نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۴۱-۱۰۳۳

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1033-1041

توزیع مکانی فلوراید در آب‌های زیرزمینی و خاک بخشی از اراضی دشت اراک

مریم محسنی سجادی [۱*]- مجید افیونی [۲]- حسین خادمی [۳]- سید اسداله محسنی موحد [۴]- شمس اله ایوبی [۵]

تاریخ دریافت:۸۹/۴/۲۲
تاریخ پذیرش:۹۰/۴/۸

چکیده

فلوراید یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف ضروری برای انسان و حیوانات است و غلظت آن در آب آبیاری به عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت آب مطرح است. هدف از این پژوهش بررسی توزیع مکانی فلوراید در آب‌های زیرزمینی و خاک بخشی از اراضی دشت اراک است. به این منظور به‌ترتیب تعداد ۸۷ و ۹۲ نمونه آب چاه در دو فصل پاییز ۱۳۸۶ و اواخر بهار ۱۳۸۷ و ۳۰ نمونه خاک از همان موقعیت چاه‌ها برداشت گردید. میزان فلوراید محلول در آب‌های زیرزمینی و نمونه‌های خاک در اطراف شهر اراک به وسیله الکترود انتخاب‌گر یونی (ISE) اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت فلوراید در آب منطقه مورد مطالعه در دو فصل پاییز و اواخر بهار به ترتیب ۰/۳ و ۰/۰۶ میلی‌گرم در لیتر بود. این مقادیر در محدوده مجاز برای مصارف آبیاری بوده ولی برای مصارف آب آشامیدنی دارای کمبود می‌باشد. به‌طور کلی، نقشه‌های پراکنش مکانی فلوراید در آب زیرزمینی و منحنی‌های ایزوپیزومتر نشان دادکه میزان فلوراید با تمرکز خطوط جریان آب زیرزمینی افزایش یافته است. همچنین غلظت فلوراید در روستاها و نقاطی که برای پمپاژ مناسب‌تر است بیشتر می‌باشد. میانگین غلظت فلوراید محلول در نمونه‌های خاک ۴/۲ و حداکثر ۲۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. بیشترین غلظت فلوراید محلول در خاک‌های حوالی کارخانجات آلومینیوم سازی و مراکز صنعتی حومه می‌باشد. این مقادیر تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد با غلظت فلوراید محلول نمونه‌های خاک اراضی کشاورزی و بایر دارد. میزان فلوراید محلول در خاک با میزان آهک همبستگی منفی و با pH همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد دارد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تغییرات مکانی، خاک، دشت اراک، فلوراید

مقدمه

فلوراید سیزدهمین عنصر فراوان در پوسته زمین با غلظت متوسط ۶۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف ضروری برای انسان و حیوانات است که در خاک، سنگ، آب و زنجیره‌های بیولوژیکی گیاه و حیوان وجود دارد (۷). فلوراید در مقادیر کم نتایج مثبتی در نرخ رشد و نمو و باروری دارد. این عنصر حلالیت مینای دندان را در شرایط اسیدی کاهش داده و از پوسیدگی دندان محافظت می‌کند. حضور آن در آب سبب کاهش میزان پوسیدگی دندان در کودکان و بزرگسالان می‌گردد (۱). بنابراین، برای جبران کمبود فلوراید در برخی از کشورها به آب آشامیدنی فلوراید اضافه نموده و استفاده از خمیر دندان‌های حاوی فلوراید توصیه می‌شود. غلظت فلوراید در آب آبیاری نیز به عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت مورد توجه می‌باشد. فائو برای کیفیت آب آبیاری، غلظت فلوراید را یک میلی‌گرم در لیتر تعیین نموده است (۶).

ترکیبات مختلف فلوراید در صنایع مختلف کاربرد فراوان دارد. اسید هیدروفلوریک در تولید کریولیت مصنوعی، فلورید آلومینیوم، کلروفلوروکربن‌ها، حکاکی وسایل نیمه‌هادی، پاک کردن و حکاکی شیشه، تصفیه آجر و آلومینیوم، دباغی چرم، پاک‌کننده رنگ، در تولید هگزافلورید اورانیوم، در تصفیه سوخت اورانیوم برای رآکتورهای هسته‌ای، ساخت سوخت موشک و آبکاری فلزات، تولید فلوریدهای معدنی و آلی و به عنوان کاتالیزور در واکنش‌های آلکیل‌دار کردن به‌کار می‌رود. اسید هیدروفلوریک پایه صنعت مواد شیمیایی فلوردار دنیاست (۵).

غلظت فلوراید در هوا، متفاوت و به نوع فعالیت صنعتی بستگی دارد. به علت مصارف زیاد ترکیبات فلوریدها، آلودگی ناشی از آن در برخی از مناطق صنعتی به‌ویژه در اطراف کارخانه‌های تولید کود فسفات و آلومینیوم‌سازی گزارش شده است (۱).

