

بررسی میزان فلوتور در تعدادی از خاک‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک

رامین سلماسی¹

استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز - ایران؛

raminsalmasi@yahoo.com

دریافت: 1400/2/7 و پذیرش: 1400/7/4

چکیده:

هرچند فلوتور عنصری ضروری برای انسان و حیوان می‌باشد ولی بالا بودن غلظت این عنصر در خاک می‌تواند برای حیوان‌های چراکننده و گیاهان آسیب‌زا باشد. در حیوان‌های چراکننده، فرودادن و گوارش خاک هنگام چرا به‌عنوان راهی برای سمناکی و مسمومیت احتمالی فلوتور در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، دامنه‌ی غلظت‌های فلوتور کل و محلول و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های برگزیده‌ی خاک‌های اطراف شهرستان اهر در استان آذربایجان شرقی بررسی شده‌است. برای اجرای این پژوهش، تعداد 21 نمونه خاک سطحی از مناطق اطراف شهرستان اهر برداشت و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و غلظت‌های فلوتور کل و فلوتور محلول آن‌ها اندازه‌گیری شد. یافته‌های به‌دست آمده نشان داد که غلظت فلوتور کل و فلوتور قابل استخراج با کلراید کلسیم خاک‌ها در دامنه‌های به‌ترتیب 574/3 - 204/7 و 0/7 - 5/9 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و با میانگین‌های به‌ترتیب 334/8 و 4/1 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک قرار داشت که نشان میداد این خاک‌ها از نظر فلوتور در گروه خاک‌های غیرآلوده می‌باشند. غلظت فلوتور کل با فسفر کل، کربن آلی و اکسیدهای آلومینیوم همبستگی معنی‌دار نشان داد. در حالی‌که فلوتور قابل استخراج با کلراید کلسیم فقط با کربن آلی همبستگی معنی‌دار داشت. غلظت‌های برآورده شده فلوتور در محلول خاک‌ها بسیار پایین‌تر از غلظت‌های بحرانی فلوتور برای ایجاد سمیت در گیاهان (0/5 - 0/3 میکروگرم بر میلی‌لیتر برای جوی دوسر و 32 میکروگرم بر میلی‌لیتر برای گوجه‌فرنگی) بود. با در نظرگیری میزان طبیعی بلع و فرودادن خاک به‌وسیله‌ی دام، مسمومیت این عنصر برای آن‌ها خیلی ضعیف به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: فلوتور قابل استخراج، فلوتور کل خاک، غلظت بحرانی، مسمومیت فلوتور.

¹ نویسنده مسئول، آدرس: تبریز - مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، بخش تحقیقات آبخیزداری

مقدمه

فلوتور کل و میزان مصرف خاک بستگی دارد. از طرف دیگر فراهمی و پویایی فلوتور خاک و در نتیجه خطر سمیت آن برای گیاه، بازتاب غلظت فلوتور محلول می‌باشد (اوسمان، 2018).

حلالیت فلوتور خاک از طریق جذب سطحی فلوتور به‌وسیله‌ی اجزای معدنی و اسیدیته‌ی خاک اداره می‌شود (لوگاناتان و همکاران، 1983؛ مک‌لافلین، 2001). برای مثال، حلالیت فلوتور برای خاک‌های استرالیا در دامنه pH 6 تا 6/5 کمترین میزان بود و این حلالیت برای هر دو pH کمتر از 6 و بیشتر از 6/5، افزایش نشان داد (اوله اوولایی و همکاران، 2015). حلالیت بالای فلوتور در شرایط اسیدی پیامد تشکیل کمپلکس‌های AIF و در شرایط قلیایی در نتیجه‌ی واجذب یون فلوتور آزاد به‌وسیله‌ی سطوح دارای بار منفی می‌باشد. الگوهای مشابه از تاثیر pH بر حلالیت فلوتور برای سری‌های گوناگون خاک‌های سطحی انگلستان (ویدوسان، 1971) و پنسیلوانیا در آمریکا (گیلین و جانسون، 1980) نیز گزارش شده است. بررسی‌های انجام گرفته نشان دادند

