توزیع فلوراید در آب‌های زیرزمینی، خاک و تعدادی از گیاهان زراعی منطقه اصفهان

نوراله میرغفاری[۱] و حسین شریعتمداری[۲]

چکیده

میزان فلوراید محلول در آب‌های زیرزمینی، خاک و تعدادی از گیاهان زراعی در اطراف اصفهان به وسیله روش الکترود انتخابگر یونی (ISE) اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت فلوراید در آب‌های منطقه مورد مطالعه در فصل بهار و تابستان به ترتیب ۰/۳ و ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر بود. این مقادیر در محدوده مجاز برای مصارف آبیاری بوده ولی برای مصارف آب آشامیدنی دارای کمبود می‌باشد. میانگین غلظت فلوراید محلول در نمونه‌های خاک ۱/۰ و حداکثر آن ۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. به طورکلی، نقشه پراکنش مکانی فلوراید محلول در خاک نشان داد که میزان فلوراید در اطراف مراکز عمده صنعتی یعنی کارخانه‌های ذوب آهن و فولاد مبارکه و هم‌چنین پالایشگاه و نیروگاه بیشتر می‌باشد. در اندام هوایی گیاهان نیز کمترین و بیشترین مقدار فلوراید به ترتیب در یونجه با ۰/۲ و در ذرت با ۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک مشاهده گردید. بالاترین میانگین غلظت فلوراید مربوط به گوجه‌فرنگی با ۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میزان فلوراید در گیاهان با میزان فلوراید در خاک و آب آبیاری دارای هم‌بستگی مثبت و در سطح ۱ درصد معنی‌دار و با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارای هم‌بستگی منفی و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، غلظت فلوراید، کیفیت آب ، منطقه اصفهان، گیاهان زراعی

مقدمه

فلوئور الکترونگاتیوترین و فعال‌ترین عنصر در جدول تناوبی است و به طور طبیعی در مقادیر مختلف در آب، خاک و گیاهان وجود دارد. میانگین آن در لیتوسفر زمین حدود ۹۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد و به عنوان یک عنصر غذایی کم مصرف و ضروری برای انسان و حیوانات و غیر ضروری برای گیاهان شناخته شده است (۱۸). ترکیبات آن در صنایع مختلف از جمله کارخانه‌های آلومینیوم، ذوب آهن، شیشه‌سازی، سرامیک، فرآورده‌های دارویی مانند خمیر دندان و دهان شویه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸). به علت مصارف زیاد مواد فلوئور دار، آلودگی ناشی از آن در برخی از مناطق صنعتی به ویژه در اطراف کارخانه‌های تولید کود فسفات و آلومینیوم سازی گزارش شده است (۱، ۴، ۱۳ و ۱۴).

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های بهداشتی فلوراید برای انسان، نقش آن در حفظ سلامتی و بهداشت دندان است. حضور فلوراید در مقادیر کم در آب آشامیدنی برای پیشگیری از

۱. استادیار محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشیار خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]

پوسیدگی دندان مخصوصاً برای کودکان ضروری می‌باشد. در غلظت‌های بالاتر از حد مجاز در آب آشامیدنی، فلوراید سمی بوده و موجب بروز بیماری فلوروزیس (Fluorosis) دندانی می‌شود. بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز فلوراید در آب آشامیدنی ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر است (۱۰). از طرف دیگر، کمبود فلوراید در آب آشامیدنی موجب کاهش مقاومت مینای دندان و در نتیجه افزایش پوسیدگی دندان‌ها در کودکان می‌گردد. 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 (۲۲).

