یافته های نوین کشاورزی
سال ششم- شماره۲- زمستان ۱۳۹۰

تاثیر کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپر جاذب بر جذب و پالایش کادمیوم توسط یونجه یکساله (*Medicago scutellata* L.)

مرتضی محمدی*، دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
داوود حبیبی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه زراعت، کرج، ایران
محمدرضا اردکانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه زراعت، کرج، ایران
احمد اصغرزاده، استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب ایران

چکیده

این آزمایش در سال ۱۳۸۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) در چهار تکرار انجام شد. املع اول در این تحقیق سطوح فلز سنگین کادمیوم در سه سطح شامل (۸۰ – ٤٠ – صفر میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کلرید کادمیوم ($CdCl_2$) و عامل دوم ترکیبات تیماری شامل کاربرد باکتری‌های محرک رشد، قارچ میکوریزا، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب به صورت جداگانه و توام در شانزده سطح بود. نتایج آزمایش نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی، ریشه و همچنین کادمیوم قابل دسترس خاک افزایش یافت. با توجه به اثر متقابل عامل های آزمایش مشاهده شد که کاربرد پلیمر نانو سوپر جاذب + کاربرد باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + کاربرد هیومیک اسید و کاربرد پلیمر نانو سوپر جاذب + کاربرد قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید و نیز کاربرد باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + کاربرد قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید، b_{15} (کاربرد پلیمر نانو سوپرجاذب + کاربرد باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس+ کاربرد قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید) دارای بیشترین میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی بودند، به طوری که در تیمارهای فوق میزان این عنصر در اندام هوایی حدود ٦٢ ٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین کاربرد توام باکتری های محرک رشد، قارچ میکوریزا و پلیمر سوپرجاذب بیشترین میزان کادمیوم را توسط اندام ریشه‌ای جذب کرده بود که این میزان حدود ٤٢/٣ ٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. مصرف توام کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمرسوپرجاذب باعث افزایش فاکتور انتقال (TF) کادمیوم از ریشه به اندام هوایی و همچنین باعث افزایش استخراج گیاهی (AF) و ضریب استخراج فلز سنگین (EC) در گونه مورد مطالعه شد.

واژه‌های کلیدی : جذب کادمیوم، هیومیک اسید، گیاه پالایی، یونجه یکساله، میکوریزا، باکتری محرک رشد

---

* نویسنده مسئول: E-mail:m.m.3366@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله:۸۹/۸/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۲/۲۵

مقدمه

آلودگی زیست محیطی توسط فلزات سنگین به دنبال افزایش فعالیت‌های صنعتی و معدنکاوی از اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ گسترده‌تر شده است علاوه براین، این آلاینده‌ها از منابع متعدد انسانی شامل پسماندها و فاضلاب‌های صنعتی، رواناب شهری، کاربرد لجن فاضلاب، استفاده از قارچ‌کش‌های کشاورزی، زباله‌های خانگی و غیره حاصل می‌شوند. کادمیوم جذب کاتیون‌ها توسط گیاهان از طریق تاثیر بر قابلیت دسترسی آنها یا کاهش جمعیت میکروبی خاک را تغییر می‌دهد (۷). باز شدن روزنه‌ها، تعرق و فتوسنتز تحت تاثیر کادمیوم قرار می‌گیرد با این وجود، مکانیسم‌های سمیت کادمیوم هنوز به طور کامل شناخته نشده است (٤١). ممانعت از عمل احیای آهن III در ریشه، منجر به کمبود آهن II و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود. به طور کلی کادمیوم در جذب، انتقال و استفاده از عناصر کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و آب توسط گیاه اختلال ایجاد می‌کند. کادمیوم جذب نیترات و انتقال آن از ریشه‌ها به اندام هوایی را از طریق ممانعت از فعالیت نیترات ردآکتاز کاهش می‌دهد (۷). میزان جذب کادمیوم توسط گیاه به عواملی نظیر غلظت در خاک، قابلیت زیست فراهمی، ماده‌ی آلی، pH، پتانسیل اکسید و احیاء، درجه حرارت و غلظت عناصر دیگر وابسته است و کادمیوم در جذب با حامل‌های انتقال دهنده‌ی غشایی عناصر غذایی پتاسیم، کلسیم، منیزیم آهن، منگنز، مس، روی و نیکل رقابت می‌کند (۷). برخی از گیاهان دارای مکانیزم‌های سازگاری ترکیبی برای انباشت یا تحمل غلظت‌های بالای آلاینده‌ها در ریزوسفر خود هستند. که از آن به عنوان ابزار جدیدی برای اصلاح خاک، آب و هوا معرفی شده است. اندازه ذرات خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی و نیز فاکتورهای گیاهی از جمله سطح ویژه ریشه، میزان تراوشات ریشه‌ای، رابطه میکوریزایی و سرعت تعرق بر قابلیت دسترسی و جذب تاثیر دارند (۳۵). به هر حال افزایش قابلیت دسترسی به فلزات سنگین به معنای عبور این عناصر از غشاء سلول زنده می‌باشد (١٦). فرآیند استخراج گیاهی (Phytoextraction) شامل خارج کردن مواد سمی، به ویژه فلزات سنگین و شبه فلزات ، به وسیله ریشه گیاهان و انتقال آن به اندام هوایی گیاهی می‌باشد (۲۱). آلودگی به صورت بیوماس گیاهی از خاک استخراج و از بین برده می‌شود (۹). در این فرآیند مواد آلاینده در ساقه ها و برگ‌های گیاه تجمع می‌یابند و سپس با برداشت گیاهان، آلاینده ها از محل خارج می‌شوند.

در مطالعه‌ای حرکت کادمیوم در خردل هندی به عنوان تجمع دهنده‌ی خوب کادمیوم نشان داد که کادمیوم در ریشه‌ها به صورت کمپلکس Cds_4 حضور دارد که ممکن است در بر گیرنده فیتوشلاتین‌ها نیز باشد. در شیره‌ی خام، کادمیوم غالباً با لیگاندهای نیتروژن و اکسیژن درگیر در ساختار اسیدهای آلی پیوند یافته است و در برگ‌ها نیز غالباً در تریکوم‌ها تجمع پیدا می‌کند (٤٠). گیاهان خاصی قادرند فلزات را توسط میکروارگانیسم‌های زیستی شناخته شده و ناشناخته تجمع دهند، بنابراین در حذف آلودگی فلزات سنگین از خاک‌ها موثرند. اما فلزات سنگین در مقادیر بالا برای بیشتر گیاهان سمی هستند، زیرا در

متابولیسم گیاه دخالت کرده و رشد آن را کاهش یا متوقف می‌کنند. فصل مشترک بین ریز موجودات فرا ریشه‌ای و ریشه‌های گیاهان تاثیر بالای آنها در افزایش جذب عناصر غذایی و کاهش سمیت فلزات می‌باشد(٤٦). بنابراین پتانسیل استفاده از روش‌های منحصر به فردی که از ریز موجودات فرا ریشه‌ای جهت کاهش سمیت فلزات سنگین برای گیاهان استفاده می‌شود، بایستی مورد توجه قرار گیرد (۳۷ و ۵۱). حضور قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش شده است (۱۱ و ٤۹).

قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار با مکانیسم‌های مستقیم و غیر مستقیم، کارایی پالایش گیاهی شامل استخراج و تثبیت گیاهی را افزایش می‌دهند (٦، ۱۸ و ٤۸). و بدین طریق نقش مهم و موثری در زدودن آلودگی و کاهش سمیت فلزات سنگین ایفا می‌کنند. در ریزوسفر علاوه بر قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار، ریز موجودات مفید شامل باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) نیز باعث افزایش مقاومت گیاهان به آلودگی عناصر سنگین می‌شوند. برخی از باکتری‌های مفید آزادزی خاک که به عنوان باکتری‌های محرک رشد شناخته می‌شوند با ریشه‌های بسیاری از گیاهان همیار هستند(۱۹). باکتری‌های محرک رشد گیاه یک گروه از باکتری‌هایی هستند که به طور فعال در ریشه گیاه ساکن هستند و رشد و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند، که به طور مستقیم و غیر مستقیم از طریق تولید هورمون‌های تنظیم کننده رشد گیاه، تثبیت بیولوژیکی N_2، حل کردن فسفات‌های معدنی، تولید سیدروفور، سنتز آنتی بیوتیک، آنزیم‌ها و ترکیبات قارچ‌کش بر رشد گیاه تاثیر می‌گذارند (۱۷). واکنش رشدی گیاه به باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) متغیر است و به گونه باکتری تلقیحی، حجم مواد آلی خاک، مرحله رشدی ، زمان برداشت و ارزیابی شاخص‌های رشد وابسته است (۱۰). فول چیری (۱۹۹۳) مشاهده کرد که جیبرلین و *Azospirillum. lipoferium* اثرات مشابه‌ای را در گیاه ذرت ایجاد می‌کنند و باعث افزایش رشد گیاهچه‌های ذرت، مخصوصاً از طریق افزایش تراکم ریشه‌های موئین در مناطق فعال فیزیولوژیکی برای جذب آب و مواد غذایی شده است. سایکیا و همکاران (۲۰۰۷) تثبیت N_2 را توسط باکتری آزوسپیریلیوم در ذرت گزارش نمودند، این باکتری باعث افزایش رشد و تکامل بهتر گیاه ذرت می‌شود. باکتری‌های محرک رشد از طریق سنتز آنزیم‌های خاص که تغییرات فیزیولوژیکی را در گیاهان باعث می‌شوند، رشد گیاهان را افزایش می‌دهند (۲٦). باکتری‌های فرا ریشه‌ای مقاوم به فلزات سنگین از قدرت خاصی جهت تقویت رشد گیاه میزبان به واسطه‌ی مکانیسم‌های مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن اتمسفری، تولید سیدروفور، انحلال فسفات‌ها یا تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاه (فیتوهورمون‌ها) برخوردارند (۱۹). علاوه بر این مکانیسم‌های مختلف تحمل به فلزات سنگین در میکروب‌های مختلف شناخته شده که شامل ممانعت از جذب، حذف فعال، جذب سطحی، ترسیب یا تجمع زیستی فلزات در فضاهای داخل و خارج سلولی می‌باشد. این فرآیندها حلالیت و زیست فراهمی فلزات را برای گیاه تحت

تاثیر قرار داده و اثرات سمی آنها را دسخوش تغییر می‌سازد (٤٤). ریزموجودات با توانایی تحمل پذیری به فلزات سنگین و فعالیت تحریک رشد گیاه از اهمیت عملی برای هر دو مورد پالایش مناطق آلوده به فلزات سنگین و تقویت رشد گیاهان برخوردار هستند (۳۳). از طرف دیگر قارچ میکوریزی آربوسکولار قادر به همزیستی با بسیاری از گیاهان می‌باشند(۲۳ و ۵۰). همچنین ثابت شده که باکتری‌های PGPR قادرند رشد گیاه را در حضور فلزات سنگینی نظیر کادمیوم، نیکل و سرب و روی افزایش دهند (۲۰ و ۳۷). کاهش سمیت فلزات آلومینیوم، نیکل، روی و کادمیوم توسط قارچ‌های میکوریزا مشاهده شده است (۷). شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد قارچ میکوریزی آربوسکولار در گیاهان بیش انباشت‌گر و غیر بیش انباشت‌گر به جذب و تجمع فلزات سنگین و افزایش کارایی استخراج گیاهی کمک می‌کند.

آنجل و همکاران (۱۹۹۲)، جمال و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که میکوریزا ، تجمع فلزات سنگین را در اندام هوایی لگوم‌هایی مثل سویا، یونجه و عدس افزایش می‌دهد. سیتریو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که همزیستی گلوموس موسه با گیاه *Cannabis sativa* انتقال فلزات سنگین را از ریشه به اندام هوایی جهت سکوستره شدن فلزات سمی در واکوئل توسط فیتوشلاتین‌ها افزایش می‌دهد. گیاهان میکوریزی، عنصر کادمیوم را بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی از خاک جذب می‌کنند. جونر و لیوال (۱۹۹۷) نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم در حضور قارچ‌های میکوریزا جذب این عنصر توسط گیاه شبدر افزایش می‌یابد.

تحقیقات ساندرا و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که کشت گیاه شاهدانه در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین در حضور قارچ‌های میکوریزا، میزان عناصر سنگین در برگ و ساقه‌ی گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود (۳۱). هومیک اسید باعث افزایش رشد، افزایش متابولیسم، افزایش جذب عناصر، افزایش تولید ریشه، افزایش مقاومت به استرس‌های خشکی و شوری، افزایش تنفس، افزایش آنتی اکسیدانتها می‌شود (۳۸). مواد هومیک به صورت غیر مستقیم از طریق فراهم آوردن عناصر معدنی و اغلب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عناصر کم مصرف برای ریشه، بهبود ساختار خاک و در نتیجه افزایش نفوذپذیری بستر به آب و هوا، افزایش جمعیت میکروبی خاک از جمله میکروارگانیسم‌های مفید افزایش تبادل کاتیونی (CEC) و توانایی بافر کردن pH بستر یا محلول غذایی و غیره باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شوند (۱۲ و ٤۲). محققین بسیاری گزارش کرده‌اند که تاثیر مواد هومیک بر رشد ریشه‌ها بیشتر از قسمت‌های هوایی گیاه است (٤). اثرهای تسریع کننده مواد هومیک بر رشد گیاهان به میزان زیادی به دلیل افزایش جذب عناصر است. گزارشی مبنی بر اثرات افزایشی هومیک اسید بر جذب کادمیوم وجود دارد (۹). یکی از راه‌های افزایش ذخیره آب در خاک استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب است که آب را در موقع نیاز در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهد (۳٤).

پلیمرسوپرجاذب یا هیدروژل، شبکه‌های سه بعدی با پیوندهای عرضی، حل نمی‌شوند و قادرند صدها برابر وزن خشکشان آب را جذب و ذخیره نمایند (۲۷).

پلیمرهای سوپرجاذب که در کشاورزی استفاده می‌شوند ژل‌های پلی الکترولیت هستند که از آکریلامید (AM)، آکریلیک اسید (AA) و آکریلات پتاسیم تشکیل شده‌اند (۵۲) و در باغ‌ها، فضای سبز و کشاورزی استفاده برای حفظ و ذخیره رطوبت به‌کار می‌روند و آب را به کندی به خاک آزاد می‌کنند (۳۲). پلیمرهای سوپرجاذب از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (۳) کاهش شستشوی آب و مواد غذایی موجود در خاک (۲) ، کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (۳) و افزایش تهویه خاک (۳۲) موجب رشد و نمو بهتر گیاهان و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط معمولی و تنش‌می‌شوند. هوترمان و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که افزودن سوپرجاذب به خاک شنی، ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش داده و گیاهچه‌های *Pinus halepensis* تیمار شده با سوپرجاذب در طی تنش خشکی مقاومت به خشکی و رشد بهتری نسبت به گیاهچه‌های شاهد (بدون سوپرجاذب) دارند.