اکسیدهای آلومینیوم نسبت به کانی‌های دیگر جذب بالایی از فلوتور را داشتند و کانی‌های 2:1 و گوئیتیت تنها اندازه‌های خیلی کمی از فلوتور را جذب نمودند (باور و هجر، 1967). نقش کنترلی کانی‌های حاوی فلوتور و جاذب‌های سطحی آن بر غلظت فلوتور محلول بسیار پیچیده می‌باشد (پیکرینگ، 1985). دلایل متنوعی در منابع علمی برای واکنش کند فلوتور با اجزای خاک وجود دارد که چرایی عمده آن تثبیت این عنصر به‌وسیله‌ی یک یا بیشتر اجزای خاک می‌باشد. از جمله سازوکارهای تثبیت فلوتور در خاک می‌توان به‌نگهداشت مکانیکی آن در محلول خاک (درون خلل و فرج ریز خاک)، ترکیب شیمیایی داخل شبکه‌ی رس‌ها و جذب سطحی از محلول بر روی سطوح کلونیدها اشاره نمود. این رفتار فلوتور تشابه بسیاری با سایر عناصر همانند فسفر (بارو، 1986) و فلزات سنگین (اسپوزیتو، 1989)

فلوتور عنصری ضروری برای انسان و حیوان می‌باشد، با این وجود در حیوان‌های چراکننده اثرهای زهرناکی آن بیشتر از اثرهای سودمندش می‌باشد (کلارک، 1983). بلع خاک هنگام چرا به‌عنوان مسیری برای زهرناکی احتمالی فلوتور در حیوان‌های چراکننده در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری‌که بلعیدن خاک با فلوتور زیاد، توانائی ایجاد فلوتوروزیس مزمن برای حیوان‌های چراکننده را دارد (جیسون و همکاران، 1998). فلوتور خاک از هوادیدگی سنگ‌های مادری، فعالیت آتشفشانی، تصاعد‌های کارخانه‌ها (مانند صنعت‌کاری آلومینیوم، آجر، استیل، شیشه و کود) سرچشمه می‌گیرد (کرونین و همکاران، 1998). فلوتور به‌شدت به‌وسیله‌ی ذرات خاک جذب و نگهداری می‌شود (بارو، 1986). این امر به‌نوبه‌ی خود موجب کاهش جذب آن به‌درون سلول‌های گیاهی می‌شود (سینگ، 1990). لوگاناتان و همکاران (2001) گزارش کردند بعد از کاربرد بیش از اندازه‌ی کود فسفره، غلظت فلوتور کل در خاک سطحی از 133 به 226 میکروگرم بر گرم خاک افزایش یافت، این در حالی بود که غلظت فلوتور علوفه‌ی مرتعی افزایش قابل توجهی پیدا نکرد. غلظت فلوتور علوفه‌ی مرتع به‌طور عموم 100 برابر کمتر از این غلظت در خاک سطحی است (لوگاناتان و همکاران، 1983؛ آدریانو، 2001)، از این‌رو جذب این عنصر به‌وسیله‌ی حیوان‌های چراکننده از طریق مصرف علوفه مرتع، خیلی پایین‌تر از جذب از طریق بلع تصادفی خاک است (لوگاناتان و همکاران، 1983؛ مک‌لافلین، 2001).

در صورتی‌که حلالیت فلوتور خاک بالا باشد، می‌تواند بر رشد گیاه نیز تاثیرگذار (استیونس و همکاران، 1997؛ کاباتاپندیس و پندیاس، 2015). توان اصلی آسیب‌زایی ناشی از انباشت فلوتور خاک که برای جانداران وجود دارد از طریق بلع خاک به‌وسیله‌ی حیوانات چراکننده، نه مصرف علوفه مرتع که فلوتور کمی دارد، می‌باشد (لوگاناتان، 1983). این توان به‌غلظت

بررسی‌های اولیه غلظت‌های به‌نسبت بالایی از فلئوئور را در این خاک‌ها نشان داده است (سلماسی و پیروان، 1392). این سوال پیش آمد که آیا ممکن است این غلظت‌های فلئوئور، مشکلاتی را برای دام چراکننده از علوفه و گیاهان کشت‌شده در منطقه ایجاد کند یا خیر؟ از آنجایی‌که آسیب ناشی از سمی بودن فلئوئور خاک برای حیوان‌ها به‌غلظت فلئوئور کل و برای گیاهان به‌غلظت فلئوئور محلول خاک بستگی دارد، در این نوشتار غلظت این دو گونه‌ی فلئوئور در خاک و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های خاک‌های منطقه ارزیابی شد.

