

## مقایسه خاک فسفات داخلی و سوپر فسفات تریپل وارداتی تیمارشده با گوگرد و تیوباسیلوس در انتقال سرب و کادمیوم به نهال پسته

مرضیه سادات جزائری<sup>۱</sup>، \* عبدالرضا اخگر<sup>۲</sup> و مهدی سرچشمه پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، آدانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان،  
<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان  
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** آلودگی خاکها به عناصر سنگین به طور قابل ملاحظه ای رو به افزایش است که مشکلات زیست محیطی عمده ای را در سراسر دنیا به وجود آورده است. کادمیوم و سرب از جمله این عناصر می باشند که از طرق مختلفی هم چون سوزاندن سوخت های فسیلی، زباله های شهری، کاربرد کودهای شیمیایی، آفت کش ها، لجن فاضلاب و ... وارد خاک می شوند. براساس پژوهش های متعدد استفاده از کودهای شیمیایی فسفاتی یکی از علل اصلی انتقال فلزات سنگین به مزارع و محصولات کشاورزی است. از طرفی پتانسیل بالای خاک های کربناتی در تثبیت فسفر باعث استفاده از اصلاح کننده های طبیعی به همراه کودهای فسفاتی به منظور افزایش کارایی آنها شده است.

**مواد و روش ها:** به منظور مقایسه خاک فسفات داخلی و سوپر فسفات تریپل وارداتی تیمارشده با گوگرد و تیوباسیلوس در انتقال سرب و کادمیوم به نهال های پسته ابتدا میزان آلودگی کادمیوم و سرب در کود سوپر فسفات تریپل وارداتی و نمونه خاک فسفات داخلی مورد تجزیه قرار گرفت. سپس توانایی این دو کود فسفره تیمارشده با گوگرد عنصری و مایه تلقیح تیوباسیلوس در تجمع سرب و کادمیوم بر روی نهال پسته مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور یک آزمایش گلخانه ای به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه سطح منبع فسفر (بدون کود فسفوری (P<sub>0</sub>))، ۲۰۰۰ میلی گرم خاک فسفات در کیلوگرم خاک (PR) و ۶۷ میلی گرم کود سوپر فسفات تریپل در کیلوگرم خاک (TSP))، دو سطح گوگرد (صفر (S<sub>0</sub>) و ۲۰۰۰ میلی گرم گوگرد در کیلوگرم خاک (S<sub>1</sub>)) و دو سطح مایه تلقیح تیوباسیلوس (بدون تلقیح (T<sub>0</sub>) و تلقیح با تیوباسیلوس (T<sub>1</sub>)) در سه تکرار به اجرا درآمد. غلظت کادمیوم و سرب اندام هوایی و ریشه نهال های پسته و همچنین غلظت کادمیوم و سرب موجود در هر دو کود فسفاتی به طور جداگانه اندازه گیری شد.

**یافته ها:** نتایج نشان داد سوپر فسفات تریپل وارداتی با غلظت ۱۷/۷۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم کود نزدیک به ۵ برابر آلودگی کادمیومی بیش تری نسبت به خاک فسفات داخلی با غلظت کادمیوم ۳/۰۵ میلی گرم در کیلوگرم داشت. غلظت سرب سوپر فسفات تریپل وارداتی و خاک فسفات داخلی به ترتیب ۰/۹۳۲ و ۱/۰۵ میلی گرم سرب در کیلوگرم کود بود که اختلاف معنی داری بین این دو کود مشاهده نشد. بیش ترین تأثیر بر غلظت کادمیوم اندام هوایی را کاربرد سوپر

\* مسئول مکاتبه: [arakhgar@yahoo.com](mailto:arakhgar@yahoo.com)

فسفات تریپل به میزان ۱۰/۵٪ افزایش نسبت به خاک فسفات نشان داد. همچنین استفاده از مایه تلقیح تیوباسیلوس افزایش معنی داری بر غلظت کادمیوم اندام هوایی (۰/۶٪) و فاکتور انتقال آن از ریشه به اندام هوایی داشت. کاربرد کودهای فسفاتی باعث کاهش غلظت سرب شد به طوری که بیشترین غلظت سرب در تیمار شاهد مشاهده گردید.

**نتیجه گیری:** به طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد کودهای فسفاتی نه تنها باعث افزایش انتقال سرب به گیاه نشد بلکه از ورود آن به گیاه نیز جلوگیری کرد. ولی کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس به همراه کودهای فسفاتی نسبت به کاربرد کودهای فسفاتی به تنهایی باعث افزایش جذب سرب در گیاه شد؛ به طوری که با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت. کود سوپر فسفات تریپل وارداتی نیز به دلیل آلودگی کادمیومی بالا، باعث افزایش ۱۰/۵ درصدی غلظت کادمیوم اندام هوایی نسبت به خاک فسفات گردید. آلودگی کادمیوم بسیار کمی که در خاک فسفات داخلی نسبت به سوپر فسفات تریپل وارداتی مشاهده شد، می تواند بیانگر کیفیت مناسب منابع خاک فسفات کشور از این نظر باشد که البته در این زمینه مطالعات بیشتر، نتایج مشخص تری را ارائه خواهد داد.

**واژه های کلیدی:** تیوباسیلوس، خاک فسفات، سرب، سوپر فسفات تریپل، کادمیوم

#### مقدمه

از ۱۹۵۰ تاکنون مصرف عناصر غذایی گیاهی مانند کودهای فسفاتی به میزان قابل توجهی افزایش یافته است و سالانه بیش از ۳۰ میلیون تن از این نوع کودها در سراسر جهان به مصرف می رسد که به دنبال آن احیا اراضی و تولید محصولات کشاورزی را بهبود می بخشد (۳۱). علی رغم این تأثیر مثبت، غلظت معنی داری از عناصر سنگین موجود در برخی از کودهای فسفاتی باعث ایجاد نگرانی در خصوص اثرات زیان بخش و نامطلوب مصرف آنها در چرخه های آب، خاک و مواد غذایی شده است. چنانچه تجزیه کودهای تجاری در هند، ایتالیا، استرالیا، نیوزیلند، انگلستان و ایالات متحده آمریکا نشان داد که تمام کودهای فسفاتی حاوی مقادیر مختلف و قابل توجهی از فلزات سنگین بوده اند (۴۵، ۴۴، ۶۴). در پژوهشی دیگر چارتر و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند کودهای سوپر فسفات تریپل، مونو آمونیوم فسفات و دی آمونیوم فسفات عرضه شده در آیووا حاوی غلظت های مختلفی از فلزات کم مصرف و

عناصر سنگین بودند (۹). میلی نیویچ و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی غلظت کادمیوم و سرب در ۱۶ کود وارداتی بیان نمودند در محلول عصاره گیر اسیداستیک در pH برابر با ۴/۵ کودهای مجارستان و یونان با مقادیر ۸/۵ و ۱۱/۱ میلی گرم بر کیلوگرم و کودهای روسیه و اتریش با مقادیر ۰/۲ و ۳/۷۶ میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم به ترتیب کم ترین و بیشترین غلظت سرب و کادمیوم را در میان کودهای مورد مطالعه داشتند (۳۸). با بررسی بین کودهای شیمیایی مختلف، کودهای فسفاتی، به عنوان اصلی ترین منبع انتقال دهنده فلزات سنگین به خاک معرفی شده اند (۳۰). مطالعات متعددی نشان داده اند که فلزات سنگین موجود در کودهای فسفاتی پس از مصرف، می توانند در خاک تجمع یافته و به آسانی به فرم های قابل دسترس گیاهان تبدیل گردند (۴۳، ۱۲). همچنین شواهد غیرمستقیم نیز بیانگر حضور فلزات سنگین در برخی از خاک های کشاورزی به دلیل استفاده طولانی مدت از کودهای فسفاتی معدنی است (۱۳). اولین بار شرودر و بالاسا (۱۹۶۳) نقش کودها را در افزایش

(۱). در میان عناصر سنگین، کادمیوم به دلیل تحرک بالا در سیستم‌های بیولوژیک (۱۰) و توانایی تجمع در گیاهان بدون ایجاد هر گونه نشانه‌های قابل رؤیت (۳۲) به عنوان یکی از خطرناک‌ترین عناصر سنگین در نظر گرفته شده است. گزارش شده است که مهم‌ترین راه خروج کادمیوم از خاک برداشت گیاهی است (۵۴). این عنصر به طور طبیعی در خاک وجود دارد اما می‌تواند از طریق رسوبات اتمسفری، آلودگی‌های صنعتی، هرزآب لجن، آب آبیاری، اصلاح‌کننده‌های خاکی، سموم و کودها به خاک وارد شود (۲، ۵۴). گزارش‌های مختلف بیانگر آن است که با افزایش مقدار مصرف کودهای فسفاتی و افزایش مقدار کادمیوم موجود در آن‌ها جذب کادمیوم توسط گیاه افزایش یافته است. در یک مطالعه مزرعه‌ای طولانی مدت مشاهده شد غلظت‌های کادمیوم در گیاهان و خاک‌ها با افزایش کاربرد فسفر افزایش یافت (۳). علاوه بر این، هی و ساین (۱۹۹۵) با بررسی تأثیر نوع کود فسفاتی بر تجمع کادمیوم نشان دادند، غلظت کادمیوم در هویج، کاهو، جو دوسر و چاودار با مصرف یک کود تجاری فسفات- نیتروژن- پتاسیم حاوی ۴۱۷ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم فسفر افزایش یافت اما در تیمار خاک فسفات که حاوی غلظت مشابهی از کادمیوم بود افزایشی مشاهده نشد (۲۱). ایرتسکایا و همکاران (۱۹۹۸) با کاربرد خاک فسفات کارولینای شمالی و سوپر فسفات ساده تهیه شده از همان خاک فسفات در یک خاک اسیدی نشان دادند که غلظت کادمیوم در خاک فسفات تنها نصف مقدار آن در دانه برنج گیاهان تیمار شده با سوپر فسفات ساده بود (۲۴). علاوه بر مطالب گفته شده کودهای فسفاتی به غیر از ورودی مستقیم کادمیوم، می‌توانند به طور غیرمستقیم فراهمی کادمیوم