با توجه به مطالب فوق تحقیق حاضر به منظور بررسی تاثیر کودهای بیولوژیک، هومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر قدرت جذب و پالایش فلز سنگین کادمیوم در اندام‌های ریشه‌ای و هوایی گونه مورد مطالعه صورت پذیرفت تا بتوان از مواد فوق جهت پالایش فلز مورد مطالعه و بهبود فرآیند گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به عناصر سنگین نیز بهره جست.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در گلخانه تحقیقاتی واقع در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام شد. بر اساس نتایج آزمایش خاک ، بافت خاک مورد آزمایش لومی شنی، با هدایت الکتریکی ۵/۸۲ دسی زیمنس بر متر، میزان کربن آلی ۰/٦ ٪ ، میزان ازت کل ۰/۰٥٤ ٪ و مقدار کادمیوم خاک ۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (حد مطلوب ۲- ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بود.

جدول ۱: خصوصیات نمونه خاک مورد استفاده درآزمایش

عمق	بافت خاک لومی- شنی			کادمیوم (mg/Kg)	منگنز	روی	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل(٪)	مواد خنثی شونده(٪)	کربن آلی(٪)	واکنش گل اشباع	هدایت الکتریکی(ds/m)
	Clay	Silt	Sand											
۰-۳۰	۳٤	۲۲	٤٤	۰/۰۵	۲۳	۰/۹۸	۱۲/۸	۲۱۰	۱۰	۰/۰۹۱	۱۱	۰/۹۳	۷/۹	۳/۷٦

خاک گلدان هایی که دارای تیمار پلیمر سوپرجاذب بودند ابتدا با مقدار مشخصی پلیمر سوپرجاذب (۵ گرم پلیمر + ٤۰۰ سی سی آب، برای هر گلدان) کاملاً مخلوط شد (۱). نمک کلرید کادمیوم ($CdCl_2$) با غلظت‌های مشخص توسط افشانه به خاک اضافه شد و بعد از گذشت مدت یک ماه (به دلیل هموژن شدن نمک فلز سنگین با خاک) در تاریخ ۱۵ بهمن ۱۳۸۸ کاشت صورت گرفت. گیاه مورد آزمایش یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) در نظر گرفته شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار صورت پذیرفت. در این آزمایش عامل A سطوح فلز سنگین کادمیوم که شامل غلظت‌های ۸۰-٤۰-۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نمک کلرید کادمیوم ($CdCl_2$) و عامل B ترکیبات تیماری (کاربرد پلیمر سوپرجاذب، تلقیح باکتری‌های محرک رشد، قارچ میکوریزا و کاربرد هیومیک اسید) در ١٦ سطح که شامل: ۱. کاربرد پلیمر سوپر جاذب ۲. تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس ۳. تلقیح قارچ میکوریزا ٤. کاربرد هیومیک اسید ۵. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس ٦. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + تلقیح قارچ میکوریزا ۷. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + کاربرد هیومیک اسید ۸. تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس+ قارچ میکوریزا ۹. تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + کاربرد هیومیک اسید ۱۰. تلقیح قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید ۱۱. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + قارچ میکوریزا ۱۲. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + کاربرد هیومیک اسید ۱۳. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + تلقیح قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید ١٤. تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید ۱۵. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + کاربرد قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید ١٦. عدم کاربرد موارد فوق (شاهد) می‌باشد. میزان استفاده هیومیک اسید برای هر کرت آزمایشی ۰/۲ گرم و همزمان با کاشت بود. گونه‌های باکتری‌های مورد استفاده در این آزمایش شامل *Azotobacter chroococcum*، *Azospirillum lipoferum* و *Pseudomonas putida* به صورت ترکیب (mix) و همچنین گونه مربوط به قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) بود که توسط بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب جدا و خالص سازی شد. هر میلی لیتر از مایه تلقیح دارای $۱۰^{۷}$ سلول زنده و فعال از هر جنس باکتری بود، همچنین ماده حامل قارچ میکوریزا، خاک فسفات بود. در فروردین ماه ۱۳۸۹ از ریشه، خاک و اندام هوایی مربوط به هر گلدان نمونه ای تهیه و جهت سنجش عنصر فلزی به آزمایشگاه منتقل شد.

سنجش عنصر فلزی

برای تجزیه گیاهی و برآورد عناصر سنگین مورد مطالعه در اندامهای مختلف، کل گیاهان پس از برداشت به صورت کامل توسط آب دیونیزه شده شستشو داده و در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و پس از آسیاب نمودن نمونه‌ها، به ۱ گرم آن ۵ میلی لیتر اسید دوتایی (اسید پرکلریک $HCLO_4$ و اسید نیتریک HNO_3) با نسبت‌های ۲:۳ در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت، هضم شد و سپس با اضافه کردن آب مقطر حجم آن را به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و این محلول از کاغذ صافی واتمن ٤٢ عبور داده شد و سپس میزان عناصر نمونه‌ها توسط اسپکتروفتومتر جذب اتمی قرائت شدند (٦).

فاکتور انتقال (TF)[1]

با استفاده از این فاکتور میزان توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی محاسبه می‌شود. برای اندازه‌گیری فاکتور انتقال (TF) از فرمول ذیل استفاده شد(۹):

$$TF = \frac{\text{element in shoot}}{\text{element in root}}$$

ضریب تجمع گیاهی(AF)[2]

پس از به‌دست آمدن مقدار فلز سنگین در اندام هوایی این فاکتور برای عنصر کادمیوم از رابطه ذیل به‌دست آمد(۵۳).

$$AF = \frac{\text{element in shoot}}{\text{normal level in plant}}$$

ضریب استخراج فلز سنگین از خاک به اندام هوایی (EC)[3]

پس از این‌که مقدار عنصر سنگین در خاک و اندام هوایی بدست آمد این فاکتور برای کادمیوم از رابطه ذیل به‌دست آمد (۵۳).

$$EC = \frac{\text{element in shoot}}{\text{available level in soil}}$$

روش آنالیز

تبدیل داده‌ها و تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزارهای Excel , SAS (V. 9.1) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ ٪ صورت گرفت.

