# بررسی تغییرات مکانی فلوراید محلول خاک در مناطق کشاورزی، غیر کشاورزی، شهری و صنعتی استان اصفهان

الهام چاوشی[۱*]، مجید افیونی[۲] و محمدعلی حاج عباسی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۵)

## چکیده

در این مطالعه که قسمت وسیعی از زمین‌های کشاورزی و مراکز بزرگ صنعتی استان اصفهان را در برمی‌گیرد، کاربری‌ها به سه دسته کشاورزی، بایر و غیر کشاورزی، شهری و صنعتی تقسیم‌بندی شد و در کل ۲۵۷ نمونه از خاک سطحی (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر) منطقه برداشت شده و غلظت فلوراید محلول خاک اندازه‌گیری شد. برای تعیین ساختار مکانی توزیع فلوراید در خاک‌ها از نرم‌افزار GS+ و برای تهیه نقشه توزیع مکانی آن از روش کریجینگ نقطه‌ای و نرم‌افزار Surfer استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلوراید محلول در خاک‌های اصفهان ( $mg\ L^{-1}$ ۰/۸۵) بیشتر از میانگین خاک‌های دنیا ( $mg\ L^{-1}$ ۰/۵۳) است، همچنین فلوراید محلول خاک، دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط بود که نشان‌دهنده کنترل تغییرات مکانی آن به‌وسیله ویژگی‌های ذاتی و مدیریتی است. میانگین غلظت فلوراید محلول خاک در زمین‌های کشاورزی و شهری به‌طور معنی‌داری بیشتر از زمین‌های بایر و غیر کشاورزی بود که علت این افزایش در زمین‌های کشاورزی، احتمالاً مصرف کودهای فسفره و در مناطق شهری، فرونشست اتمسفری فلوراید در اثر فعالیت برخی از صنایع نظیر تولید فولاد است. بیشترین غلظت فلوراید محلول با توجه به نقشه کریجینگ در اطراف رودخانه زاینده‌رود و در قسمت‌های مرکز و غرب منطقه مطالعاتی مشاهده شد.

**واژه‌های کلیدی:** فلوراید محلول، کریجینگ، کاربری، کشاورزی، صنعتی

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)
۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: chavoshie@yahoo.com



www.SID.ir

Archive of SID

## مقدمه

فلورید در اثر هوادیدگی شیمیایی برخی کانی‌های دارای $F^-$ از جمله فلوریت، آپاتیت، بیوتیت و توپاز و سنگ‌های دارای آنها نظیر گرانیت، بازالت و شیل وارد خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود (۵ و ۱۶). برخی از صنایع نظیر کارخانه‌های ذوب آلومینیوم، تولید فولاد و آبکاری فلز نیز نقش مهمی در ورود فلورید به اتمسفر و در نتیجه ورود آن به خاک دارند (۱۵). کاربرد کودهای فسفاته، لجن فاضلاب و برخی آفت‌کش‌ها در زمین‌های کشاورزی از دیگر منابع ورود فلورید به خاک هستند (۷). فلورید اگرچه یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای انسان و حیوان است اما جذب بیش از حد آن باعث ایجاد بی‌نظمی‌های فیزیولوژیکی از جمله فلوروسیس دندان و استخوان و آسیب به کلیه‌ها می‌شود (۱۹). افزایش غلظت فلورید در خاک‌ها و آب‌های زیرزمینی در کشورهایی نظیر چین (۱۹) و هند (۸) باعث شیوع بیماری فلوروسیس و تهدید سلامت ساکنان این کشورها شده است.

در همین زمینه پژوهشگران در سایر کشورها مطالعاتی با هدف تعیین غلظت فلورید در آب‌های زیرزمینی و بررسی علل تفاوت غلظت فلورید در آب‌های مختلف انجام داده‌اند (۸ و ۱۹)، اما پژوهش‌های محدودی در زمینه گزارش غلظت فلورید موجود در خاک انجام شده است.

برای بهبود توصیه‌های مدیریتی در جهت پیشگیری از انباشتگی آلاینده‌هایی نظیر فلورید نیاز به تعیین الگوی تغییرات مکانی آنها است. امروزه به‌منظور بررسی تغییرات مکانی آلاینده‌ها از فناوری زمین‌آمار استفاده می‌شود. زمین‌آمار قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور براورد ویژگی مورد نظر در مکانی که نمونه‌برداری نشده است، با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده است (۳). علاوه‌بر آن تهیه نقشه‌های کمی پراکندگی آلودگی با کمترین واریانس، با استفاده از این علم امکان‌پذیر است. در ایران از زمین‌آمار به‌طور گسترده‌ای در علوم خاک در تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی بسیاری از فلزات سنگین استفاده شده است (۲ و ۴). اما در زمینه تعیین غلظت فلورید در خاک و ارزیابی تغییرات مکانی آن تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. با توجه به اینکه استان اصفهان از نظر کشاورزی و صنعتی یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور محسوب می‌شود و با دارا بودن ۱۶۵۰ کارگاه صنعتی می‌تواند منطقه‌ای مستعد برای انباشته شدن آلاینده‌های صنعتی به‌شمار آید، همچنین استفاده از کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب این منطقه را از لحاظ افزایش غلظت آلاینده‌ها دارای اهمیت زیادی کرده است (۲)، این مطالعه با هدف تعیین غلظت فلورید و بررسی زمین‌آماری توزیع فلورید در خاک‌های سطحی بخش‌هایی از استان اصفهان با کاربری‌های مختلف انجام شد.

