



Short Paper
مقاله کوتاه

بررسی جذب سزیم و اثر متقابل آن با پتاسیم در دو گیاه ذرت و سیب‌زمینی

مرضیه قوامی فر^۱، حسین ترابی گل سفیدی*^۱، علی بهرامی سامانی^۲، ابراهیم مقیسه^۳
۱. گروه خاکشناسی، دانشکده‌ی علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، صندوق پستی: ۱۵۹-۱۸۱۵۱، تهران - ایران
۲. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران
۳. پژوهشکده‌ی کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۴۹۸-۳۱۴۸۵، کرج - ایران

چکیده: یکی از محصولات ناشی از شکافت هسته‌ای، ^{137}Cs است و به دلیل گسیل پرتو گاما پرتو گامای پرتوگامای همراه با فروپاشی و نیمه عمر طولانی، یکی از مهم ترین هسته‌های پرتوزای محیطی به شمار می‌رود که می‌تواند با ورود به چرخه‌ی غذایی، سلامت انسان را در معرض خطر جدی قرار دهد. پتاسیم نیز یکی از عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان است که دارای شعاع هیدراته‌ی مشابه با سزیم است و در نتیجه این دو عنصر ممکن است در خاک و گیاه رفتار مشابهی داشته باشند. در این پژوهش به منظور بررسی رابطه‌ی بین پتاسیم و سزیم در خاک و گیاه، و بررسی توانمندی جذب سزیم در گیاهان، آزمایش گلدانی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه‌ی بلوک کامل تصادفی با دو گیاه سیب‌زمینی اکبری (*Solanum Tuberosum*) و ذرت دندان اسبی (*Zea mays L. var. indentata*) در سه سطح ^{133}Cs (۰، ۱۷ و 34 mg/kg در خاک از منبع نترات سزیم)، سه سطح پتاسیم (۰، 22.5 mg/kg و 45 mg/kg در خاک از منبع سولفات پتاسیم)، حاوی 6 kg خاک در هر گلدان با سه تکرار صورت گرفت. نتایج نشان داد که اثر نوع گیاه و تیمارهای سزیم و پتاسیم بر محتوای سزیم گیاه، معنی‌دار هستند ($P < 0.01$). میانگین غلظت سزیم جذب شده در ذرت و سیب‌زمینی به ترتیب 55.29 mg/kg و 9.15 mg/kg ماده‌ی خشک بود. با افزایش مقدار سزیم به 17 و 34 mg/kg خاک، غلظت سزیم گیاه به ترتیب 227% و 537% نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. اثر متقابل تیمارهای سزیم و پتاسیم در محتوای سزیم گیاه معنی‌دار شد ($P < 0.01$). براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که افزایش مقدار پتاسیم مازاد بر نیاز گیاه در تیمارهای 22.5 و 45 mg/kg پتاسیم در خاک، باعث کاهش جذب سزیم در گیاه به ترتیب به میزان 53% و 37% نسبت به تیمار صفر پتاسیم شد.

کلیدواژه‌ها: ^{133}Cs ، پتاسیم، نترات سزیم، هسته‌های پرتوزای محیطی

Study of Caesium Uptake and its Interaction Effect with Potassium in Corn and Potato

M. Ghavamifar¹, H. Torabi Golsefidi*¹, A. Bahrami Samani², E. Moghiseh³

1. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Science, Shahed University, P.O.Box: 18151-159, Tehran-Iran

2. Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran

3. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 31485-498, Karaj - Iran

Abstract: ^{137}Cs is one of the products of nuclear fission. Due to its energetic gamma-ray emission along with the decay and long half-life, it is one of the most important environmental radionuclides. Transfer of radionuclides from air, soil and freshwater to the foodchain of the mankind will endanger the human health. Potassium, as an essential macronutrient for plants due to the similarity of its hydrated radius to that of the caesium, has the similar behavior in soil and plant. So, in this study, the relationship between caesium and potassium in soil and plant and the ability of caesium uptake was investigated. A pot experiment in a factorial design, based on randomized complete block, was performed with two plant species; Dent corn (*Zea mays L. var. indentata*), Akbari potato (*Solanum Tuberosum*), 3 levels of ^{133}Cs (0, 17 and 34 mgkg^{-1} of soil from caesium nitrate) and 3 levels of potassium (0, 22.5 and 45 mgkg^{-1} of soil from potassium sulfate), containing 6kg soil per pot with three repeats. The results showed that the effects of the plant species, caesium and potassium treatments are significant ($P < 0.01$). The average amount of caesium in corn and potato were, respectively, 29.55 and 9.15 mgkg^{-1} dry matter. By increasing the amount of caesium to 17 and 34 mgkg^{-1} of soil, increased the plant's absorption of caesium by 227% and 537%, respectively, compared with the controlled one. The interaction effect of caesium and potassium treatments in the amount of caesium of the plant was significant ($P < 0.01$). The results showed that the increase of the potassium in excess of the plants' need in 22.5 and 45 mgkg^{-1} of soil, the treatment of potassium has reduced the caesium uptake by 53% and 37%, respectively, compared with the controlled one.

