

قابلیت گیاه پالایی خاک آلوده به نیکل با استفاده از آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)

آرش محمدزاده^۱، * سجاد رحیمی مقدم^۱، محمدرضا چایچی^۲ و یعثوب حیدرزاده^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه شهید بهشتی، آستاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران،

^۲ دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین یکی از مشکلات اصلی محیط زیست در سراسر جهان است، که باعث خطراتی برای سلامت مردم و زیست‌بوم می‌شود. برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توان از گیاه‌پالایی که یک روش در حال گسترش، کم‌هزینه و دوست‌دار محیط زیست است، استفاده کرد. این گیاهان باید دارای رشد سریع بوده و ضمن تولید زیست‌توده انبوه، تحمل خوبی نسبت به غلظت‌های بالای فلزات سنگین در اندام هوایی داشته باشند. اهداف اصلی پژوهش حاضر عبارتند از: (۱) بررسی اثرات آلودگی نیکل بر شاخص‌های رشدی آفتابگردان و سورگوم و (۲) بررسی توانایی پالایش آلودگی نیکل توسط آفتابگردان و سورگوم.

مواد و روش‌ها: به منظور ارزیابی کارایی گیاه‌پالایی آفتابگردان و سورگوم در سطوح مختلف نیکل، آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج در سال ۱۳۹۱ به اجرا درآمد. آزمایش به صورت فاکتوریل و تیمارهای آزمایش شامل دو گیاه (سورگوم و آفتابگردان) و چهار سطح غلظت نیکل در خاک (شاهد، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل به‌ازای هر کیلوگرم خاک) بود. هشت هفته بعد از تاریخ کاشت (مرحله گلدهی)، گیاهان از ۰/۵ سانتی‌متری بالای سطح خاک قطع و برداشت شدند. غلظت نیکل، آهن و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس برای داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و کل زیست‌توده به‌ترتیب با مقادیر ۳۶/۶۶، ۲۹/۷۷ و ۶۶/۴۳ گرم تک‌بوته مربوط به سورگوم در تیمار شاهد بود. همچنین کم‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و کل زیست‌توده به‌ترتیب با مقادیرهای ۸/۳۹، ۱/۷۴ و ۱۰/۱۲ گرم تک‌بوته مربوط به آفتابگردان در سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک بود. بیش‌ترین غلظت نیکل جذب شده در کل گیاه و نیکل جذب شده در اندام هوایی به‌ترتیب با مقادیر ۶/۱ و ۰/۶۷ میلی‌گرم در هر گیاه مربوط به سورگوم در سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل به‌ازای هر کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار این دو صفت به‌ترتیب با ۰/۱۱ و ۰/۰۹ میلی‌گرم در هر گیاه مربوط به آفتابگردان در تیمار شاهد بود.

* مسئول مکاتبه: sajadr.moghaddam@yahoo.com

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد که نیکل جذب شده به‌وسیله سورگوم بیش‌تر در ریشه تجمع پیدا کرده و انتقال به اندام هوایی در آن محدود بوده و برای تثبیت نیکل در خاک‌های آلوده به این عنصر مناسب است. اما گیاه آفتابگردان با توجه به زیست‌توده کم‌تر، نیکل بیش‌تری را به اندام هوایی خود انتقال داده و از این لحاظ نسبت به سورگوم برای استخراج گیاهی مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: وزن خشک، فاکتور انتقال، آهن، روی، آلودگی خاک

مقدمه

آلودگی خاک به‌وسیله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی محیط زیستی در سرتاسر جهان است که سلامت انسان و زیست‌بوم‌ها را به‌شدت تهدید می‌کند. آلودگی زیست‌کره به‌وسیله فلزات سنگین هم‌زمان با انقلاب صنعتی افزایش روزافزونی یافته است (۱۷، ۳۷). بیش‌تر گیاهان به تجمع فلزات سنگین در خاک حساس می‌باشند. هنگامی که یون‌های فلزات سنگین در سطح بالا در خاک تجمع می‌یابند، توسط ریشه جذب شده و به ساقه انتقال داده می‌شوند که منجر به اختلال در سوخت و ساز و کاهش رشد گیاه می‌شوند (۶). افزایش غلظت این فلزات در خاک باعث کاهش فعالیت میکروبی خاک، کاهش حاصلخیزی خاک و همچنین کاهش عملکرد گیاه می‌شود (۲۳).

نیکل به‌عنوان یک ریزمغذی در غلظت‌های کم برای رشد گیاه و همچنین فعالیت برخی آنزیم‌های فلزی^۱ ضروری است (۳۶). با این وجود این عنصر در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی می‌باشد (۳۱). سمیت فلز نیکل در گیاهان مختلفی نظیر سورگوم (۳)، برنج (۲۰) و گندم (۳۰) گزارش شده است. به‌طور کلی، سطح سمیت بحرانی نیکل برای گیاهان حساس بیش از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک، برای گیاهان با حساسیت متوسط بیش از

۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و برای گیاهان مقاوم بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شده است (۹). مطابق استاندارد کمیسیون اقتصادی ملل متحد برای اروپا (UNECE)، حداکثر غلظت مجاز نیکل در خاک‌های کشاورزی معادل ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک می‌باشد (۲۲). متوسط غلظت نیکل را در خاک‌های کشاورزی منطقه همدان ۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (۲۵). همچنین میزان غلظت نیکل در خاک‌های کشاورزی بخش مرکزی سیستان را ۱۸/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (۱۵).