انتشار ترکیبات حاوی فلوراید از منابع مختلف می‌تواند موجب آلودگی هوا، خاک و گیاهان شود. در خاک، حرکت فلوئور نسبتاً پیچیده بوده و تحت تأثیر ویژگی‌های خاک همچون pH و ترکیبات معدنی نظیر کلسیم، فسفر، آلومینیوم و آهن قرار دارد (۱۱، ۱۵، ۱۸ و ۲۱). حلالیت و آبشویی آلومینیوم در خاک با افزایش میزان فلوراید بیشتر می‌شود (۹). جذب فلوراید در مقادیر زیاد توسط گیاهان و محصولات زراعی از طریق هوا، آب آبیاری یا خاک‌های آلوده به فلوراید می‌تواند آسیب‌های جدی به پوشش گیاهی مانند سوختگی نوک برگ‌ها (Tip burn) وارد کند (۵). افزایش میزان فلوراید با منشاء طبیعی یا انسانی در آب، گیاهان و زنجیره غذایی در بروز و گسترش بیماری فلوروزیس دندانی و استخوانی در حیوانات و انسان نقش مهمی دارد (۱۶ و ۱۹). مالد و همکاران (۱۷) بالا بودن میزان فلوراید در آب آشامیدنی و هم‌چنین محصولات غذایی را به عنوان عامل گسترش بیماری فلوروزیس در منطقه شرق آفریقا گزارش کردند. دامنه غلظت فلوراید از ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در ذرت تا ۷/۷ در اسفناج متغیر بوده است. ژین و همکاران (۱۲) با بررسی غلظت فلوراید در نمونه‌های آب، خاک و محصولات مختلف کشاورزی در منطقه تبت مشاهده کردند که چای دارای بیشترین میزان فلوراید می‌باشد. بالا بودن مقدار فلوراید در چای و تأثیر آن در شیوع بیماری فلوروزیس در مناطقی که نوشیدن چای بسیار متداول است در تحقیقات متعددی مورد اشاره قرار گرفته است (۶ و ۲۳).

در ایران، به نظر می‌رسد پایش فلوراید در محیط‌های مختلف مورد بررسی قرار نگرفته است. فقط میزان فلوراید در آب شرب و بر اساس نیاز به‌صورت موردی به وسیله مراکز بهداشتی اندازه‌گیری می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی اجمالی غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی، خاک و تعدادی از گیاهان زراعی منطقه اصفهان است.

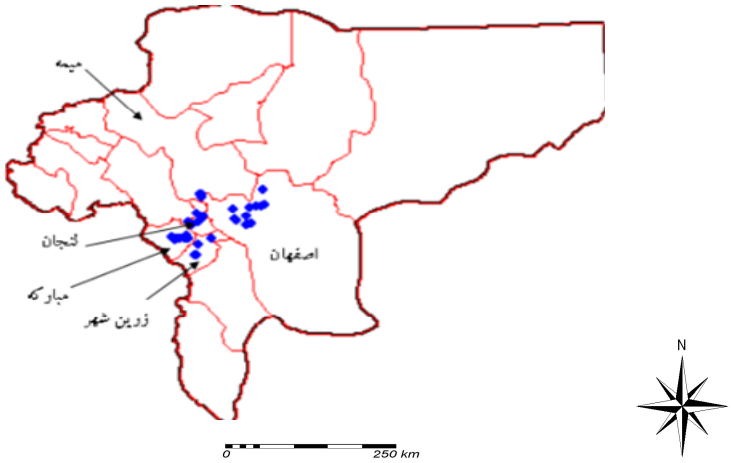
مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، از آب‌های زیرزمینی، خاک و گیاهان زراعی شامل برنج، پیاز، تره، ذرت، سیب زمینی، کاهو، گندم، گوجه فرنگی، نعناع، هویج، و یونجه در مناطق عمده صنعتی و کشاورزی اطراف منطقه اصفهان نمونه‌برداری صورت گرفت. منطقه نمونه‌برداری در محدوده طول جغرافیایی ′۱۲ °۵۱ تا ′۸ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی ′۱۳ °۳۲ تا ′۵۱ °۳۲ شمالی با مساحت تقریبی ۵۵۰۰ کیلومتر مربع قرار دارد (شکل ۱). مختصات نقاط نمونه‌برداری به وسیله دستگاه GPS ثبت گردید. نمونه‌های آب از چاه‌های مهم آب کشاورزی در دو فصل بهار و تابستان سال ۱۳۸۲ و در سه تکرار برداشت گردید و برخی از پارامترهای آن مانند pH و قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه pH متر و هدایت سنج و سختی کل طبق روش تیتراسیون تعیین شد (۲۰).