## مواد و روش‌ها

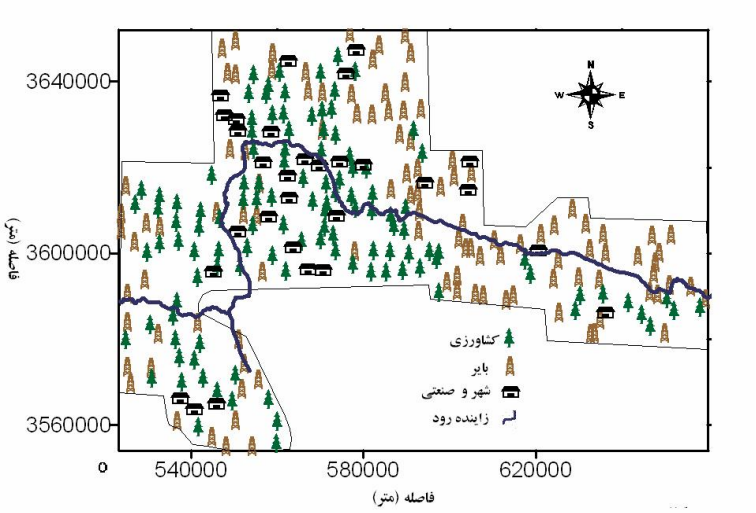
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه محدوده‌ای به‌وسعت ۶۸۰۰ کیلومتر مربع در استان اصفهان و در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ″۵۳/۴ ,۷′ ,۳۲° تا ″۵۱/۹۷ ,۵۹′ ,۳۲ ° و طول جغرافیایی ″ ۵۱′,۱۵ تا ″۴۲ ,۴۱′ ,۵۲° قرار دارد (شکل ۱). این مطالعه قسمت وسیعی از زمین‌های کشاورزی استان و مراکز بزرگ صنعتی از جمله کارخانه‌های ذوب آهن، فولاد مبارکه، پالایشگاه و نیروگاه اصفهان را در بر می‌گیرد. بخش‌های کشاورزی، شهری و صنعتی عمدتاً در اطراف رودخانه زاینده‌رود و در قسمت‌های مرکز و غرب ناحیه تمرکز یافته‌اند. قسمت شرق منطقه مطالعاتی، مناطق روستایی قرار دارد (۱).

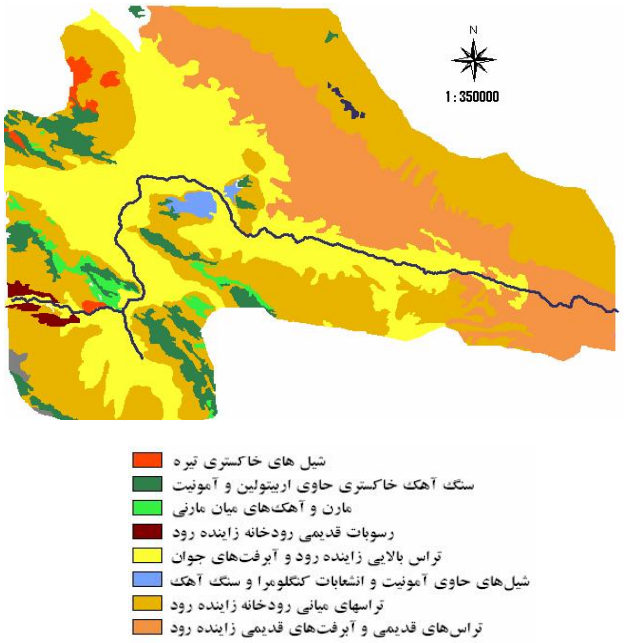
ارتفاع متوسط منطقه ۱۶۰۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی در یک دوره ۳۰ ساله در حدود ۱۲۰ میلی‌متر و حداکثر حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. تشکیلات زمین‌شناختی غالب در منطقه شامل آبرفت‌های جوان و رسوبات کواترنر است. همچنین مقادیر کمتری سنگ آهک حاوی اوربیتالین و شیل‌های خاکستری تیره مربوط به اواخر دوره کرتاسه در جنوب غرب و جنوب ناحیه مطالعاتی وجود دارد (شکل ۲). خاک منطقه در رده اریدی‌سول (Aridisols) قرار دارد (۲).


www.SID.ir

Archive of SID




**شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده براساس موقعیت جغرافیایی در منطقه مطالعاتی**
**(نقطه ۰ دارای مختصات ۳۲ درجه و ۷ دقیقه و ۵۳/۴ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی است (۱).)**