سنگ‌های سرپنتین^۲ منابع اولیه فلز نیکل به‌شمار می‌روند. علاوه بر این، این فلز در مناطق آلوده به نیکل به‌علت فعالیت‌های مختلف انسانی مانند استخراج و تصفیه سنگ معدن نیکل، سوزاندن سوخت‌های فسیلی و بقایای نفتی، فاضلاب و تولید باطرهای نیکل-کادمیوم یافت می‌شود (۴۰). بنابراین کاهش آلودگی و تصفیه این خاک‌ها نیازمند راه‌حلی فنی، کارآمد و ارزان می‌باشد.

گیاه‌پالایی^۳ فناوری در حال گسترش، کم‌هزینه و دوست‌دار محیط زیست است که از گیاهان مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده استفاده می‌کند (۱۱)، (۱۹). گیاهان مورد استفاده در این روش، باید دارای

2- Serpentine rocks

3- Phytoextraction

1- Metalloenzymes

دانشگاه تهران واقع در کرج در سال ۱۳۹۱ به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل گونه‌های گیاهی (سورگوم و آفتابگردان) و چهار سطح نیکل در خاک (شاهد، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل به‌ازای هر کیلوگرم خاک) بود.

خاک مورد نیاز برای آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) از مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج (در طول جغرافیایی ۱۸' ۵۸° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۸' ۳۵° شمالی) تهیه شد. کلاس بافت خاک لوم رسی، ماده آلی خاک ۰/۸۵ درصد، اسپدیته خاک ۷/۸، قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر، نیتروژن کل ۰/۱ درصد، فسفر و پتاسیم قابل دسترس به ترتیب ۱۴ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. در هر گلدان ۳/۵ کیلوگرم خاک استفاده شد. این خاک قبل از استفاده به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور استریل کردن خاک با هدف از بین بردن بیماری‌های احتمالی خاک‌زاد در آن نگهداری شد (۳۸). سپس با توجه به تیمار آزمایش (سطوح مختلف نیکل) خاک‌های هر گلدان با استفاده از کلراید نیکل (NiCl_2) (۲۶) به‌صورت یکنواخت آغشته شد (۳۵). به‌منظور شبیه‌سازی شرایط واقعی، گلدان‌ها برای یک ماه در دمای ۲۸ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب روز و شب و در دوره نوری ۱۴-۱۰ ساعت قرار داده شدند (۱۴). سپس بذرهاي سورگوم و آفتابگردان در گلدان‌ها کشت شد و هر کدام از گلدان‌ها تا ۰/۸ درصد ظرفیت مزرعه با آب شرب آبیاری شدند. پس از استقرار گیاهان تعداد ۳ گیاه در هر گلدان نگهداری شد.

هشت هفته بعد از تاریخ کاشت (مرحله گلدهی)، گیاهان از ۰/۵ سانتی‌متری بالای سطح خاک قطع و

رشد سریع بوده و ضمن تولید زیست‌توده انبوه، تحمل خوبی نسبت به غلظت‌های بالای فلزات سنگین در اندام هوایی داشته باشند (۳۷، ۴۳). از جمله این گیاهان می‌توان به ذرت، پنبه و آفتابگردان اشاره کرد (۳۷). شارما و دابی (۲۰۰۵) نشان دادند که ریشه آفتابگردان و سورگوم می‌تواند مقدار زیادی سرب خاک را جذب کرده و به اندام‌های هوایی خود انتقال دهند (۳۶). در پژوهشی که بر روی امکان پالایش سرب و روی توسط آفتابگردان و کلزا در یک خاک آلوده در اصفهان انجام گردید، گزارش شد که گیاه آفتابگردان در استخراج و انتقال این عناصر از کلزا مؤثرتر بوده است (۳۹). در پژوهشی دیگر مشاهده گردید که گیاه آفتابگردان پتانسیل استخراجی بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان برای جذب کادمیوم دارد (۲۷). علی‌رغم پژوهش‌های گسترده انجام گرفته در زمینه گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، مقایسه واکنش رشدی و نیز قابلیت گیاه‌پالایی دو گیاه آفتابگردان و سورگوم در خاک‌های آلوده به نیکل انجام نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر با اهداف اصلی (۱) بررسی اثرات آلودگی نیکل بر شاخص‌های رشدی آفتابگردان و سورگوم و (۲) بررسی قابلیت پالایش خاک آلوده به نیکل توسط گیاهان آفتابگردان و سورگوم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی کارایی گیاه‌پالایی گیاهان آفتابگردان (رقم رکورد) و سورگوم (رقم اسپیدفید) در سطوح مختلف نیکل آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