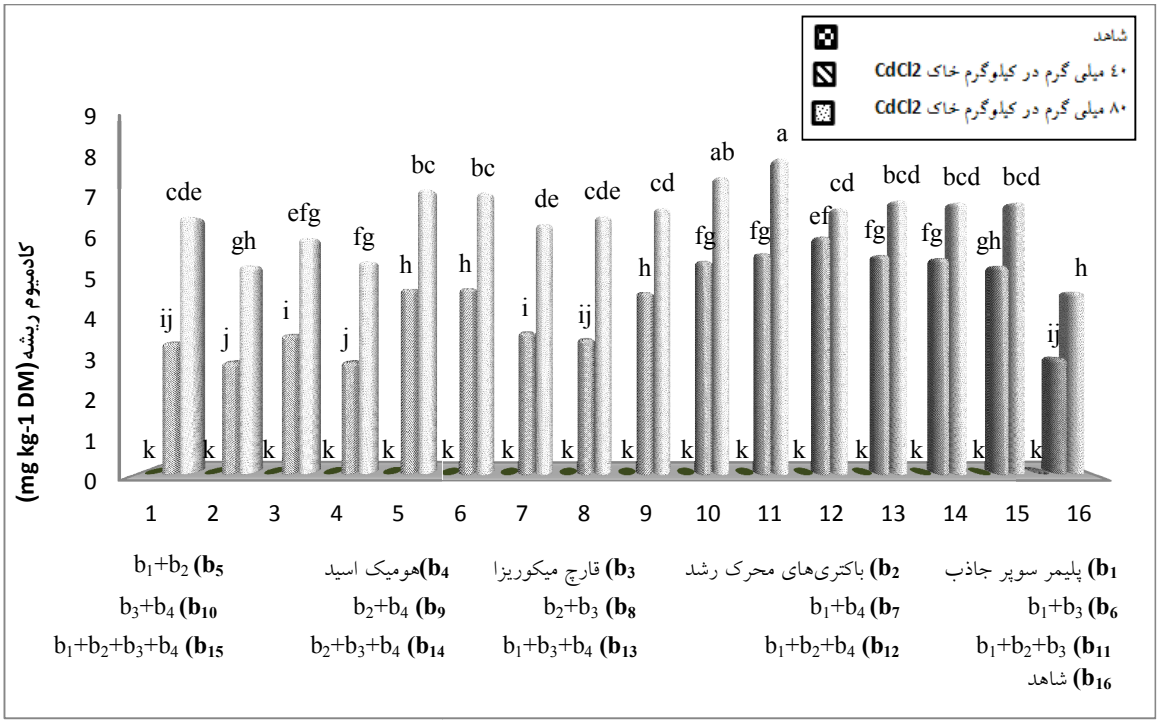
[1].Translocation Factor
[2]. Accumulation Factor
[3]. Enrichment Coefficient

نتایج و بحث

شکل ۱ نشان دهنده تاثیر متقابل سطوح فلز سنگین کادمیوم و همچنین ترکیبات تیماری شامل (کاربرد پلیمر سوپرجاذب، تلقیح باکتری‌های محرک رشد، تلقیح قارچ میکوریزا و کاربرد هومیک اسید) به صور جداگانه و توام بر میزان کادمیوم جذب شده توسط اندام ریشه‌ای گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) می‌باشد. با توجه به این شکل مشاهده شد که تیمار شماره‌ی ۱۱ (کاربرد توام پلیمر سوپرجاذب، تلقیح باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا) در بالاترین غلظت کادمیوم (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) دارای بیشترین میزان کادمیوم جذب شده توسط اندام ریشه‌ای در گونه مورد مطالعه می‌باشد به طوری که این میزان ٤٢/٣ ٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. جونر و لیوال (۱۹۹۷) نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم در حضور قارچ‌های میکوریزا جذب این عنصر توسط گیاه شبدر افزایش می‌یابد. باکتری‌های PGPR رشد گیاه را در حضور فلزات سنگینی نظیر کادمیوم، سرب و روی افزایش می‌دهند (۸).

با توجه شکل ۲ که اثر متقابل سطوح فاکتورهای این آزمایش را بر میزان کادمیوم قابل جذب در خاک نشان می‌دهد تیمار شاهد دارای بیشترین میزان کادمیوم موجود در خاک می‌باشد. بدین معنی که عدم کاربرد کودهای بیولوژیک، پلیمر سوپرجاذب و هومیک اسید، جذب عنصر کادمیوم را توسط اندام ریشه‌ای و اندام هوایی در گونه‌ی مورد آزمایش کاهش پیدا کرده است که این امر می‌تواند دلیلی بر اثر افزایشی کاربرد این مواد، بر جذب و تجمع کادمیوم از خاک‌های آلوده به این عنصر باشد. تیمارهای b_{13} ، b_{14} و b_{15} در بالاترین غلظت سمیت کادمیوم دارای بیشترین میزان جذب کادمیوم از خاک بودند.

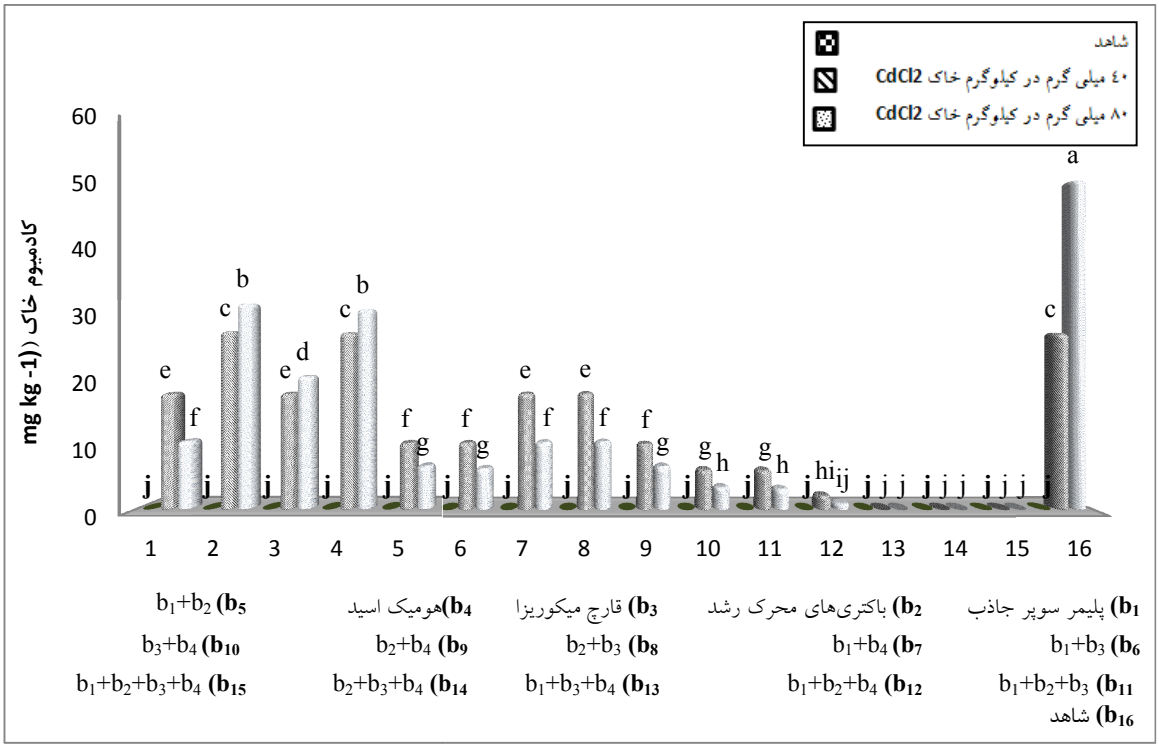
شکل ۳ نشان دهنده‌ی میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی گونه مورد مطالعه می‌باشد. با افزایش غلظت کادمیوم روندی صعودی در جذب کادمیوم در اندام هوایی به وجود آمده است، با توجه به این شکل در وهله‌ی اول تیمار b_{15} (کاربرد پلیمر نانو سوپر جاذب + تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید) دارای بیشترین میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی می‌باشد به طوری که میزان کادمیوم جذب شده تویط اندام هوایی گونه مورد مطالعه در این تیمار ٦٢/٢ ٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین تیمارهای b_{12} (کاربرد پلیمر نانو سوپر جاذب + کاربرد باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + کاربرد هیومیک اسید)، b_{13} (کاربرد پلیمر نانو سوپر جاذب + تلقیح قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید)، b_{14}(تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید) نیز تیمارهای مناسبی از جهت جذب کادمیوم توسط اندام هوایی بودند، این تیمارها از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار نبودند.