**شکل ۲. نقشه سازندهای سطحی منطقه مطالعاتی (مقیاس ۱:۳۵۰۰۰۰) (۲). (رنگی در نسخه الکترونیکی)**

### نمونه‌برداری و آنالیزهای شیمیایی

برای مطالعه منطقه از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده استفاده شد. بدین صورت که کل منطقه به یک شبکه منظم تقسیم‌بندی شد. ابعاد هر چهارضلعی در این شبکه ۲۰×۲۰ کیلومتر مربع بوده و خود به ۱۶ بخش با ابعاد ۵×۵ کیلومتر مربع تقسیم شده است. نمونه‌برداری از هر بخش و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک انجام و پس از مخلوط شدن نمونه‌های ساده، یک نمونه مرکب از آن گرفته شد. در کل ۲۵۷ نمونه از منطقه برداشت شد (۱). کاربری نقاط در منطقه به سه دسته کشاورزی (۴۶/۳ درصد)، غیر کشاورزی و بایر (۴۴/۷ درصد)، شهری و


www.SID.ir

Archive of SID

صنعتی (۹ درصد) تقسیم‌بندی شد (۱).

عصاره‌گیری فلورید محلول در نسبت ۱:۱ خاک و آب انجام شده و غلظت فلورید با استفاده از روش پتانسیومتری اندازه‌گیری شد (۹).

### مطالعات آماری

پارامترهای آمار توصیفی شامل میانگین، واریانس، حداکثر، حداقل، کشیدگی و چولگی غلظت فلورید محلول در آب در کاربری‌های مختلف توسط نرم‌افزار SPSS ۱۶ به‌دست آمد.

### مطالعات آمار مکانی

در این مطالعه برای ترسیم و تعیین مدل تغییرنما (variogram) از نرم‌افزار GS+ استفاده شد. از تغییرنما علاوه‌بر بررسی همسان‌گردی، برای تخمین به‌وسیله کریجینگ نیز استفاده می‌شود. به عبارت بهتر تغییرنما به‌منظور تخمین مقادیر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده در روش‌های مختلف کریجینگ به‌کار می‌رود. بعد از کنترل اعتبار (validation) تغییرنما، در محاسبه تغییرنما داده‌ها باید از توزیع نرمال برخوردار باشند و در غیر این صورت باید به داده‌های نرمال تبدیل شوند. بعد از آزمون نرمال بودن داده‌ها با توجه به همسان‌گرد بودن آنها با استفاده از تغییرنمای سطحی، تغییرنمای همه جهته برای متغیر مورد بررسی، ترسیم شد.

### تهیه نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین

میان‌یابی به‌روش کریجینگ نقطه‌ای با استفاده از نرم‌افزار GS+ صورت گرفت. جهت انجام میان‌یابی پارامترهای مدل‌های مختلف تغییرنما به‌کار گرفته شد. آنگاه با کنترل اعتبار عرضی، بهترین مدل تغییرنما که کمترین واریانس تخمین را ایجاد می‌کند، انتخاب و میان‌یابی نهایی با توجه به آنها صورت گرفت. در نهایت نقشه‌های کریجینگ به‌همراه نقشه‌های خطای تخمین توسط نرم‌افزار Surfer ۸ تهیه شد.

## نتایج و بحث

### توصیف متغیر

خلاصه‌ای از آمار توصیفی فلورید محلول خاک در جدول (۱) ارائه شده است. میانگین غلظت فلورید محلول ۰/۸۵ mg $L^{-1}$و دامنه تغییرات آن ۲/۵ با کمینه ۰/۱۷ و بیشینه ۲/۷ mg $kg^{-1}$ است. میانگین غلظت فلورید محلول در خاک‌های اصفهان بیشتر از میانگین خاک‌های دنیا است. میانگین غلظت فلورید محلول در خاک‌های دنیا ۰/۵۳ mg $L^{-1}$ با کمینه ۰/۱۶ و بیشینه ۴/۴۵ mg $L^{-1}$ است (۱۸). حدود ۸۶ درصد از داده‌های مربوط به غلظت فلورید محلول در زمین‌های کشاورزی، ۸۷ درصد در نواحی شهری و صنعتی و ۵۴ درصد در زمین‌های بایر و غیرکشاورزی، دارای مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۵۳ mg $L^{-1}$ هستند. وجود pH قلیایی خاک و واجذب $F^-$ در اثر نیروی دافعه حاصل از بارهای منفی سطوح خاک، ممکن است دلیل بیشتر بودن غلظت فلورید محلول در مقایسه با خاک‌های با pH کمتر باشد (۶). پژوهش‌های مشابهی در این زمینه صورت گرفته است، به‌عنوان مثال میانگین غلظت فلورید محلول در آب در خاک‌های نروژ کمتر از ۰/۵ mg $L^{-1}$ گزارش شده است (۷). در برخی نواحی کشور هند، تغییرات غلظت فلورید محلول در عصاره با نسبت ۱:۱ خاک به آب، ۰/۵۹ تا ۲/۷۴ mg $L^{-1}$ گزارش شده است. علت وجود مقادیر بالاتر فلورید محلول در برخی نواحی کشور هند، آلودگی اتمسفری ناشی از فعالیت کوره‌های آجرپزی در منطقه بیان شده است (۱۴). در مطالعه دیگری در خاک‌های کشاورزی جنوب شرقی ایالت پنسیلوانیا، غلظت فلورید محلول خاک ۰/۵–۱/۵ mg $L^{-1}$ با میانگین ۰/۴ mg $L^{-1}$ گزارش شده است (۱۳).