غلظت فلزات سنگین در محصولات غذایی عنوان نمودند. از جمله فلزات سنگین می‌توان به کادمیوم و سرب اشاره کرد که عناصری غیرضروری و فاقد وظیفه بیولوژیک خاصی هستند (۵۱). غلظت این عناصر در کودهای فسفاتی متفاوت بوده و به میزان قابل توجهی به غلظت اولیه آن‌ها در خاک فسفات مصرفی بستگی دارد و می‌تواند به ترتیب در محدوده ۹-۱۰۰ و ۴۰-۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر باشد (۲۷). سرب عنصری است که مانع سنتز کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود. از علائم مسمومیت سرب می‌توان به کوچک شدن برگ‌ها، تغییر رنگ برگ‌ها به زرد و زرد مایل به قرمز به همراه بافت مردگی، ریشه‌های کوتاه و سیاه و توقف رشد گیاه اشاره کرد (۴۴). مقدار کل سرب در خاک‌های کشاورزی به مواد مادری آن و ورود هرزآب‌های آلوده و باران حاوی ذرات سرب اتمسفر بستگی دارد. همچنین یکی از مهم‌ترین راه‌های ورود سرب به خاک، استفاده از مواد ساخت انسان مثل کودهای شیمیایی و سموم حاوی سرب می‌باشد (۵۵). در این رابطه توماس و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند استفاده از سوپر فسفات ساده سبب افزایش غلظت سرب و کادمیوم در خاک شد (۵۹). اگرچه به گفته گیر و کلارکسن (۲۰۰۱) فاکتور جذب گیاهی سرب پایین است (۰/۱-۰/۰۱) (۱۷) ولی تحرک و فراهمی زیستی این عنصر می‌تواند توسط پارامترهای متعددی از جمله pH افزایش یابد. سیلر و پاگانلی (۱۹۸۷) افزایش سمیت سرب را در صنوبر قرمز به دلیل افزایش فراهمی زیستی سرب ناشی از کاهش pH گزارش نمودند (۵۲). آلینسون و دزیلو (۱۹۸۱) نیز افزایش غلظت سرب را در گیاهان رشد یافته در خاکی با pH ۴/۵ نسبت به خاک دیگری با pH ۶/۴ بیان نمودند

### مواد و روش‌ها

برای کشت گیاه، نمونه خاک با فسفر قابل استفاده کم از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری از منطقه داوران واقع در استان کرمان با آب هوای گرم و خشک تهیه گردید. خاک تهیه شده پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری به نسبت دو به یک با شن شسته شده با اسید مخلوط و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل pH عصاره اشباع به‌وسیله الکتروود شیشه‌ای، بافت خاک به روش هیدرومتر (۶)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی‌سازی با اسید کلریدریک (۴۷)، فسفر به روش السن (۴۲) با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل T80UV/VIS Spectrometer، غلظت آهن، منگنز، مس و روی به روش عصاره‌گیری با DTPA (۳۳) به‌وسیله دستگاه جذب اتمی Awanta مدل GBC-932 و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۲۹) توسط دستگاه فلیم‌فتومتر Jenway مدل PFP7، تعیین گردید (جدول ۱). آزمون گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن دو سطح باکتری (بدون تلقیح ( $T_0$ ) و تلقیح با جدایه تیوباسیلوس ( $T_1$ ))، دو سطح گوگرد (صفر ( $S_0$ ) و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک ( $S_1$ )) و سه سطح فسفر (بدون کود فسفوری ( $P_0$ ))، ۲۰۰۰ میلی‌گرم خاک فسفات رسوبی در کیلوگرم خاک (PR) و ۶۷ میلی‌گرم کود سوپر فسفات تریپل در کیلوگرم خاک (TSP)) در سه تکرار انجام شد. ترکیب شیمیایی سنگ فسفات رسوبی استفاده شده در این پژوهش که از معدن پارسا واقع در استان فارس استخراج شده و در آزمایشگاه گروه مهندسی معدن دانشکده فنی دانشگاه تهران تجزیه گردیده در جدول

در خاک و تجمع آن را در گیاهان از طریق اثرگذاری بر شیمی خاک (pH، قدرت یونی و ...)، غلظت روی، رشد گیاه و فعل و انفعالات میکروبی تحت‌تأثیر قرار دهند (۱۸). بنابراین ورود عناصر سنگین به خاک و سپس تجمع آن‌ها در گیاه نه تنها به نوع کود، مقدار آلودگی کود به عناصر سنگین و میزان مصرف آن بستگی دارد، بلکه شیوه‌های مدیریتی استفاده از کود نیز احتمالاً می‌تواند بر این مسأله تأثیرگذار باشد. از آنجایی‌که در مواردی برای افزایش راندمان کودهای فسفاتی به‌خصوص خاک فسفات در خاک‌های آهکی از گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس به‌منظور کاهش pH و به دنبال آن افزایش انحلال کود استفاده می‌شود بنابراین این امر ممکن است بر فراهمی عناصر سنگین موجود در کود و یا خاک تأثیر گذاشته و به افزایش این آلودگی‌ها در سیستم‌های کشاورزی کمک نماید. به هر حال چون مطالعاتی در این زمینه وجود ندارد بنابراین نمی‌توان به‌طور قطع در این مورد اظهار نظر نمود. با توجه به این نکته که کودهای فسفاتی وارداتی فاقد برچسب اطلاعاتی درباره مقادیر ناخالصی‌های عناصر سنگین از جمله سرب و کادمیوم بوده و اغلب بدون کنترل کیفیت تحویل گرفته می‌شوند از سویی جایگزین کردن خاک فسفات داخلی به همراه کاربرد مجموعه‌ای از روش‌های زیستی از جمله تلاش‌های مؤثر برای نیل به کشاورزی پایدار محسوب می‌شود، بنابراین پژوهش فوق با هدف مقایسه مقادیر کادمیوم و سرب در کود سوپر فسفات تریپل وارداتی و یک نمونه خاک فسفات داخلی و مقایسه انتقال کادمیوم و سرب کود خاک فسفات داخلی و سوپر فسفات تریپل وارداتی تیمار شده با گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس به نهال‌های پسته رقم بادامی ریز زرنندی انجام گرفت.

۲ ارائه شده است (۲۸). پتانسیل انحلال خاک فسفات (بر حسب  $P_2O_5$ ) نیز با استفاده از اسید سیتریک ۲ درصد و اسید فرمیک ۲ درصد تعیین و به ترتیب ۷/۷۸ و ۸/۱۷ درصد به دست آمد که با توجه به رنج توصیه شده توسط فائو دارای انحلال پذیری متوسطی است (۱۴). انتخاب مقادیر گوگرد، خاک فسفات و جدایه تیوباسیلوس قبلاً براساس آزمونی تعیین گردیده است (۲۶). به منظور اعمال تیمارهای مورد نظر ابتدا گوگرد عنصری، خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل پودر شده از الک ۶۰ مش عبور داده شدند. آن گاه مقدار لازم از هر یک با ۴ کیلوگرم از خاک تهیه شده به خوبی مخلوط گردید. در این آزمون از بذر پسته رقم بادامی ریز زرد استفاده شد. پس از جداسازی پوست سخت، بذرها به وسیله هیپوکلریت سدیم ۱۰٪ به مدت ۱۰ دقیقه ضد عفونی گردیده سپس ۱۰ مرتبه توسط آب مقطر استریل شسته و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر استریل خیسانده شدند. آن گاه بذرها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بر روی محیط آب- آگار قرار داده تا جوانه دار شوند. در هر گلدان که محتوی ۴ کیلوگرم خاک تیمار شده بود تعداد پنج بذر جوانه دار شده کشت گردید. یک ماه پس از کشت و پس از استقرار کامل نهالها، در هر گلدان تعداد سه نهال که از نظر اندازه مشابه بودند نگه داشته شدند. مایه تلقیح تیوباسیلوس، ۴۵ روز پس از کشت به گلدانها اضافه گردید. بدین منظور ابتدا ۵۰ میلی لیتر سوسپانسیون باکتری تهیه شده، سانتریفیوژ گردید، سپس توده باکتری تجمع یافته در ته ظرف سانتریفیوژ در سرم فیزیولوژیک به صورت تعلیق در آمد و به خاک اضافه گردید، به گلدانهای شاهد تنها ۵۰ میلی لیتر

سرم فیزیولوژیک استریل داده شد. نیتروژن و پتاسیم نیز از منابع نیترات آمونیوم و کلرید پتاسیم به میزان ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک و به صورت تقسیط در سه نوبت به تمامی گلدانها داده شد. گلدانها به مدت شش ماه در شرایط گلخانه با حفظ ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه نگه داری شدند. برای برداشت، ابتدا بخش هوایی نهالها از محل طوقه قطع شد سپس ریشهها نیز از خاک خارج و به همراه اندام هوایی توسط آب معمولی و آب مقطر شسته و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونههای خشک شده ابتدا پودر گردیده سپس در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به روش خشک سوزانی عصاره گیری انجام شد. غلظت کادمیوم و سرب اندام هوایی و ریشه و غلظت کادمیوم و سرب کودهای فسفاتی (به روش عصاره گیر آکوارژیا شامل ترکیب ۳:۱ اسید کلریدریک ۳۷٪ و اسید نیتریک ۶۵٪) به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل GBCAvanta اندازه گیری شد (۲۳). فاکتور انتقال کادمیوم و سرب از ریشه به اندام هوایی نیز مطابق رابطه زیر محاسبه گردید. تجزیه واریانس همه دادهها با استفاده از نرم افزارهای آماری MSTATC و MINITAB صورت گرفت و مقایسه میانگینها بر مبنای آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

$$(1) \quad \frac{\text{غلظت کادمیوم / سرب اندام هوایی}}{\text{غلظت کادمیوم / سرب ریشه}} = \text{فاکتور انتقال کادمیوم / سرب از ریشه به اندام هوایی}$$

جدول ۱- بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the studied soil.