Keywords: ^{133}Cs , Potassium, Caesium Nitrate, Environmental Radionuclides



۱. مقدمه

با افزایش روز افزون استفاده از دانش و فناوری هسته‌ای و بهره‌برداری از تأسیسات مرتبط با آن در دهه‌های اخیر، انتشار عناصر پرتوزای حاصل از این فعالیت‌ها یکی از نگرانی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. فعالیت‌هایی چون تأسیس نیروگاه‌های اتمی، آزمایش‌های سلاح‌های هسته‌ای، جنگ‌ها و حوادث اتمی باعث ورود عناصر پرتوزا به جو زمین می‌شود. این عناصر، ایزوتوپ‌های ناپایدار هستند که برای رسیدن به پایداری، همراه با گسیل پرتوهای مختلف، فروپاشی می‌کنند. این پرتوهای گسیل شده‌ی پرتوزا برای سلامت انسان مضر بوده و سرطان‌زا هستند. در بین هسته‌های پرتوزا، ^{137}Cs با نیمه‌عمر 30.17 y ، مدت زمان بیش‌تری نسبت به ^{131}I ، ^{95}Zr ، ^{134}Cs و ^{89}Sr در محیط باقی می‌ماند. علاوه بر این، به دلیل حلالیت زیاد و تشابه فیزیکی - شیمیایی سزیم به پتاسیم، بررسی و مطالعه‌ی آن اهمیت بیش‌تری دارد [۱]. این رادیوایزوتوپ با گسیل ذره‌ی بتا و پرتوگاما با انرژی 0.19 MeV و 0.60 MeV (به ترتیب) فروپاشی می‌کند و به ^{137}Ba پایدار تبدیل می‌شود [۲]. سزیم پرتوزا همراه با سایر ذرات، هزاران کیلومتر در هوا جابه‌جا، و با نیروی جاذبه‌ی زمین یا بارش‌های جوی، جذب خاک محیط رشد گیاهان می‌شود. پارامترهایی از قبیل pH، کاتیون‌های رقیب، قدرت یونی، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار و نوع کانی‌های رسی می‌توانند وضعیت سزیم در خاک را تحت تأثیر قرار دهند [۳]. کانی‌های رسی خاک به دلیل بار منفی خود، کاتیون‌ها را جذب، و از ورود آن به محلول خاک جلوگیری می‌کنند. سزیم پرتوزا به دلیل شعاع هیدراته‌ی کوچک خود، قدرت بیش‌تری نسبت به کاتیون‌هایی مثل کلسیم و منیزیم دارد. هم‌چنین قدرت نسبتاً برابر با کاتیون‌های پتاسیم، آمونیم و رویدیم (که شعاع هیدراته‌ی همگی آن‌ها تقریباً نزدیک به شعاع هیدراته سزیم است) برای جذب روی کانی‌هایی مانند میکا دارد [۴، ۵]. در بررسی عوامل مؤثر بر جذب ^{137}Cs ، ^{90}Sr و ^{60}Co ، با دو گیاه ذرت و هویج در خاک‌های فرالسول، نیتی‌سول و اکریسول برزیل، نشان داده شده است که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتقال سزیم به گیاه، پتاسیم تبادلی، pH، کربن آلی و اکسیدهای آهن خاک هستند، در حالی که برای ^{90}Sr کلسیم تبادلی و pH خاک، و برای ^{60}Co اکسیدهای منگنز خاک مهم‌ترین عوامل