گیاهی و سطوح نیکل بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و کل زیست توده در سطح آماری یک درصد معنی دار بود. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و کل زیست توده به ترتیب با مقادیر $3.37/6$ ، $29/7$ و $66/4$ گرم تک بوته مربوط به سورگوم در سطح شاهد بود. همچنین کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و کل زیست توده به ترتیب با مقادیر $1/74$ ، $8/39$ و $10/1$ گرم تک بوته مربوط به آفتابگردان در سطح 450 میلی گرم نیکل در کیلوگرم خاک بود (جدول ۱). به طور کلی با افزایش سطوح آلودگی نیکل رشد گیاه کاهش پیدا کرد (۲). همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، در هر دو گیاه سورگوم و آفتابگردان با افزایش سطوح نیکل وزن خشک ریشه، اندام هوایی و کل زیست توده کاهش یافت. در مقایسه دو گیاه، آفتابگردان تأثیر بیشتری از وجود نیکل در خاک پذیرفت. پژوهش‌ها نشان داده است که زیست توده ریشه و ساقه آفتابگردان به طور معنی داری در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کاهش پیدا می‌کند (۱۶). با این وجود وزن خشک ریشه، اندام هوایی و کل زیست توده در گیاه آفتابگردان در سطح 150 میلی گرم نیکل به ازای هر کیلوگرم خاک بیش تر از سطح شاهد بود (جدول ۱). علت این موضوع را می‌توان به اثرات مثبت نیکل در غلظت‌های کم بر رشد گیاه دانست. اگرچه غلظت‌های بالای نیکل برای سلول سمیت ایجاد می‌کند، برخی از گزارش‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت این عنصر در غلظت‌های کم بر رشد گیاهانی نظیر گندم (۱۳) و جعفری (۵) می‌باشد.

برداشت شدند. سپس ریشه با دقت از خاک برداشته شده، به آرامی تکان داده شده و بعد به طور کامل با آب مقطر شسته شد. صفاتی مانند وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و کل زیست توده گیاه به منظور اندازه‌گیری اثر نیکل بر رشد گیاه اندازه‌گیری شدند. به منظور ارزیابی غلظت نیکل، آهن و روی، مواد گیاهی در دمای 60 درجه سلسیوس به مدت 72 ساعت خشک شدند. سپس یک گرم از هر یک از بافت‌های خشک شده گیاه در محلول نیتریک اسید^۱ و پرکلریک اسید^۲ (با نسبت حجمی ۱:۴) حل شد. غلظت نیکل، آهن و روی در محلول حل شده با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری جذب اتمی (مدل Shimadzu-AA 6400، کیوتو، ژاپن) اندازه‌گیری شد (۴). برای محاسبه مقدار فلز انتقال یافته از ریشه به ساقه از فاکتور انتقال^۳ (TF) استفاده شد. این فاکتور حاصل تقسیم غلظت فلز ساقه به غلظت فلز در ریشه می‌باشد (۲۱). مقدار نیکل در موجود در وزن خشک اندام‌های ریشه و ساقه با استفاده از حاصل ضرب غلظت نیکل در هر اندام و وزن خشک اندام به دست آمد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (۳۴) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل معنی دار با استفاده از نرم‌افزار SAS به صورت جداگانه انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کل زیست توده: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل گونه

1- HNO₃

2- HClO₄

3- Translocation factor

جدول ۱- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و کل زیست توده سورگوم و آفتابگردان در سطوح مختلف نیکل.

Table 1. Mean comparison for sorghum and sunflower root, shoot and total dry matter in different nickel levels.

کل زیست توده (گرم تک بوته) Total dry matter (g Plant ⁻¹)	وزن خشک ریشه (گرم تک بوته) Root dry matter (g Plant ⁻¹)	وزن خشک اندام هوایی (گرم تک بوته) Shoot dry matter (g plant ⁻¹)	نیکل (میلی گرم نیکل در کیلوگرم خاک) Nickel (mg Ni kg ⁻¹ Soil)	گونه گیاهی crop species
66.4 ^a	29.7 ^a	36.6 ^{a*}	Control	سورگوم Sorghum
42.7 ^b	16.5 ^b	26.2 ^b	150	
34.1 ^c	13.1 ^{bc}	20.95 ^c	300	
32.6 ^c	11.9 ^c	20.7 ^c	450	
17.2 ^a	3.08 ^a	14.2 ^a	Control	آفتابگردان Sunflower
18.4 ^a	3.12 ^a	15.2 ^a	150	
16.3 ^a	1.9 ^b	14.4 ^a	300	
10.1 ^b	1.74 ^b	8.3 ^b	450	

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون آماری LSD می‌باشند.

* Means in each column followed by similar letter (s) is not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