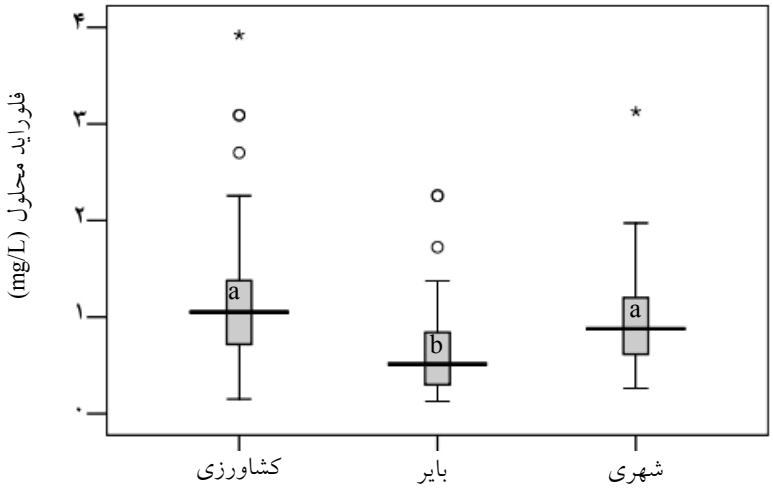
ضریب تغییرات غلظت فلورید محلول در منطقه ۵۸/۸ درصد است که بیانگر تغییرات زیاد آن در ناحیه مطالعاتی است. مقایسه میانگین غلظت فلورید محلول با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد نشان داد که غلظت فلورید محلول در زمین‌های کشاورزی و مناطق شهری تفاوت معنی‌دار ندارد اما در مناطق بایر و کشت نشده به‌طور معنی‌داری کمتر از مناطق شهری و کشاورزی است (شکل ۳).


www.SID.ir

Archive of SID

**جدول ۱. خلاصه‌ای از وضعیت آماری غلظت فلورید محلول خاک ($mg\ L^{-1}$) در منطقه مطالعاتی به تفکیک کاربری**

| کاربری | تعداد | میانگین | میانه | مد | واریانس | انحراف معیار | بیشینه | کمینه | چولگی | کشیدگی | ضریب تغییرات (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کشاورزی | ۱۱۵ | ۱/۱ | ۱ | ۱/۱ | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۲/۷ | ۰/۱۷ | ۰/۵۵ | ۰/۲۷ | ۴۵/۴ |
| شهری | ۲۲ | ۰/۹ | ۰/۸۴ | ۱/۰ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۲ | ۰/۲۶ | ۰/۹ | ۰/۵ | ۴۸/۹ |
| بایر | ۱۱۱ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۱/۷ | ۰/۱۸ | ۰/۹ | ۰/۴ | ۵۰ |
| کل | ۲۴۸ | ۰/۸۵ | ۰/۷۸ | ۰/۶ | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۲/۷ | ۰/۱۷ | ۰/۹ | ۰/۵۶ | ۵۸/۸ |




**شکل ۳. نمودار جعبه‌ای فلورید محلول خاک در منطقه مطالعاتی. حروف مختلف نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری در سطح پنج درصد است و علائم ° و * به‌ترتیب نشان‌دهنده داده‌های پرت و دورافتاده است**

### شناسایی روند

در این تحقیق به‌منظور شناسایی روند، نمودار پراکنش غلظت فلورید محلول خاک در برابر طول وعرض جغرافیایی منطقه مطالعاتی رسم شد. وجود روند (Trend) در مطالعات زمین‌آمار به این معنی است که تغییرنماها در محدوده فواصل نمونه‌برداری شده به حد ثابتی نزدیک نمی‌شوند و با افزایش فاصله نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه، همچنان افزایش می‌یابند. این نوع تغییرنماها برای تخمین‌های زمین‌آماری مناسب نیستند (۳).

همان‌گونه که در شکل‌های (۴ و ۵) مشاهده می‌شود، روند خاصی در توزیع غلظت فلورید محلول خاک در منطقه وجود ندارد.