شکل۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذببر میزان کادمیوم ریشه

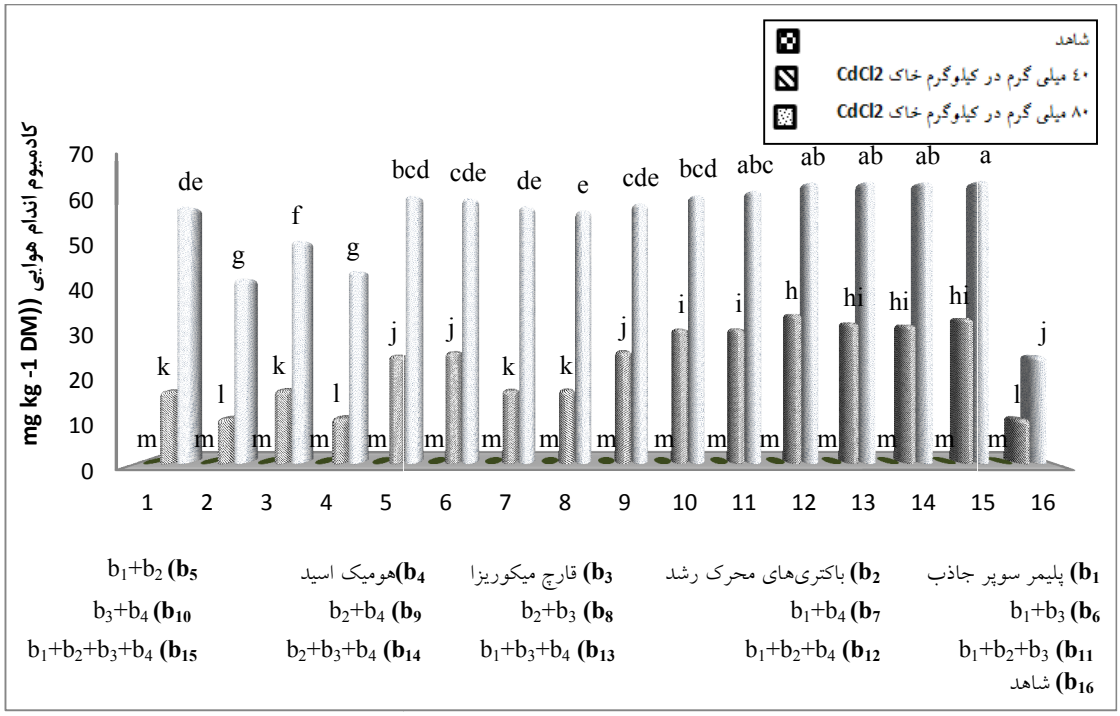
نتیجه فوق می‌تواند به دلیل تاثیر کاربرد توام مواد مورد آزمایش، در توسعه سیستم ریشه‌ای و در نتیجه افزایش سطح جذب گیاه باشد که خود عاملی مهم در جذب عناصر می‌باشد. همچنین کاربرد پلیمر سوپرجاذب به دلیل تامین آب مورد نیاز گیاه می‌تواند عاملی مهم در جهت افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش فلز سنگین باشد.

گیاه توانسته با برقراری رابطه‌ی همزیستی با باکتری‌های(PGPR) و قارچ میکوریزا و همچنین با استفاده از هیومیک اسید مقاومت خود را در برابر تنش ناشی از فلزات سنگین بالا ببرد. همچنین به دلیل کاهش سمیت عنصر سنگین توسط مواد فوق جذب این عنصر توسط اندام هوایی و اندام ریشه‌ای گونه مورد مطالعه افزایش پیدا کرده است. تجمع کادمیوم در اندام هوایی گونه‌ی مورد مطالعه ۸۸ ٪ بیشتر از اندام ریشه‌ای آن است که این امر نشان دهنده‌ی فاکتور انتقال بالای گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) در انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی است که شکل ۵ نشان دهنده‌ی این مطلب می‌باشد. این ویژگی گونه مورد مطالعه می‌تواند عاملی در جهت موفقیت تکنیک گیاه پالایی اراضی آلوده باشد به دلیل اینکه می‌توان مقادیر بالایی از عناصر سنگین را اراضی آلوده استخراج کرد. نتایج تحقیقات صورت گرفته نشان داد که قارچ‌های میکوریزی در خاکهای آلوده به عناصر سنگین بیوماس گیاه را افزایش دادند (۲۲).

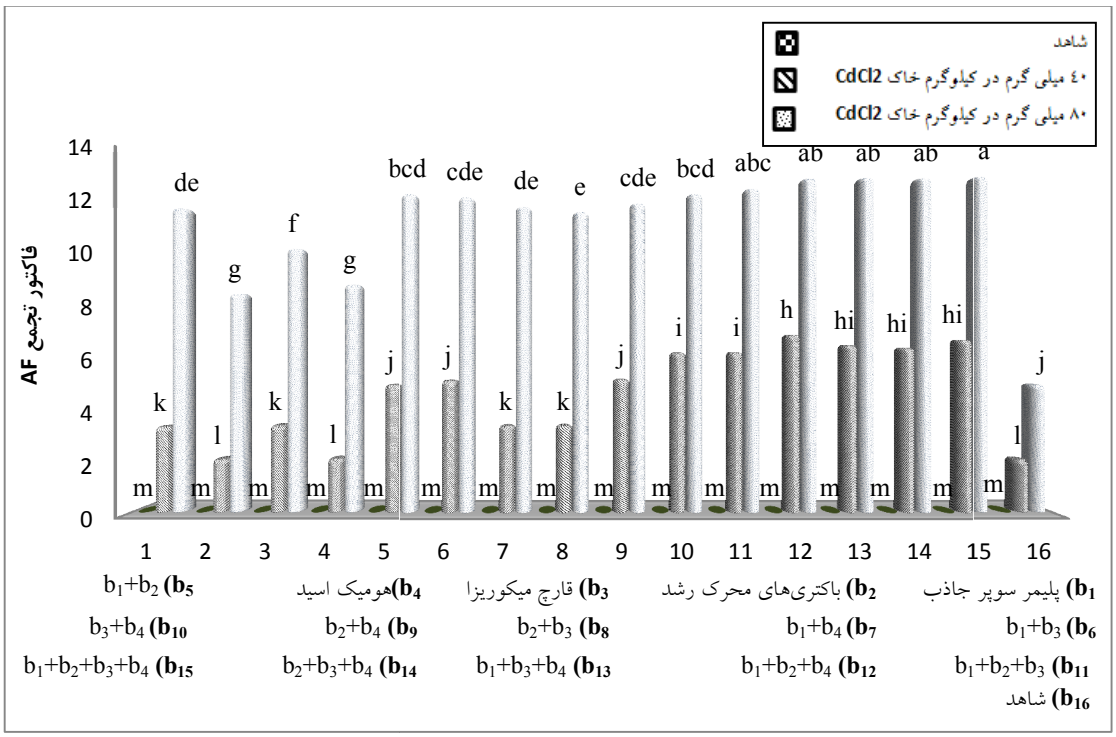


شکل۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر میزان کادمیوم خاک

نتایج آزمایشی نشان می‌دهد که گوجه فرنگی‌های کشت شده در زمین‌های آلوده به عناصر سنگین رشدشان کاهش می‌یابد ولی تلقیح قارچ‌های میکوریزی، رشد گیاهان را در حضور عناصر سنگین، نسبت به شاهد بدون قارچ افزایش می‌دهد (۲۱). که این به دلیل افزایش جذب فسفر توسط قارچ‌های میکوریزی و انتقال آن‌ها به بخش‌های مختلف گیاهی می‌باشد که قارچ‌های میکوریز با افزایش حجم ریشه و افزایش جذب مواد غذایی و آب کافی توسط ریشه‌ی گیاه سبب افزایش رشد گیاه و در نتیجه باعث افزایش جذب عناصر می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که انباشت کادمیوم در بافت گیاهی ارتباط مستقیم با غلظت این عنصر در خاک دارد که با افزایش غلظت آن در خاک غلظت کادمیوم نیز در بافتهای گیاهی افزایش می‌یابد (۱۳). قارچ‌های میکوریزا با افزایش سطح توسط هیف‌ها، جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند که احتمالاً جذب کادمیوم را در گونه مورد مطالعه نیز افزایش داده‌اند.