بوده‌اند [۶]. هم‌چنین سزیم پرتوزای موجود در محلول خاک ممکن است با آبشویی از خاک شسته، یا جذب گیاه شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که انتقال این هسته‌ی پرتوزا در خاک بسیار کند است و می‌تواند در ناحیه‌ی ریشه برای مدت طولانی باقی بماند، بنابراین آلودگی سزیم پرتوزا در آب‌های زیرزمینی عموماً وجود ندارد [۷، ۲]. مقدار سزیمی که گیاهان از خاک جذب می‌کنند، بسته به تفاوت‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی آن‌ها متفاوت است [۸]. فاکتور انتقال سزیم (نسبت سزیم گیاه به سزیم خاک)، به زمان آلودگی خاک به سزیم پرتوزا، خاک، عملیات کشاورزی و نوع محصول بستگی دارد [۹]. در یک پژوهش، پس از کشت گیاهان مختلف در خاک، آلوده شدن چهار ساله‌ی کمی‌سول آهکی (Calcaric Cambisols) به ^{137}Cs ، نشان می‌دهد که میزان جذب ^{137}Cs به ترتیب در ترب و کلم چینی و پس از آن کاهو و گوجه‌فرنگی، و در رتبه‌ی آخر گندم و لوبیا بیش‌تر از سایر محصولات بوده است. ضمن این که فاکتور انتقال از سال اول تا سال چهارم در همه گیاهان، کاهش داشته است [۱۰]. براساس مطالعه‌ی رحمان در بنگلادش، متوسط فاکتور انتقال ^{137}Cs در گیاهان علفی و برنج $0.05 \pm 0.001 \times 10^{-2}$ بوده است، در حالی که این مقادیر در شرایط گلدانی برای گیاهان علفی و برنج به ترتیب، $0.1 \pm 0.001 \times 10^{-2}$ و $0.04 \pm 0.001 \times 10^{-2}$ برآورد شده است. براساس این نتایج، فاکتور انتقال برای برنج تقریباً ۴ برابر کوچک‌تر از گیاهان علفی است [۱۱]. پژوهشگران در ژاپن به منظور بررسی فاکتور انتقال این عنصر در برگ و غده‌ی تربچه، ۱۰ نمونه از خاک را آلوده، و اقدام به کاشت این گیاه کردند. مقدار فاکتور انتقال در برگ (۰.۳۵) بیش‌تر از غده (۰.۰۹) بوده است. هم‌چنین عامل انتقال در خاک‌های اندی‌سول بیش‌تر از سایر خاک‌ها بوده است [۱۲]. پتاسیم به عنوان یکی از عناصر پرمصرف و ضروری برای گیاه به دلیل نزدیک بودن شعاع هیدراته‌ی آن به سزیم، در خاک و گیاه رفتار مشابهی دارند. سیستم انتقال یون پتاسیم ریشه‌ی گیاهان در غلظت کم پتاسیم، نمی‌تواند بین یون پتاسیم و سزیم به خوبی تفکیک قائل شود. بنابراین گیاهان در زمان کمبود پتاسیم خاک، برای رفع نیاز خود به پتاسیم، سزیم را از طریق ناقل‌های جذب پتاسیم جذب می‌کنند [۸].



برای رشد آن‌ها با افزودن کود (اوره، سولفات آهن و سولفات روی براساس آزمون خاک) فراهم شد. آبیاری براساس نیاز آبی گیاه و ویژگی خاک مورد آزمایش صورت گرفت به این صورت که در هر نوبت آبیاری، حجم معینی از آب به همه گلدان‌ها افزوده شد. پس از برداشت، اندام‌های مصرفی گیاهان مذکور در دمای 75°C به مدت ۴۸ h در آون خشک شد. به منظور استخراج سزیم و پتاسیم، از روش هضم تر با اسید نیتریک استفاده شد [۱۴]. غلظت سزیم و پتاسیم به ترتیب با دستگاه جذب اتمی Analytic Jena Contra AA3 و فلیم فتومتر مدل Corning 410 خوانش شد.

بافت خاک به روش هیدرومتری، pH و ECE به ترتیب در گل و عصاره‌ی اشباع، کربنات کلسیم معادل با روش کلسیمتری^(۱)، درصد کربن آلی به روش سوزاندن تر با اسید سولفوریک غلیظ در مجاورت دی کرومات پتاسیم، گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم با pH ۸٫۲، غلظت سدیم محلول به روش شعله‌سنجی^(۲)، کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون با EDTA، و پتاسیم قابل جذب با روش استات آمونیم در pH عدد ۷ اندازه‌گیری شدند [۱۵].