۱،۲،۳و۵- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استادان و استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: maryam.mohseni2@gmail.com)
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است. حدوداً ۹۷ درصد از کل آب‌های شیرین کره زمین به‌صورت آب‌های سطحی ذخیره شده است و فقط ۳ درصد آن را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهد (۳). امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب، توسعه زیادی پیدا کرده است. در مناطق خشک و دور از رودخانه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین، غالباً تنها راه تأمین آب برای مصارف مختلف استفاده از منابع آب زیرزمینی است. فلوراید به طرق مختلف می‌تواند وارد هوا و از آنجا وارد آب و خاک گردد.

حرکت فلوراید در خاک‌ها پیچیده است و مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده سطح این یون در محلول خاک‌ها شامل کانی‌های رسی، غلظت‌های کلسیم و فسفر، pH و اکسیدهای Al و Fe می‌باشند (۱۳). حرکت فلوراید در خاک به آسانی توسط رس‌ها و فسفوریت‌ها کند می‌شود. حلالیت و آبشویی آلومینیوم در خاک با افزایش میزان فلوراید بیشتر می‌شود (۱۳).

افزایش میزان فلوراید با منشأ طبیعی یا انسانی در آب (۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر)، گیاهان و زنجیره غذایی در بروز و گسترش بیماری فلورزیس دندانی و استخوانی در انسان و حیوانات نقش مهمی دارد. شیوع فلورزیس دندان و استخوان در کشورهایی مانند هند، چین، تانزانیا، مکزیک، آرژانتین و قسمت‌های جنوبی آفریقا به دلیل بالا بودن میزان فلوراید در آب آشامیدنی گزارش شده است (۲ و ۷). در ایران نیز وجود این بیماری در شهرهایی نظیر بوشهر، برازجان، بندرعباس، دامغان ،کرمان، ماکو، بازرگان و پلدشت گزارش شده است (۲).

به دلیل موقعیت شهرستان اراک در منطقه صنعتی، دفن زباله‌ها، وسعت زیاد مناطق کشاورزی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی مخصوصاً کودهای نیتروژن‌دار و فسفاته و منابع آلوده‌کننده دیگر در دشت اراک و استفاده زیاد از آب‌های زیرزمینی برای مصارف عمومی و کشاورزی، بررسی آلودگی آلاینده‌هایی مثل فلوراید در آب‌های زیرزمینی و خاک بسیار مهم و مورد نیاز می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی اجمالی غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی و خاک بخشی از اراضی استان مرکزی شامل شهر اراک و مناطق کشاورزی و صنعتی اطراف این شهر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: برای انجام این پژوهش، از آب‌های زیرزمینی و خاک در مناطق عمده کشاورزی و صنعتی اطراف شهر اراک نمونه‌برداری صورت گرفت. دشت اراک در مرکز استان مرکزی در حوضه آبریز دریاچه میقان و شمال شهر اراک بین ´۲۱ °۴۹ تا ´۱۹ °۵۰ طول شرقی و ´۵۳ °۳۳ تا ´۴۷ °۳۴ عرض شمالی قرار دارد. دشت اراک دارای راستای شمالی جنوبی بوده و اطراف آن را کوهستان فرا گرفته است. وسعت این حوضه آبریز ۵۴۶۰ کیلومترمربع است که ۳۱۰۰ کیلومترمربع آن را دشت و بقیه آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. متوسط ارتفاع دشت اراک ۱۷۶۶ متر بالاتر از سطح دریا است. در این حوزه رودخانه مهم و دایمی وجود ندارد و مهم‌ترین مسیل‌های آن کرهرود و آشتیان است. این مسیل‌ها از کوه‌های مرتفع اطراف نظیر کوه هفتاد قله، کوه سفید و کوه چنار سرچشمه می‌گیرند و به کویر مرکزی میقان که تقریباً در وسط حوزه قرار دارد می‌ریزد. دریاچه میقان با وسعت ۱۰۰ کیلومترمربع در مرکز دشت اراک قرار دارد. بخش مرکزی حوضه آبریز میقان اراک را اراضی پست تشکیل داده که همان گودی میقان اراک است که دارای اراضی با سطح آب زیرزمینی بالا ، آب‌ها و خاک‌های شور است.

منطقه نمونه‌برداری با وسعتی حدود ۳۵۰ کیلومترمربع در شمال و شرق شهرستان اراک واقع شده است (شکل ۱).