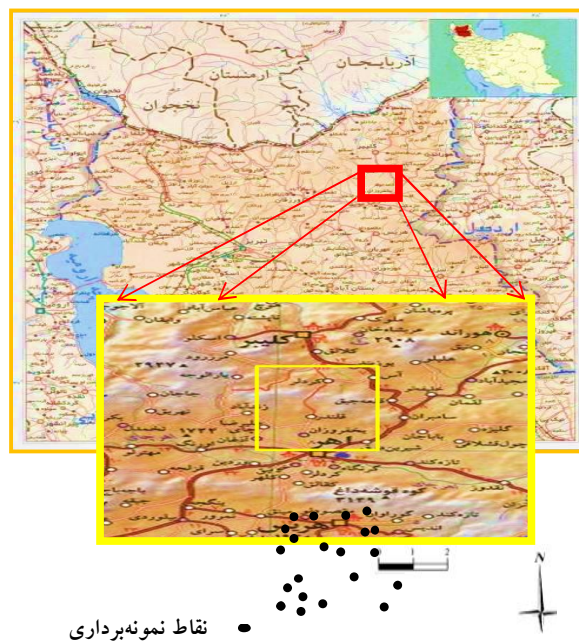
مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک

تعداد 21 نمونه خاک سطحی (عمق 0-20 سانتی-متر) به‌صورت مرکب و به‌روش نمونه‌برداری تصادفی از زمین‌های کشاورزی واقع در شمال شهرستان اهر تهیه شد (شکل 1). مناطقی برای نمونه‌برداری انتخاب شدند که پیشینه‌ی مصرف طولانی‌مدت کودهای فسفر را داشتند و به‌علت قرارگیری معدن کائولن، سنگ معدن‌های فلئوئوردار در آن مناطق به‌وفور یافت می‌شد. نمونه‌ها جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه ارسال شدند.

دارد؛ از سوی دیگر برهمکنش اجزای متشکله خاک بر روی جذب فلئوئور نیز در رفتار ناشناخته این عنصر موثر می‌باشد. پیکرینگ (1985) اثر برهمکنش اکسیدهای آلومینیم، مواد آلی و اسیدیته‌ی خاک بر روی جذب فلئوئور را بررسی نمود. گزارش او نشان داد با افزایش مواد آلی خاک، تشکیل کمپلکس‌های آلومینیم با مواد آلی (پلی‌مرهای آلومینیم) افزایش می‌یابد؛ زمانی‌که خاک اسیدی می‌شود، در نتیجه انحلال اسیدی پلی‌مرهای آلومینیم، فلئوئور نگهداری‌شده به‌وسیله‌ی ناخاصی‌های هیومیک اسیدها به‌محیط رها می‌شود.

بسیاری از مناطق ایران با زیادی فلئوئور مواجهه هستند. کیانی (1382) در منطقه اصفهان، بطالب‌لویی و همکاران (1391) در منطقه دشتستان بوشهر و سلماسی و پیروان (1392) در منطقه اهر غلظت‌های بالای فلئوئور کل گزارش کرده‌اند. از آن جایی‌که خاستگاه فلئوئور می‌تواند انسان‌زاد (ناشی از فعالیت‌های انسانی) و زمین‌زاد (ناشی از زمین‌ساخت منطقه) باشد و هر دو این شرایط در خاک‌های اطراف شهرستان اهر واقع در استان آذربایجان-شرقی وجود دارد (یعنی مصرف بالای کودهای فسفره در خاک‌ها و وجود معدن کائولن در این مناطق که فلئوئور در این نوع سنگ معدن‌ها یافت می‌شود)، از طرف دیگر



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

تجزیه آزمایشگاهی خاک‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک شامل pH در گل اشباع با به‌کارگیری دستگاه پی‌اچ‌متر (توماس سیمس، 1996)، میزان مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سومرز، 1996) و توزیع اندازه-ی ذرات به روش هیدرومتر (جی و بادر، 2002) اندازه‌گیری شدند. اکسیدهای آهن و آلومینیم به روش عصاره‌گیری با اگزالات آسکوربیک اسید (بلیک‌مور و همکاران، 1987) و فسفر کل به روش هضم با اسید پرکلریک اندازه‌گیری شدند (کو، 1996). فلوتور کل (F) خاک به روش ذوب با هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری شد: پنج گرم از خاک خشک شده را در کروزه نیکل ریخته و 10 میلی لیتر سود 10 نرمال به آن اضافه گردید. نمونه‌ها در دمای 100 درجه سلسیوس خشک گردیده و سپس به مدت 18 ساعت در دمای 475 درجه سلسیوس در کوره هضم گردید. بعد از خروج از کوره، خاکستر تولید شده در آب داغ حل شده و بعد از عبور از کاغذ صافی واتمن 42، 18 میلی لیتر اسید کلریدریک و 10 میلی لیتر محلول بافرسیترات به آن اضافه گردید تا pH محلول به 6 برسد. در نهایت حجم محلول را به 100 میلی لیتر رسانیده و پس از ترکیب شدن با نسبت 1:1 با محلول بافر تنظیم قدرت یونی کل (TISAB¹) که از افزودن اسید استیک و سیترات سدیم به آب مقطر و تنظیم pH آن در 5/2 با هیدروکسید سدیم تهیه می‌شود، به وسیله الکترود گزینشی یون فلوراید (متر هم ای جی، سوئیس) میزان فلوتور آن اندازه‌گیری شد (اید، 1982).