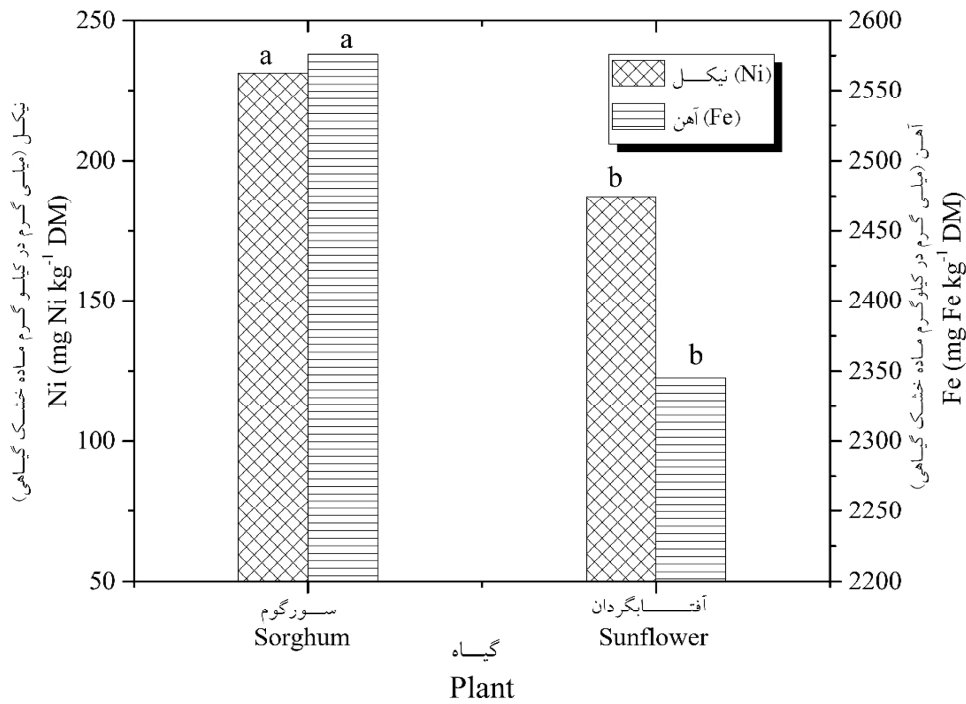
نیکل در اندام هوایی به ترتیب با ۵۱/۶ و ۵/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به سورگوم در سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک و آفتابگردان در سطح شاهد بود (جدول ۲). بیش‌ترین غلظت نیکل در ریشه با مقدار ۲۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به سورگوم بود (شکل ۱). همچنین، بیش‌ترین غلظت نیکل در ریشه با ۴۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک بود (شکل ۲).

غلظت آهن، روی و نیکل در اندام هوایی و ریشه:
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل گونه گیاهی و سطوح نیکل بر غلظت آهن در اندام هوایی در سطح پنج درصد و همچنین بر غلظت نیکل در اندام هوایی، غلظت روی در اندام هوایی و غلظت روی در ریشه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. این در حالی بود که اثر متقابل گونه گیاهی و سطوح نیکل بر غلظت نیکل در ریشه و غلظت آهن در ریشه معنی‌دار نبوده ولی اثر سطوح نیکل و گونه گیاهی بر این دو صفت در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت

جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت نیکل، آهن و روی در اندام هوایی، غلظت روی در ریشه، مقدار نیکل جذب شده در اندام هوایی و کل بوته و همچنین فاکتور انتقال سورگوم و آفتابگردان در سطوح مختلف نیکل.
 Table 2. Mean comparison for concentrations of Ni, Fe and Zn in shoot, concentration of Zn in root, nickel uptake in shoot and total biomass and translocation factor sorghum and sunflower in different nickel levels.

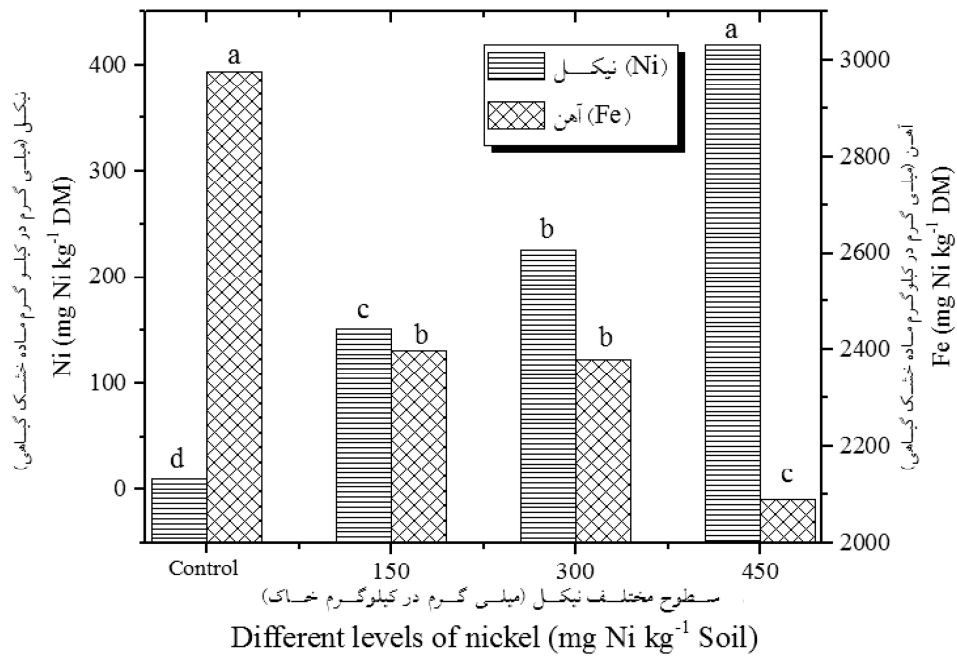
فاکتور انتقال Translocation factor	نیکل جذب شده Nickel uptake in shoot		کل نیکل Total nickel uptake		غلظت روی در ریشه Concentration of Zn root		غلظت روی در اندام هوایی Concentration of Zn shoot		غلظت آهن در اندام هوایی Concentration of Fe shoot		غلظت نیکل در اندام هوایی Concentration of Ni shoot		گونه گیاهی crop species
	در اندام هوایی	در اندام هوایی	در اندام هوایی	در اندام هوایی	در ریشه	در ریشه	در اندام هوایی	در اندام هوایی	در اندام هوایی	در اندام هوایی	در اندام هوایی	در اندام هوایی	
	گرم تک بوته mg Plant ⁻¹		گرم نیکل mg Ni kg ⁻¹ DM		گرم نیکل در کیلوگرم ماده خشک گیاهی (mg Ni kg ⁻¹ Soil)		گرم نیکل در کیلوگرم خاک (mg Ni kg ⁻¹ Soil)						
0.88 ^a	0.19 ^b	0.49 ^c	32.15 ^a	53.4 ^a	130 ^b	5.38 ^{a*}	Control						سورگوم sorghum
0.11 ^b	0.52 ^a	3.49 ^b	28.1 ^a	50.6 ^{ab}	120 ^b	19.9 ^b	150						
0.07 ^b	0.22 ^b	3.91 ^b	21.9 ^b	42.4 ^b	153 ^a	10.4 ^c	300						
0.04 ^b	0.67 ^a	6.1 ^a	23.1 ^b	28.3 ^c	120 ^{ab}	32.6 ^c	450						
0.56 ^a	0.09 ^c	0.11 ^c	41.7 ^a	55.3 ^a	287 ^a	6.1 ^c	Control						آفتابگردان sunflower
0.23 ^b	0.4 ^b	0.79 ^b	31.4 ^a	30.1 ^b	197 ^b	28.3 ^b	150						
0.15 ^b	0.53 ^a	1.25 ^a	34.8 ^a	20.6 ^c	276 ^a	34.3 ^b	300						
0.14 ^b	0.43 ^b	1.07 ^a	32.2 ^a	17.9 ^d	240 ^{ab}	51.6 ^a	450						