### تجزیه همبستگی مکانی

الف- مطالعه همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی

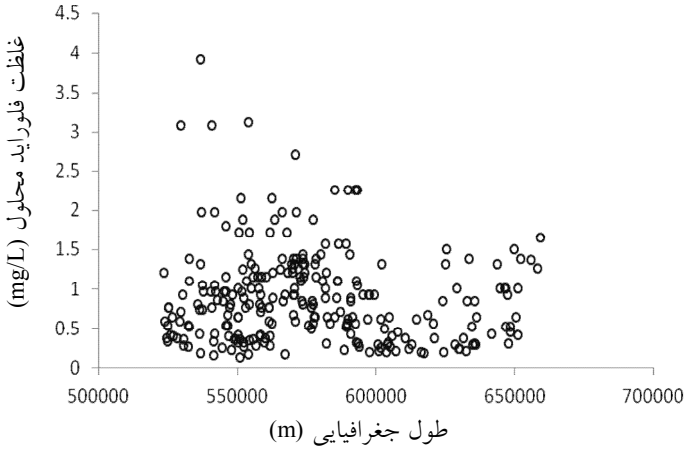
مقدار تغییرنما وابسته به فاصله بین مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه است. اگر این مقدار وابسته به جهت نیز باشد، تغییرنما ناهمسان‌گرد (Anisotropic) و در غیر این‌صورت همسان‌گرد (Isotropic) نامیده می‌شود. در این مطالعه تغییرنمای سطحی فلورید محلول خاک رسم شد (شکل ۶) و ناهمسان‌گردی مشاهده نشد. این موضوع نشان می‌دهد تغییرات به فاصله بین نمونه‌ها بستگی داشته و همسانگردی در داده‌ها در کل سطح منطقه مورد مطالعه پایدار است. تنوع رنگی کمتر در این تغییرنما، نشان‌دهنده تغییرات کمتر متغیر با افزایش فاصله است.



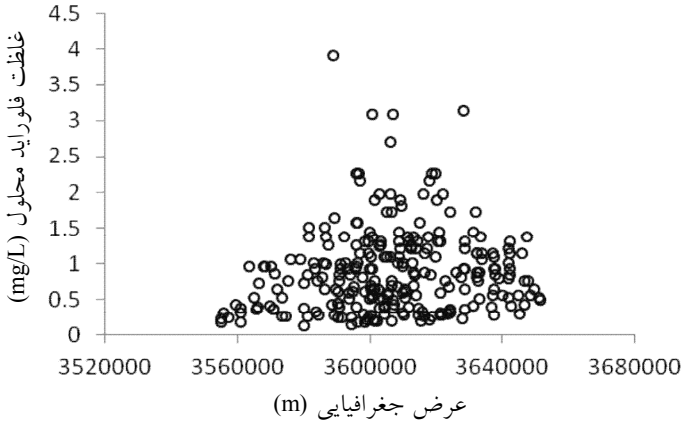
www.SID.ir

Archive of SID

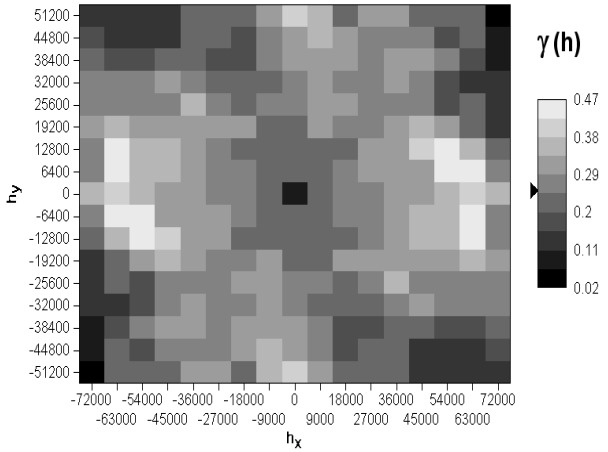





**شکل ۴. نمودار پراکنش غلظت فلورید محلول با طول جغرافیایی**




**شکل ۵. نمودار پراکنش غلظت فلورید محلول با عرض جغرافیایی**




**شکل ۶. واریوگرام سطحی مربوط به فلورید محلول خاک**



www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه و الگوسازی تغییرنما

شکل (۷) تغییرنمای همه جهته فلوراید محلول خاک را نشان می‌دهد.

پارامترهای این تغییرنماها به‌همراه مدل‌های برازش داده شده در جدول (۲) ارائه شده است. لازم به توضیح است، بهترین مدل برازش داده شده برای فلوراید محلول خاک مدل کروی است. زی و همکاران نیز در مطالعه تغییرات مکانی فلوراید در خاک‌های چین، بهترین مدل تغییرنما برای فلوراید محلول خاک را مدل گوسی گزارش کردند (۱۷).