غلظت فلوتور قابل استخراج با کلرید کلسیم (F_{CaCl_2}) به روش زیر اندازه‌گیری شد: 16 گرم خاک با 50 میلی-لیتر کلراید کلسیم 0/01 مولار به مدت دو ساعت تکان داده شد. بعد از آن، سوسپانسیون به مدت 30 دقیقه سانتریفیوژ و سپس فیلتر گردید. غلظت فلوتور در عصاره

به‌وسیله الکترود گزینشی یون فلوراید در دو تکرار اندازه‌گیری شد (رادوجویک و بشکین، 1999).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

آزمون‌های همبستگی با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS ویرایش 25 انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در جدول 1 ارائه شده است. بافت خاک‌ها در گستره‌ی لوم تا لوم رسی قرار داشت. مقدار اکسیدهای آهن و آلومینوم در خاک‌ها کم (به ترتیب 1/3-4/0 و 3/0-3/4 درصد)؛ کربن آلی کم تا متوسط (2/6 - 0/8 درصد) و pH خنثی تا کمی قلیایی (8/1 - 6/9) بود.

غلظت فلوتور کل در خاک‌ها

غلظت فلوتور کل در خاک‌ها از 204/7 تا 574/3 میلی-گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 2). میانگین فلوتورکل در خاک‌ها 334/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که نزدیک به غلظت این عنصر در خاک‌های جهان (321 میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد

(کاپاتاپندپاس و پندیاس، 2015). زمانی که بلعیدن خاک به‌وسیله دام بیشترین اندازه (200 میلی‌گرم خاک در روز) باشد. (آدریانو، 2001)، با در نظرگیری میانگین غلظت فلوتورکل در منطقه مورد مطالعه، روزانه به طور متوسط 67 میلی‌گرم فلوتور می‌تواند وارد بدن دام گردد که بیشینه‌ی آن برای هر گرم وزن بدن دام یک میکروگرم فلوتور خواهد بود (میانگین وزن بدن دام، 70 کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود). بنابراین از آنجایی که مقادیر بالاتر از 100 میکروگرم فلوتور بر گرم وزن بدن، برای بیشتر پستانداران آسیب‌زا است (کاپاتاپندپاس و پندیاس، 2015)، در خاک‌های منطقه‌ی مورد مطالعه احتمال سمیت فلوتور برای دام بسیار ضعیف خواهد بود، حتی اگر چرای دام در خاک‌های با بالاترین مقدار فلوتور کل (574 میلی‌گرم در کیلوگرم) انجام شود.

¹ Total ionic strength adjustment buffer

غلظت فلوئور قابل استخراج با کلراید کلسیم در خاک‌ها

غلظت فلوئور قابل استخراج با کلراید کلسیم در دامنه‌ی 5/9 - 0/7 با میانگین 4/1 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که این میانگین در دامنه‌ی غلظت این عنصر در خاک‌های غیرآلوده (0/05 تا 13 میلی‌گرم بر کیلوگرم) قرار دارد و از خاک‌های دارای غلظت‌های بالای آن (62/74- 11/68 میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است (آدریانو، 2001). پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه تاثیر فلوئور بر رشد گیاه، متمرکز بر مطالعه‌هایی بوده است که در محلول‌های

کشت گیاه انجام شدند. استیونس و همکاران (1997) گزارش کردند رشد بخش هوایی و ریشه گوجه‌فرنگی هنگامی که فعالیت یون فلوراید محاسبه شده با برنامه GEOCHEM-PC در محلول بیشتر از 1473 میکرومولار (تقریباً معادل غلظت 1680 میکرومولار) بود، محدود شد. با این حال، فعالیت یون فلوراید تا 5130 میکرومولار (تقریباً معادل غلظت 6736 میکرومولار) هیچ تأثیری بر وزن خشک

