

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}

rpeirovi@yahoo.com

رضا علی فلاح زاده^۴

هادی اسلامی^۴

محمود تقوی^۴

رسول خسروی^۴

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.

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

یافته ها: میانگین غلظت فلوراید در نمونه ها برابر با $0/2 \pm 0/6$ میلی گرم بر لیتر بود. حداقل و حداکثر غلظت فلوراید به ترتیب برابر با ۰/۳ و ۱/۵ میلی گرم بر لیتر بود. با توجه به معیارهای ارزیابی خطا بهترین مدل برای پهنه بندی فلوراید روش چندجمله ای محلی انتخاب شد.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به نتایج به دست آمده لازم است سازمان های مسوول اقدامات لازم را برای پیشگیری از بروز آثار سو ناشی از کمبود یا مازاد فلوراید بر سلامت مصرف کنندگان را به عمل آورند.

واژه های کلیدی: درون یابی، پهنه بندی، فلوراید

۱- دکتری ژئومورفولوژی، دانشیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی یزد

۲- دانشجوی دکترا مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه؛ ارومیه، ایران

۳- عضو هیات علمی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد- دانشجوی دکترا مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد (مسوول مکاتبات)

۴- دانشجوی دکترا بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

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}

Raza ali Fallahzadeh⁴

Hadi Eslami⁴

Mahmood Taghavi⁴

Rasoul Khosravi⁴

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.

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

¹ PhD Geomorphology, Associate Professor, Engineering College, GIS&RS Department

² PhD Candidate of Water Resources Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

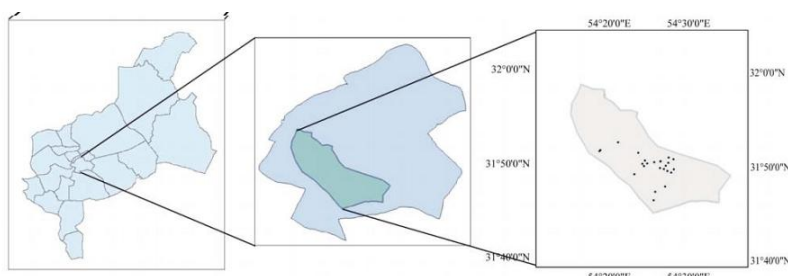
³ Faculty Member of Environmental Health Engineering Department, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad- PhD student, Environmental Science and Technology Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran (corresponding author)

⁴ PhD Student of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

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؛ پارامتره ای 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 ژئوژنیک (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 اضافی برای سلامتی انسان مضر می باشد، و می تواند منجر به ایجاد بیماری های مزمن مانند فلوروزیس اسکلتی و دندان شود. آب آشامیدنی منبع اصلی دریافت فلوراید می باشد، بنابراین فلورزدایی در صورت نیاز برای حفظ سلامتی م صرف 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 دندان و اسکلتی، پیام دهای 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 سالانه 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 هزینه زیاد (از نظر عملیات صحرائی 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 تایلند بروز فلوروزیس 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 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 (شکل ۱). اقلیم شهرستان یزد گرم و خشک می باشد و متوسط بارندگی سالیانه آن ۵۹/۲ 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.



شکل 1- 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 و 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 (اصطلاحاً 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)

¹ Deterministic

² Geostatistical

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^۱ 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 نما تجربی از رابطه زیر استفاده می شود:

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

که در آن $\gamma(h)$ نیم تغییر نما 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 تغییر نما به ازای $h = 0$ ، اثر قطعه ای^۲ (C_0) گفته می شود. با افزایش h ، مقدار نیم تغییر نما تا فاصله معینی اضافه می شود و پس از آن به حد ثابتی می رسد که به آن حد آستانه^۳ ($C+C_0$) گویند. فاصله بین نمونه ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند، دامنه یا شعاع تأثیر^۴ (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).

معیارهای ارزیابی خطا

به منظور بررسی و تعیین بهترین روش درون یابی از معیارهای میانگین خطای مطلق^۵ (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا^۶ (RMSE) و همبستگی (R) بر اساس روابط ۳ تا ۵ استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2} \quad (3)$$

(۴)

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

¹ Semivariogram

² Nugget effect

³ Sill

⁴ Range of influence

⁵ Mean Absolute Error

⁶ Root Mean Square Error

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [z(x_i) - \bar{z}(x_i)] [z^*(x_i) - \bar{z}^*(x_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [z(x_i) - \bar{z}(x_i)]^2 \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - \bar{z}^*(x_i)]^2}} \quad (5)$$

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 ، $\bar{Z}(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده شده متغیر x در نقطه i ، $\bar{Z}^*(x_i)$ میانگین 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).