کانی‌های بخش رس خاک، پس از جداسازی بخش رس و تیمار آن با کلرید منیزیم، گلیسرول، کلرید پتاسیم و حرارت 550°C ، با دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) شناسایی شدند [۱۶].

۳. نتایج و بحث

براساس نتایج، بافت خاک (لومی تا لومی شنی)، pH بازی، درصد رس خاک (۱۷٫۴٪) و پتاسیم قابل جذب (293 mg/kg)، از جمله خصوصیات مهم اثرگذار بر جذب سزیم در گیاه هستند (جدول ۱).

هم‌چنین نتایج کانی‌شناسی بخش رس نشان داد که میکا با ۳۷٪، کائولینیت ۲۸٪ و اسمکتیت ۲۳٪، کانی‌های غالب بخش رس خاک را تشکیل می‌دهند (جدول ۲).

نتایج مطالعات شولر نشان داده است که افزایش کود پتاسیم به مقدار 90 kg در هر هکتار، سبب کاهش جذب سزیم در چغندر، ذرت، هویج و گندم شده است [۱۳]. هم‌چنین در پژوهشی دیگر، حضور پتاسیم تبادلی زیاد در خاک، سبب کاهش انتقال سزیم به ذرت و هویج شد که مقدار این کاهش برای ذرت بیش تر از هویج بود. در حالی که در مقادیر کم پتاسیم تبادلی در خاک، فاکتور انتقال سزیم به این گیاهان افزایش می‌یابد و هویج تمایل بیش تری به جذب سزیم نسبت به ذرت داشته است [۶].

بر این اساس، با توجه به اهمیت اثر متقابل یون پتاسیم در جذب یون سزیم و نقش آن در تولید محصول سالم، هدف از این پژوهش بررسی آثار متقابل سزیم و پتاسیم در خاک، گیاه و مقایسه‌ی توانمندی جذب سزیم در دو گیاه ذرت و سیب‌زمینی است.

۲. مواد و روش‌ها

به منظور بررسی توانایی جذب سزیم در برخی گیاهان زراعی و تأثیر غلظت پتاسیم بر جذب آن، یک آزمایش گلدانی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه‌ی بلوک کامل تصادفی با دو نوع گیاه ذرت دندان اسبی (*Zea mays L. var. indentata*) و سیب‌زمینی اکبری (*Solanum Tuberosum*) و سه سطح ^{133}Cs (۵، ۱۷ و 32 mg/kg خاک از منبع نترات سزیم)، سه سطح پتاسیم (۵، $22/5$ و 45 mg/kg از منبع سولفات پتاسیم) حاوی 6 kg خاک در هر گلدان در سه تکرار صورت گرفت. به دلیل مشابهت رفتار شیمیایی ایزوتوپ‌های یک عنصر و از طرفی نیز خطر ساز بودن کاربرد ^{137}Cs ، در این تیمارها از سزیم طبیعی استفاده شد. به منظور افزودن یکنواخت سزیم به کل خاک، نمک سزیم در غلظت‌های تعیین شده در آب حل، و طی دو نوبت به خاک افزوده شد. این کار به آرامی صورت گرفت و زه آب گلدان جمع‌آوری و مجدداً به آن برگردانده شد. کاشت این گیاهان در گلدان‌هایی حاوی 6 kg خاک که تحت تجزیه‌ی فیزیکی و شیمیایی قرار گرفته بود، انجام گرفت. شرایط مطلوب

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محیط آزمایش

پتاسیم قابل جذب (mgkg^{-1})	pH	ECe (dSm^{-1})	CEC (cmol.kg^{-1})	Na^{+}	Ca^{2+} (meqL^{-1})	Mg^{2+}	کربن آلی (%)	رس	کلاس بافت خاک
---	----	------------------------------	----------------------------------	-----------------	--	------------------	-----------------	----	---------------



۲۹۳	۷،۸۱	۵،۳۳	۱۵،۹	۳۳،۴	۱۶	۱۵	۰،۳۹	۱۷،۴	لومی تا لوم شنی
-----	------	------	------	------	----	----	------	------	-----------------