* Means in each column followed by similar letter(s) is not significantly different at 5% probability level, using LSD test.



شکل ۱- مقایسه میانگین غلظت نیکل و آهن ریشه در سورگوم و آفتابگردان.

Figure 1. Mean comparison for concentrations of Ni and Fe in the root part of sorghum and sunflower.



شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت نیکل و آهن ریشه در سطوح مختلف نیکل.

Figure 2. Mean comparison for concentrations of Ni and Fe root in different nickel levels.

کمپکس را کاهش می‌دهد (۷، ۱۸، ۳۳). هنگامی که انتقال آهن از ریشه مختل شود، غلظت آن در ریشه افزایش پیدا می‌کند. در بسیاری از مطالعات، مشخص شده است که افزایش نیکل باعث مهار انتقال آهن از ریشه به ساقه شده و در نتیجه باعث تجمع آن در ریشه می‌شود (۱۲، ۲۸). به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر نیز تجمع آهن در ریشه گیاه مربوط به کاهش انتقال آن از ریشه به ساقه گیاه می‌باشد. همچنین در بسیاری از مطالعات گزارش شده که نیکل با روی در فرآیند جذب رقابت می‌کند (۱۰، ۲۸، ۳۲). از آنجا که نیکل به‌عنوان یک رقیب برای مکان‌های جذب روی در ریشه خود را نشان داده بنابراین مستقیماً بر جذب روی تأثیر می‌گذارد (۸، ۲۸، ۳۲).

نیکل جذب شده در اندام هوایی، کل نیکل جذب شده و فاکتور انتقال: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل گونه گیاهی و سطوح نیکل بر نیکل جذب شده در اندام هوایی در سطح پنج درصد و همچنین بر کل نیکل جذب شده و فاکتور انتقال در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین غلظت نیکل جذب شده در کل گیاه و اندام هوایی به‌ترتیب با ۶/۱ و ۰/۶۷ میلی‌گرم در هر گیاه مربوط به سورگوم در سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک و کم‌ترین آن با ۰/۱۱ و ۰/۰۹ میلی‌گرم در هر گیاه مربوط به آفتابگردان در سطح شاهد بود (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین فاکتور انتقال به‌ترتیب با مقادیر ۰/۸۸ و ۰/۰۴ مربوط به سورگوم در سطح شاهد و سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲).

نیکل جذب شده در بافت‌های سورگوم و آفتابگردان و نیز در سطوح مختلف نیکل متفاوت بود که نشان‌دهنده توانایی متفاوت جذب این دو گیاه می‌باشد. یکی از عواملی که باعث جذب بیش‌تر

بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت آهن در اندام هوایی به‌ترتیب با ۲۸۷ و ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به آفتابگردان در سطح شاهد و سورگوم در سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲). بیش‌ترین غلظت آهن در ریشه با مقدار ۲۵۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به سورگوم بود (شکل ۱) و بیش‌ترین غلظت آهن در ریشه با ۲۹۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به سطح شاهد بود (شکل ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی در اندام هوایی به‌ترتیب با ۵۵/۳ و ۱۷/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به آفتابگردان در سطح شاهد و سطح ۴۵۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲). بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی در ریشه به‌ترتیب با مقادیرهای ۴۱/۷ و ۲۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی مربوط به آفتابگردان در سطح شاهد و سورگوم در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲).