نمونه‌برداری: مختصات نقاط نمونه‌برداری به‌وسیله دستگاه GPS ثبت گردید. نمونه‌های آب از چاه‌های مهم کشاورزی در آبان ۱۳۸۶ و خرداد ۱۳۸۷ برداشت گردید و طبق روش‌های آزمایشگاهی استاندارد بلافاصله مورد تجزیه‌های شیمیایی قرار گرفتند (۹). اطلاعات میدانی شامل مختصات چاه، عمق چاه (بین ۴۰ تا ۷۰ متر)، میزان کوددهی و نوع محصول ثبت شد. در نقاط نمونه‌برداری آب، نمونه‌های خاک به‌صورت تصادفی برداشت شدند. در مجموع، به‌ترتیب تعداد ۸۷ و ۹۲ نمونه آب طی دو ماه و ۳۰ نمونه خاک جمع‌آوری گردید. به‌ترتیب تعداد ۱۲، ۱۱ و ۷ نمونه خاک از کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و بایر برداشت شد. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه در هوا خشک، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

تجزیه آزمایشگاهی: ویژگی‌های خاک از جمله pH گل اشباع به‌وسیله دستگاه pHسنج، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر و تجزیه بافت به روش هیدرومتری تعیین گردید (۹). اندازه‌گیری غلظت فلوراید محلول در نمونه‌ها با استفاده از روش الکترود انتخاب‌گر یونی (ISE) انجام گرفت (۱۶). حساسیت الکترود فلوراید 10^{-1} تا 10^{-6} مولار است.

تحلیل‌های آماری: آنالیز آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 و رسم منحنی‌های هم‌میزان فلوراید و ایزوپیزومتری به وسیله نرم‌افزار SURFER8 و روش کریجینگ انجام گرفت.

نتایج و بحث

غلظت فلوراید در آب

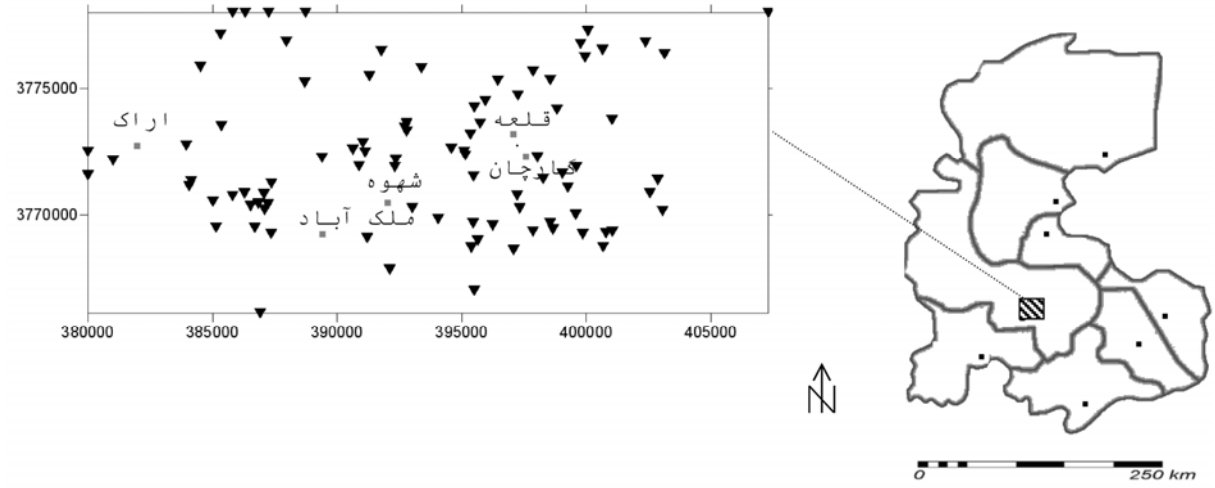
میانگین غلظت فلوراید در آب‌های منطقه مورد مطالعه در فصل پاییز و اواخر بهار (خرداد) به‌ترتیب ۰/۳ و ۰/۰۶ میلی‌گرم در لیتر است

(جدول ۱). حدود بحرانی و حداقل غلظت استاندارد فلوراید، بر اساس گزارش سازمان خدمات بهداشتی ایالت متحده در دماهای مختلف بر مبنای داده‌های مربوط به حداقل ۵ سال، در فصول مختلف متفاوت است (۴). با توجه به جدول ۲ حدود استاندارد غلظت فلوراید در ماه‌های آبان و اواخر خرداد به‌ترتیب ۰/۷و ۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر است (۴) و این مقادیر تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($p<0.01$) با میانگین غلظت فلوراید طی دو مرحله نمونه‌برداری داشت. غلظت فلوراید بر اساس گزارش فائو در محدوده مناسب برای آبیاری (۱ میلی‌گرم در لیتر) است اما جهت آشامیدن دارای کمبود می‌باشد و این مسئله در خرداد ماه جدی‌تر می‌باشد. همچنین مشکل کمبود فلوراید در چاه‌های تأمین کننده آب آشامیدنی شهر اراک که در منطقه موجود می‌باشند، مشاهده شد.

