی تهیه گردید (شکل ۴).

ترین روش درون یابی و بررسی توزیع مکانی پارامتر فلوراید آب زیرزمینی محدوده ی مورد مطالعه و تولید نقشه های پهنه بندی استفاده گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل از جدول ۳ در میان روش های قطعی روش LPI با مدل توانی و توان یک بیش ترین میزان همبستگی (R) و کم ترین مقدار خطا (RMSE و MAE) را دارد. همچنین روش های GPI با توان ۲، IDW با توان ۳ و RBF با مدل های Completely Regularized Spline و Spline with



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی فلوراید در آب زیرزمینی محدوده ی مورد مطالعه

Fig4- Spatial variability of Fluoride in groundwater

شهرک صنعتی را عاملی برای افزایش غلظت در نظر گرفت. از آن جایی که در استانداردها اقلیم و میزان آب مصرفی به عنوان پارامترهای موثر بر تعیین غلظت حداقل، مطلوب و حداکثر در نظر گرفته شده است، بنابراین با توجه به دمای شهر یزد و به دنبال آن میزان دریافت آب بیش تر مقادیر پایین تری از فلوراید نسبت به شهرهای سردسیری توصیه می شود. با این وجود حداقل غلظت آن در چاه های مورد مطالعه پایین تر از حد پیشنهادی برای بهره مندی از اثرات مفید فلوراید است و مصرف کنندگان این آب ها در صورت عدم دریافت فلوراید از سایر منابع، در معرض خطر پوسیدگی دندان هستند همانند مطالعه رضانی و همکاران که در بررسی آب آشامیدنی شهرستان ساری حداقل

نتایج بررسی تغییرات مکانی فلوراید در چاه های مورد مطالعه حاکی از آن بود که حداکثر غلظت فلوراید (۱/۱۲ میلی گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۴ از حداکثر مجاز استانداردهای ملی و بین المللی فراتر نبوده است اما غلظت حداقل آن (۰/۰۸ میلی گرم بر لیتر) در برخی چاه ها به منظور جلوگیری از پوسیدگی دندان کم تر از میزان توصیه شده در رهنمود WHO می باشد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود این تغییرات در میانه منطقه کم و با حرکت به سمت شمال و جنوب منطقه این مقدار افزایش می یابد به گونه ای که غلظت این پارامتر در شمال بیش تر از جنوب منطقه می باشد. در رابطه با قسمت شمالی و شمال غربی منطقه صرف نظر از جنس و شیمی خاک منطقه می توان نزدیکی به

خاک منطقه و سپس بررسی منابع آنتروپوژنیک ورود فلوراید به منابع آب زیرزمینی و اعمال قوانین کنترلی در نقاط دارای غلظت بالا و نیز فلورزدایی یا فلوریداسیون در تصفیه خانه های آب تا تنظیم فلوتور از طریق رژیم غذایی یا مصرف فلوتور خوراکی به خصوص برای کودکان باشد.

منابع

1. Muñoz I, Fernández-Alba AR. Reducing the environmental impacts of reverse osmosis desalination by using brackish groundwater resources. *Water Research*. 2008;42(3):pp.801-811.
2. Moghaddam A, Tekmedash MG, Esmaili K. Investigation of temporal and spatial trend of water quality parameters in view of weather fluctuations using GIS; Mashhad Plain. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2013;20:211-225(In persian).
3. Amini H, Haghghat GA, Yunesian M, Nabizadeh R, Mahvi AH, Dehghani MH, et al. Spatial and temporal variability of fluoride concentrations in groundwater resources of Larestan and Gerash regions in Iran from 2003 to 2010. *Environmental geochemistry and health*. 2016;38(1):pp.25-37.
4. Peiravi R, Alidadi H, Dehghan AA, Vahedian M. Heavy Metals Concentrations in Mashhad Drinking Water Network. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*. 2013;15(9):pp.74-76.
5. Xiao Y, Liu XD, Wang DX, Lin YK, Han YP, Wang XL. Feasibility of using an innovative PVDF MF membrane prior to RO for reuse of a secondary