شن لومی Loamy sand	بافت خاک Soil texture
21.8	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent
7.85	pH
1.7	EC(dSm <sup>-1</sup> )
5	فسفر قابل استفاده (mg kg <sup>-1</sup> ) Olsen phosphorus
139.4	پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (mg kg <sup>-1</sup> ) 1 M NH <sub>4</sub> OAc-extractable K
1.182	روی قابل استفاده (mg kg <sup>-1</sup> ) DTPA-extractable of Zn
0.624	مس قابل استفاده (mg kg <sup>-1</sup> ) DTPA-extractable of Cu
2.708	منگنز قابل استفاده (mg kg <sup>-1</sup> ) DTPA-extractable of Mn
2.874	آهن قابل استفاده (mg kg <sup>-1</sup> ) DTPA-extractable of Fe

جدول ۲- ترکیب شیمیایی سنگ فسفات پارسا (۲۸).

Table 2. The Chemical compounds of Parsa rock phosphate (28).

K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	اکسید Oxide
0.50	0.09	0.01	15.39	1.04	43.10	2.49	1.41	15.7	(%)

### نتایج و بحث

مقایسه آلودگی کادمیوم و سرب کودهای فسفاتی: نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی کودهای فسفاتی نشان داد خاک فسفات داخلی و سوپر فسفات تریپل وارداتی به ترتیب محتوی ۳/۰۵ و ۱۷/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بودند؛ اما غلظت سرب این دو کود در مقایسه با کادمیوم کم‌تر و به ترتیب ۱/۰۵ و ۰/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اگرچه اختلاف معنی‌داری در غلظت سرب این دو کود مشاهده نشد اما آلودگی کادمیوم سوپر فسفات تریپل با بیش از ۵ برابر آلودگی کادمیوم خاک فسفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) و البته آلودگی کادمیوم کودهای فسفاتی

نسبت به آلودگی سرب اهمیت بیش‌تری دارد، چنان‌چه مکلاقلین و همکاران (۱۹۹۶) با بررسی پتانسیل آلودگی کود فسفات بیان نمودند که کادمیوم و فلئوئور سریع‌تر از آرسنیک، سرب یا جیوه تجمع می‌یابند (۳۷). در همین راستا سایربک (۱۹۹۲) با گردآوری لیستی از محدوده غلظت برخی از عناصر موجود در سنگ‌های فسفات و مقایسه با میانگین غلظت هر یک از آن‌ها در پوسته زمین نتیجه گرفت که در صورت استفاده از کود، عناصری هم‌چون آرسنیک، کادمیوم، کروم، فلئوئور، اورانیوم، تیتانیوم و روی می‌توانند خطر تجمع در خاک را داشته باشند (۵۰). مؤسسه تحقیقات خاک و آب حد مجاز کادمیوم

گزارش شده است. بیشترین مقدار سرب نیز در خاک فسفات‌های ماسوری (هند) و تیلرسی (مالی) به ترتیب با غلظت‌های ۲۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار سرب نیز در ریسیستو (ونزوئلا) و کدجاری (بورکینافاسو) با غلظت کم‌تر از ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شده است (۱۴). گرچه خاک فسفات به‌دست آمده از معدن آسفوردی یزد نیز مقدار کادمیم کمی دارد ولی این نمونه، از سنگ‌های فسفاتی آذرین بوده که معمولاً غلظت کادمیم کم‌تری نسبت به نمونه‌های رسوبی دارند. غلظت بالاتر کادمیم در سنگ‌های فسفات رسوبی به دلیل هم‌رسوبی کادمیم در ترکیبات فسفاتی می‌باشد که در طی شکل‌گیری ژئولوژیکی رسوبات، جایگزین کلسیم می‌شود (۶۰) و البته برای کاربرد مستقیم خاک فسفات از انواع رسوبی آن استفاده می‌گردد؛ چرا که حلالیت بیش‌تری در مقایسه با خاک فسفات‌های آذرین دارند. بر این اساس در پژوهش حاضر نمونه خاک فسفات رسوبی مورد بررسی قرار گرفت و همان‌طور که نتایج نشان داد آلودگی کادمیم آن در مقایسه با سوپر فسفات تریپل وارداتی به میزان قابل‌توجهی کم‌تر بود که این امر می‌تواند نشان‌دهنده کیفیت بهتر خاک فسفات‌های رسوبی داخل کشور از نظر آلودگی به کادمیم باشد.

و سرب را در کودهای فسفاتی ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین کرده است (۳۵). بنابراین با وجود این تفاوت معنی‌دار، غلظت کادمیم هر دو کود در محدوده مجاز استاندارد ایران قرار می‌گیرد. از دلایل وجود غلظت بالای کادمیم در سوپر فسفات تریپل می‌توان به کیفیت نامطلوب خاک فسفات مورد استفاده برای تهیه این کود شیمیایی اشاره نمود که حاوی غلظت بالایی از کادمیم بوده و در فرایند ساخت کود نیز به مقدار کافی خالص نگشته است (۳۸). ویکفیلد (۱۹۸۰) گزارش داد که سوپر فسفات تریپل تهیه شده از خاک فسفات هم‌چنان ۶۰ تا ۷۰ درصد از کادمیم اولیه خود را دارا می‌باشد (۶۱). ویلیامز و دیوید (۱۹۷۳) نیز یک رابطه نزدیک بین غلظت کادمیم موجود در منابع خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل تهیه شده از آن را در استرالیا پیدا نمودند (۶۴). در میان خاک فسفات‌های رسوبی مختلف دنیا کم‌ترین میزان کادمیم در نمونه‌های مینجینگو (تانزانیا)، پارک دلیو (نیجریه) و کدجاری (بورکینافاسو) با غلظت کم‌تر از ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیش‌ترین مقدار کادمیم در خاک فسفات‌های تایبا (سنگال)، هاهوتو (توگو)، گافسا (تونس) و کارولینای شمالی (آمریکا) به ترتیب با غلظت‌های ۸۷، ۴۸، ۳۴ و ۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم

جدول ۳- تجزیه واریانس غلظت کادمیم و سرب کود خاک فسفات و سوپر فسفات تریپل.

**Table 3. Analysis of variance for the concentrations of cadmium and lead in the phosphate rock and triple superphosphate fertilizer.**

میانگین مربعات Mean square		درجه آزادی DF	منبع تغییرات Source of variations
غلظت کادمیم Cd Concentration	غلظت سرب Pb Concentration		
432.18**	0.03001 <sup>ns</sup>	1	کودهای فسفاته Phosphorus fertilizers
19.33	0.05356	6	خطا Error
18.30	23.28	-	ضریب تغییرات CV%

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار.

\*\* Significant at 1% level of probability, <sup>ns</sup> no Significant.

#### بررسی انتقال کادمیوم و سرب به نهال‌های پسته:

جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس غلظت سرب و کادمیوم اندام هوایی، ریشه و فاکتور انتقال سرب و کادمیوم از ریشه به اندام هوایی را نشان می‌دهد. با وجود این‌که پژوهش‌ها نشان داده است که انتقال سرب به بخش هوایی گیاه کم است و ترجیحاً در ریشه تجمع می‌یابد (۱۱) ولی براساس نتایج این پژوهش فقط مقدار سرب اندام هوایی از نظر آماری غلظت معنی‌داری را نشان داد و تحت اثر متقابل منابع فسفر-تیوباسیلوس در سطح ۱ درصد و اثر متقابل سه‌گانه منابع فسفر-تیوباسیلوس-گوگرد در سطح ۵ درصد قرار گرفت در حالی‌که غلظت سرب ریشه تحت‌تأثیر هیچ‌یک از تیمارها قرار نگرفت.

همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد کم‌ترین غلظت سرب در تیمارهای کودهای فسفاتی بدون تلقیح تیوباسیلوس و نیز مایه تلقیح تیوباسیلوس در سطح صفر کود فسفر به‌دست آمد. با وجود این‌که مقدار مصرف خاک فسفات داخلی سه برابر کود سوپر فسفات تریپل وارداتی بود اما همانند این کود شیمیایی نه تنها باعث انتقال سرب به درون گیاه نشد بلکه باعث کاهش معنی‌دار غلظت سرب نسبت به تیمار شاهد نیز گردید. در پژوهشی نشان داده شد غلظت سرب اندام هوایی و ریشه تاج‌خروس نیز تحت‌تأثیر سطوح مختلف سوپر فسفات ساده افزایش نیافت (۵۹). استفاده از فسفات‌ها به‌عنوان عامل تثبیت‌کننده سرب (۵۸) و متعاقباً کاهش انتقال آن به گیاه قبلاً نیز گزارش شده است (۶۲). منابع فسفاتی

مانند کانی‌های حاوی  $PO_4$  (مثل آپاتیت‌های طبیعی یا سنتزی و هیدروکسی آپاتیت‌ها) و  $PO_4$  محلول مانند نمک‌های فسفات و فسفریک اسید می‌توانند باعث تثبیت سرب شوند. به‌محض انحلال فسفات، فلزات قابل‌عصاره‌گیری در خاک با فسفات‌ها واکنش می‌دهند و فسفات‌های فلزی کم‌محلول تشکیل می‌شود که در واقع اشکال پایدار فلزات در خاک می‌باشند و پایداری ژئوشیمیایی را در محدوده وسیعی از شرایط محیطی بالا می‌برد (۷). به‌نظر می‌رسد با انحلال هر دو کود، فسفات آزاد شده با سرب تشکیل نمک کم‌محلول فسفات سرب را داده و باعث تثبیت و عدم انتقال آن به گیاه گشته اما احتمالاً در تیمار شاهد به‌دلیل وجود اندک آنیون‌های فسفات، همان مقدار کم سرب موجود در خاک توانسته به گیاه منتقل شود بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که آلودگی سرب در کودهای فسفاتی نه تنها باعث تجمع این عنصر در گیاه نمی‌گردد بلکه کود فسفر احتمالاً می‌تواند مانع انتقال سرب نیز گردد. تلقیح تیوباسیلوس بدون کاربرد کودهای فسفاتی گرچه سبب افزایش معنی‌دار غلظت سرب گیاه نگردید اما همراه با کاربرد هر دو کود تجمع سرب را در گیاه افزایش داد و آن‌ها را همراه با شاهد در یک گروه آماری قرار داد. احتمالاً تیوباسیلوس با تولید ترکیبات اسیدی توانسته تغییراتی در خصوصیات خاک و کود ایجاد کند و بر گونه و فراهمی این عنصر تأثیر گذاشته و باعث افزایش انحلال سرب گردد.

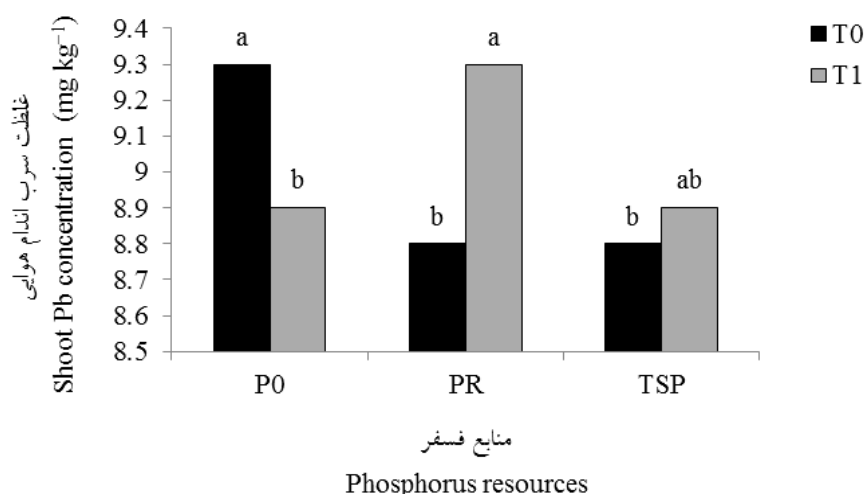


جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت سرب و کادمیوم اندام هوایی و ریشه نهالهای پسته و فاکتور انتقال سرب و کادمیوم از ریشه به اندام هوایی.  
**Table 4. Analysis of variance for the effects of experimental treatments on Pb and Cd concentrations in shoot and root of pistachio seedling. and translocation factors of Cd and Pb.**

غلظت سرب		غلظت کادمیوم		غلظت سرب ریشه		غلظت کادمیوم ریشه		فاکتور انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی		فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی		درجه آزادی	منبع تغییرات
اندام هوایی concentration	Shoot Pb concentration	اندام هوایی concentration	Shoot Cd concentration	غلظت سرب ریشه concentration	Root Pb concentration	غلظت کادمیوم ریشه concentration	Root Cd concentration	Translocation factors of Pb	Translocation factors of Cd	DF	Source of variations		
0.000536 <sup>ns</sup>	0.000326 <sup>ns</sup>	0.9280 <sup>ns</sup>	0.0616 <sup>ns</sup>	1.099 <sup>ns</sup>	0.15824 <sup>ns</sup>	1	گوگرد Sulfur						
0.031205 <sup>ns</sup>	0.002662 <sup>ns</sup>	0.0056 <sup>ns</sup>	0.0497 <sup>ns</sup>	2.5777**	0.14927 <sup>ns</sup>	2	منابع فسفر Phosphorous resources						
0.041696*	0.001050 <sup>ns</sup>	0.2601 <sup>ns</sup>	0.2298 <sup>ns</sup>	2.255*	0.04588 <sup>ns</sup>	1	تیوباسیلیوس <i>Thiobacillus</i>						
0.023281 <sup>ns</sup>	0.001281 <sup>ns</sup>	1.913*	0.1197 <sup>ns</sup>	0.4488 <sup>ns</sup>	0.08181 <sup>ns</sup>	2	منابع فسفر × گوگرد Phosphorous resources * Sulfur						
0.001384 <sup>ns</sup>	0.000996 <sup>ns</sup>	1.1592 <sup>ns</sup>	0.1324 <sup>ns</sup>	0.34844 <sup>ns</sup>	0.37713 <sup>ns</sup>	1	گوگرد × تیوباسیلیوس Sulfur * <i>Thiobacillus</i>						
0.002376 <sup>ns</sup>	0.005875 <sup>ns</sup>	0.8116 <sup>ns</sup>	0.1032 <sup>ns</sup>	0.232 <sup>ns</sup>	0.79698**	2	منابع فسفر × تیوباسیلیوس Phosphorous resources * <i>Thiobacillus</i>						
0.008217 <sup>ns</sup>	0.005416 <sup>ns</sup>	0.2079 <sup>ns</sup>	0.0237 <sup>ns</sup>	0.001303 <sup>ns</sup>	0.35488*	2	فسفر × گوگرد × تیوباسیلیوس Phosphorous resources * Sulfur * <i>Thiobacillus</i>						
0.009844	0.003193	0.4760	0.1055	0.3203	0.9724	24	خطا Error						
11.21	5.63	7.25	3.59	6.76	3.44	-	ضریب تغییرات C.V%						

\*\* و \* Significant at 1% and 5% level of probability, respectively; <sup>ns</sup> no Significant.

\*\*\* و \*\* بدترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و <sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی دار.



شکل ۱- برهم کنش منابع فسفر-تیوباسیلوس بر غلظت سرب اندام هوایی نهال‌های پسته.

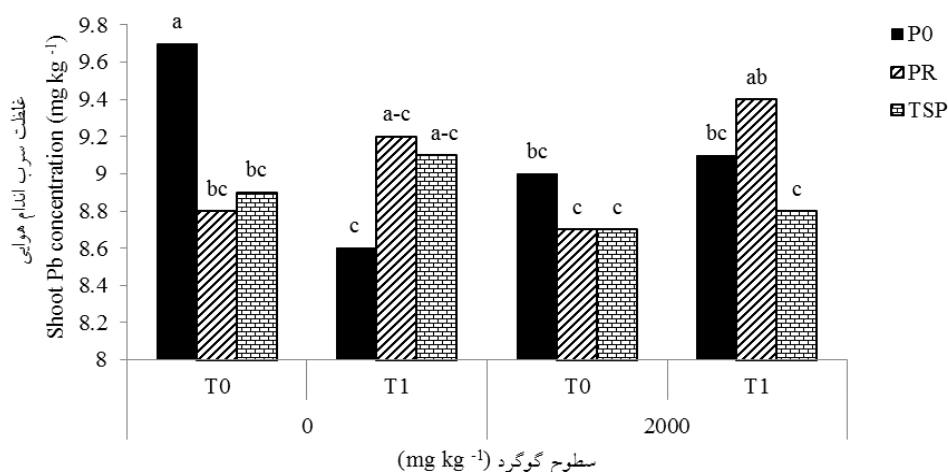
Figure 1. Interactive effects of phosphorus sources × *Thiobacillus* on Pb concentration in shoot of pistachio seedlings.

T<sub>0</sub>: سطح صفر تیوباسیلوس، T<sub>1</sub>: مایه تلقیح تیوباسیلوس، P<sub>0</sub>: سطح صفر فسفر، PR: خاک فسفات، TSP: سوپر فسفات تریپل.

T<sub>0</sub>: non-inoculation, T<sub>1</sub>: *Thiobacillus* inoculation, P<sub>0</sub>: control, PR: phosphate rock: TSP: triple superphosphate.

شکل یونی سرب موجود در خاک توسط گیاهان جذب شود (۶۳). کاربرد خاک فسفات همراه با سطوح مختلف کود گاوی به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده نیز غلظت سرب را در گیاه ذرت افزایش داد (۵). به هر حال چون این تیمارها با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند نمی‌توان تأثیر برهم‌کنش گوگرد و تیوباسیلوس با کودهای فسفاتی را بر گیاه منفی قلمداد کرد. همچنین فاکتور انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی تحت‌تأثیر معنی‌دار هیچ‌یک از تیمارها قرار نگرفت (جدول ۴).