نتایج نشان داد که در حضور نیکل، جذب روی در ریشه و انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی در دو گیاه مورد مطالعه به‌طور چشمگیری کاهش یافت. به‌طور کلی، کاهش رشد گیاه در حضور فلز نیکل را می‌توان به سمیت این عنصر و بر هم زدن تعادل عناصر غذایی نظیر آهن و برخی از عناصر ضروری دیگر در گیاه نسبت داد (۲۴). با افزایش بیش از حد نیکل سیستم انتقال آهن در گیاه مختل می‌شود (۲۹). مطالعات نشان داده که نیکل دو بار مثبت (Ni^{2+}) با آهن دو بار مثبت (Fe^{2+}) در تشکیل کمپلکس با لیگاندهایی^۱ همچون سترات^۲ و نیکوتیامین^۳ که مسئول انتقال آهن هستند رقابت می‌کند و پویایی

- 1- Ligand
- 2- Citrate
- 3- Nicotianamine

و سورگوم بود و انتقال فلز از ریشه به ساقه در این دو گیاه محدود بود (۴۳).

نتیجه گیری

به طور کلی با افزایش سطوح آلودگی نیکل رشد گیاهان کاهش پیدا کرد. دلیل این موضوع این است که در حضور نیکل، جذب روی در ریشه و انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی در دو گیاه مورد مطالعه به طور چشمگیری کاهش می یابد که این موضوع رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد. مقایسه دو گیاه نشان داد که آفتابگردان نسبت به سورگوم زیست توده کمتری تولید می کند نیکل جذب شده به وسیله سورگوم بیشتر در ریشه تجمع پیدا کرد و انتقال به اندام هوایی در آن محدود بود، بنابراین این گیاه بیشتر برای تثبیت نیکل در خاک های آلوده به این عنصر مناسب است. در حالی که گیاه آفتابگردان با توجه به زیست توده کم تر نیکل بیشتری را به اندام هوایی خود انتقال داده و ذخیره می کند، بنابراین این گیاه نسبت به سورگوم برای فرآیند استخراج گیاهی در خاک های آلوده به نیکل مناسب تر است.

فلزات سنگین در مناطق آلوده می شود زیست توده بالای گیاه می باشد (۴۳). زیست توده و جذب نیکل در گیاه سورگوم بیشتر از آفتابگردان بود (جدول های ۱ و ۲). فاکتور انتقال گیاه سورگوم فقط در سطح شاهد از آفتابگردان بیشتر بود و در حضور نیکل مقدار این صفت در گیاه آفتابگردان بیشتر بود. این موضوع نشان می دهد که در سورگوم نیکل جذب شده در ریشه بیشتر می باشد و انتقال به اندام هوایی محدود بوده و این گیاه بیشتر برای تثبیت نیکل در خاک های آلوده به این عنصر مناسب است در حالی که گیاه آفتابگردان با توجه به زیست توده کم تر (جدول ۱)، انتقال نیکل بیشتری به اندام هوایی و نسبتاً مقدار بالاتری از این فلز را در اندام هوایی خود ذخیره می کند. بنابراین، این گیاه برای فرآیند استخراج گیاهی مناسب تر می باشد. در آزمایشی بر روی توانایی گیاه پالایی گیاهان زراعی با گیاهان وحشی نشان داده شد که بیشترین جذب کروم در بخش هوایی بین گیاهان ذرت (*Zea mays*)، سورگوم، آفتابگردان، علف اسب (*Conyza dioscoridis*) و پنجه مرغی (*Cynodon dactylon*) مربوط به پنجه مرغی بود و بیشترین جذب در ریشه نیز مربوط به گیاهان ذرت

منابع

1. Abou-Shanab, R., Ghanem, N., Ghanem, K., and Al-Kolaibe, A. 2007. Phytoremediation potential of crop and wild plants for Multi-metal contaminated soils. Res. J. Agric. Biol. Sci. 3: 5. 370-376.
2. Ahmad, M.S.A., Ashraf, M., and Hussain, M. 2011. Phytotoxic effects of nickel on yield and concentration of macro- and micro-nutrients in sunflower (*Helianthus annuus* L.) achenes. J. Hazard. Mater. 185: 2-3. 1295-1303.
3. Al Chami, Z., Amer, N., Al Bitar, L., and Cavoski, I. 2015. Potential use of Sorghum bicolor and Carthamus tinctorius in phytoremediation of nickel, lead and zinc. IJEST. 12: 12. 3957-3970.
4. Allen, S.E., Grimshaw, H., Parkinson, J.A., and Quarmby, C. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 565p.
5. Atta-Aly, M.A. 1999. Effect of nickel addition on the yield and quality of parsley leaves. Sci. Hortic. 82: 1-2. 9-24.
6. Bingham, F.T., Pereyca, F., and Jarrell, W.M. 1986. Metal toxicity to agricultural crops. Met. Ions Biol. Syst. 20: 119-156.