غلظت فلوراید را ۰/۲۴ و حداکثر آن را ۰/۲۶ میلی گرم بر لیتر اعلام نمودند(۲۵). در مطالعه امینی غلظت ۸ ساله فلوراید در شهرها و روستاهای شهرستان های گراش و لارستان به ترتیب ۱/۶ و ۲ میلی گرم بر لیتر بوده است که این اختلاف از نظر آماری معنادار بوده است. با توجه به حداکثر میانگین سالیانه دمای روزانه این مناطق استاندارد غلظت فلوراید ۱/۴-۰/۶ میلی گرم بر لیتر پیشنهاد شده است که با توجه به این موضوع و پهنه بندی غلظت فلوراید، حدود نیمی از منطقه دارای غلظت بالاتر از حد استاندارد بود. امینی مطالعه خود را به روش Kriging با میانگین RMSE برابر با ۰/۲ میلی گرم بر لیتر انجام داد که در مقایسه با مطالعه حاضر از RMSE بالاتری برخوردار است(۳). میری و همکاران نیز در مطالعه خود بر روی آب های زیرزمینی دشت یزد- اردکان اعلام نمودند که غلظت در چاه های روستای اندکی بالاتر از شهری می باشد و روش Kriging را برای درون یابی کاراتر بیان کردند در حالی که در این پژوهش روش LPI موفق تر عمل نمود(۲۶). در پژوهش Chaudhuri و همکاران که داده های کیفی منابع آب زیرزمینی (تمامی مصارف) تگزاز به منظور بررسی جامع شرایط لایه آبخوان مورد مطالعه قرار گرفت؛ برخلاف مطالعه کنونی نتایج نشان داد که میزان یون های سولفات، کلراید و فلوراید در هر دهه از حداکثر غلظت مجاز بالاتر بوده است(۲۷). بررسی Jianchu Xu و همکاران در رابطه با توزیع مکانی و تغییرات فلوراید در منابع آب زیرزمینی Yuanmou در چین نشان داد که مناطق دارای ارتفاع کم تر از غلظت بالاتری برخوردار هستند که با مطالعه کنونی هم خوانی دارد(۲۸).

نتیجه گیری

ارایه نقشه های توزیع مکانی فلوراید آب زیرزمینی این امکان را برای سازمان های ذیربط فراهم می کند تا با اطلاع از غلظت آن در منطقه برنامه ریزی ها و اقدامات لازم را برای جلوگیری از بروز اثرات سو ناشی از کمبود یا مازاد غلظت بر سلامتی مصرف کنندگان به عمل آورند. این اقدامات می تواند شامل مطالعات