کنترل اعتبار تغییرنما

در این مطالعه نیز با استفاده از سعی و خطا، مناسب‌ترین الگوی تغییرنمای متغیرهای مورد بررسی تعیین شد و سپس توسط آزمون MEE و RMSE خطای تخمین آنها به‌دست آمد که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

بررسی میزان وابستگی مکانی

به‌منظور تعیین کلاس وابستگی مکانی متغیرهای خاک، از نسبت بین واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل استفاده شد. در این نسبت (نسبت مکانی) واریانس اثر قطعه‌ای به صورت درصدی از واریانس کل بیان می‌شود. واریانس کل از مجموع مقادیر اثر قطعه‌ای و مقدار آستانه به‌دست می‌آید. چنان‌چه این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی متوسط و اگر بزرگ‌تر از ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی ضعیف است (۱۱). تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک ممکن است به‌وسیله عوامل ذاتی نظیر مواد مادری خاک و عوامل محیطی نظیر مدیریت‌های مختلف و کوددهی کنترل شود. معمولاً وابستگی مکانی قوی ویژگی‌های خاک به عوامل ذاتی و وابستگی مکانی ضعیف به عوامل محیطی نسبت داده می‌شود (۱۰). در این مطالعه نسبت مکانی برای فلوراید محلول خاک ۴۸/۸ درصد به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که فلوراید محلول خاک وابستگی مکانی متوسطی داشته و تغییرات مکانی آن هم به‌وسیله ویژگی‌های ذاتی (ماده مادری) و هم ویژگی‌های مدیریتی (کوددهی در زمین‌های کشاورزی و آلودگی‌های اتمسفری ناشی از فعالیت برخی صنایع) کنترل می‌شود. زی و همکاران در مطالعه تغییرات مکانی غلظت فلوراید در خاک‌های چین دریافتند که غلظت فلوراید کل وابستگی مکانی قوی داشته و بیشتر تحت تأثیر مواد مادری خاک قرار دارد، درحالی‌که علاوه‌بر مواد مادری، تحت تأثیر عوامل مدیریتی نیز قرار می‌گیرد (۱۷).

تهیه نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین

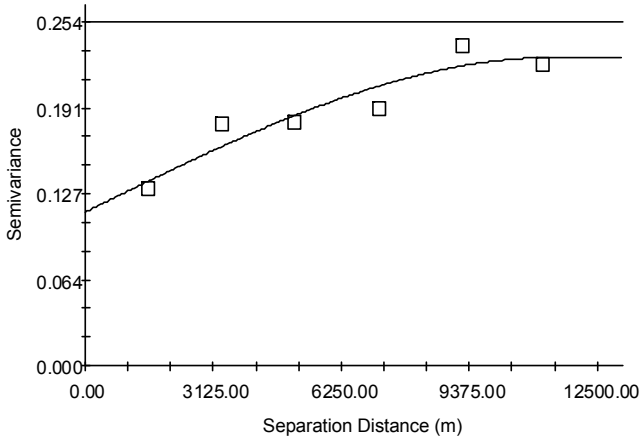
در این مطالعه از روش کریجینگ نقطه‌ای برای بررسی توزیع مکانی غلظت فلوراید محلول منطقه استفاده شد (شکل ۸). غلظت فلوراید محلول الگوی توزیع مکانی نسبتاً مشابهی را نشان داد. بیشترین غلظت فلوراید محلول با توجه به نقشه کریجینگ در اطراف رودخانه زاینده‌رود و در قسمت‌های مرکز و غرب منطقه مطالعاتی متمرکز شده است. یعنی در قسمت‌هایی که زمین‌های کشاورزی، مناطق شهری و صنعتی قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده نقش مهم عوامل انسانی در ورود فلوراید به خاک است. افزایش غلظت فلوراید در زمین‌های کشاورزی در مقایسه با زمین‌های بایر، می‌تواند در اثر کاربرد کودهای فسفاته و لجن فاضلاب در این اراضی باشد. اگرچه آمار رسمی در مورد میزان کودهای مصرفی در زمین‌های کشاورزی منطقه ارائه نشده است اما گزارشات غیر رسمی حاکی از مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود فسفاته در هکتار در سال است. براساس گزارش گیلپین و جانسون، افزودن ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفاته در هکتار در سال، باعث ورود ۵–۱۰ mg $kg^{-1}$ فلوراید در هر سال به خاک می‌شود و کاربرد این کود تنها به‌مدت دو دهه، می‌تواند میزان فلوراید خاک را به‌طور چشمگیری افزایش دهد (۱۳). کرونین و همکاران نیز معتقدند کودهای فسفاته دارای ۱/۵ تا ۴ درصد فلوراید، به‌صورت ناخالص هستند (۱۲).

قسمت شرق ناحیه مطالعاتی پوشیده از زمین‌های بایر و خاک‌های شور است و غلظت فلوراید محلول خاک در این ناحیه کمتر است. علت این پدیده را می‌توان به ورود کمتر فلوراید در اثر عوامل انسانی و یا فرسایش بادی و در نتیجه انتقال ذرات خاک روئین دارای فلوراید، به خارج از این منطقه نسبت داد.