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره نمونه خاک	pH	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)	اکسیدهای آهن (%)	اکسیدهای آلومینیوم (%)
1	6/9	12/8	45/4	41/8	1/2	1/3	2/2
2	6/9	22/2	42/4	35/4	1/0	0/9	3/4
3	7/1	23/3	39/3	37/4	1/1	1/0	0/4
4	7/2	31/1	32/5	36/4	1/2	1/3	0/3
5	7/3	27/0	41/1	31/9	2/5	0/8	0/9
6	7/0	29/0	36/4	34/6	1/5	0/6	0/8
7	7/5	29/8	37/7	32/5	1/4	0/6	0/5
8	7/8	35/3	29/8	34/9	2/6	0/7	2/4
9	7/9	40/7	19/8	39/5	1/9	0/7	3/3
10	7/8	37/8	27/8	34/4	2/0	0/9	2/4
11	8/0	40/2	31/7	28/1	1/4	0/7	1/4
12	8/1	37/6	29/7	32/7	1/7	0/5	3/1
13	7/6	39/6	30/7	29/7	2/2	0/4	1/8
14	7/1	29/2	40/4	30/4	1/9	0/6	2/3
15	7/7	35/7	36/6	27/7	2/0	0/4	3/4
16	7/8	40/1	29/6	30/3	1/4	0/8	2/8
17	7/7	38/7	32/5	28/8	1/8	0/6	1/9
18	7/3	34/6	39/8	25/6	1/4	0/8	3/1
19	7/9	39/7	29/9	30/4	0/8	0/5	2/6
20	7/8	38/8	38/6	22/6	1/9	0/6	2/9
21	7/4	38/7	39/8	21/5	1/9	0/6	2/8
میانگین	7/3	25/6	38/9	34/1	1/7	0/9	2/1
میانه	7/1	27/0	37/7	32/5	1/7	0/8	2/4
کمینه	6/9	12/8	19/8	21/5	1/0	0/4	3/4
بیشینه	8/0	40/7	45/4	41/8	2/6	1/3	0/3
انحراف استاندارد	0/1	8/9	6/6	4/4	0/3	0/1	0/1

بخش هوایی یا ریشه جو دوسر نداشت، نتیجه فوق بیانگر این است که گوجه فرنگی حساسیت بیشتری به سمیت فلوئور دارد. پولومسکی و همکاران (1982) نتیجه

گرفتند میزان فلوئور محلول خاک‌های اندازه گرفته شده آن‌ها، در حدود سه درصد فلوئوری بود که با آب عصاره-گیری کرده بودند. مک لافلین (2001) گزارش کرد غلظت

برآوردی فلوئور محلول در خاک‌ها در حدود 0/12 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر می‌باشد که به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از غلظت‌های بحرانی گونه‌های سمی برای گیاهان شامل F^- و AlF_2^{2+} (0/5 - 0/3 میکروگرم بر میلی‌لیتر برای بلوط و 32 میکروگرم بر میلی‌لیتر برای گوجه‌فرنگی، استیونس و همکاران، 1997) است. از این‌رو به‌نظر می‌رسد در خاک‌های منطقه مطالعه شده غلظت فلوئور محلول برای گیاهان سمی باشد.

فلوئور محلول در خاک‌های مورد بررسی نه درصد غلظت فلوئور قابل استخراج با کلراید کلسیم بود. در پژوهش حاضر نمونه‌های خاک با کلراید کلسیم عصاره‌گیری شدند، همین میزان (9 درصد) برای تخمین غلظت فلوئور محلول در خاک‌های این پژوهش در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر برای خاک‌های این پژوهش، غلظت کل فلوئور محلول در کلراید کلسیم در عدد 0/09 ضرب شد تا به‌این ترتیب برآوردی از غلظت گونه‌های فلوئور محلول خاک (نه فلوئور عصاره‌گیری شده با آب) بدست آید (مک لافلین، 2001). این محاسبه نشان داد غلظت

جدول 2- غلظت فلوئور کل و فلوئور قابل استخراج با کلراید کلسیم (میکروگرم بر گرم خاک) در خاک‌های مورد بررسی

گونه فلوئور		
F_{CaCl_2}	F_t	شماره نمونه خاک
2/8	298/8	1
4/5	309/8	2
6/7	401/6	3
5/3	286/3	4
0/7	204/7	5
3/6	520/6	6
4/6	399/4	7
3/2	401/6	8
1/9	406/6	9
6/0	386/8	10
5/9	574/3	11
3/6	520/3	12
4/8	470/4	13
4/9	379/5	14
3/4	387/5	15
4/6	387/8	16
6/1	404/4	17
3/5	238/7	18
4/6	320/4	19
2/7	308/6	20
4/5	450/1	21
4/1	334/8	میانگین
3/8	311/5	میانه
0/7	238/7	کمینه
6/7	574/3	بیشینه
1/0	98/0	انحراف استاندارد