در نقاط نمونه‌برداری آب، نمونه‌های خاک و گیاهان زراعی به‌صورت تصادفی و مرکب برداشت شدند. در مجموع، تعداد ۳۵ نمونه خاک و ۵۰ نمونه گیاه جمع آوری گردید. در نمونه‌برداری گیاهان، از هر نمونه گیاهی، حداقل دو بوته از اندام هوایی که شرایط متوسط گیاهان در هر ایستگاه را داشتند به طور کامل برداشت شد. بر حسب زمان نمونه برداری، گیاهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در تعدادی از شهرستان‌های استان اصفهان

در مراحل متفاوتی از رشد قرار داشتند که در جدول ۳ به آن اشاره شده است.

نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه در هوا خشک، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های خاک از جمله pH گل اشباع به وسیله دستگاه pH سنج، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر و بافت به روش هیدرومتری تعیین گردید (۲). نمونه‌های گیاهی نیز در آزمایشگاه با آب معمولی شستشو و با آب مقطر آبکشی، سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و به وسیله آسیاب پودر گردیدند.

اندازه‌گیری غلظت فلوراید محلول در نمونه‌ها با استفاده از روش الکترود انتخابگر یونی (Ion Selective Electrode) (ISE) انجام گرفت. برای این منظور، به نمونه‌های آب و عصاره‌های گرفته شده از خاک و گیاه به وسیله محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم، محلول تیساب (TISAB) (Total Ionic Strength Adjustment Buffer) یا بافر تنظیم قدرت یونی کل جهت حفظ قدرت یونی محلول و حذف تأثیر یون‌های مزاحم اضافه گردید (۲۰). پس از رسم منحنی کالیبراسیون برای محلول‌های استاندارد فلوراید سدیم، غلظت فلوراید در نمونه‌ها تعیین گردید. حساسیت الکترود فلوراید در محدوده 10^{-1} تا 10^{-6} مولار است. آنالیز آماری نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS 10 و رسم منحنی‌های هم میزان فلوراید به وسیله نرم افزار Ilwis 3 انجام گرفت.

نتایج و بحث

غلظت فلوراید در آب

میانگین غلظت فلوراید در آب‌های منطقه مورد مطالعه در فصل بهار و تابستان به ترتیب ۰/۳ و ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر است (جدول ۱). این مقادیر در محدوده مجاز کیفیت آب آبیاری مطابق استاندارد فائو (۱ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. دامنه میزان فلوراید در منابع آب شیرین از ۰/۱ تا ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده و معمولاً میزان آن در آب‌های سطحی کمتر از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. متوسط غلظت آن در آب دریا ۱/۳ میلی‌گرم در لیتر است (۱۸).