شکل۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر میزان کادمیوم اندام هوایی



شکل٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر میزان فاکتور تجمع کادمیوم

کوفنر و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که بهبود جذب فلزات سنگین توسط باکتری‌های مفید خاک نیز در نتیجه تولید سیدروفور و اکسین در خاک های آلوده به روی، کادمیوم و سرب می‌باشد بر اساس این گزارش برخی جدایه‌ها با افزایش رشد گیاه جذب روی و کادمیوم را افزایش دادند. با توجه به جدول ۲، نتایج آنالیز واریانس مربوط به صفات فوق حاکی از تاثیر معنی‌دار ($P < 0.01$) فاکتورهای آزمایش بر میزان این صفات بود.

شکل‌های ٤، ٥ و ٦ به ترتیب نشان دهنده اثرات متقابل سطوح فاکتورهای آزمایش بر ضریب تجمع گیاهی (AF)، فاکتور انتقال (TF) و ضریب استخراج فلز سنگین از خاک (EC) می‌باشند. با توجه به این شکل‌ها در می‌یابیم که با افزایش غلظت کادمیوم، روندی صعودی در میزان صفات فوق نیز وجود دارد. به طوری‌که بیشترین میزان این صفات در بالاترین سطح سمیت کادمیوم (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) مشاهده شد. تیمارهای b_{12} (کاربرد پلیمر سوپرجاذب + باکتری‌های محرک رشد + هیومیک اسید)، b_{13} (کاربرد پلیمر سوپرجاذب + باکتری‌های محرک رشد + هیومیک اسید)، b_{14} (کاربرد باکتری‌های محرک رشد + قارچ میکوریزا + هیومیک اسید) و b_{15} (کاربرد پلیمر سوپرجاذب + باکتری‌های محرک رشد + قارچ میکوریزا + هیومیک اسید) دارای بیشترین میزان TF, AF و EC بودند که این مقدار به ترتیب برای (AF) ٦٢ ٪، (TF) ٤٥ ٪ و (EC) ٦٤ ٪ بیشتر از تیمار شاهد (عدم کاربرد مواد فوق در بالاترین سطح سمیت کادمیوم) بود.

تحقیقات نشان می‌دهد که کشت گیاه شاهدانه در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین، میزان عناصر سنگین در برگ و ساقه‌ی گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود(۳۱). باکتری‌های محرک رشد از طریق تامین عناصر برای گیاهانی که در معرض سمیت کادمیوم قرار دارند برخی اثرات منفی کادمیوم بر گیاهان را تعدیل کرده و از بین خواهند برد (٤٧).

با توجه به نتایج آزمایش مشاهده شد که گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) از توانایی بالایی جهت جهت جذب عنصر سنگین کادمیوم از خاک‌های آلوده توسط ریشه و اندام هوایی خود برخوردار بود، ولی میزان تجمع فلز سنگین کادمیوم جذب شده توسط ریشه در اندام هوایی گونه مورد مطالعه بسیار بیشتر از ریشه آن بود و این امر خود نشان دهنده این مطلب می‌باشد که گونه مورد مطالعه در این آزمایش دارای فاکتو انتقال بالایی جهت انتقال عنصر سنگین از ریشه به اندام هوایی می‌باشد که این امر می‌تواند موجب بهبود گیاه پالایی اراضی آلوده گردد. همچنین در این آزمایش مشخص شد که با افزایش غلظت کادمیوم میزان ضریب استخراج فلز از خاک (EC) به طور معنی‌دار افزایش یافت، که این نتیجه موید این مطلب است که تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش دارای اثرات افزایشی در جذب و اندوزش کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گونه مورد مطالعه بودند و در همین راستا استفاده ترکیبی مناسب از تیمارهای به کاربرده شده در این تحقیق می‌تواند راه‌گشای مشکل گیاه پالایی اراضی آلوده به فلزات

سنگین باشد. به طورکلی نتایج حاکی از این بود که در شرایط سمیت کادمیوم، در بین تیمارهای این آزمایش تیمارهای b_{12} ، b_{13} ، b_{14} و b_{15} بیشترین مقاومت را در برابر تنش از خود نشان دادند و از دید استخراج عناصر سنگین، این تیمارها در بالاترین غلظت مورد استفاده در این آزمایش (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) دارای بیشترین میزان جذب کادمیوم توسط اندام هوایی و اندام ریشه‌ای گونه‌ی مورد مطالعه بودند و بنابراین با توجه به اثرات افزایشی باکتری‌های محرک رشد (PGPR)، قارچ میکوریزا، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب در جذب و پالایش کادمیوم از اراضی آلوده، می‌توان از این مواد در جهت افزایش کارایی گیاه پالایی و همچنین استخراج مقادیر بالایی از فلزات سنگین از این گونه اراضی استفاده کرد.

جدول۲- تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر جذب و پالایش کادمیوم در ریشه و اندام هوایی یونجه یکساله

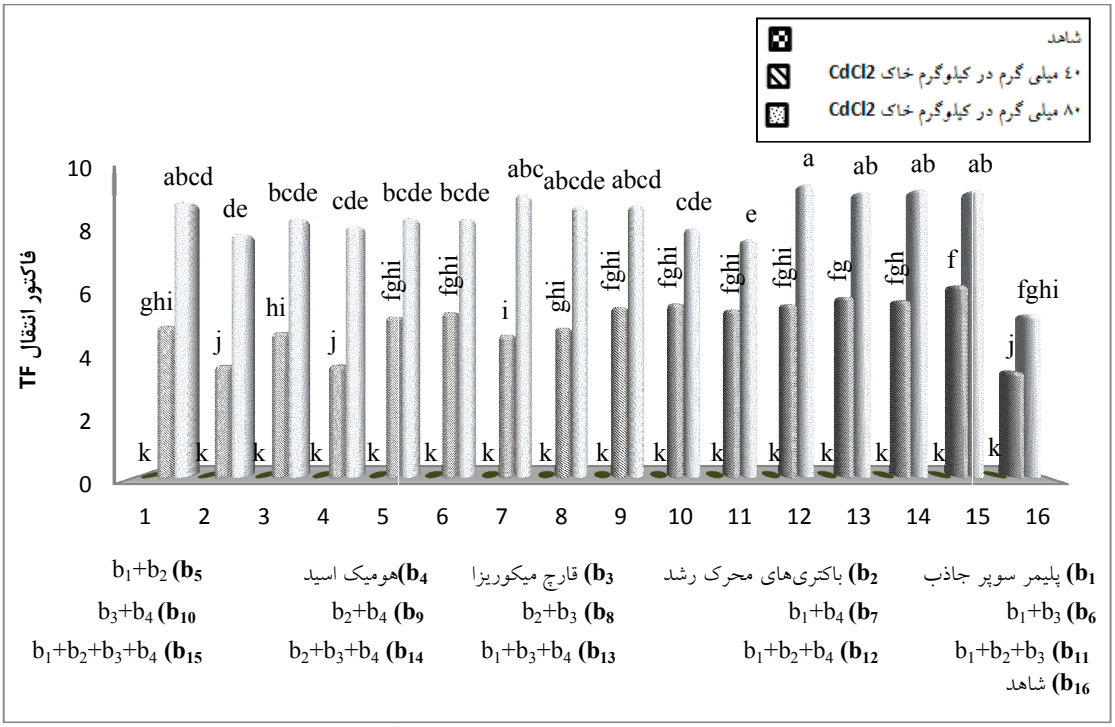
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کادمیوم ریشه	کادمیوم خاک	کادمیوم اندام هوایی	فاکتور تجمع AF	فاکتور انتقال TF	ضریب استخراج فلز سنگین EC
سطوح فلز کادمیوم (A)	۲	۷۲۳/٤**	۳۱٦۸/۰۳**	٥۲۲۸۱/٤۸**	۲۰۹۱/۲٥**	۱۱۹٥/۱۲**	۹/۱۰**
ترکیبات تیماری (B)	۱٥	٤/۹٤**	۷٤٤/۰۸**	٤۸٥/٦۹**	۱۹/٤۲**	۳/۹۷**	۰/۱٥**
اثر متقابل (A×B)	۳۰	۱/٦۸**	۲٤۱/۱۳**	۱٦۳/۷٦**	٦/٥٥**	۱/٦۲**	۰/۰٥**
خطا	۱٤٤	۰/۱۹	۱/۳	٤/٤	۰/۱۷	۰/٤٦	۰/۰۰۱۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۰۸	۱٤/۰٤	۷/۸۸	۷/۸۸	۱٤/۸۷	۸/۳۱