رابطه‌ی ویژگی‌های خاک با فلوتور کل و فلوتور قابل

استخراج با کلراید کلسیم

فلوتور کل با فسفر کل، کربن آلی و اکسیدهای آلومینیوم همبستگی مثبت معنی‌دار ($r=0/71$)، استخراج با کلراید کلسیم فقط با کربن آلی همبستگی مثبت معنی‌دار ($r=0/52$) داشت (جدول 3).

فلوتور کل و فسفر کل، کربن آلی و اکسیدهای آلومینیوم همبستگی مثبت معنی‌دار (به ترتیب $r=0/71$)،

جدول 3- ضرایب همبستگی بین فلونور کل و فلونور قابل استخراج با کلراید کلسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) با ویژگی‌های خاک

شکل فلونور	فسفر کل	pH	کربن آلی	اکسیدهای آهن	اکسیدهای آلومینیوم
F _t	0/711***	- 0/258	0/621***	- 0/310	0/456**
F _{CaCl2}	0/322	- 0/210	0/521**	- 0/311	0/245

*** و ** و * ارزش‌های احتمال به ترتیب 0/05، 0/01 و 0/001 را نشان می‌دهند.

آلی جذب سطحی شده‌اند و با اکسیدهای آلومینیوم پیوند دارد (بیکرینگ، 1985).

ارتباط بالایی بین غلظت فلوتور کل و میزان رس خاک (92 درصد) گزارش شده است (کرونین، 2000، اومتی و جونز، 1997a). اومتی و جونز (1997a) دریافتند که غلظت فلوتور کل در 201 نمونه خاک سطحی از ایلینوز بالاترین همبستگی ($r = 0/924$) را با میزان رس و بعد از آن با مقدار ماده آلی ($r = 0/596$) داشت. با این وجود، در مطالعه‌ای دیگر در زمینه جذب فلوراید به-وسیله‌ی خاک‌های ایلینوز گزارش شد که میزان اکسیدهای آلومینیوم بالاترین همبستگی ($r = 0/690$) را با ظرفیت جذب سطحی فلوراید نشان داد و بعد از آن میزان رس ($r = 0/464$) قرار داشت (اومتی و جونز، 1997 b). با این حال، ظرفیت جذب فلوراید با مواد آلی همبستگی نداشت. در این پژوهش همچنین گزارش شد که مواد آلی و اکسیدهای آلومینیوم همبستگی معنی‌داری با غلظت فلوتور کل داشتند، ولی میزان رس (با وجود داشتن گستره‌ی زیاد در این خاک‌ها) رابطه‌ی معنی‌داری با این غلظت فلوتور کل نشان نداد. این نتایج نشان می‌دهند که نقش نوع رس (برای مثال اکسیدهای آلومینیوم) و برهمکنش آن‌ها با دیگر ویژگی‌های خاک مانند مواد آلی ممکن است در کنترل نگره‌داشت فلوتور از میزان کل رس در خاک‌های مورد بررسی مهم‌تر بوده باشد.

همبستگی مثبت معنی‌دار به دست آمده بین غلظت فلوتور کل و فسفر کل خاک (جدول 3)، نشان داد ارتباطی بین مصرف کود فسفر و انباشت فلوتور در خاک-ها وجود دارد. با توجه به این که کود فسفر سالیانی است که به خاک‌های کشاورزی منطقه داده شده است به نظر می‌رسد غلظت فلوتور کل با کاربرد کودهای فسفوری در این خاک‌ها مرتبط باشد (مارشنر و رنجل، 2007). با این حال ممکن است همبستگی فلوتور کل با فسفر کل به دلیل مواد مادری خاک‌ها به ویژه حضور کانی فلوتورآپاتیت باشد. در همین راستا، لوگاناتان و همکاران (1983) گزارش کردند خاک‌هایی که بر روی خاکسترهای آتشفشانی تشکیل شدند دارای غلظت‌های فلوتور بیشتری (180-175 میکروگرم بر گرم) نسبت به - خاک‌های تشکیل شده بر روی مواد رسوبی (133-43 میکروگرم بر گرم) بودند. با این که اومتی و جونز (1997a) رابطه‌ای بین غلظت فلوتور کل و مواد مادری خاک‌های سطحی کشت شده و کشت نشده ایلینوز مشاهده نکردند، وجود سنگ‌های گرانیتی و آندزیتی فلوتوردار (وجود معدن کائولن در منطقه‌ی مورد بررسی) می‌تواند دلیل بالا بودن غلظت این عنصر در خاک‌های منطقه باشد. همبستگی بین غلظت فلوتور کل با مقدار اکسیدهای آلومینیوم و کربن آلی دلالت بر این دارد که فلوتور به‌طور قوی با پلیمرهای آلومینیوم که بر روی مواد