افزایش سختی کل آب در اواخر فصل بهار (۲۰۶ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به فصل پاییز (۱۷۹/۸ میلی‌گرم بر لیتر) بیان‌گر افزایش کلسیم و منیزیم در آب و تشکیل فلوریت (CaF_2) و رسوب آن و در نتیجه کم شدن میزان فلوراید محلول می‌شود (جدول ۲). در محیط‌های قلیایی یون‌های فلوراید قادر به تشکیل کمپلکس‌های قوی با کلسیم بوده و به‌صورت فلوریت رسوب خواهند کرد (۱۰). میرغفاری و شریعتمداری (۶) گزارش کردند غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی منطقه اصفهان در فصل تابستان کمتر از فصل بهار است و دلیل آن را مرتبط با شرایط هیدروشیمی آب‌ها دانستند. جنزو و گودنگ (۱۱)، میزان کلسیم و سختی آب را از جمله عوامل کنترل‌کننده غلظت فلوراید است.

روابط همبستگی غلظت فلوراید و دیگر پارامترهای آب در جدول ۳ نشان داده شده است. غلظت فلوراید در هر دو مرحله نمونه‌برداری بیشترین همبستگی را با یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و pH دارد. غلظت فلوراید همبستگی بالا و منفی با میزان کلسیم نشان می‌دهد. این در حالی است که میزان فلوراید همبستگی بالا و مثبتی با بی‌کربنات و pH دارد. افزایش غلظت یون بی‌کربنات و pH در آب‌ها باعث آزاد شدن فلوراید از سطح کانی‌ها می‌شود. گاپتا و همکاران (۱۲) گزارش کردند همبستگی بالای فلوراید با بی‌کربنات در ارتباط با pH می‌تواند فلوراید را از سطح کانی‌ها جایگزین کند.

$$CaF_2(S) + HCO_3^- \longrightarrow CaCO_3(s) + H^+ + 2F^-$$



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری در استان مرکزی

جدول۱- غلظت فلوراید ($mg\ L^{-1}$) موجود در آب آشامیدنی منطقه مورد مطالعه طی دو ماه آبان و خرداد و مقایسه آن با حد استاندارد سازمان خدمات بهداشتی ایالت متحده (٤)

ماه	میانگین حداکثر دمای ۵ ساله ماهانه	حداقل غلظت استاندارد فلوراید	میانگین غلظت فلوراید
آبان	۲۴/۱	۰/۷	۰/۳
خرداد	۳۵/۶	۰/۶	۰/۰۶

جدول ۲- غلظت فلوراید و برخی از پارامترهای آب در دو فصل نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

پارامترهای آب (واحد)	شاخص آماری	آبان	خرداد
فلوراید (mg/L)	حداقل	۰/۰۳	۰/۰۲
	حداکثر	۰/۵۳	۰/۲۲
	میانگین	۰/۳	۰/۰۶
	انحراف معیار	۰/۵	۰/۰۳
pH	حداقل	۷/۳	۷/۱
	حداکثر	۸/۶	۸/۴
	میانگین	۸/۲	۷/۸
	انحراف معیار	۰/۲	۰/۳
EC (dS/m)	حداقل	۰/۱	۰/۳
	حداکثر	۵/۶	۸/۷
	میانگین	۱/۳	۲/۴
	انحراف معیار	۵	۶/۳
سختی کل ($CaCO_3$ معادل mg/L)	حداقل	۳۲/۱	۴۹
	حداکثر	۷۶۱/۲	۱۴۵۵/۵
	میانگین	۱۷۹/۸	۲۰۶
	انحراف معیار	۳/۵	۴/۶

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین فلوراید در آب زیرزمینی و برخی پارامترهای شیمیایی آب (میلی‌گرم بر لیتر) در منطقه مطالعاتی

متغیر	F^-	EC	pH	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SO_4^{2-}	HCO_3^-
فلوراید در آبان	۱	۰/۰۸	۰/۴**	۰/۲۱۵	۰/۴۱۲**	۰/۳۶**	۰/۲	۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۲۴۷*
فلوراید در خرداد	۱	۰/۱۳۴	۰/۵**	۰/۰۱	۰/۳۴**	۰/۲۸**	۰/۲۴۵*	۰/۱۹۵	۰/۲۰۵	۰/۳۷**

** و *: معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

بررسی ارتباط غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی با ویژگی‌های هیدرولوژیکی و جریان آب

ترسیم منحنی‌های ایزوپیزومتری در حوزه‌های آبخیز یکی از مسائل کاربردی در هیدرولوژی و آبخیزداری است. این منحنی‌ها تغییرات عمق سطح آب در پیزومترها را نشان می‌دهند. این نقشه‌ها از نظر مطالعه حرکت آب در زیرزمین و کسب اطلاعات در مورد سفره آب زیرزمینی بسیار مفید است. با استفاده از آمار و اطلاعات به‌دست آمده طی سال‌های ۸۳ لغایت ۸۵ در دو فصل بهار و پاییز از ۴۵ چاه مشاهده‌ای (پیزومتر) در دشت اراک، منحنی‌های سطح تراز ایستابی ترسیم شد. این منحنی‌ها، تراز مطلق سطح ایستابی آبخوان منطقه و جهت جریان آب را نشان می‌دهند (شکل ۲).