7. Callahan, D.L., Kolev, S.D., O'Hair, R.A., Salt, D.E., and Baker, A.J. 2007. Relationships of nicotianamine and other amino acids with nickel, zinc and iron in *Thlaspi* hyperaccumulators. *New Phytol.* 176: 4. 836-848.
8. Cataldo, D.A., Garland, T.R., and Wildung, R.E. 1987. Nickel in plants I. Uptake kinetics using intact soybean seedlings. *Plant. Physiol.* 62: 4. 563-565.
9. Chen, C., Huang, D., and Liu, J. 2009. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean-soil, air, water.* 37: 4-5. 304-313.
10. Deng, T.H.B., Cloquet, C., Tang, Y.T., Sterckeman, T., Echevarria, G., Estrade, N., Morel, J.L., and Qiu, R.L. 2014. Nickel and zinc isotope fractionation in hyperaccumulating and nonaccumulating plants. *Environ. Sci. Technol.* 48: 20. 11926-11933.
11. Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-Videa, J.R., De La Rosa, G., and Parsons, J. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coord. Chem. Rev.* 249: 17. 1797-1810.
12. Ghasemi, R., Ghaderian, S.M., and Kramer, U. 2009. Interference of nickel with copper and iron homeostasis contributes to metal toxicity symptoms in the nickel hyperaccumulator plant *Alyssum inflatum*. *New Phytol.* 184: 3. 566-580.
13. Gheibi, M., Malakouti, M., Kholdebarin, B., Ghanati, F., Teimouri, S., and Sayadi, R. 2009. Significance of nickel supply for growth and chlorophyll content of wheat supplied with urea or ammonium nitrate. *J. Plant Nutr.* 32: 9. 1440-1450.
14. Huang, Y., Hu, Y., and Liu, Y. 2009. Combined toxicity of copper and cadmium to six rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *J. Environ. Sci.* 21: 647-653.
15. Javan Siamardi, S., Rezaei Kahkha, M.R., Safaei Moghaddam, A., and Noori, R. 2014. Survey of Heavy Metals Concentration (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb) in Farmland Soils of Sistan Central Part. *J. Environ. Health Eng.* 22: 46-53. (In Persian)
16. Kamnev, A.A., and van der Lelie, D. 2000. Chemical and biological parameters as tools to evaluate and improve heavy metal phytoremediation. *Biosci. Rep.* 20: 4. 239-258.
17. Khan, M.S., Zaidi, A., and Wani, P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. *Agron. Sustainable Dev.* 27: 1. 29-43.
18. Kim, S., Takahashi, M., Higuchi, K., Tsunoda, K., Nakanishi, H., Yoshimura, E., Mori, S., and Nishizawa, N.K. 2005. Increased nicotianamine biosynthesis confers enhanced tolerance of high levels of metals, in particular nickel, to plants. *Plant Cell Physiol.* 46: 11. 1809-1818.
19. Lasat, M.M. 2003. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *J. Hazard. Subst. Res.* 2: 1-25.
20. Llamas, A., and Sanz, A. 2008. Organ-distinctive changes in respiration rates of rice plants under nickel stress. *J. Plant Growth Regul.* 54: 1. 63-69.
21. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., and Zerbi, G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanussativus*) grown on multicontaminated soil. *Environ. Pollut.* 132: 1. 21-27.
22. Matraszek, R., Hawrylak-Nowak, B., Chwil, S., and Chwil, M. 2016. Macronutrient composition of nickel-treated wheat under different sulfur concentrations in the nutrient solution. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 6. 5902-5914.
23. McGrath, S.P., Chaudri, A.M., and Giller, K.E. 1995. Long-term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *J. Ind. Microbiol.* 14: 2. 94-104.
24. Mishra, D., and Kar, M. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *Bot. Rev.* 40: 4. 395-452.
25. Mohammadpour, G., Karbassi, A., and Baghvand, A. 2016. Pollution intensity of nickel in agricultural soil of Hamedan region. *CJES.* 14: 15-24.
26. Moteszarezaheh, B., and Savaghebi-Firoozabadi, G.R. 2011. Study of the increase in phytoremediation efficiency in a nickel polluted soil by the usage of native bacteria: *Bacillus safensis* FO. 036b and *Micrococcus roseus* M2. *CJES.* 9: 2. 133-143.