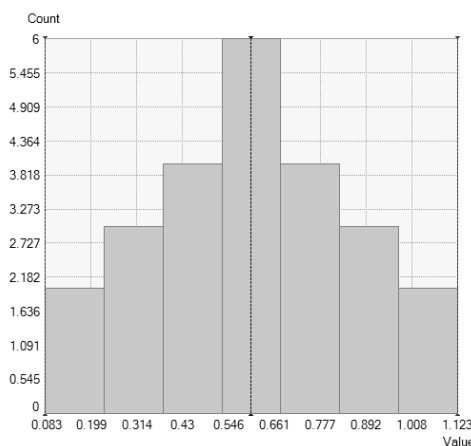
نتایج و بحث

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

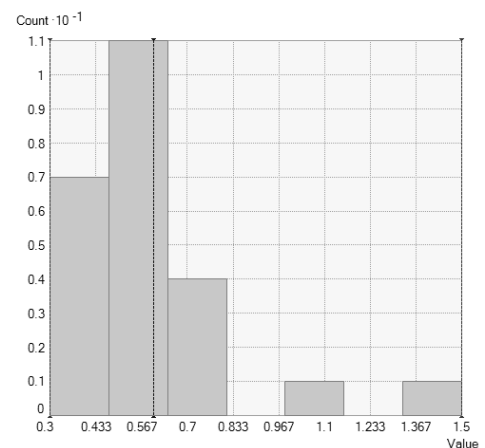
Table1. Results of statistical analysis of Fluoride in groundwater

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

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 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.



(ب)



(الف)

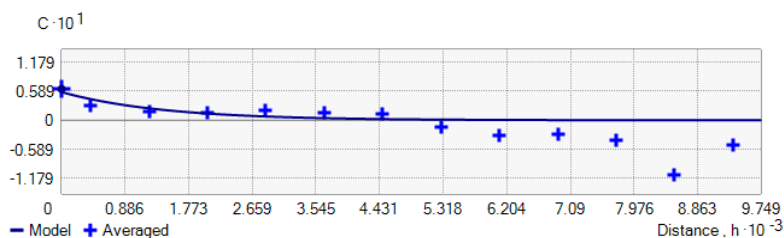
شکل ۲ نمودار ستونی مربوط به پارامتر فلوراید (الف) قبل و (ب) بعد از نرمال سازی
Fig2. Histogram of Fluoride (a) before and (b) after normalization

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 ($C_0 / (C_0 + C)$) برای مدل های Exponential و Rational Quadratic 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.

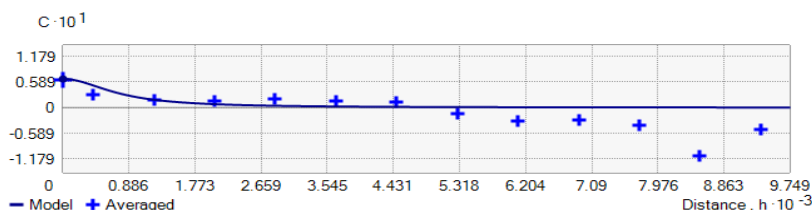
جدول ۲. پارامترهای بهترین مدل نیم تغییر نمای برازشی برای فلوراید در آب زیرزمینی محدوده ی مورد مطالعه

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

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، LPI، GPI و RBF با توان های ۱ تا ۳ و روش های درون یابی زمین آماری OK، SK و UK به همراه مدل های توانی^۱ و Rational Quadratic به منظور شناخت مناسب 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).