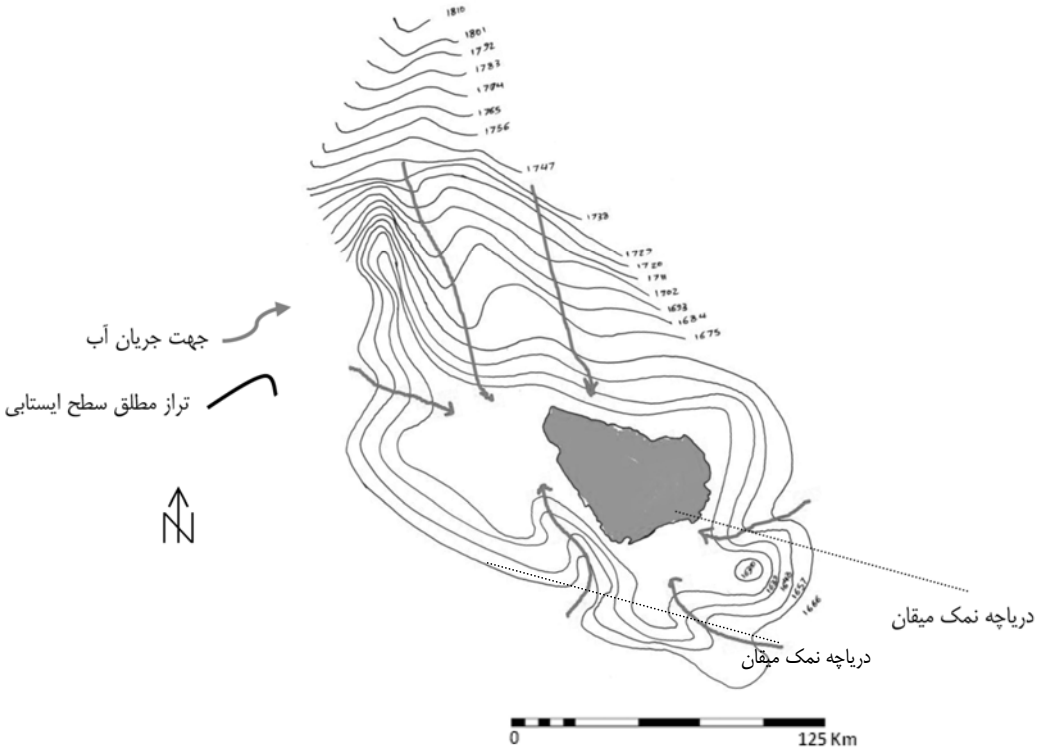
با توجه به شکل ۳ توزیع مکانی فلوراید نشان می‌دهد که غلظت آن با جریان آب افزایش یافته است. رابطه بین تغییرات مکانی غلظت فلوراید با جریان آب زیرزمینی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی نشان می‌دهد افزایش میزان فلوراید با پروسه‌های طبیعی همراه است. غلظت فلوراید در مکان‌های تغذیه و مناطقی که برای پمپاژ مناسب‌تر است، با تمرکز خطوط جریان آب زیرزمینی افزایش یافته است. قابل ذکر است که در این مناطق روستاهای گارچان، قلعه‌نو، شهوه و ملک‌آباد نیز واقع شده است. غلظت فلوراید، علاوه بر این‌که با شرایط هیدروشیمی آبها مرتبط است، تحت تأثیر خصوصیات هیدرولوژیکی و جریان آب زیرزمینی نیز تغییر می‌کند. خصوصیات هیدروشیمیایی آب‌ها به نوبه خود با شرایط هیدرولوژیکی و جریان آب زیرزمینی مرتبط می‌باشد (۱۴).

شکل ۴ نشان می‌دهد بیشترین غلظت فلوراید در بالادست منطقه در جنوب و نزدیک دریاچه نمک میقان است. تمرکز خطوط جریان آب زیرزمینی به سمت این ناحیه است. علاوه بر این از نظر توپوگرافی کمترین ارتفاع را دارد. با توجه به این‌که نفوذپذیری در این منطقه بیشتر و سطح سفره آب بالاتر است، این منطقه بیشتر تحت شرایط دمایی در این دوره قرار گرفته و این روی ویژگی هیدروشیمیایی آب‌ها اثر می‌گذارد. همچنین به دلیل این‌که شوری با افزایش دما افزایش یافته و تجمع نمک در این منطقه بیشتر از مناطق دیگر است غلظت