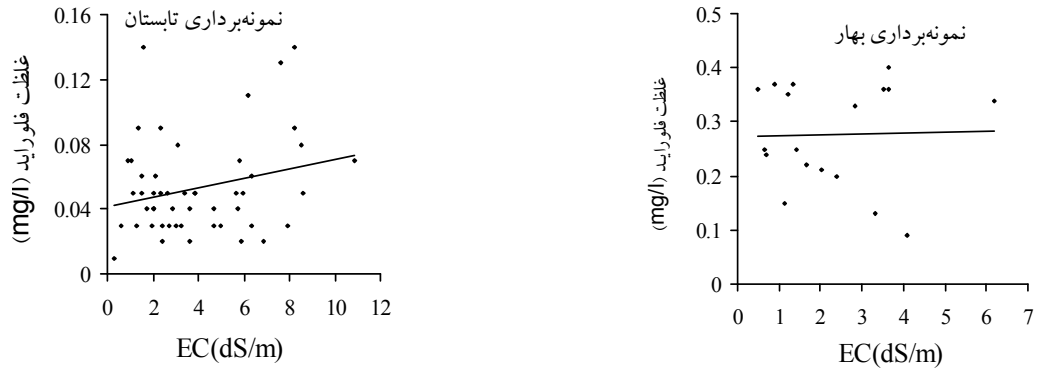
کاهش غلظت فلوراید در فصل تابستان با شرایط هیدروشیمی منابع آب ارتباط نزدیک دارد. به طورکلی، در محیط‌های قلیایی یون‌های فلوراید قادر به تشکیل کمپلکس‌های قوی با کلسیم بوده و به‌صورت فلورایت (CaF_2) رسوب خواهند کرد (۳ و ۱۵). افزایش سختی کل آب در فصل تابستان بیانگر افزایش میزان کلسیم و منیزیم در آب و تشکیل فلورایت و رسوب آن و در نتیجه کم شدن میزان فلوراید محلول می‌شود. جنزو و گودنگ (۷)، با بررسی توزیع فلوراید در منطقه خشک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]

جدول ۱. غلظت فلوراید و برخی از پارامترهای آب

پارامترهای آب (واحد)	شاخص آماری	بهار	تابستان
فلوراید ($mg\ L^{-1}$)	حداقل	۰/۰۹	۰/۰۱
	حداکثر	۰/۴	۰/۱۴
	میانگین	۰/۳	۰/۰۵
	انحراف معیار	۰/۱	۰/۰۳
pH	حداقل	۷/۹	۷/۸
	حداکثر	۹/۰	۸/۸
	میانگین	۸/۷	۸/۲
	انحراف معیار	۰/۳	۰/۲
$EC(dS\ m^{-1})$	حداقل	۰/۵	۰/۳
	حداکثر	۶/۲	۱۰/۹
	میانگین	۲/۳	۴/۰
	انحراف معیار	۱/۵	۲/۶
سختی کل ($mg\ L^{-1}$ معادل $CaCO_3$)	حداقل	۲۲۰/۰	۲۲۰/۰
	حداکثر	۱۲۱۶/۰	۲۴۷۲/۰
	میانگین	۷۴۱/۵	۹۱۳/۹
	انحراف معیار	۲۷۷/۰	۶۴۸/۵



شکل ۲. رابطه شوری و غلظت فلوراید در آب

شمال غرب چین، میزان کلسیم و سختی آب را از جمله عوامل کنترل کننده تغییرات غلظت فلوراید ذکر کردند.

روابط هم‌بستگی غلظت فلوراید و شوری آب در فصول بهار و تابستان در شکل ۲ نشان داده شده است. به نظر می‌رسد در فصل بهار به دلیل شوری کمتر آب، غلظت فلوراید تحت تأثیر شوری قرار ندارد (R^2 = ۰/۰۰۱). در حالی‌که در فصل تابستان با شورتر شدن آب‌ها، غلظت فلوراید هم‌بستگی ضعیف و مثبت با میزان شوری نشان می‌دهد (R^2 =۰/۰۶۱). احتمالاً با افزایش شوری از یک حد خاص، حلالیت تعدادی از نمک‌های فلوئور به علت افزایش قدرت یونی محلول متناسب با شوری

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]

جدول ۲. غلظت فلوراید و برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

شاخص آماری	فلوراید ($mg\ kg^{-1}$)	pH	EC_e (dSm^{-1})	CEC ($cmol_c\ kg^{-1}$)	رس (٪)	مواد آلی (٪)
حداقل	۰/۰۶	۷/۴	۱/۰	۶/۵	۹/۲	۰/۳
حداکثر	۳/۲	۸/۶	۱۱۶/۲	۲۵/۲	۵۱/۵	۴/۰
میانگین	۱/۰	۷/۸	۱۰/۹	۱۵/۰	۲۵/۸	۱/۸
انحراف معیار	۰/۷	۰/۳	۲۲/۵	۴/۰	۱۰/۴	۱/۰

افزایش می‌یابد. هر چند، میانگین غلظت فلوراید در فصل تابستان در مقایسه با فصل بهار به علت افزایش سختی آب و رسوب فلوراید به فرم فلورایت کمتر است.