در شکل ۲ نیز بیش‌ترین مقدار سرب اندام هوایی در تیمار شاهد مشاهده می‌شود که با تیمارهای خاک فسفات-گوگرد-تیوباسیلوس و سوپر فسفات تریپل-گوگرد-تیوباسیلوس تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. گزارش شده فراهمی سرب می‌تواند با تغییرات شیمیایی در خاک به‌ویژه کاهش pH افزایش یابد (۱۱) و در محیط‌های کمی اسیدی (مثلاً در حضور اسید سولفوریک یا اسید کلریدریک رقیق) می‌تواند مقدار کمی نمک‌های محلول (PbSO<sub>4</sub>, PbCl<sub>2</sub>) تشکیل شود و در نتیجه



شکل ۲- برهم کنش منابع فسفر - گوگرد- تیوباسیلوس بر غلظت سرب اندام هوایی نهال‌های پسته.

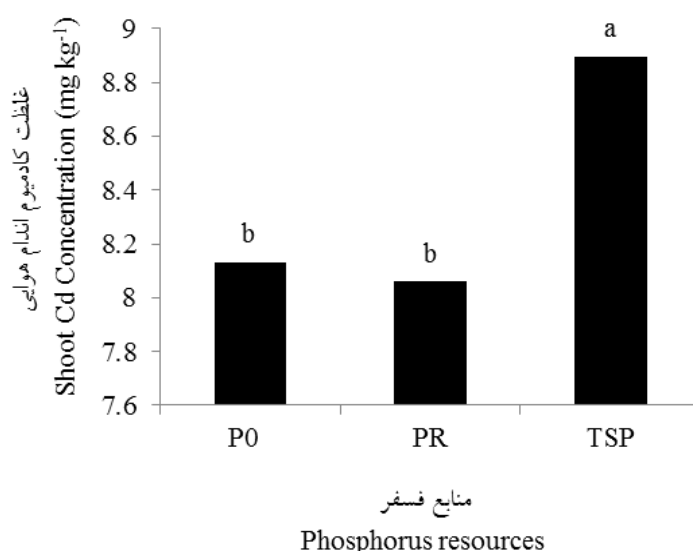
Figure 2. Interactive effects of phosphorus sources × sulfur × *Thiobacillus* on Pb concentration in shoot of pistachio seedlings.

T<sub>0</sub>: سطح صفر تیوباسیلوس، T<sub>1</sub>: مایه تلقیح تیوباسیلوس، P<sub>0</sub>: سطح صفر فسفر، PR: خاک فسفات، TSP: سوپر فسفات تریپل.

T<sub>0</sub>: non-inoculation, T<sub>1</sub>: *Thiobacillus* inoculation, P<sub>0</sub>: control, PR: phosphate rock: TSP: triple superphosphate.

در همین راستا جعفری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند به‌علت مصرف بیش از حد کودهای فسفاتی با ناخالصی کادمیوم، غلظت این عنصر سنگین در خاک‌های کشاورزی خوزستان رو به گسترش است (۲۵). در هر حال تاکنون مطالعات متعددی نشان داده‌اند کادمیوم موجود در کودهای فسفاتی برای گیاهان مختلف قابلیت دسترسی بالایی داشته است. چنان‌چه هوانگ و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند افزایش کاربرد سوپر فسفات تریپل، باعث افزایش غلظت کادمیوم در میوه و تاک خیار شد (۲۲). مر و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی مشابه با افزایش کاربرد سوپر فسفات کلسیم افزایش معنی‌داری را در غلظت کادمیوم برگ ارقام مختلف سبزی کماتسوناز از ۱/۴۴ به ۲/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم نشان دادند (۳۶). توماس و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش نمودند کاربرد سوپر فسفات ساده سبب افزایش غلظت کادمیوم در ساقه و ریشه گیاه تاج خروس شد (۵۹).

مطابق با نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی منابع فسفر بر غلظت کادمیوم اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. به‌طوری‌که مصرف سوپر فسفات تریپل توانست سبب افزایش ۹/۵٪ غلظت کادمیوم اندام هوایی نهال پسته نسبت به شاهد و ۱۰/۵٪ نسبت به خاک فسفات شود این در حالی بود که این کود شیمیایی به‌میزان یک سوم خاک فسفات به‌کار رفته بود اما از آن‌جا که غلظت کادمیوم در سوپر فسفات تریپل بیش‌تر بود حتی میزان مصرف کم‌تر آن نیز نتوانست باعث عدم تجمع کادمیوم کم‌تر در گیاه گردد (شکل ۳). در دو سیستم کشت ارگانیک و سنتی نیز مصرف سوپر فسفات ساده به‌دلیل آلودگی بیش‌تر کادمیوم، باعث افزایش غلظت کادمیوم دانه گندم در مقایسه با تیمار شاهد و خاک فسفات مراکش شد (۴۱). اگر چه غلظت کادمیوم سوپر فسفات تریپل در محدوده استاندارد ایران قرار داشت ولی نتوانست باعث افزایش معنی‌دار تجمع کادمیوم در گیاه گردد.



شکل ۳- اثر منابع فسفر بر غلظت کادمیوم اندام هوایی نهال‌های پسته.

Figure 3. Effects of phosphorus sources on Cd concentration in shoot of pistachio seedlings.

P<sub>0</sub>: سطح صفر فسفر، PR: خاک فسفات، TSP: سوپر فسفات تریپل.

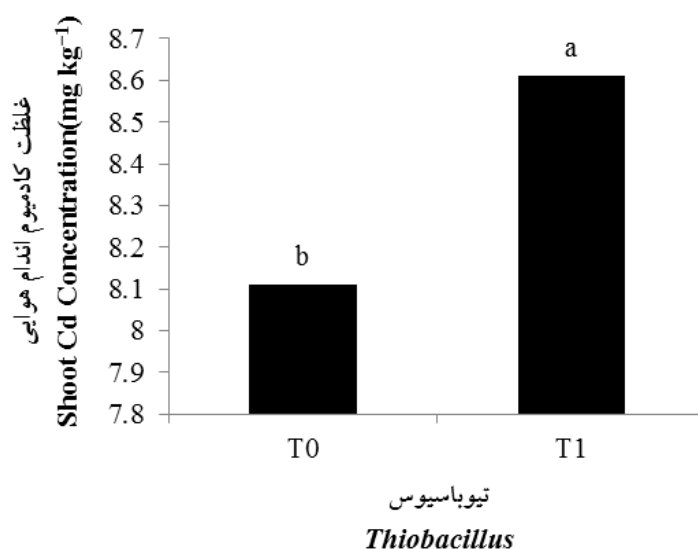
P<sub>0</sub>: control, PR: phosphate rock, TSP: triple superphosphate.

جایگیری در داخل گیاه مانند انتقال از میان غشاهای سلول‌های پارانشیم آوند چوبی به سوی سیستم انتقالی آوند چوبی و یا برای انتقال از غشا در داخل و خارج از سلول‌های آوند آبکش اتفاق افتد (۲۰، ۶۶). پژوهش‌ها نیز نشان داده است حضور روی در کودهای فسفاتی می‌تواند فراهمی زیستی کادمیوم را کاهش دهد اما کاربرد کودهای فسفاته‌ای که عنصر روی در آنها وجود ندارد و یا غلظت آن ناچیز است باعث افزایش تجمع کادمیوم در گیاه شده‌اند (۳۹، ۱۸). در پژوهشی نشان داده شد کاربرد کود فسفاتی، غلظت روی را در گندم دوروم کاهش و غلظت کادمیوم را در ریشه‌ها و شاخه‌ها و نیز انتقال آن را از ریشه به شاخه افزایش داد (۱۶). کمبود روی ممکن است باعث تخریب غشای سلولی سلول‌های ریشه گشته باعث افزایش حرکت کادمیوم به گیاه از طریق جریان توده‌ای شود (۱۸). لورنز و همکاران (۱۹۹۴)

کودهای فسفاتی علاوه بر این‌که با آلودگی کادمیومی خود به‌طور مستقیم باعث حضور این عنصر در خاک و عرضه آن به گیاه می‌شوند، اما اثرات غیرمستقیم آن‌ها نیز می‌تواند به افزایش تجمع کادمیوم در گیاه کمک نماید از جمله این تأثیرات غیرمستقیم می‌توان به حضور روی در ترکیب شیمیایی کودهای فسفاتی اشاره نمود. روی در افزایش یا کاهش تجمع کادمیوم رفتار دوگانه از خود نشان می‌دهد. از آن‌جا که روی و کادمیوم برای سایت‌های تبادلی مشابه در خاک با یکدیگر رقابت می‌کنند، روی می‌تواند باعث خروج کادمیوم از مکان‌های تبادلی گشته و افزایش واجدبی کادمیوم منجر به افزایش غلظت آن در فاز محلول خاک شود (۱۵). از طرف دیگر، روی با کادمیوم در فرآیند جذب و انتقال گیاهی نیز رقابت می‌کند چنان‌چه این رقابت می‌تواند برای مکان‌های انتقال در غشای پلاسمایی ریشه یا برای فرایندهای