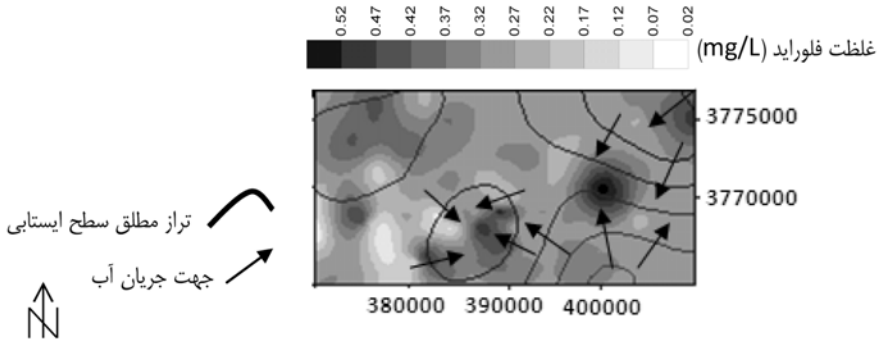
فلوراید را تحت تأثیر قرار داده است. احتمالاً با افزایش شوری از یک حد خاص، حلالیت تعدادی از نمک‌های فلوراید به علت افزایش قدرت یونی محلول متناسب با شوری افزایش می‌یابد (۶). همچنین در هر دو دوره بیشترین غلظت‌ها در مکان‌های تغذیه وجود دارد. با وجود این به دلیل عمق زیاد چاه‌ها، فعالیت کشاورزی از نظر استفاده بی‌رویه کود فسفاته نتوانسته تأثیر معنی‌داری روی غلظت فلوراید بگذارد.

غلظت فلوراید محلول در خاک

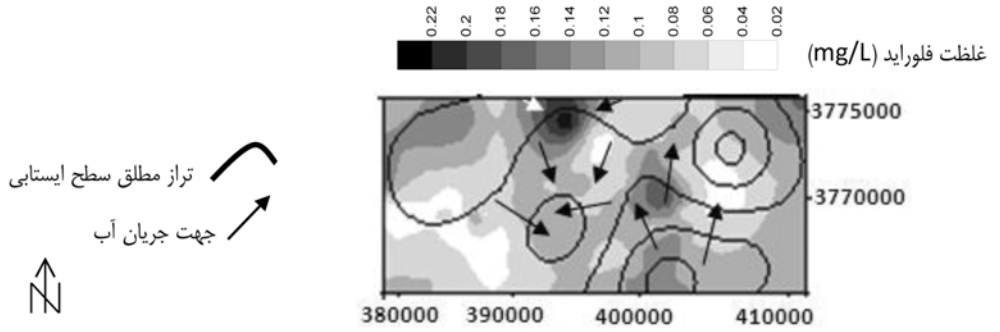
نمونه‌های خاک از نظر قابلیت هدایت الکتریکی، درصد رس و آهک و مواد آلی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۴). از آنجایی که فلوراید در خاک‌های قلیایی با کلسیم ترکیبات پایدار و نامحلول تشکیل می‌دهد که برای گیاه قابل دسترس نمی‌باشد، در این پژوهش شکل محلول فلوراید مورد بررسی قرار گرفت. واکنش‌های خاک‌ها نسبتاً قلیایی با میانگین ۸/۱ و خاک‌ها عمدتاً از نوع آهکی هستند. میانگین غلظت فلوراید در خاک‌ها ۳/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات برابر ۲۶ با حداقل ۰/۶ و حداکثر ۲۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.



شکل ۲- منحنی‌های ایزوپیزومتری و جهت جریان آب در دشت اراک



شکل ۳- نقشه ایزوپیزومتری، جهت جریان آب و غلظت فلوراید در منطقه مطالعاتی در آبان ماه ۱۳۸۶



شکل ٤- نقشه ایزوپیزومتری، جهت جریان آب و غلظت فلوراید در منطقه مطالعاتی در خرداد ماه ۱۳۸۷

جدول ٤- غلظت فلوراید و برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

شاخص آماری	فلوراید ($mg\ kg^{-1}$)	pH	EC_e ($dS\ m^{-1}$)	رس (٪)	مواد آلی (٪)	آهک (٪)
حداقل	۰/۶	۷/۳	۰/۲	۱۳/۳	۰/۲	۱۱/۲
حداکثر	۲۶/۵	۸/۶	۱۸	۴۳/۳	۲/۶	۶۲
میانگین	۴/۲	۸/۱	۱/۳	۳۰	۱/۲	۳۹/۴
انحراف معیار	۵/۹	۰/۳۶	۳/۳	۸/۳	۵/۹	۱۲/۷

فلوراید محلول در خاک‌ها با pH خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار ($p< 0.05$)، با درصد آهک خاک همبستگی منفی و معنی‌دار ($p< 0.05$) دارد (جدول ۵). همان‌طور که ذکر شد افزایش pH و یون بی‌کربنات به حلالیت کانی‌های حاوی فلوراید کمک می‌کند. با افزایش درصد آهک خاک و افزایش فعالیت یون‌های کلسیم و منیزیم، فلوراید به صورت فلوریت و دیگر کانی‌ها رسوب می‌کند و غلظت فلوراید محلول در خاک کاهش می‌یابد.