جدول ۲. کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی رس خاک محیط آزمایش

فلسپار	کوارتز	میکا	کائولینیت	کلریت	اسمکتیت	مقدار رس
۱،۰۹	۴،۳۷	۳۷،۳۶	۲۸،۵۶	۵،۵۲	۲۳،۱۰	۱۷،۴

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس نشان داد که تأثیر نوع گیاه بر میزان جذب سزیم در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۳؛ $P < 0,01$). هم‌چنین اثر متقابل گیاه با تیمارهای سزیم و پتاسیم در محتوای سزیم گیاه در سطح ۱٪ معنی‌دار است ($P < 0,01$). این به معنی آنست که گیاهان در جذب سزیم متفاوت عمل کرده‌اند. نتایج مقایسه‌ی میانگین میزان سزیم جذب شده در گیاهان مورد آزمایش نشان می‌دهد که میانگین میزان سزیم جذب شده در ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی به ترتیب برابر با ۵۵،۲۹ و ۹،۱۵ mg/kg ماده‌ی خشک است (جدول ۴). علت این اختلاف را می‌توان به تفاوت‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی بین گیاهان از جمله استراتژی رشد گیاه، الگوی ریشه‌زایی، سرعت رشد ریشه، سیستم انتقال یون در غشای پلاسمایی سلول ریشه، و تقاضای گیاه برای پتاسیم دانست [۸]. در پژوهشی دیگر، تفاوت گیاهان در جذب سزیم با کشت ۳۰ نوع گیاه در یک نوع خاک به اثبات رسید و تفاوت ۲۰ برابری بین بیش‌ترین جذب و کم‌ترین جذب سزیم در گیاهان یافت شد [۱۷]. براساس نتایج تجزیه‌ی واریانس، اثر تیمارهای سزیم و پتاسیم در میزان سزیم گیاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند ($P < 0,01$). با افزایش غلظت سزیم خاک، جذب سزیم در گیاه افزایش یافت. داده‌های حاصل از مقایسه‌ی میانگین (جدول ۴) نشان می‌دهد که در مقادیر ۱۷ و ۳۴ mg/kg سزیم بر خاک، غلظت سزیم در گیاه نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۲۲۷٪ و ۵۳۷٪ افزایش یافته است.

با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک که عموماً از کانی‌های رسی ناشی می‌شود، میزان جذب کاتیون‌ها در فاز جامد خاک افزایش می‌یابد. بنابراین میزان رس و CEC خاک، نقش مهمی در جذب سزیم در فاز جامد خاک دارند [۱۸]. از طرف دیگر، سزیم برای جذب در مکان‌های تبدالی باید با دیگر کاتیون‌های محلول خاک رقابت کند، بنابراین وجود کاتیون‌های رقیب می‌تواند مانع جذب این هسته‌ی پرتوزا بر روی مکان‌های تبدالی شوند [۱۹]. پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص جذب این عنصر روی کانی‌های رسی خاک نشان دادند که

بیش‌ترین جذب سزیم در غلظت‌های کم عناصر رقیب اتفاق افتاده است و با افزایش غلظت آن‌ها، از میزان جذب سزیم کاسته می‌شود [۴].

جدول ۳. تجزیه‌ی واریانس محتوی پتاسیم و سزیم در سطوح مختلف این عناصر برای گیاهان مختلف

میانگین مربعات (MS)		درجه‌ی آزادی	منابع تغییرات
محتوی پتاسیم گیاه	محتوی سزیم گیاه		
۱۱۷۲۰۴۲۴	۹۵،۶۷	۲	تکرار
۲۷۴۷۲۶۶	۲۸۷۴۴،۲۹ ^{**}	۱	گیاه
۷۱۴۳۶۶۸	۱۰۷۸۶،۷۹ ^{**}	۲	سزیم
۸۹۱۴۴۲۴	۲۸۳۴،۹۵ ^{**}	۲	پتاسیم
۶۸۴۸۳۵۷۴ ^{**}	۷۸۸،۱۰ ^{**}	۴	پتاسیم×سزیم
۷۰۲۸۰۱۶	۱۲۲۰،۳۸۰ ^{**}	۲	گیاه×سزیم
۱۸۱۴۳۰۱۶	۳۱۸۹،۳۳ ^{**}	۲	گیاه×پتاسیم
۲۶۸۲۲۴۶۶ [°]	۱۳۶۱،۱۷ ^{**}	۴	گیاه×سزیم×پتاسیم
۱۲۹۳۴۰۸۲	۴۸،۱۵	۳۴	خطا
۱۸،۹۱	۲۱،۵۳		ضریب تغییرات (CV)