www.SID.ir

Archive of SID

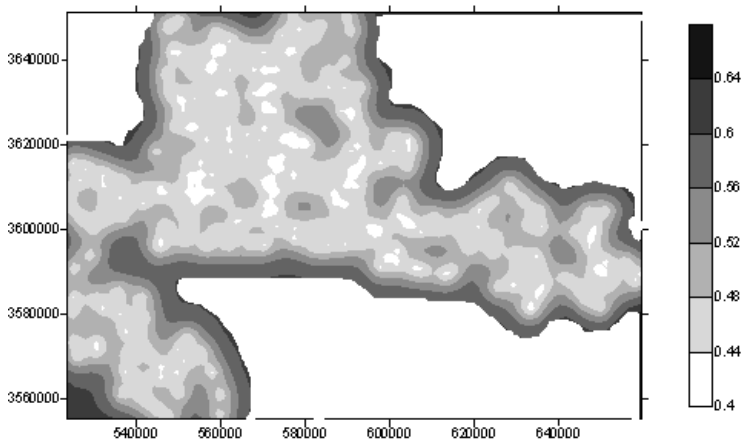



**شکل ۷. تغییرنمای همه جهته فلوراید محلول خاک**

**جدول ۲. پارامترهای تغییرنما و معیارهای انتخاب مدل و کنترل اعتبار فلوراید محلول خاک**

| متغیر | الگوی تغییرنما | اثر قطعه‌ای | حد آستانه | دامنه تأثیر (متر) | $R^2$ | MEE | RMSE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فلوراید محلول | کروی | ۰/۱۱۳ | ۰/۲۲۸ | ۱۱۵۰۰ | ۰/۸۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۴۵ |

MEE: میانگین خطا و RMSE: ریشه میانگین مجذور خطا است




**شکل ۸. نقشه واریانس تخمین حاصل از کریجینگ نقطه‌ای فلوراید محلول ($mg\ L^{-1}$)**

جدول (۳) نتایج حاصل از مقایسه تخمین‌های به‌دست آمده با کریجینگ را با داده‌های واقعی نشان می‌دهد.

در تخمین غلظت فلوراید محلول خاک، کریجینگ اثر پیرایشی داشته است، زیرا انحراف معیار مقدار تخمینی برای فلوراید محلول خاک ۰/۱۴ واحد نسبت به مقدار واقعی کاهش نشان می‌دهد. این موضوع را در بررسی کمینه و بیشینه مقادیر حاصل از تخمین‌های کریجینگ نیز می‌توان مشاهده کرد. همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از تخمین فلوراید محلول خاک ۰/۲۸ بوده و در سطح یک درصد معنی‌دار است.

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میانگین غلظت فلوراید محلول


www.SID.ir

Archive of SID

**جدول ۳. مقایسه داده‌های حاصل از تخمین‌های کریجینگ فلورید محلول خاک با داده‌های اندازه‌گیری شده**

| معیار | داده‌های واقعی | کریجینگ نقطه‌ای | باقی‌مانده |
|---|---|---|---|
| تعداد | ۲۴۸ | ۲۴۸ | ۲۴۸ |
| میانگین | ۰/۸۵ | ۰/۸۵ | ۰ |
| انحراف معیار | ۰/۵ | ۰/۳۶ | ۰/۴۵ |
| میانه | ۰/۷۸ | ۰/۸۲ | ۰/۰۵ |
| چارک اول | ۰/۴۱ | ۰/۵۸ | −۰/۲۳ |
| چارک سوم | ۱/۱۵ | ۱/۰۶ | ۰/۲۷ |
| کمینه | ۰/۱۷ | ۰/۱۶ | −۱/۶ |
| بیشینه | ۲/۷ | ۲/۱ | ۱/۱ |
| MEE | − | −۰/۰۰۵ | − |
| RMSE | − | −۰/۲۳ | − |
| ضریب همبستگی پیرسون | ۰/۲۸** | | |

**: در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است

در خاک‌های اصفهان بیشتر از میانگین خاک‌های دنیا است. میانگین غلظت فلورید محلول در زمین‌های کشاورزی، شهری و صنعتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از زمین‌های بایر و مراتع است. نتایج حاصل از مطالعات زمین‌آمار نشان می‌دهد روند خاصی در توزیع غلظت فلورید محلول در منطقه وجود ندارد. از این‌رو مقادیر پارامتر مورد نظر، دارای توزیع یکنواختی است. مطالعه واریوگرام سطحی فلورید محلول خاک نیز نشان داد که در هیچ یک، ناهمسان‌گردی وجود ندارد. این موضوع نشان می‌دهد تغییرات به فاصله بین نمونه‌ها بستگی داشته و همسان‌گردی در داده‌ها در کل سطح منطقه مورد بررسی پایدار است. نقشه‌های کریجینگ تهیه شده برای فلورید محلول خاک نشان می‌دهد که غلظت فلورید محلول الگوی توزیع مکانی به نسبت مشابهی را نشان می‌دهند. بیشترین غلظت فلورید محلول با توجه به نقشه کریجینگ در اطراف رودخانه زاینده‌رود و در قسمت‌های مرکز و غرب منطقه مطالعاتی متمرکز شده است، یعنی در قسمت‌هایی که زمین‌های کشاورزی، مناطق شهری و صنعتی قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده نقش مهم عوامل انسانی در ورود فلورید به خاک است. افزایش غلظت فلورید در زمین‌های کشاورزی می‌تواند در اثر کاربرد کودهای فسفاته و لجن فاضلاب در این زمین‌ها باشد.