- problems as estimated by different interpolation techniques. *Water and Environment Journal*. 2014; 28(2) : pp. 203-211.
13. Chuah CJ, Lye HR, Ziegler AD, Wood SH, Kongpun C, Rajchagool S. Fluoride: A naturally-occurring health hazard in drinking-water resources of Northern Thailand. *Science of the Total Environment*. 2016;545:pp.266-279.
 14. Fallahzadeh RA, Almodaresi SA, Dashti MM, Fattahi A, Sadeghnia M, Eslami H, et al. Zoning of Nitrite and Nitrate Concentration in Groundwater Using Geographic Information System (GIS), Case Study: Drinking Water Wells in Yazd City. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2016; 4(03) :pp.91.
 15. Arslan H. Estimation of spatial distribution of groundwater level and risky areas of seawater intrusion on the coastal region in Çarşamba Plain, Turkey, using different interpolation methods. *Environmental monitoring and assessment*. 2014;186(8):pp.5123-5134.
 16. Eivazi M, Mosaedi A. An Investigation on Spatial Pattern of Annual Precipitation in Golestan Province by Using Deterministic and Geostatistics Models. *Journal of Water and Soil*. 2012;26(1):pp.53-64.
 17. Varouchakis E, Hristopulos D. Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. *Environmental monitoring and assessment*. 2013;185(1):pp.1-19.
 - municipal effluent. *Desalination*. 2013;311:pp.16-23.
 6. Alidadi H, Peiravi R, Dehghan AA, Vahedian M, Moalemzade Haghghi H, Amini A. Survey of heavy metals concentration in Mashhad drinking water in 2011. *Razi Journal of Medical Sciences*. 2014 ; 20:27-34(In persian).
 7. Rossiter HM, Owusu PA, Awuah E, MacDonald AM, Schäfer AI. Chemical drinking water quality in Ghana: Water costs and scope for advanced treatment. *Science of the Total Environment*. 2010;408(11):pp.2378-2386.
 8. Singh S, Srivastava PK, Pandey A. Fluoride contamination mapping of groundwater in Northern India integrated with geochemical indicators and GIS. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2013;13(6):pp.1513-1523.
 9. Zhang C, Li Y, Wang T-J, Jiang Y, Wang H. Adsorption of drinking water fluoride on a micron-sized magnetic Fe₃O₄ Fe-Ti composite adsorbent. *Applied Surface Science*. 2016;363:pp.507-515.
 10. Levin S, Krishnan S, Rajkumar S, Halery N, Balkunde P. Monitoring of fluoride in water samples using a smartphone .*Science of the Total Environment*. 2016;551:pp.101-107.
 11. Davraz A, Sener E, Sener S. Temporal variations of fluoride concentration in Isparta public water system and health impact assessment (SW-Turkey). *Environmental Geology*. 2008; 56(1) :pp.159-170.
 12. Arslan H. Spatial and temporal distribution of areas with drainage

25. Ramezani G, Shahmirzadi S, Valei N, Saadat S. An evaluation on the amount of fluoride in Sari drinking water during the spring of 2009. *Journal of Research in Dental Sciences*. 2009; 3(21):72-76(In persian).
26. Charkhkarzadeh R, derakhshan z, Miri M, Ehrampoush MH, Lotfi MH, Nodoshan VJ. Examining Changes Trend of Fluoride Concentration in Groundwater Using Geo-Statistical Technique Case Study: Drinking Water wells in Yazd-Ardakan Plain. *Journal of Community Health Research*. 2015; 4(3):pp.220-233.
27. Chaudhuri S, Ale S. Characterization of groundwater resources in the Trinity and Woodbine aquifers in Texas. *Science of the Total Environment*. 2013;452–453:pp.333-348.
28. Chen H, Yan M, Yang X, Chen Z, Wang G, Schmidt-Vogt D, et al. Spatial distribution and temporal variation of high fluoride contents in groundwater and prevalence of fluorosis in humans in Yuanmou County, Southwest China. *Journal of hazardous materials*. 2012;235:pp.201-209.
18. Isaaks E, Srivastava R. An introduction to applied geostatistics: Oxford University Press, 561pp. 1989.
19. Wallace CS, Watts JM, Yool SR. Characterizing the spatial structure of vegetation communities in the Mojave Desert using geostatistical techniques. *Computers & Geosciences*. 2000;26(4):pp.397-410.
20. Ahmadi SH, Sedghamiz A. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environmental monitoring and assessment*. 2007;129(1-3):pp.277-294.
21. Singaraja C. GIS-Based Suitability Measurement of Groundwater Resources for Irrigation in Thoothukudi District, Tamil Nadu, India. *Water Quality, Exposure and Health*. 2015;7(3):pp.389-405.
22. Xie Y, Chen T-b, Lei M, Yang J, Guo Q-j, Song B, et al. Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: Accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere*. 2011;82(3):pp.476-468.
23. Uyan M, Cay T. Spatial analyses of groundwater level differences using geostatistical modeling. *Environmental and ecological statistics*. 2013; 20(4): pp.633-646.
24. Ağca N. Spatial variability of groundwater quality and its suitability for drinking and irrigation in the Amik Plain (South Turkey). *Environmental Earth Sciences*. 2014;72(10):pp.4115-4130.