با توجه به این‌که برخی از آب‌های مورد آزمایش در تأمین آب شرب شهر اصفهان و مناطق اطراف مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان پیش بینی نمود که غلظت فلوراید در آب آشامیدنی در همین حدود فوق‌الذکر قرار گیرد. در شرایط آب و هوایی اصفهان، غلظت مناسب توصیه شده برای فلوراید در آب آشامیدنی حدود ۰/۶ تا ۰/۷ میلی‌گرم در لیتر است (۱۰). لذا، انجام مطالعات بیشتر در زمینه تأثیرات بهداشتی کمبود فلوراید ضرورت دارد.

غلظت فلوراید محلول در خاک و گیاهان زراعی

نمونه‌های خاک مورد بررسی از نظر قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس و مواد آلی تفاوت‌های قابل توجهی دارند (جدول ۲). واکنش خاک‌ها نسبتاً قلیایی با میانگین pH برابر ۷/۸ بود.

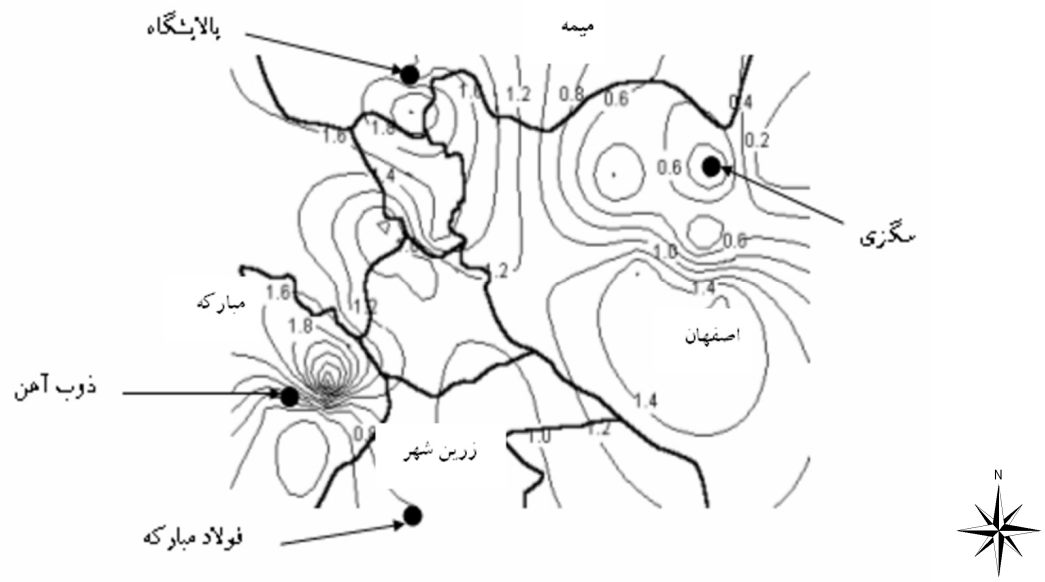
از آنجایی‌که فلوراید در خاک‌های قلیایی با کلسیم ترکیبات پایدار و نامحلول تشکیل می‌دهد که برای گیاه قابل دسترس نمی‌باشد، در این پژوهش شکل محلول فلوراید مورد بررسی قرار گرفت. میانگین غلظت فلوراید محلول در خاک ۱/۰ و حداکثر آن ۳/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در حوالی زرین شهر بود. این مقادیر در مقایسه با اطلاعات منتشر شده در مورد آلودگی خاک به فلوراید در مناطق دیگر از جمله در اطراف کارخانه‌های آلومینیوم بسیار کمتر است. آرنسن و همکاران (۱)، غلظت فلوراید محلول در عصاره‌های گرفته شده از خاک به وسیله کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در عمق‌ها و فواصل مختلف در اطراف کارخانه‌های آلومینیوم در نروژ را بین ۵ تا ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند.