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

جدول ۴. مقایسه‌ی میانگین محتوای عناصر پتاسیم و سزیم در سطوح مختلف آثار ساده

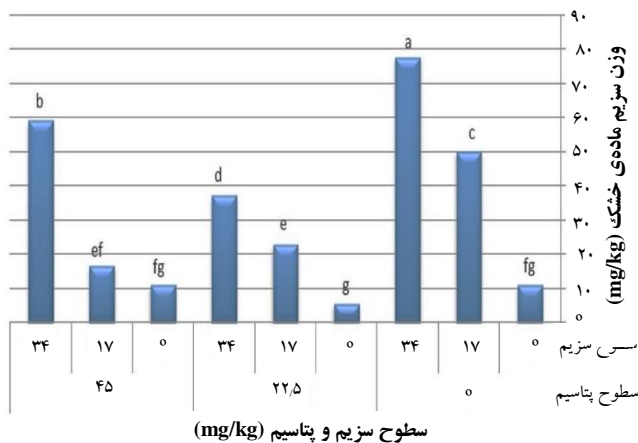
محتوای سزیم گیاه (mg/kg ماده‌ی خشک)		محتوای پتاسیم گیاه (mg/kg ماده‌ی خشک)		سطوح ساده
۱۹۲۴۰،۷a	۵۵،۲۹a	۱۸۷۸۹،۶a	۹،۱۵b	ذرت
				سیب‌زمینی
				میزان سزیم (mg/kg خاک)
۱۹۵۴۲a	۹،۰۸c	۱۸۳۱۷a	۲۹،۷۳b	۰
		۱۹۱۸۷a	۵۷،۸۵a	۱۷
				۳۴
				میزان پتاسیم (mg/kg خاک)
۱۹۷۴۶a	۴۶،۱۰a	۱۸۹۵۷a	۲۱،۶۸c	۰
		۱۸۳۴۳،۲a	۲۸،۸۸b	۲۲،۵
				۴۵

میانگین‌های دارای حروف مشترک مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

براساس نتایج، خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و کانی‌شناسی، خاک مورد مطالعه کلاس بافت لومی با ۱۷،۴٪ رس (جدول ۱ و ۲) و ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۵ cmol/kg دارد که میزان این پارامتر در یک pH مشخص از خاک ثابت است. بنابراین با افزایش میزان سزیم در خاک، از ظرفیت جذب کاتیون‌ها در آن کاسته می‌شود و این خاک ظرفیت جذب تمام سزیم وارد شده را در خود ندارد. هم‌چنین وجود کاتیون‌های رقیب برای جذب بر



پتاسیم خاک، به دلیل افزایش پتاسیم محلول خاک، احتمال جذب آن را نسبت به سزیم افزایش می دهد.



شکل ۱. آثار متقابل مقدار عنصر سزیم و پتاسیم بر میانگین محتوای عنصر سزیم گیاهان.

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس و مقایسه‌ی میانگین نشان داد که تأثیر نوع گیاه بر میزان جذب پتاسیم (محتوای پتاسیم گیاه) معنی دار نیست (جدول ۳ و ۴). از طرفی نیز سطوح تیمار پتاسیم بر محتوای پتاسیم گیاه معنی دار نبود. دلیل آن را می توان به مقدار زیاد پتاسیم قابل جذب در خاک مورد مطالعه (293 mg/kg) ارتباط داد که بیش تر از حد بحرانی تعیین شده برای این عنصر است. حد بحرانی پتاسیم در خاک های تحت کشت گندم در دشت ورامین به روش ترسیمی کیت نیلسون و عصاره گیری با استات آمونیم، 270 mg/kg خاک گزارش شده است [۲۱]. بنابراین خاک محیط آزمایش قادر به فراهم آوردن پتاسیم مورد نیاز گیاهان است و به همین دلیل افزودن سولفات پتاسیم، پاسخ مثبت گیاهان و افزایش معنی دار عملکرد را به همراه نداشته است.