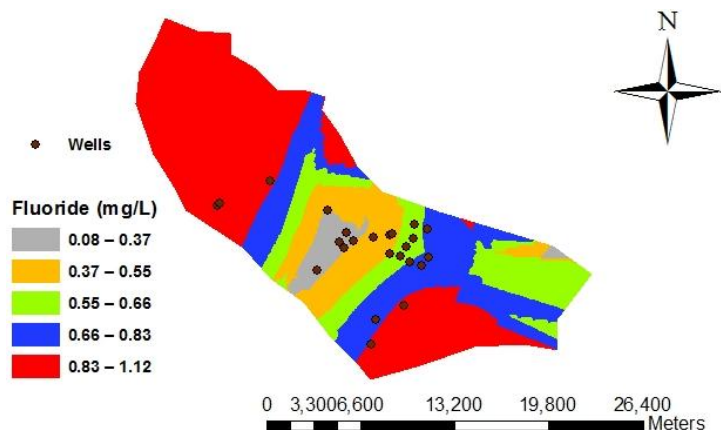
^۱Exponential

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

MAE	RMSE	R	توان	بهترین مدل برازشی	مدل	روش
۰/۱۳۲	۰/۱۶۹	۰/۷۸۳	۱			روش های قطعی
۰/۱۲۸	۰/۱۵۸	۰/۷۸۳	۲		IDW	
۰/۱۲۹	۰/۱۵۷	۰/۷۸۵	۳			
۰/۲۳۱	۰/۲۷۶	-۰/۱۵۷	۱			روش های قطعی
۰/۱۱۹	۰/۱۵۳	۰/۸۰۴	۲		GPI	
۰/۱۶۷	۰/۲۲۳	۰/۶۱۲	۳			
۰/۱۱۸	۰/۱۵۱	۰/۸۰۶	۱	Exponential		روش های قطعی
۰/۱۱۹	۰/۱۵۷	۰/۷۹۰	۱	Polynomial Order ۵		
۰/۱۱۷	۰/۱۵۴	۰/۷۹۸	۱	Gaussian	LPI	
۰/۱۲۲	۰/۱۵۸	۰/۷۹۵	۲	Epanechnikov		
۰/۱۱۹	۰/۱۵۷	۰/۷۹۰	۱	Quartic		
۰/۱۳۷	۰/۱۶۲	۰/۷۷۰		Multiquadric		روش های زمین آماری
۰/۱۳۵	۰/۱۶۴	۰/۷۷۹		Completely Regularized Spline		
۰/۱۳۵	۰/۱۶۴	۰/۷۷۹		Spline with Tension	RBF	
۰/۱۵۰	۰/۱۷۴	۰/۷۳۱		Inverse Multiquadric		
۰/۱۷۸	۰/۲۱۹	۰/۶۴۱		Thin Plate Spline		
۰/۱۴۲	۰/۱۶۶	۰/۷۵۵		Exponential	OK	روش های زمین آماری
۰/۱۴۷	۰/۱۷۳	۰/۷۳۲		Rational Quadratic		
۰/۱۴۹	۰/۱۸۰	۰/۷۱۳		Exponential	SK	روش های زمین آماری
۰/۱۶۲	۰/۱۸۶	۰/۶۷۸		Rational Quadratic		
۰/۱۴۲	۰/۱۶۶	۰/۷۵۵		Exponential	UK	روش های زمین آماری
۰/۱۴۷	۰/۱۷۳	۰/۷۳۲		Rational Quadratic		

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 (MAE و RMSE) را دارد. همچنین روش های GPI با توان ۲، IDW با توان ۳ و RBF با مدل های Completely Regularized Spline و Spline with Tension به ترتیب در جایگاه دوم تا چ هارم قرار گرفته اند. اما در روش های درون یابی زمین آماری روش های OK و UK 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 OK و UK 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).



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

Fig4. Spatial variability of Fluoride in groundwater

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 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 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 بهره بندی غلظت فلوراید، حدود نیمی از منطقه دارای غلظت بالاتر از حد استاندارد بود. آمینی 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 خاک منطقه و سپس بررسی منابع آنتروپوژنیک ورود فلوراید به منابع آب زیرزمینی و اعمال قوانین کنترلی در نقاط دارای غلظت بالا و نیز فلورزدايي 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.

۲- مقدم ع, قلعه بان م, اسماعیلی ک. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی), ۱۳۹۲; جلد ۲۰, شماره ۳.

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 municipal effluent. *Desalination*. 2013;311:pp.16-23.

۶. علیدادی ح, پیروی ر, دهقان ع, واحدیان م, معلم زاده ح, امینی ا. بررسی غلظت فلزات سنگین (کروم, کادمیوم, سرب) در آب آشامیدنی شهر مشهد در سال ۱۳۹۰. *مجله علوم پزشکی رازی*. ۱۳۹۳; جلد ۲۰, شماره ۱۱۶.

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 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 Geografic 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 Soi*. 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.
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.
۲۵. رضانی غ، شهمیرزادی س، ولایی ن، سعادت س. بررسی میزان فلوراید آب آشامیدنی شهرستان ساری در بهار تحقیق در علوم دندانبپزشکی، ۱۳۸۸، جلد ۶، شماره ۳.
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.