کادمیوم در فاز محلول خاک اشاره نمود (۴۰، ۵۶، ۵۷، ۵۸). pH خاک نقش مهمی بر حلالیت و تحرک کادمیوم در خاک دارد، با افزایش pH حلالیت و فعالیت یونی کادمیوم کاهش و جذب سطحی آن افزایش می‌یابد (۸). به دنبال آن ضریب توزیع خاکی کادمیوم (Kd) که از نسبت غلظت کادمیوم در خاک به غلظت آن در فاز محلول به دست می‌آید افزایش و متعاقباً فراهمی کادمیوم برای گیاه کاهش می‌یابد (۴۸). در ۱۱۲ نمونه خاک جمع‌آوری شده از مزارع سراسر کانادا با افزایش pH خاک Kd حدوداً ده برابر افزایش یافت (۵۳). ارزیابی ۲۹ خاک در نیوزیلند نیز نشان داد که pH خاک غالب‌ترین فاکتور اثرگذار بر غلظت کادمیوم خاک و افزایش جذب آن بود (۱۹). بنابراین شاید یکی از دلایل احتمالی افزایش غلظت کادمیوم در نهال‌های پسته تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس، کاهش pH خاک توسط این باکتری و در نتیجه افزایش فراهمی زیستی کادمیوم و تجمع آن در گیاه باشد. البته در مورد این که تیوباسیلوس تنها با کاهش pH سبب افزایش غلظت کادمیوم گردیده نمی‌توان کاملاً مطمئن بود. چرا که در آزمایشی که روی همین خاک انجام گرفته نشان داده شده است که اثر اصلی گوگرد و اثر متقابل گوگرد-تیوباسیلوس باعث کاهش معنی‌دار pH خاک گردیدند ولی باعث افزایش معنی‌دار غلظت کادمیوم نشدند (۲۶). آوتوی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که همراهی کود گاوی با خاک فسفات توانست باعث افزایش تجمع کادمیوم در گیاه ذرت شود (۵).

گزارش کردند جریان توده‌ای همبستگی مثبتی با جذب کادمیوم داشته است (۳۴). در پژوهش حاضر نیز کود سوپر فسفات تریپل وارداتی غلظت روی اندام هوایی نهال‌های پسته را کاهش داد که این امر ممکن است به افزایش تجمع کادمیوم در گیاه کمک کرده باشد. در حالی که خاک فسفات داخلی حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای عنصر روی بود (۲۶) و احتمالاً روی در نتیجه رقابت با کادمیوم اجازه جذب و انتقال آن را به گیاه نداده است. پیوند نامحلول کادمیوم در خاک فسفات می‌تواند سومین دلیل احتمالی برای ایجاد این تفاوت باشد (۱۴). به غیر از تأثیری که کودهای فسفاتی به عنوان نهاده‌های کودی بر افزایش تجمع آلاینده‌های فلزی در خاک و گیاه می‌گذارند، استفاده از مواد اصلاح‌کننده‌ای که همراه با آنها به کار می‌رود نیز ممکن است بتواند با تغییراتی که در خصوصیات خاک ایجاد می‌کند بر گونه و فراهمی این عناصر تأثیرگذار باشد. به طوری که نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از مایه تلقیح تیوباسیلوس توانست ۰.۶٪ کادمیوم اندام هوایی را در مقایسه با عدم تلقیح در سطح ۵ درصد افزایش دهد که البته تجمع کم‌تری را در گیاه نسبت به اثر سوپر فسفات تریپل نشان داد (شکل ۴). تجمع کادمیوم در گیاه نه تنها به غلظت کل کادمیوم در خاک بستگی دارد بلکه فراهمی زیستی کادمیوم نیز از جمله عوامل بسیار مهمی است (۸) که به نوبه خود می‌تواند متأثر از فعالیت میکروبی و پویایی ریزوسفر باشد (۴۹). از فاکتورهای خاکی مؤثر بر فراهمی زیستی کادمیوم می‌توان به pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، قدرت یونی و وجود یون‌های کمپلکس‌کننده



شکل ۴- اثر مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت کادمیوم اندام هوایی نهال‌های پسته.

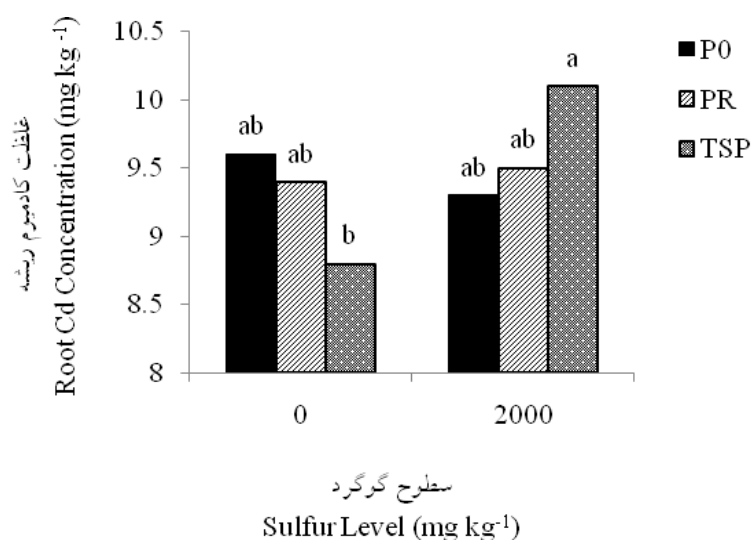
Figure 4. Effects of *Thiobacillus* on Cd concentration in shoot of pistachio seedlings.

T<sub>0</sub>: سطح صفر تیوباسیلوس، T<sub>1</sub>: مایه تلقیح تیوباسیلوس.

T<sub>0</sub>: non-inoculation, T<sub>1</sub>: *Thiobacillus* inoculation.

می‌باشد (۴۶). در حالی که در محیط‌های اسیدی کادمیوم معمولاً به شکل یونی بوده و به آسانی توسط ریشه جذب و در داخل گیاه انتقال می‌یابد. بنابراین شاید بتوان یکی از دلایل احتمالی انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی نهال‌های پسته در تیمارهای واجد تیوباسیلوس را تأثیر این باکتری بر کاهش pH خاک دانست. اگرچه سوپر فسفات تریپل نیز انتقال کادمیوم را به اندام هوایی در مقایسه با خاک فسفات و شاهد ده برابر افزایش داد ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نگردید، ویلیامز و دیوید (۱۹۷۶) یکی از دلایل آن را به فراهمی بالای فسفر در مداخله کردن انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی گیاه معرفی نموده‌اند (۶۵).

برهم‌کنش گوگرد و منابع فسفر نیز بر غلظت کادمیوم ریشه اثر معنی‌داری را در سطح ۵ درصد نشان داد، به طوری که بیش‌ترین غلظت کادمیوم ریشه از کاربرد سوپر فسفات تریپل و گوگرد به‌دست آمد که تنها با سوپر فسفات تریپل در سطح صفر گوگرد اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۵). توماس و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند با کاربرد سوپر فسفات ساده غلظت کادمیوم ریشه ذرت افزایش یافت (۵۹). تلقیح باکتری تیوباسیلوس به خاک توانست افزایش معنی‌داری را در فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی در سطح ۵ درصد نشان دهد (شکل ۶). در خاک‌های آهکی با مدیریت‌های متفاوت، بیش‌تر کادمیوم داخلی خاک به شکل کربناتی و تتمه بوده و مقدار بسیار کمی از آن قابل استفاده

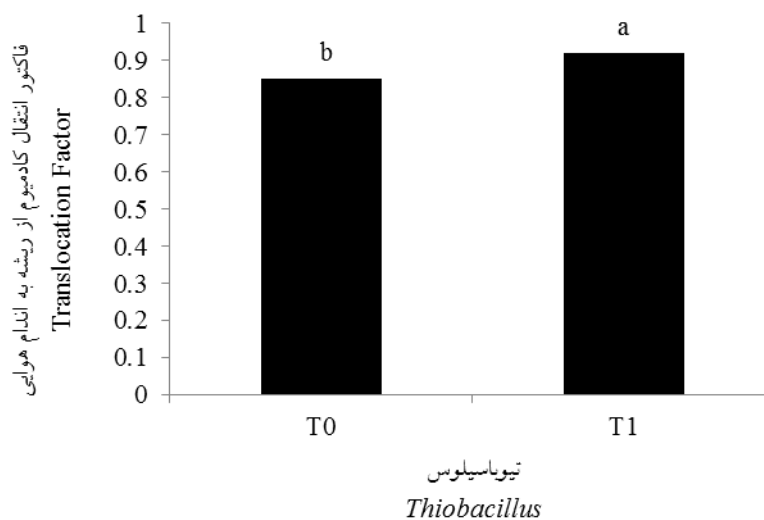


شکل ۵- برهم کنش منابع فسفر- گوگرد بر غلظت کادمیوم ریشه نهال‌های پسته.

Figure 5. Interactive effects of phosphorus sources\*sulfur on Cd concentration in shoot of pistachio seedlings.

P<sub>0</sub>: سطح صفر فسفر، PR: خاک فسفات، TSP: سوپر فسفات تریپل.

P<sub>0</sub>: control, PR: phosphate rock, TSP: triple superphosphate.



شکل ۶- اثر تیوباسیلوس بر فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی نهال‌های پسته.

Figure 6. Effects of *Thiobacillus* on translocation factor of Cd from root to shoot in pistachio seedlings.

T<sub>0</sub>: سطح صفر تیوباسیلوس، T<sub>1</sub>: مایه تلقیح تیوباسیلوس.

T<sub>0</sub>: non-inoculation, T<sub>1</sub>: *Thiobacillus* inoculation.

### نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، برای اولین بار به بررسی تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس بر انتقال سرب و کادمیوم از کود سوپر فسفات تریپل وارداتی و خاک فسفات داخلی به نهال پسته پرداخته شد. به طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد کودهای فسفاتی نه تنها باعث افزایش انتقال سرب به گیاه نشد بلکه از ورود آن به گیاه نیز جلوگیری کرد، البته مصرف دو کود فسفاتی همراه با گوگرد و تیوباسیلوس باعث افزایش تجمع سرب در گیاه شد و آن‌ها را با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار داد. کود سوپر فسفات تریپل وارداتی نیز، به دلیل آلودگی کادمیومی بالا، باعث افزایش ۱۰/۵ درصدی غلظت کادمیوم اندام هوایی نسبت به خاک فسفات گردید. در واقع، آلودگی کادمیوم بسیار کمی که در خاک فسفات داخلی نسبت به سوپر فسفات تریپل وارداتی مشاهده شد، می‌تواند بیانگر کیفیت مناسب منابع خاک فسفات کشور از این نظر باشد که البته در این زمینه مطالعات بیشتر، نتایج مشخص‌تری

را ارائه خواهد نمود. از دلایل دیگری که احتمالاً توانسته باعث این اختلاف شود، می‌توان به پیوند نامحلول کادمیوم در ساختار خاک فسفات اشاره نمود. همچنین به نظر می‌رسد فعالیت میکروبی می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در تجمع و انتقال کادمیوم در گیاه شمرده شود. به هر حال مایه تلقیح تیوباسیلوس تأثیر افزایشی نسبتاً کم‌تری را در مقایسه با سوپر فسفات تریپل داشت و بر خلاف این کود باعث ورود کادمیوم به خاک و تجمع آن نخواهد شد علاوه بر این، با اصلاح pH خاک می‌تواند باعث افزایش غلظت عناصر وابسته به pH هم‌چون فسفر و روی شود. البته با توجه به افزایش فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی توسط باکتری تیوباسیلوس، شاید بتوان از سویه‌های مقاوم تیوباسیلوس به غلظت بالای کادمیوم، برای گیاه پالایی و پاکسازی خاک‌های آلوده استفاده نمود.

### منابع

- Allinson, D.W., and Dzialo, C. 1981. The influence of lead, cadmium and nickel on the growth of ryegrass and oats. *Plant Soil*. 62: 81-89.
- Alloway, B.J., and Steinnes, E. 1999. Anthropogenic additions of cadmium to soils, P 97-123. In: M.J. McLaughlin and B.R. Singh (Eds.), *Cadmium in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Andersson, A., and Siman, G. 1991. Levels of Cd and some other trace elements in soils and crops as influenced by lime and fertilizer level. *Acta Agric. Scand*. 41: 3-11.
- Arora, C.L., Nayyar, V.K., and Randhawa, N.S. 1975. Note on secondary and micro-element contents of fertilizers and manures. *Ind. J. Agr. Sci*. 45: 80-85.
- Awotoye, O.O., Oyedele, D.J., and Anwadike, B.C. 2011. Effects of cow-dung and rock phosphate on heavy metal content in soils and plants. *JSSEM*. 2: 193-197.
- Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agron. J*. 43: 434-438.
- Cao, R.X., Ma, L.Q., Chen, M., Singh, S.P., and Harris, W.G. 2003. Phosphate-induced metal immobilization in a contaminated site. *Environ. Pollut*. 122: 19-28.
- Carrillo-Gonzalez, R., Simunek, J., Sauve, S., and Adriano, D. 2006. Mechanisms and pathways of trace element mobility in soils. *Adv. Agron*. 91: 111-178.
- Charter, R.A., Tabatabai, M.A., and Schafe, J.W. 1993. Metal Contents of fertilizers marketed in Iowa. *Comm Soil Sci. Plant Anal*. 24: 961-972.



10. Das, P., Samantaray, S., and Rout, G.R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environ. Poll.* 98: 29-36.
11. Dissanayake, C.B., and Chandrajith, R. 2009. Phosphate mineral fertilizers, trace metals and human health. *J. Natur. Sci. Foundation.* 37: 153-165.
12. Ebong, G.A., Akpan, M.M., and Mkpenie, V.N. 2008. Heavy metal contents of municipal and rural dumpsite soils and rate of accumulation by *Carica papaya* and *Talinum triangulare* in Uyo, Nigeria. *E. J. Chem.* 5: 281-290.
13. Ewa, I.O.M., Oladipo, M.O.A., and Dim, L.A. 1999. Horizontal and vertical distribution of selected metals in the Kubani river, Nigeria as determined by neutron activation analysis. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 1081-1090.
14. FAO. 2004. Use of phosphate rock for sustainable agriculture, by Zapata, F., and Roy, R.N. (eds). *FAO Fertilizer and Plant Nutrition. Bulletin NO. 13.* Rome, Italy.
15. François, M., Grant, C., Lambert, R., and Sauvé, S. 2009. Prediction of cadmium and zinc concentration in wheat grain from soils affected by the application of phosphate fertilizers varying in Cd concentration. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 83: 125-133.
16. Gao, X., Flaten, D., Tenuta, M., Grimmett, M., Gawalko, E., and Grant, C. 2010. Soil solution dynamics and plant uptake of cadmium and zinc by durum wheat following phosphate fertilization. *Plant Soil.* 338: 423-434.
17. Goyer, R.A., and Clarkson, T.W. 2001. Toxic effects of metals, P 811-867. In: C.D. Klaassen (Ed.), *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*, Mc-Graw-Hill, New York.
18. Grant, C.A., and Bailey, L.D. 1997. Nitrogen, phosphorus and zinc management effects on grain yield and cadmium concentration in two cultivars of durum wheat. *Can. J. Plant Sci.* 78: 63-70.
19. Gray, C.W., McLaren, R.G., Roberts, A.H.C., and Condron, L.M. 1999. Solubility, sorption and desorption of native and added cadmium in relation to properties of soils in New Zealand. *Eur. J. Soil Sci.* 50: 127-137.
20. Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A., and Kochian, L.V. 2002. Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. *Physiol. Plant.* 116: 73-78.
21. He, Q.B., and Singh, B.R. 1995. Cadmium availability to plants as affected by repeated applications of phosphorus fertilizers. *Acta Agr. Scand. B-S.P.* 45: 22-31.
22. Huang, B., Kuo, S., and Bembenek, R. 2003. Cadmium uptake by cucumber from soil amended with phosphorus fertilizers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128: 615-620.
23. Hu, Y., Vanhaecke, F., Moens, L., Dams, R., del Castillo, P., and Japenga, J. 1998. Determination of the aqua regia soluble content of rare earth elements in fertilizer, animal fodder phosphate and manure samples using inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta.* 373: 95-105.
24. Iretskaya, S.N., Chien, S.H., and Menon, R.G. 1998. Effect of acidulation of high cadmium containing phosphate rocks on cadmium uptake by upland rice. *Plant Soil.* 201: 183-188.
25. Jafarnejadi, A.R., Homaei, M., Sayyad, G., and Bybordi, M. 2011. Large Scale Spatial Variability of Accumulated Cadmium in the Wheat Farm Grains. *Soil and Sed. Contam.* 20: 98-113.
26. Jazaeri, M.S. 2012. Isolation and effectiveness of *Thiobacillus* on phosphorous and some of micro nutrient uptake by Pistachio seedling. M.Sc. Thesis, Vali-E-Asr University of Rafsanjan, I. R. Iran. (In Persian)
27. Kassir, L.N., Darwish, T., Shaban, A., Olivier, G., and Ouaini, N. 2012. Mobility and bioavailability of selected trace elements in Mediterranean red soil amended with phosphate fertilizers: Experimental study. *Geoderma.* 189: 357-368.
28. Kiani Ersi, M., Noue Parast, M., and Amini, A. 2010. Concentration of Sedimentary phosphate ore using shaking table and leaching with acetic acid. *International Conference on Mining.*