**، * و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار

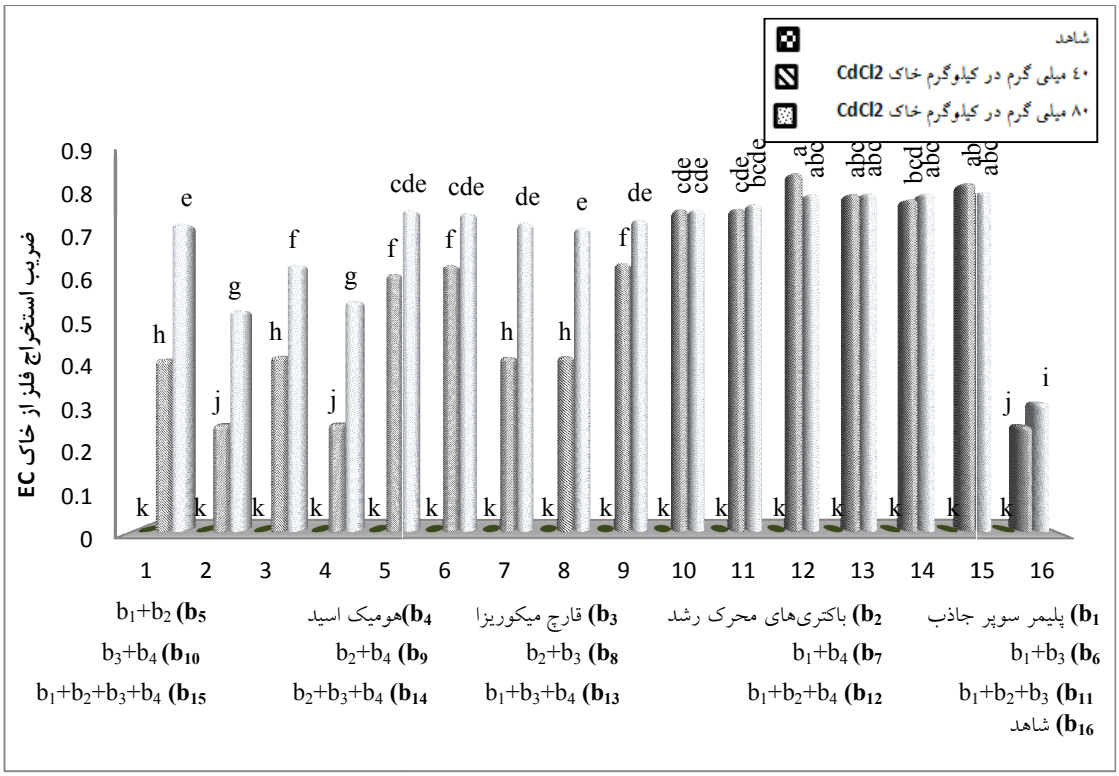
جدول۳: مقایسه میانگین تاثیر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر جذب و پالایش کادمیوم در ریشه و اندام هوایی یونجه یکساله