نقشه توزیع مکانی فلوراید محلول خاک در منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. به طورکلی، منحنی‌های هم میزان فلوراید محلول در خاک (با فواصل ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) نشان می‌دهند که غلظت فلوراید در اطراف مراکز عمده صنعتی یعنی کارخانه‌های ذوب آهن و فولاد مبارکه و هم‌چنین پالایشگاه اصفهان و نیروگاه شهید منتظری بیشتر می‌باشد. گرچه مقادیر آن کمتر از حدود بحرانی و آلوده کننده قرار دارد. دامنه غلظت فلوراید محلول در خاک بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۸). بر اساس این یافته‌های اولیه، برای ارزیابی دقیق‌تر تأثیر این مراکز در انتشار فلوراید باید تعداد نمونه برداری‌ها زیادتر و در فواصل مختلف انجام گیرد.

شاخص‌های آمار توصیفی میزان فلوراید در اندام هوایی گیاهان زراعی مختلف به همراه مرحله رشد گیاه در زمان نمونه‌برداری در جدول ۳ نشان داده شده است. کمترین و بیشترین مقدار فلوراید به ترتیب در یونجه با ۰/۲ و ذرت با ۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک مشاهده گردید. بالاترین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]



شکل ۳. توزیع مکانی فلوراید محلول در خاک (اعداد نشانگر غلظت فلوراید در خاک بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم، خطوط نازک منحنی‌های هم غلظت و خطوط تیره مرز شهرستان‌های استان مطابق شکل ۱ می‌باشند).

جدول ۳. غلظت فلوراید در اندام هوایی گیاهان زراعی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک

گیاه	نام علمی	مرحله رشد گیاه در زمان نمونه‌برداری	شاخص آماری			
			حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
برنج	*Oriza sativa*	شروع گل‌دهی	۰/۹	۳/۶	۱/۹^{b}	۱/۵
پیاز	*Allium cepa*	شروع تشکیل پیاز	۱/۱	۳/۶	۲/۵^{b}	۱/۲
تره	*Alliums pp.*	رشد رویشی	۱/۳	۳/۴	۲/۴^{b}	۱/۵
ذرت	*Zea mays*	ظهور گل نر	۰/۶	۴/۲	۲/۹^{b}	۱/۹
سیب زمینی	*Solanum tuberosum*	شروع تشکیل غده	۲/۰	۳/۹	۲/۶^{b}	۱/۱
کاهو	*Lactuca sativa*	رشد رویشی	۱/۷	۲/۶	۲/۰^{b}	۰/۵
گندم	*Triticum sativam*	رسیدگی دانه	۲/۰	۴/۰	۳/۲^{a}	۱/۱
گوجه فرنگی	*Lycopersicum esculentum miller*	شروع گل‌دهی	۳/۲	۳/۹	۳/۶^{a}	۰/۵
نعناع	*Mentha arvensis*	رشد رویشی	۱/۷	۳/۴	۲/۶^{b}	۱/۲
هویج	*Daucus carota*	شروع تشکیل غده	۱/۰	۱/۰	۱/۰^{c}	۰/۰۰۱
یونجه	*Medicago sativa*	شروع گل‌دهی	۰/۲	۳/۶	۱/۰^{c}	۰/۸

میانگین‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]