میکروگرم فلئور بر گرم خاک) است، مدیریت مناسب چرای دام و کود (به‌ویژه با در نظرگیری دو عامل pH و مواد آلی خاک) به‌منظور پیشگیری از آسیب‌زائی فلئور باید مورد توجه قرار گیرد. غلظت فلئور محلول در خاک‌ها بسیار کمتر از غلظت‌هایی بحرانی برای ایجاد سمیت در گیاهان بود. با توجه به ضرایب همبستگی، فسفر کل و بعد از آن میزان مواد آلی و اکسیدهای آلومینیوم بیشتر تغییرات فلئور کل در خاک‌ها را توجیه نمودند. فلئور قابل استخراج با کلراید کلسیم همبستگی بالایی با کربن آلی خاک نشان داد. با توجه به نتایج این پژوهش، بررسی‌های بیشتر در زمینه حرکت کند فلئور خاک به آب‌های زیرزمینی با تمرکز بر pH و کربن آلی محلول خاک پیشنهاد می‌شود.

همبستگی بین غلظت فلئور کل و فلئور عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم با مقدار اکسیدهای آلومینیوم و کربن آلی دلالت بر این دارد که فلئور به‌طور قوی با پلیمرهای آلومینیوم که بر روی مواد آلی جذب سطحی شده‌اند و با اکسیدهای آلومینیوم پیوند دارد (پیکرینگ، 1985).

نتیجه‌گیری

غلظت کل فلئور در نمونه‌های خاک بخش‌های شمالی شهرستان اهر در دامنه‌ی 204/7 تا 574/3 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک قرار دارد که نزدیک به غلظت این عنصر در خاک‌های جهان می‌باشد. با توجه به غلظت فلئور کل در خاک‌های منطقه‌ی مورد مطالعه احتمال سمیت فلئور برای دام بسیار ضعیف خواهد بود. با این وجود در خاک‌هایی که غلظت فلئور کل بسیار بالا (بیش از 500

فهرست منابع:

1. بطالبوبی، ص. و مر، ف. 1391. زمین‌شیمی زیست محیطی و منشا فلورید در منطقه پشت کوه دشتستان. رساله دکترای دانشگاه شیراز.
2. سلماسی، ر. و پیروان، ح. ر. 1392. بررسی منابع آلودگی آب به فلئور در حوضه‌ی آبخیز اهرچای، مطالعه موردی: روستای قلندر از توابع شهرستان اهر. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
3. کیانی ن. 1382. بررسی میزان فلئور در نمونه‌های خاک و تعدادی از محصولات زراعی منطقه اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
4. Adriano, D. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. New York: Springer-Verlag.
5. Barrow, N. 1986. Testing a mechanical model. 1. The effects of time and temperature on the reaction of fluoride and molybdate with a soil. Journal of Soil Science 37: 265-75.
6. Bower, C., and J. Hatcher. 1967. Adsorption of fluoride by soils and minerals. Soil Science 103: 151-54.
7. Clark, D.J. 1983. The Mineral Requirements of Grazing Ruminants. New Zealand Society of Animal Production, Keeling and Mundy Ltd, Palmerston North, New Zealand, 324p.
8. 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.
9. Eyde, B. 1982. Determination of fluoride in soil and plant material with an ion-selective electrode. Fresenius J. Anal. Chem. 311: 19-22.
10. Geeson, N.A., P.W. Abraha, M.P. Murphy, M.P., and Thornton, I., 1998. Fluorine and metal enrichment of soils and pasture herbage in the old mining areas of Derbyshire, UK. Agriculture, Ecosystems and Environmental Pollution 68: 217-31.