29. Knudson, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.L. 1982. Lithium, sodium, and potassium, P 225-246. In: Page A.L. Miller R.H. and Keeney D.R. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 2 (2<sup>nd</sup> ed.), J. Am. Soc. Agron. Madison.
30. Kpombekou, A.K., and Tabatabai, M.A. 1994. Metal contents of phosphate rocks. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 2871-2882.
31. Lambert, R., Grant, C., and Sauve, C. 2007. Cadmium and zinc in soil solution extracts following the application of phosphate fertilizers. Sci. Total Environ. 378: 293-305.
32. Lehoczky, E.I., and Marth, P. 1996. Cd content of plants as affected by soil Cd concentration. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27: 1765-1777.
33. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
34. Lorenz, S.E., Hamon, R.E., McGrath, S.P., Holm, P.E., and Christensen, T.H. 1994. Application of fertilizer cations affect cadmium and zinc concentrations in soil solutions and uptake by plants. Eur. J. Soil Sci. 45: 159-165.
35. Malakoti, M.J., Torabi, M., and Tabatabaei, S.J. 2000. The hazardous effect of Cd and the methods of reducing Cd concentrations in agricultural products. The Technical bulletin Ministry of Agriculture. Soil and water Research Institute. 87: 1-25. (In Persian)
36. Mar, S.S., Okazaki, M., and Motobayashi, T. 2012. The influence of phosphate fertilizer application levels and cultivars on cadmium uptake by Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *perviridis*). JSSPN. 58: 492-502.
37. McLaughlin, M.J., Tiller, K.G., Nacdu, R., and Stevens, D.P. 1996. Review: the behavior and environmental impact of contaminants in fertilizers. Aust. J. Soil Res. 34: 1-54.
38. Milinović, J., Lukić, V., Nikolić-Mandić, S., and Stojanović, D. 2008. Concentrations of heavy metals in NPK fertilizers imported in serbia. Pestic. fitomed. (Beograd). 23: 195-200.
39. Moraghan, J.T. 1984. Differential responses of five species to phosphorus and zinc fertilizers. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15: 137-147.
40. Naidu, R., Bolan, N., Kookana, R.S., and Tiller, K. 1994. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. Eur. J. Soil Sci. 45: 419-429.
41. Oliver, D.P., Penfold, C., Derrick, J., Cozens, G., and Tiller, K.G. 1997. Cadmium concentration in grain grown under organic farming systems and using alternative fertilizer. Technical Report. 13 CSIRO.
42. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanbe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939, U.S. Govern. Prin. Office, Washington, DC., USA.
43. Oyedele, D.J., Asonugho, C., and Awotoye, O.O. 2006. Heavy metals in soil and accumulation by edible vegetable after phosphate fertilizer application. Electron. J. Environ. Agric. Food Chem. 5: 35-42.
44. Pahlsson, A.B. 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. Water Air Soil Pollut. 47: 287-319.
45. Pezzarossa, B., Malorgio, F., Lubrano, L., Tognoni, F., and Petruzzeli, G. 1990. Phosphatic fertilizers as sources of heavy metals in protected cultivation. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 21: 737-751.
46. Renella, G., Adamo, P., Bianco, M.R., Landi, L., Violante, P., and Nannipieri, P. 2004. Availability and speciation of cadmium added to a calcareous soil under various managements. Eur. J. Soil Sci. 55: 123-133.
47. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline alkali soils. U.S.D.A. Handbook, No. 60. Washington, D.C., USA.
48. Rieuwerts, J.S., Ashmore, M.R., Farago, M.E., and Thornton, I. 2006. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. Sci. Total Environ. 366: 864-875.

49. Rivera-Becerril, F., Calantzis, C., Turnau, K., Caussanel, J.P., Belimov, A.A., Gianinazzi, S., Strasser, R.J., and Gianinazzi-Pearson, V. 2002. Cadmium accumulation and buffering of cadmium-induced stress by arbuscular mycorrhiza in three *Pisum sativum* L. genotypes. *J. Exp. Bot.* 53: 1177-1185.
50. Sauerbeck, D. 1992. Conditions controlling the bioavailability of trace elements and heavy metals derived from phosphate fertilizers in soils, P 419-448. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International IMPHOS Conference on Phosphorus, Life and Environment, Institute Mondial du Phosphate, Casablanca Science.
51. Schroeder, H.A., and Balassa, J.J. 1963. Cadmium: uptake by vegetables from superphosphate in soil. *Science.* 140: 819-820.
52. Seiler, J.R., and Paganelli, D. 1987. Photosynthesis and growth response of red spruce and loblolly pine to soil-applied lead and simulated acid rain. *For. Sci.* 33: 668-675.
53. Sheppard, M.I., Sheppard, S.C., and Grant, C. 2007. Solid/ liquid partition coefficients to model trace element critical loads for agricultural soils in Canada. *Can. J. Soil Sci.* 87: 189-201.
54. Sheppard, S.C., Grant, C.A., Sheppard, M.I., De Jong, R., and Long, J. 2009. Risk indicator for agricultural inputs of trace elements to Canadian soils. *J. Environ. Qual.* 38: 919-932.
55. Smith, R.G. 1972. Lead, P 153-157. In: Lee, D.H.K. (Ed). *Metallic Contaminants and Human Health.* Academic Press, New York.
56. Smolders, E., and McLaughlin, M.J. 1996. Chloride increases cadmium uptake in Swiss chard in a resin buffered nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1443-1447.
57. Smolders, E., Lambregts, R.M., McLaughlin, M.J., and Tiller, K.G. 1998. Effect of soil solution chloride on cadmium availability to Swiss chard. *J. Environ. Qual.* 27: 426-431.
58. Tang, X.Y., Zhu, Y.G., Chen, S.B., Tang, L.L., and Chen, X.P. 2004. Assessment of the effectiveness of different phosphorus fertilizers to remediate Pb-contaminated soil using in vitro test. *Environ Int.* 30: 531-537.
59. Thomas, E.Y., Omueti, J.A.I., and Ogundayomi, O. 2012. The Effect of Phosphate Fertilizer on Heavy Metal in Soils and *Amaranthus Caudatus*. *Agric. Biol. J. N. Am.* 3: 145-149.
60. Traina, S.J. 1999. The Environmental Chemistry of Cadmium, P 11-38. In: M.J. McLaughlin, and B.R. Singh (Eds.), *Cadmium in Soils and Plants.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
61. Wakefield, Z.T. 1980. Distribution of cadmium and selected heavy metals in phosphate fertilizer processing. Bulletin Y-159. Tennessee Valley Authority, national Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama.
62. Wang, B., Xie, Z., Chen, J., Jiang, J., and Su, Q. 2008. Effects of field application of phosphate fertilizers on the availability and uptake of lead, zinc and cadmium by cabbage (*Brassica chinensis* L.) in a mining tailing contaminated soil. *JES.* 20: 1109-1117.
63. Wiczorek, J., Wiczorek, Z., and Bieniaszewski, T. 2005. Cadmium and Lead Content in Cereal Grains and Soil from Cropland Adjacent to Roadways. *POL. J. Environ. Stud.* 14: 535-540.
64. Williams, C.H., and David, D.J. 1973. The Effect of Superphosphate on the Cadmium content of soils and plants. *Aust. J. Soil Res.* 11: 43-56.
65. Williams, C.H., and David, D.J. 1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Sci.* 121: 86-93.
66. Zhao, Z.Q., Zhu, Y.G., Smith, S.E., and Smith, F.A. 2005. Cadmium uptake by winter wheat seedlings in response to interactions between phosphorus and zinc supply in soils. *J. Plant. Nut.* 28: 1569-1580.



## Comparison of the native phosphate rock and imported triple superphosphate treated with sulfur and *Thiobacillus* in transferring lead and Cadmium into Pistachio seedling

M.S. Jazaeri<sup>1</sup>, \*A.R. Akhgar<sup>2</sup> and M. Sarcheshmehpour<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-E-Asr University of Rafsanjan,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-E-Asr University of Rafsanjan,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 01/28/2014; Accepted: 11/22/2014

### Abstract

**Background and Objectives:** Soil pollution with heavy metals is increasing significantly and created major environmental problems worldwide. Cadmium and Lead are among the heavy metals entering into the soil through various means such as the burning of fossil fuels, municipal solid waste, chemical fertilizers, pesticides, sewage sludge, etc. Several studies have shown that the use of phosphate fertilizers resulted in the transfer of heavy metals to agricultural crops. On the other hand, potential of calcareous soils in the stabilization of P have caused the need for using natural modifier along with phosphate fertilizers for increasing their effectiveness.

**Materials and Methods:** In order to compare the native phosphate rock and imported triple superphosphate treated with sulfur and *Thiobacillus* in transferring lead and cadmium into Pistachio seedling, cadmium and lead contamination in imported triple superphosphate and native rock phosphate samples were first analyzed and then, the ability of the two phosphorus fertilizers treated with elemental sulfur and *Thiobacillus* to accumulate lead and cadmium in pistachio seedlings was evaluated. For this purpose, a pot experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with three replications including three levels of phosphate fertilizers (control (P<sub>0</sub>), 2000 mg phosphate rock per kg soil (PR) and 67 mg triple superphosphate per kg soil (TSP)), two levels of elemental sulfur (0 (S<sub>0</sub>) and 2000 mg sulfur per kg soil (S<sub>1</sub>)) and two levels inoculums (non-inoculation (T<sub>0</sub>) and *Thiobacillus* inoculation (T<sub>1</sub>)). Cadmium and lead concentrations in shoots and roots were measured and also analyzed in both phosphate fertilizers.

**Results:** Results showed that the mean value of cadmium concentration in imported triple superphosphate with 17.75 mg Cd/kg fertilizer was about 5 times higher than cadmium concentration in native rock phosphate with 3.05 mg Cd/kg fertilizer. Lead concentrations in imported triple superphosphate and native rock phosphate were found 0.932 and 1.05 mg Pb/kg respectively and no statistically significant difference was observed between two fertilizers. Application of triple superphosphate had the greatest effect on shoot cadmium concentration (10.5%) compared to the phosphate rock. Using *Thiobacillus* increased significantly shoot cadmium concentration (6%) and cadmium translocation factor. Application of phosphate fertilizers decreased lead concentration in shoot and the highest lead concentration was observed in the control treatment.

**Conclusion:** In general, the results indicated that the application of phosphate fertilizers not only didn't cause lead transmission to the plant but also inhibited lead entrance to the plant, but the use of sulfur and *Thiobacillus* along with phosphate fertilizers increased lead uptake in plant in comparison with application of only phosphate fertilizers, so that, it was classified with control treatment in one group. Imported triple super phosphate fertilizer also raised shoot cadmium concentration up to 10.5% in compared to phosphate soil because of high cadmium contamination. A very little Cadmium pollution in phosphate soil suggests the good quality of phosphate soil sources in our country compared to imported triple superphosphate. However, further studies in this context, will provide more specific results.

**Keywords:** Cadmium, Lead, Phosphate rock, *Thiobacillus*, Triple superphosphate

\* Corresponding Authors; Email: arakhgar@yahoo.com