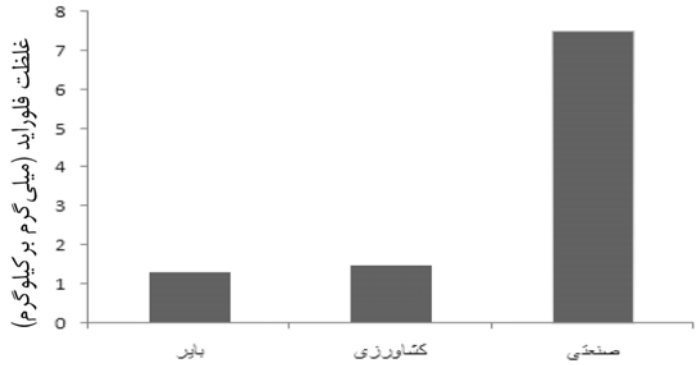
دامنه غلظت فلوراید محلول در خاک بین ۲۰-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۱۵). میانگین غلظت آن در مناطق بایر ۱/۳، کشاورزی ۱/۵ و در بخش صنعتی ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. مقایسه میانگین غلظت فلوراید در کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون آماری LSD انجام شدکه تفاوت معنی‌دار و قابل ملاحظه‌ای در سطح یک درصد بین دو کاربری کشاورزی و بایر با صنعتی وجود داشت. به‌طور متوسط غلظت فلوراید محلول در مناطق صنعتی بیشتر است و کاربری اراضی تأثیر معنی‌داری بر غلظت فلوراید در خاک‌های مناطق صنعتی داشته است (شکل ۵).

غلظت فلوراید محلول در خاک‌های حوالی کارخانه تولید آلومینیوم به میزان ۲۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است و بعد از آن کارخانجات ماشین‌سازی، کمباین‌سازی را می‌توان نام برد. بالاتر بودن غلظت فلوراید محلول خاک در کارخانجات، از فاضلاب صنعتی و فرونشست غبارهای جوی ناشی می‌شود. آرنس و همکاران (۸)، غلظت فلوراید محلول در عصاره‌های گرفته شده از خاک در عمق‌ها و فواصل مختلف در اطراف کارخانه‌های آلومینیوم در نروژ را بین ۵ تا ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. صنایع ماشین‌آلات، ابزار و محصولات فلزی فعال در اراک، می‌توانند نقشی مهم در فعالیت‌های اقتصادی کشور داشته باشند اما آلودگی‌های حاصل از این صنایع آثار بارزی بر محیط زیست دارد.

جدول ٥- ضرایب همبستگی بین فلوراید محلول و برخی خصوصیات خاک منطقه مطالعاتی

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	pH	EC_e ($dS\ m^{-1}$)	مواد آلی (٪)	آهک (٪)
۰/۰۶۸	-۰/۰۴۵	-۰/۰۶۶	۰/۴*	-۰/۱۱	۰/۱۸	-۰/۴۱*

*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد



شکل ۵- غلظت فلوراید (میلی‌گرم برکیلوگرم) محلول در خاک به تفکیک کاربری اراضی

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد غلظت فلوراید بر اساس گزارش فائو در محدوده مناسب برای آبیاری است و غلظت این عنصر در آب شرب که یکی از منابع اصلی آن است، دارای کمبود می‌باشد و این مسئله در فصل خشک جدی‌تر می‌باشد. با توجه به جهت جریان آب و فاضلاب صنعتی به سمت مرکز دشت (کویر میقان) انتظار می‌رود غلظت آلاینده‌ها از جمله فلوراید در سال‌های متمادی در این محدوده افزایش یابد. همچنین با توجه به نقشه ایزوپیزومتری و تغییرات مکانی فلوراید، این عنصر در روستاها و مکان‌هایی که برای پمپاژ مناسب‌تر است، افزایش یافته است. بنابراین انجام مطالعات بیشتر در ارتباط با میزان بهینه آن دراین مکان‌ها و در فصول مختلف در ارتباط با شاخص‌های بهداشتی ضرورت دارد. میزان فلوراید در خاک‌های اراضی بایر، کشاورزی و برخی مناطق صنعتی در وضعیت بحرانی قرار ندارد. ولی افزایش این عنصر در اطراف مراکز بزرگ صنعتی مستقر در منطقه از جمله کارخانجات آلومینیوم‌سازی نیاز به پایش دقیق‌تر و دوره ای دارد.