11. Gee, G.W., and D. Or, 2002. Particle-Size Analysis. In: Dane JH and Topp CG. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Physical Methods. Soil Science Society of America Book Ser. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp.255-293.
12. Gilpin, L., and A. Johnson. 1980. Fluorine in agricultural soils of southeastern Pennsylvania. Soil Science Society of America Journal 44: 255-78.
13. Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 2015. Trace elements in soils and plants. CRC Press. pp. 634.
14. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Ser. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp.330-339.
15. Loganathan, P., M.J. Hedley, G. Wallace, and A. Roberts. 2001. Fluoride accumulation in pasture forages and soils following long term applications of phosphorus fertilizers. Environmental Pollution 115: 275–82.
16. Loganathan, P., M.J. Hedley, N.D. Grace, J. Lee, S.J. Cronin, and N. Bolan. 1983. Fertiliser contaminants in New Zealand grazed pasture with special reference to cadmium and fluorine: a review. Australian Journal of Soil Research 41: 501-32.
17. Marschner, P., Rengel, Z. 2007. Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Springer Verlag.
18. McLaughlin, M.J., D. P. Stevens, D. Keerthisinghe, J. Cayley, and A.M. Ridley. 2001. Contamination of soil with fluoride by long-term application of superphosphates to pastures and risk to grazing animals. Australian Journal of Soil Research 39: 627–40.
19. Olu-Owolabi, B., P. Diagboya, and K. Adebowale. 2015. Sorption and desorption of fluorene on five tropical soils from different climes. Geoderma 239-240: 179–85.
20. Omueti, J., and R. Jones. 1997a. Regional distribution of fluorine in Illinois soils. Soil Science Society of America Journal 41: 771-74.
21. Omueti, J., and R. Jones. 1977b. Fluoride adsorption by Illinois soils. Journal of Soil Science 288: 564-72.
22. Osman, K. 2018. Management of Soil Problems. Chittagong, Bangladesh, pp. 421.
23. Pickering, W. 1985. The mobility of soluble fluoride in soils. Environmental Pollution 9: 281-308.
24. Polomski J., Fluhler H., and P Blaser. (1982). Accumulation of airborne fluoride in soils. *Journal of Environmental Quality* 11, 457–461.
25. Radojevic, M. and V.N. Bashkin. 1999. Practical Environmental Analysis. Royal Society of Chemistry, UK.
26. Singh, B. 1990. Uptake of cadmium and fluoride uptake by oats and rape from phosphate fertilisers in two different soils. Norwegian Journal of Agricultural Science 4: 239–49.
27. Sposito G. The Chemistry of Soils. 1989. Oxford University Press.
28. Stevens, D.P., M. McLaughlin, and A. Alston. 1997. Phytotoxicity of the fluoride ion and its uptake from solution culture by *Avena sativa* and *Lycopersicon esculentum*. Plant and Soil 200: 119–125.
29. Sumner, M.E. 1996. Cation exchange capacity. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Ser. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 380-401.
30. Thomas Sims, J. 1996. pH determination. In: Sparks, DL. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 403–414.
31. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Organic mater. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Ser. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 375-390.
32. Widdowson, A. 1971. Soil fluorine. Journal of Soil Science 22: 210-22.

Investigating Fluorine Content of Some Soils and Their Relationship with Soil Properties

R. Salmasi¹

Watershed Management Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Tabriz, Iran; E-mail: raminsalmasi@yahoo.com

Received, April, 2021, and Accepted: September, 2021

Abstract

Fluorine (F) is a necessary element for human and plant, however, high concentration of this element poses a risk to grazing animals and plants. Soil ingestion has been highlighted as a pathway for causing possible F toxicity in grazing animals. In this paper, total and soluble F concentrations and their relationships with selected soil properties in soils around Ahar City, East Azarbaijan Province, were studied. For this purpose, 21 composite soil samples were taken from around Ahar City and their major characteristics, total F concentration, and soluble F were measured. Results showed that the F_t and F_{CaCl_2} concentrations ranged from 204.7- 574.3 and 0.7- 5.9 mg F kg⁻¹soil with means of 334.8 and 4.1 mg F kg⁻¹soil, respectively. These values were well within the range of non-polluted soils. Total fluorine showed significant correlation with total P concentrations, organic matter, and Al oxides contents of the studied soils; whereas such correlations were observed for total and free soluble fluorine concentrations with organic matter and pH, respectively. Concentration of F species in soil solution was much less than the critical concentrations of F for plants (0.3-0.5 µg/mL for oat and 32 µg/mL for tomato). In general, it seems that at normal soil ingestion rates, the soils are unlikely to cause F toxicity to grazing animals.

Keywords: Extractable fluoride, Total soil fluoride, Critical concentration, Fluorine Toxicity.

¹ Corresponding author: Watershed Management Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Tabriz