27. Neisi, A., Vosoughi, M., Mohammadi, M.J., Mohammadi, B., and Naeimabadi, A. 2014. Phytoremediation of by Helianthus plant. J. Torbat Heydariyeh Univ. Med. Sci. 2: 2. 55-65. (In Persian)
28. Nishida, S., Kato, A., Tsuzuki, C., Yoshida, J., and Mizuno, T. 2015. Induction of Induction of nickel accumulation in response to zinc deficiency in arabidopsis thaliana. Int. J. Mol. Sci. 16: 5. 9420-9430.
29. Nishida, S., Tsuzuki, C., Kato, A., Aisu, A., Yoshida, J., and Mizuno, T. 2011. AtIRT1, the primary iron uptake transporter in the root, mediates excess nickel accumulation in Arabidopsis thaliana. Plant Cell Physiol. 52: 8. 1433-1442.
30. Ouzounidou, G., Moustakas, M., Symeonidis, L., and Karataglis, S. 2006. Response of wheat seedlings to Ni stress: effects of supplemental calcium. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 50: 3. 346-352.
31. Pandey, N., and Sharma, C.P. 2002. Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. Plant Sci. 163: 4. 753-758.
32. Parida, B., Chhibba, I., and Nayyar, V. 2003. Influence of nickel-contaminated soils on fenugreek (*Trigonellacorniculata* L.) growth and mineral composition. Sci. Hortic. 98: 2. 113-119.
33. Saito, A., Saito, M., Ichikawa, Y., Yoshiba, M., Tadano, T., Miwa, E., and Higuchi, K. 2010. Difference in the distribution and speciation of cellular nickel between nickel-tolerant and non-tolerant *Nicotianatabacum* L. cv. BY-2 cells. Plant Cell Environ. 33: 2. 174-187.
34. SAS Institute. 2001. SAS System, eighth ed. SAS Inst, Cary, NC.
35. Shahid, M., Sabir, M., Arif Ali, M., and Ghafoor, A. 2014. Effect of organic amendments on phytoavailability of nickel and growth of berseem (*Trifolium alexandrinum*) under nickel contaminated soil conditions. Chem. Spec. Bioavailab. 26: 1. 37-42.
35. Sharma, P., and Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17: 1. 35-52.
36. Sheng, X.F., Xia, J.J., Jiang, C.Y., He, L.Y., and Qian, M. 2008. Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (*Brassica napus*) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape. Environ. Pollut. 156: 3. 1164-1170.
37. Sinegani, A.A.S., and Hosseinpur, A. 2010. Evaluation of effect of different sterilization methods on soil biomass phosphorus extracted with NaHCO_3 . Plant Soil Environ. 56: 4. 156-162.
38. Solhi, M., Hajabasi, M.A., and Shariatmadari, H. 2005. An investigation the possibility of refining lead and zinc by sunflower and canola in a contaminated soil of the Esfahan. Proceedings of 9th Soil Science Congress of Iran. Tehran, 3p. (In Persian)
39. Srivastava, S., Mishra, S., Dwivedi, S., Baghel, V., Verma, S., Tandon, P., Rai, U., and Tripathi, R. 2005. Nickel phytoremediation potential of broad bean, *Viciafaba* L., and its biochemical responses. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 74: 4. 715-724.
40. Vassilev, A., Vangronsveld, J., and Yordanonov, I. 2002. Reviews: Cadmium Phytoextraction: present state, biological backgrounds and research needs. Bulg. J. Plant Physiol. 28: 3-4. 68-95.
41. Welch, R.M., and Shuman, L. 1995. Micronutrient nutrition of plants. Crit. Rev. Plant Sci. 14: 1. 49-82.
42. Zhou, J., Yang, Q., Lan, C., and Ye, Z. 2010. Heavy metal uptake and extraction potential of two *Bechmerianivea* (L.) Gaud. (Ramie) carieties associated with chemical reagents. Water, Air, Soil Pollut. 211: 1. 359-366.



Phytoremediation ability of nickel-contaminated soil using Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

A. Mohammadzadeh¹, *S. Rahimi Moghaddam¹, M.R. Chaichi² and Y. Heidarzadeh³

¹Ph.D. Student, Dept. of Agroecology, Shahid Beheshti University,

²Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Tehran University,

³Ph.D. Student, Dept. of Ecological Farming, University of Mohaghegh Ardabili

Received: 11/18/2015; Accepted: 09/06/2016

Abstract

Background and Objectives: Soil contamination due to heavy metals is one of the major environmental problems across the world, causing significant risks to public health and ecosystems. Phytoremediation is a low-cost and ecofriendly method, which can be applied to clean up contaminated soils. Appropriate plants for phytoremediation should be characterized by rapid growth, high biomass production and tolerance to high concentrations of heavy metals in shoots. The main objectives of the current study were to 1) evaluate the effects of Nickel contamination on growth characteristics of sunflower and sorghum and 2) assess the ability of refining nickel contamination by sunflower and sorghum.

Materials and Methods: To study the capability of sunflower and sorghum plants in phytoremediation of Ni contaminated soils, a greenhouse experiment as factorial arranged in completely randomized design with three replications was carried out at Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran in 2012. The experimental treatments consisted of two crop species, sunflower and sorghum and four levels of nickel concentrations in the soil (0, 150, 300 and 450 mg of Ni per kg of soil). After 8 weeks from sowing date (flowering stage, R4), plants were harvested by cutting the shoots approximately 0.5 cm above the soil surface. Nickel, Fe and Zn concentrations were determined using atomic absorption spectrophotometry. The analysis of variance for the obtained data was done by SAS v9.1 software.

Results: Results showed that the highest values of shoot, root and total dry matter (36.66, 29.77 and 66.43 g.plant⁻¹, respectively) were related to sorghum plants grown in non-contaminated soil. Also, the lowest values of shoot, root and total dry matter (8.39, 1.74 and 10.12 g.plant⁻¹, respectively) were related to sunflower plants grown in 450 mg Ni per kg of soil. The maximum values of Ni uptake by total plant biomass and shoot part of plants (6.1 and 0.67 mg.plant⁻¹, respectively) were observed in sorghum plants grown in 450 mg Ni per kg of soil. While, the minimum values of Ni uptake by total plant biomass and shoot part of plants (0.11 and 0.09 mg.plant⁻¹, respectively) were observed in sunflower plants grown in non-contaminated soil.

Conclusion: Generally, results revealed that the capability of sorghum plant in phytoremediation of Ni contaminated soils was better than sunflower plant. In sorghum plants, low proportion of accumulated Ni in roots was translocated to shoot part. Therefore, sorghum plant can be used for 'phytostabilization'. While, sunflower plants despite of relatively lower biomass, translocated higher proportion of Ni to shoot parts. So, sunflower can be suitable plant for phytoremediation of Ni contaminated soils (Phytoextraction).

Keywords: Dry matter, Translocation factor, Fe, Zn, Soil contamination

* Corresponding Author; Email: sajadr.moghaddam@yahoo.com