جدول ۴. ضرایب هم‌بستگی بین غلظت فلوراید در گیاه، آب و ویژگی‌های خاک

	فلوراید گیاه	فلوراید خاک	فلوراید آب	pH	EC_e	CEC	٪ رس	٪ مواد آلی
فلوراید گیاه	۱	۰/۸۱**	۰/۶۷**	۰/۱۴	۰/۱۷	-۰/۳۷*	-۰/۰۹	-۰/۲۳
فلوراید خاک		۱	۰/۷۸**	۰/۰۲	-۰/۱۹	-۰/۵۲**	۰/۱۱	-۰/۱۵
فلوراید آب			۱	۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۴۲*	۰/۱۰	-۰/۲۶
pH				۱	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۱۶	-۰/۵۱**
EC_e					۱	۰/۰۲	-۰/۲۷	-۰/۲۹
CEC						۱	۰/۰۳	۰/۳۵*
٪ رس							۱	-۰/۳۸*
٪ مواد آلی								۱

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

میانگین غلظت فلوراید مربوط به گوجه فرنگی با ۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. میزان معمول فلوراید در گیاهان از ۰/۲ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۸). تفاوت میانگین غلظت فلوراید در اندام هوایی گیاهان برنج، پیاز، تره، ذرت، سیب زمینی، کاهو و نعناع بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. در حالی‌که، تفاوت غلظت فلوراید در اندام هوایی گندم و گوجه فرنگی و هم‌چنین هویج و یونجه با سایر گیاهان معنی‌دار است.

نتایج آزمون هم‌بستگی ساده خطی بین غلظت فلوراید در گیاهان زراعی با غلظت آن در آب و خاک و هم‌چنین پارامترهای خاک در جدول ۴ ارائه گردیده است. میزان فلوراید در گیاهان با میزان فلوراید در خاک و آب آبیاری دارای هم‌بستگی مثبت و در سطح ۱ درصد معنی‌دار و با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارای هم‌بستگی منفی و در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

هم‌چنین، براساس ضرایب هم‌بستگی می‌توان گفت که میزان فلوراید در آب و خاک تأثیر متقابل بر هم دارند. به عبارت دیگر، بر اثر آبیاری، فلوراید در خاک تجمع یافته و به تدریج از طریق آبشویی به آب‌های زیرزمینی حمل خواهد شد.

رابطه میزان فلوراید در گیاهان با سایر پارامترها معنی‌دار نبود. فونگ و همکاران (۶)، به هم‌بستگی مثبت بین میزان فلوراید در برگ بوته‌های چای و فلوراید محلول در خاک اشاره نموده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد سطح فلوراید در آب‌های زیرزمینی، خاک و گیاهان زراعی در منطقه مورد مطالعه در وضعیت بحرانی قرار ندارد. با اینحال، پایش دقیق و دوره‌ای این آلاینده به خاطر وجود نشانه‌های افزایش میزان آن در اطراف مراکز بزرگ صنعتی مستقر در منطقه که کانون‌های اصلی انتشار فلوراید در محیط را تشکیل می‌دهند باید مورد توجه قرار گیرد. هم‌چنین به دلیل اهمیت بهداشتی حضور فلوراید در آب آشامیدنی، انجام مطالعات در رابطه با میزان بهینه آن با توجه به شرایط آب و هوایی و ارتباط آن با شاخص‌های بهداشتی ضرورت دارد.

سپاسگزاری

هزینه انجام این تحقیق از اعتبارات پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین گردیده که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]

هم‌چنین از آقای مهندس مدرس به دلیل همکاری در استفاده از نرم افزار Ilwis و از دانشجویان رشته محیطزیست خانم‌ها کیانی و کاظمی که در کارهای آزمایشگاهی و آنالیز نمونه‌ها همکاری داشتند، تشکر می‌نماید.