۴. نتیجه گیری

نتیجه‌ی این پژوهش نشان داد که دو گیاه مورد مطالعه دارای توانمندی های متفاوتی در جذب سزیم هستند، به طوری که سزیم-پذیری گیاه ذرت، بیش تر از سیب زمینی است. بنابراین با شناخت این توانمندی ها می توان با اتخاذ الگوی کشت، آمادگی لازم را به منظور برخورد با شرایط آلودگی سزیم پرتوزا فراهم کرد. براساس نتایج این پژوهش، افزایش پتاسیم باعث کاهش جذب سزیم شد، از این رو یکی از روش های مدیریت عناصر غذایی

روی سایت های تبدلی در خاک، باعث ورود سزیم به فاز محلول می شود و این عنصر را در دسترس گیاه قرار می دهد.

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان دهنده‌ی تفاوت معنی دار اثر سطوح مختلف تیمار پتاسیم بر محتوای جذب سزیم در گیاه در سطح ۱٪ است (جدول ۳)، به طوری که تیمار دوم پتاسیم (22.5 mg/kg خاک)، میزان سزیم جذب شده در گیاه را حدود 52.97% کاهش داده است. نتایج جدول ۴ نشان می دهد که کاربرد بیش تر پتاسیم (تیمار سوم - 45 mg/kg خاک) نیز نسبت به تیمار صفر آن، باعث کاهش 37% جذب سزیم در گیاه می شود. این کاهش جذب سزیم، نسبت به تیمار دوم (300 mg سولفات پتاسیم) که 52.9% بود، 16% کم تر است. نتایج برخی از بررسی هایی که در آن اثر یون پتاسیم بر وضعیت سزیم در خاک و کانی های خاک مطالعه شده اند، چنین نتیجه ای را تأیید می کنند. در این بررسی ها، یون پتاسیم باعث کاهش سزیم محلول و قابل دسترس خاک شده است. قرار دادن رسوبات حاوی کانی های مسکویت و بیوتیت در الکترولیت های مختلف نشان می دهد که بیش ترین سزیم رها شده از این رسوبات در الکترولیت نترات سدیم بوده، و با قرار دادن این رسوبات در الکترولیت های نترات رویدیم و نترات پتاسیم، میزان واجد سزیم کاهش یافته است [۲۰]. در پژوهشی دیگر بر روی ۶ نوع خاک، نشان داده شده است که با افزودن پتاسیم به میزان بیش تر از نیاز گیاه به خاک - های تیمار شده با سزیم که حاوی کانی میکا بوده اند، از میزان سزیم محلول خاک کاسته شده است [۱۸]. از نتایج این پژوهش - ها چنین برداشت می شود که جذب پتاسیم در لبه های هوا دیده ی کانی های میکا، موجب فروریزش لایه های کانی و تثبیت سزیم در بین لایه ها، و به عبارت دیگر باعث کاهش جذب آن در گیاه می شود.

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای سزیم و پتاسیم در محتوای سزیم گیاه در سطح ۱٪ معنی دار شده است ($P < 0.01$). به طوری که، بیش ترین جذب سزیم در گیاهان در تیمار شاهد پتاسیم همراه با تیمارهای ۱۷ و 34 mg/kg سزیم بر خاک اتفاق افتاده است (شکل ۱). در تیمار 22.5 mg/kg پتاسیم بر خاک همراه با تیمارهای سزیم، میزان سزیم جذب شده کاهش یافته است. در این تیمار، یون پتاسیم بیش تر از نیاز گیاه به خاک افزوده شده است و این رخداد باعث تثبیت بیش تر سزیم می شود و از ورود سزیم به محلول خاک و جذب آن در گیاه جلوگیری می کند. ضمن این که آثار افزایش



خاک در برابر ^{137}Cs ناشی از آلودگی‌های محیطی و هسته‌ای،
افزودن کودهای پتاسیم به خاک‌های آلوده است.