## منابع مورد استفاده


۱. افیونی، م. و م. امینی. ۱۳۸۱. گزارش نهایی بررسی آلودگی خاک‌های سطحی منطقه مرکزی اصفهان. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان.

۲. صدر، س. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی آرسنیک، سلنیوم و وانادیوم در اراضی صنعتی، کشاورزی و شهری منطقه اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان.

۳. مدنی، ح. ۱۳۷۳. *مبانی زمین‌آمار*، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش.

۴. موحدی‌راد، ز. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی روی، سرب، کادمیم و نیکل در خاک‌های سطحی بخشی از استان قم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان.




www.SID.ir

5. Adriano, D. C. 1986. Trace Elements in Terrestrial Environment, Springer- Verlag, New York.
6. Adriano, D. C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments, Biochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Ed. Springer-Verlag. Berlin. Heidel-berg. New York.
7. Arnesen, A. K. M. and T. Krogstad. 1998. Sorption and desorption of fluoride in soil polluted from the aluminium smelter at ardal in western Norway. *Water, Air, and Soil Pollution* 103: 357- 373.
8. Ayoob, S. and A. K. Gupta. 2006. Fluoride in drinking water: a review on the status and stress effects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 36: 433-487.
9. Brewer, R. F. 1965. Fluorine. PP. 1135-1148. *In:* C. A. Black, D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark (Eds.), Agronomy, Vol 9, Part B. American Society of Agronomy , Madison, WI.
10. Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, R. F. Turco and A. E. Konopka. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1501-1511.
11. Chien, Y. L., D. Y. Lee, H. Y. Guo and K. H. Houng. 1997. Geostatistical analysis of soil properties of mid- west Taiwan soils. *Soil Science* 162: 291-297.
12. Cronin, S. J., V. Manoharan, M. J. Hedley and P. Loganathan. 2000. Fluoride: a review of its fate, bioavailability and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 43: 295–321.
13. Gilpin, L. and H. Johnson. 1980. Fluorine in agricultural soils of southeastern Pennsylvania. *Soil Science Society of America Journal* 44: 255- 258.
14. Jha, S. K., A. K. Nayak and Y. K. Sharma. 2008. Response of spinach (Spinacea Oleracea) to the added fluoride in an alkaline soil. *Food and Chemical Toxicology* 1-4.
15. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
16. Reddy, N. B. and K. S. S. Prasad. 2003. Pyrocalsitic fluoride in ground water in some parts of Tadpatri Taluk, Anan tapur District, Andhra Pradesh. *Indian Journal of Environmental Health* 45(4):285-288.
17. Xie, Z., J. Li and W. Wu. 2008. Application of GIS and geostatistics to characterize spatial variation of soil fluoride on Hang-Jia-Hu Plain, China. IFIP International Federation for Information Processing, Computer and Computing Technologies in Agriculture, Vol 1, Daoliang, PP. 253-266.
18. Xie, Z. M., Z. H. Ye and M. H. Wong. 2001. Distribution characteristics of fluoride and aluminum in soil profiles of an abandoned tea plantation and their uptake by six woody species. *Environment International* 5-6: 341-346.
19. Zhu, L., H. H. Zhang, B. Xia and D. R. Xu. 2007. Total fluoride in Guangdong soil profiles, China: Spatial distribution and vertical variation. *Annals of Environmental Science* 33: 302-303.


www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 2, Summer 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

# Spatial Distribution of Water Soluble Fuoride in the Agricultural, Uncultivated, Urban and Industrial Rgions of Isfahan Province

**E. Chavoshi [*1], M. Afyuni[2] and M. A. Hajabbasi[2]**

(Received: December 5-2014 ; Accepted: October 7-2017)

## Abstract

This study covers a large agricultural and industrial area of Isfahan province, including three types of land use, i.e., agricultural, uncultivated, industrial and urban types. A total of 275 samples from surface soil (0-20 cm) were collected and water soluble fluoride concentrations of them were measured. The spatial structure of water soluble fluoride in the soils was determined by omnidirectional variogram in the $GS^+$ software. The spatial distribution of water soluble fluoride in the soil was mapped by employing the point kriging method in the SURFER software. The results showed that the mean of the water soluble fluoride concentration in Isfahan soils (0.85 mg $L^{-1}$) was higher than the mean world soils (0.53 mg $L^{-1}$). The water soluble fluoride showed moderate spatial dependence, indicating that the spatial variability of water soluble fluoride was mainly controlled by intrinsic and extrinsic factors. The mean water soluble fluoride concentration was significantly higher in agricultural and urban areas, as compared with the uncultivated land. This could be due to application of phosphate fertilizer in agricultural areas and the atmospheric fallout of fluoride from the industrial sources such as steel factories. According to the generated kriging map, the higher concentration of fluoride was mainly recorded around the Zayande Rood River and in the central and western parts of the study area.

**Keywords**: Water soluble fluoride, Kriging, Land use, Agricultural, Industrial

1. Department of Soil Science, Collage of Agriculture, Isfahan Branch (Khorasgan), Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
2. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: chavoshie@yahoo.com



www.SID.ir