منابع

۱- اسمائیلی ساری ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها- بهداشت و استاندارد در محیط زیست، چاپ اول، انتشارات نقش مهر، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- آیرلو ا.، انصاری ق. و خادمی ع. ۱۳۸۱. بررسی رابطه فلور آب آشامیدنی با فلورزیس دندانی در دانش آموزان پسر روستایی بندر لنگه در سالهای ۱۳۸۷-۱۳۷۹. دانشکده دندانپزشکی علوم پزشکی شهید بهشتی . ۱۸۰: ۲۸۱-۲۸۶.

۳- صداقت م. ۱۳۷۲. زمین و منابع آب. انتشارات دانشگاه پیام نور.

۴- عدوی ق. ۱۳۷۳. کیفیت آب آشامیدنی. انتشارات محقق.

۵- کیانی ن. ۱۳۸۲. بررسی میزان فلوئور در نمونه‌های خاک و تعدادی از محصولات زراعی منطقه اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶- میرغفاری م. و شریعتمداری ح. ۱۳۸۶. توزیع فلوراید در آب‌های زیرزمینی، خاک و تعدادی از گیاهان زراعی منطقه اصفهان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۱: ۴۳-۴۹.

7- Amini M., Muller K., Abbaspour K., Rosenberg T., Afyuni M. and Johnson A. 2008. Statistical modeling of global geogenic fluoride contamination in ground water. Journal Environmental Science & Technology. 42(10): 3662-3668.

8- Arnesen A.K.M., Abrahamsen G., Sandvik G. and Krogstad T. 1995. Aluminium-smelters and fluoride pollution of soil and soil solution in Norway. Science Total Environments. 163: 39- 53.

9- Baruah T.C., and Barthakur H.P. 1998. A Textbook of Soil Analysis. Vikas Publishing House, PVT Ltd., New Delhi.

10- Evdokimova G.A. 2001. Fluoride in the soils of the White Sea Basin and bioindication of pollution. Chemosphere 42: 35-43.

11- Genxu W. and Guodong C. 2001. Fluoride distribution in water and the governing factors of environment in arid north-west China. Journal of Arid Environments. 49: 604-614.

12- Gupta M.K., Singh V., Rajwanshi P., Agarwal M., Ral K., Shrivastav R. and Dass S. 1999. Groundwater quality assessment of Tehsil Kheragarh, Agra with special reference to fluoride. Environmental Monitoring & Assesment.

59: 275-285.
13- Kabata A. 2000. Trace Elements in Soils and Plants, 3th ed, CRC Press., New York.
14- Kruse E. and Ainchil J. 2003. Fluoride variations in groundwater of an area in Buenos Aires province, Argentina. Environmental Geology. 44: 86-89.
15- Pais I. and Jones J.B.Jr. 1997. The Handbook of Trace Elements. St. Lucie Press., Boca Raton, Florida.
16- Radojevic M., and Bashkin V.N. 1999. Practical Environmental Analysis. Royal Society of Chemistry, UK.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1033-1041

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۴۱-۱۰۳۳

Spatial Variability of Fluoride in Groundwater and Soils in Some Areas of Arak Plain

M. Mohseni Sajadi[1*] - M. Afyuni[2] - H. Khademi[3] - S.A. Mohseni Movahed[4] - Sh. Ayubi[5]

Received:13-7-2010
Accepted:29-6-2011

Abstract

Fluoride (F^-) is an essential element for human and some animals. The fluoride concentration in irrigation water is an important index for water quality. The objective of the present study was to determine spatial variability of fluoride in groundwater and soils of some areas in Arak plain. Therefore, during two seasons, autumn (2007) and the end of spring (2008), 87 and 92 water samples were collected from the wells, in the study area, respectively. Furthermore thirty soil samples were taken from the same positions. Fluoride concentrations in groundwater and soil samples around Arak city was measured by Ion Selective Electrode (ISE) method. The results show that the average fluoride of water samples during two seasons ranged from 0.3 to 0.06 mg/L which is below the standard level (1.5). These values were suitable for irrigation. Generally, spatial distribution in groundwater and isopiezometry maps indicated that fluoride increased where groundwater flow lines were centralized. Besides, fluoride concentration has increased in the rural zones and discharge areas. Average concentration of fluoride in agricultural and industrial areas were 1.5 and 7.5 mg/Kg respectively. Maximum concentration of fluoride belonged to industrial areas with 26.5 mg/Kg showing significant difference in 1 % scale in comparison with agricultural zone. There was negative correlation between fluoride with lime values and positive correlation with pH.

Keywords: Fluoride, Spatial variability, Groundwater, Soil, Arak plain

1,2,3,5- Former MSc Student, Professors and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Esfahan University of Technology, Respectively
(* - Corresponding Author Email: maryam.mohseni2@gmail.com)
4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University