منابع مورد استفاده

1. Arnesen, A.K.M., G. Abrahamsen, G. Sandvik and T. Krogstad. 1995. Aluminum-smelters and fluoride pollution of soil and soil solution in Norway. Sci. Total Environ. 163: 39-53.
2. Baruah, T.C. and H.P. Barthakur. 1998. A Textbook of Soil Analysis. Vikas Publishing House, PVT Ltd., New Delhi.
3. Chernet, T., Y. Travi and V. Valles. 2001. Mechanism of degradation of the quality of natural water in the lakes region of the Ethiopian Rift Valley. Wat. Res. 35 (12): 2819-2832.
4. Evdokimova, G.A. 2001. Fluorine in the soils of the White Sea Basin and bioindication of pollution. Chemosphere 42: 35-43.
5. Fornasiero, R.B. 2001. Phytotoxic effects of fluorides. Plant Sci. 161: 979-985.
6. Fung, K.F., Z.Q. Zhang, J.W.C. Wong and M.H. Wong. 1999. Fluoride contents in tea and soil from tea plantations and the release of fluoride into tea liquor during infusion. Environ. Pollut. 104: 197-205.
7. Genxu, W. and C. Guodong. 2001. Fluoride distribution in water and the governing factors of environment in arid North-West China. J. Arid Environ. 49: 604-614.
8. Greenwood, N.N. and A. Earnshaw. 1985. Chemistry of the Elements. Pergamon Press Ltd., Oxford, England.
9. Haidouti, C. 1995. Effects of fluoride pollution on the mobilization and leaching of aluminum in soils. Sci. Total Environ. 166: 157-160.
10. Hammer, M.J. 1986. Water and Wastewater Technology. Prentice-Hall International Inc., 2nd ed., New Jersey.
11. Horner, J.M. and J.N.B. Bell. 1995. Effects of fluoride and acidity on early plant growth. Agric. Ecosys. Environ. 52: 205-211.
12. Jin, C., Z. Yan, L. Jianwei, X. Ruodeng and D. Sangbu. 2000. Environmental Fluoride Content in Tibet. Environ. Res. Section A. 83: 333-337.
13. Klumpp, A., M. Domingos and G. Klumpp. 1996. Assessment of the vegetation risk by fluoride emissions from fertiliser industries at Cubatão, Brazil. Sci. Total Environ. 192: 219-228.
14. Langer, U. and T. Günther. 2001. Effects of alkaline dust deposits from phosphate fertilizer production on microbial biomass and enzyme activities in grassland soils. Environ. Pollut. 112: 321-327.
15. Lindsay, W.L. 1992. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons Inc., New york.
16. Loganathan, P., M.J. Hedley, G.C. Wallace and A.H.C. Roberts. 2001. Fluoride accumulation in pasture forages and soils following long-term applications of phosphorus fertilizers. Environ. Pollut. 115: 275-282.
17. Malde, M.K., A. Maage, E. Macha, K. Julshamn and K. Bjorvatn. 1997. Fluoride content in selected food items from five areas in East Africa. J. Food Comp. and Anal. 10 (3): 233-245.
18. Pais, I. and J.B. Jones, Jr. 1997. The Handbook of Trace Elements. St. Lucie Press., Boca Raton, Florida.
19. Patra, R.C., S.K. Dwivedi, B. Bhardwaj and D. Swarup. 2000. Industrial fluorosis in cattle and buffalo around Udaipur. Indian Sci. Total Environ. 253: 145-150.
20. Radojevic, M. and V.N. Bashkin. 1999. Practical Environmental Analysis. Royal Society of Chemistry, UK.
21. Rai, K., M. Agarwal, S. Dass and R. Shrivastav. 2000. Fluoride: Diffusive mobility in soil and some remedial measures to control its plant uptake. Current Sci. 79 (9): 1370-1373.
22. Singh, V., M.K. Gupta, P. Rajwanshi, S. Mishra, S. Srivastava, R. Srivastava, M.M. Srivastava, S. Prakash and S. Dass. 1995. Plant uptake of fluoride in irrigation water by ladyfinger (*Abelmorchus esculentus*). Fd. Chem. Toxic. 33 (5): 399-402.
23. 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. Environ. Intern. 26: 341-346.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.4.1]