پی‌نوشت‌ها

1. Calcimetry

- [1] M.A. Aslani, S. Aytas, S. Akyil, G. Yaprak, G. Yener, M. Eral, Activity concentration of caesium-137 in agricultural soils, *J. Environ. Radioact.* **65** (2003) 131-145.
- [2] J. Peterson, M. MacDonell, L. Haroun, F. Monette, R.D. Hildebrand, A. Taboas, Radiological and chemical fact sheets to support health risk analyses for contaminated areas, Human Health Fact Sheet, Argonne, (2007) 38-39.
- [3] B.C. Bostick, M.A. Vairavamurthy, K. Karthikeyan, J. Chorover, Caesium adsorption on clay minerals: An EXAFS spectroscopic investigation, *Environ. Sci. Tech.* **36** (2002) 2670-2676.
- [4] M.R. Noll, Geochemical dynamic of caesium sorption by selected clay minerals, Delaware Univ., Newark, DE (United States), Ph.D. Thesis. (1989).
- [5] G. Sposito, The chemistry of soils, Oxford University Press (2008).
- [6] M.A. Wasserman, E.R.R. Rochedo, A.C. Ferreira, C.C. Conti, A.G. Viana, F. Bartoly, J.C. Wasserman, D.V. Perez, Plant uptake processes related with the geochemical behavior of radionuclides in some Brazilian soil, In IAEA, Classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants. Report of the final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture held in Chania, Crete, 22-26 September 2003, (2006).
- [7] J.P. Absalom, S.D. Young, N.M.J. Crout, A.F. Nisbet, R.F.M. Woodman, E. Smolders, A.G. Gillett, Predicting soil to plant transfer of radiocaesium using soil characteristics, *Environ. Sci. Tech.* **33** (1999) 1218-1223.

2. Flame Photometry

مراجع

- [8] Y.G. Zhu, E. Smolders, Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application, *J. Exp. Bot.* **51** (2000) 1635-1645.
- [9] IAEA, Classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants. Report of the final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture held in Chania, Crete, 22-26 September 2003, (2006).
- [10] J. Li, H. Peng, B. Ma, G. Li, R. Guo, F. Ma, A field study of soil-to-plant transfer of strontium-90 and caesium-137 based on a Calcaric Cambisol in sub-tropical southwest China, In IAEA, Classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants. Report of the final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture held in Chania, Crete, 22-26 September 2003 (2006).
- [11] M. Rahman, G. Voigt, Radiocaesium soil-to-plant transfer in tropical environments, *J. Environ. Radioact.* **71** (2004) 127-138.
- [12] T. Ban-nai, Y. Muramatsu, Transfer factors of radioactive Cs, Sr, Mn, Co and Zn from Japanese soils to root and leaf of radish, *J. Environ. Radioact.* **63** (2002) 251-264.
- [13] P. Schuller, K. Bunzl, G. Voigt, A. Krarup, A. Castillo, Soil to crops transfer of radiocaesium and -strontium in different allophanic soils from the Lake Region, Chile, In IAEA, Classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants. Report of the final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture held in Chania, Crete, 22-26 September 2003 (2006).



- [14] P.K. Gupta, (Ed), Soil, plant, Water and Fertilizer Analysis, New Delhi, India (2000).
- [15] Vice Presidency for Planning and Supervision, Guidelines for laboratory analysis of soil and water sample, No. 467. Office of Deputy for Strategic Supervision, Bureau of Technical Execution, Ministry of Agriculture-Jahad, Water and Soil Research Institute (2009) (in Persian).
- [16] J.A. Kittrick, E.W. Hope, A procedure for particle size separation of soils for x-ray diffraction, *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* **35** (1971) 621-626.
- [17] M.R. Broadley, N.J. Willey, Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa, *Environ. Pollut.* **97** (1997) 11.
- [18] J. Absalom, S. Young, N. Crout, Radiocaesium fixation dynamics: measurement in six Cumbrian soils, *Eur. J. Soil Sci.* **46** (1995) 461-469.
- [19] A. Bouzidi, F. Souahi, S. Hanini, Sorption behavior of caesium on Ain Oussera soil under different physicochemical conditions, *J. Hazad. Mate.* **184** (2010) 640-646.
- [20] C. Liu, J.M. Zachara, S.C. Smith, J.P. McKinley C.C. Ainsworth, Desorption kinetics of radiocesium from subsurface sediments at Hanford Site, USA. *Geochim. et Cosmochimica Acta.* **67** (2003) 2893-2912.
- [21] M. Seilsepour, M.R. Momayezi, Determination of critical levels of phosphorus and potassium in underground winter wheat soils in Varamin plain. *Ir. J. of Dynamic Agriculture.* **3** (2006) 1-13 (in Persian).