سطوح مورد آزمایش	کادمیوم ریشه ($mg\ kg^{-1}$)	کادمیوم خاک ($mg\ kg^{-1}$)	کادمیوم اندام هوایی ($mg\ kg^{-1}$)	استخراج گیاهی AF	فاکتور انتقال TF	ضریب استخراج فلز سنگین EC
a_1b_1	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_2	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_3	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_4	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_5	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_6	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_7	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_8	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_9	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_{10}	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_{11}	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_{12}	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_{13}	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_{14}	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_{15}	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_1b_{16}	۰^{k}	۰^{j}	۰^{m}	۰^{m}	۰^{k}	۰^{k}
a_2b_1	۳/۳۵۰^{ij}	۱۷/۸۰^{e}	۱٦/۵۵^{k}	۳/۳۱۰^{k}	٤/۹٦۹^{ghi}	۰/٤۱۳۷^{h}
a_2b_2	۲/۸۵۰^{j}	۲۷/٤۰^{c}	۱۰/۲۳^{l}	۲/۰٤۵^{l}	۳/٦٦۷^{j}	۰/۲۵۵٦^{j}
a_2b_3	۳/۵۵۰^{i}	۱۷/۸۳^{e}	۱٦/۸۳^{k}	۳/۳٦۵^{k}	٤/۷٦۵^{hi}	۰/٤۲۰٦^{h}
a_2b_4	۲/۸۵۰^{j}	۲۷/۲۵^{c}	۱۰/۳۰^{l}	۲/۰٦۰^{l}	۳/٦۷۱^{j}	۰/۲۵۷۵^{j}
a_2b_5	٤/۷۲۵^{h}	۱۰/۱۸^{f}	۲٤/۷۳^{j}	٤/۹٤۵^{j}	۵/۲۸۱^{fghi}	۰/٦۱۸۱^{f}
a_2b_6	٤/۷۵۰^{h}	۱۰/۱۸^{f}	۲۵/٦۳^{j}	۵/۱۲۵^{j}	۵/٤۲٦^{fghi}	۰/٦٤۰٦^{f}
a_2b_7	۳/٦۲۵^{i}	۱۷/۸۰^{e}	۱٦/۷۵^{k}	۳/۳۵۰^{k}	٤/٦۷۹^{i}	۰/٤۱۸۷^{h}
a_2b_8	۳/٤۵۰^{ij}	۱۷/۸۵^{e}	۱٦/۸۰^{k}	۳/۳٦۰^{k}	٤/۹۱۷^{ghi}	۰/٤۲۰۰^{h}
a_2b_9	٤/٦۵۰^{h}	۱۰/۰۷^{f}	۲۵/۸۳^{j}	۵/۱٦۵^{j}	۵/٦۰۱^{fghi}	۰/٦٤۵٦^{f}
a_2b_{10}	۵/٤۵۰^{fg}	٦/۰۷۵^{g}	۳۱/۰۲^{i}	٦/۲۰۵^{i}	۵/۷۲۱^{fghi}	۰/۷۷۵٦^{cde}
a_2b_{11}	۵/٦۵۰^{fg}	۵/۹۷۵^{g}	۳۱/۰۷^{i}	٦/۲۱۵^{i}	۵/۵۱٤^{fghi}	۰/۷۷٦۹^{cde}
a_2b_{12}	٦/۰۷۵^{ef}	۲/۱۰۰^{hi}	۳٤/۵۰^{h}	٦/۹۰۰^{h}	۵/٦۹۹^{fghi}	۰/۸٦۲۵^{a}
a_2b_{13}	۵/٦۰۰^{fg}	۰^{j}	۳۲/۵۰^{hi}	٦/۵۰۰^{hi}	۵/۹۳۹^{fg}	۰/۸۱۲۵^{abc}
a_2b_{14}	۵/۵۲۵^{fg}	۰^{j}	۳۱/۹۸^{hi}	٦/۳۹۵^{hi}	۵/۸۲۰^{fgh}	۰/۷۹۹٤^{bcd}
a_2b_{15}	۵/۳۲۵^{gh}	۰^{j}	۳۳/۵۵^{hi}	٦/۷۱۰^{hi}	٦/۳۱۷^{f}	۰/۸۳۸۸^{ab}
a_2b_{16}	۲/۹۵۰^{ij}	۲۷/۲۵^{c}	۱۰/۱۵^{l}	۲/۰۳۰^{l}	۳/٤۷۱^{j}	۰/۲۵۳۷^{j}
a_3b_1	٦/۵۷۵^{cde}	۱۰/٤۳^{f}	۵۹/۲۰^{de}	۱۱/۸٤^{de}	۹/۰٦۳^{abcd}	۰/۷٤۰۰^{e}
a_3b_2	۵/۳۲۵^{gh}	۳۱/۸۰^{b}	٤۲/٤۷^{g}	۸/٤۹۵^{g}	۸/۰۰۸^{de}	۰/۵۳۰۹^{g}
a_3b_3	٦/۰۳۵^{efg}	۲۰/٤۸^{d}	۵۱/۲۸^{f}	۱۰/۲٦^{f}	۸/۵۱۷^{bcde}	۰/٦٤۰۹^{f}
a_3b_4	۵/٤۲۵^{fg}	۳۰/۸۸^{b}	٤٤/۲۸^{g}	۸/۸۵۵^{g}	۸/۲٦۱^{cde}	۰/۵۵۳٤^{g}
a_3b_5	۷/۲۷۵^{bc}	٦/۵۷۵^{g}	٦۱/۹۵^{bcd}	۱۲/۳۹^{bcd}	۸/۵۳۷^{bcde}	۰/۷۷٤٤^{cde}
a_3b_6	۷/۲۰۰^{bc}	٦/۲۵۰^{g}	٦۱/۳۵^{cde}	۱۲/۲۷^{cde}	۸/۵۲٤^{bcde}	۰/۷٦٦۹^{cde}
a_3b_7	٦/٤۰۰^{de}	۱۰/۳۰^{f}	۵۹/٤۷^{de}	۱۱/۹۰^{de}	۹/۳۲۰^{abc}	۰/۷٤۳٤^{de}
a_3b_8	٦/٦۰۰^{cde}	۱۰/۳۸^{f}	۵۸/۵۰^{e}	۱۱/۷۰^{e}	۸/۹۱۸^{abcde}	۰/۷۳۱۲^{e}
a_3b_9	٦/۸۰۰^{cd}	٦/٦۰۰^{g}	٦۰/۱۵^{cde}	۱۲/۰۳^{cde}	۸/۹۵۲^{abcd}	۰/۷۵۱۹^{de}
a_3b_{10}	۷/٦۰۰^{ab}	۳/۳۵۰^{h}	٦۲/۰۳^{bcd}	۱۲/٤۰^{bcd}	۸/۲۱٤^{cde}	۰/۷۷۵۳^{cde}
a_3b_{11}	۸/۰۷۵^{a}	۳/۱۲۵^{h}	٦۳/۰۸^{abc}	۱۲/٦۱^{abc}	۷/۸۳۵^{e}	۰/۷۸۸٤^{bcde}
a_3b_{12}	٦/۸۰۰^{cd}	۰/۹۰۷۵^{ij}	٦۵/۰۰^{ab}	۱۳/۰۰^{ab}	۹/٦۵٦^{a}	۰/۸۱۲۵^{abc}
a_3b_{13}	۷/۰۰۰^{bcd}	۰^{j}	٦۵/۱۸^{ab}	۱۳/۰۳^{ab}	۹/٤۰۵^{ab}	۰/۸۱٤۷^{abc}
a_3b_{14}	٦/۹۵۰^{bcd}	۰^{j}	٦۵/۱۰^{ab}	۱۳/۰۲^{ab}	۹/٤۵۸^{ab}	۰/۸۱۳۸^{abc}
a_3b_{15}	٦/۹۵۰^{bcd}	۰^{j}	٦۵/٤۰^{a}	۱۳/۰۸^{a}	۹/٤۵۸^{ab}	۰/۸۱۷۵^{abc}
a_3b_{16}	٤/٦۵۰^{h}	۵۱/۰۳^{a}	۲٤/۷۵^{j}	٤/۹۵۰^{j}	۵/۳۵۲^{fghi}	۰/۳۰۹٤^{i}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد



شکل۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر میزان فاکتور انتقال کادمیوم



شکل٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر میزان ضریب استخراج کادمیوم از خاک

منابع

۱- مسلمی، ز.، حبیبی، د.، اصغر زاده، ا.، اردکانی م. ر.، محمدی، ع. و محمدی، م. ۱۳۸۸. بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد و پلیمر سوپرجاذب بر مقاومت به خشکی ذرت. اولین همایش منطقه‌ای مدیریت منابع آب و خاک و نقش آن در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس. ص ۱۳۷.

2. Adams, J. C. and Lockaby, B. G. 1987. Commercial produced superabsorbent material increases water-holding capacity of soil medium. Tree planters Notes. 38(1):24-25.

3. Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Marden, A., Ahmad, M. and Iqbal, M. M. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Plant soil Environment. 50:463-469.

4. Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo, F. 2001. Organic matter components aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years Biores. Technol. 77:109-114.

5. Angel, J. S., McGrath, S. P. and Chadrio, A. M. 1992. Effects of media components on toxicity of Cd to rhizobia. Water, Air and soil Pollution. 64:627-633.

6. Arriagada, C. A., Herrera, M. A. and Ocampo, J. A. 2007. Benficial effect of saprobe and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of Eucalyptus globules co-cultured with Glycine max in soil contaminated with heavy metals.J.Environ.manage. 84:93-99.

7. Benavides, M. P., Gallego, S. M. and Tomaro, M. L. 2005. Cadmium toxicity in plants Braz., J. plant physiol. 17(1):21-34.

8. Burd, G. I., Dixon, D. G. and Glick, B. R. 2000. Plant growth promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Can. J. Microbiol. 46:237-245.

9. Cacco, G., Attina, E., Gelsomino, A. and sidari, M. 2000. Effect of nitrate and humic substances of nitrate uptake in wheat seedlings. Journal of plant nutrition and soil science. 163:313-320.

10. Cakmakci, R., Donmez, M. F. and Erdogan, U. G. 2007. The effect of plant growth promoting rizobacteria on baraley graining growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. Turkish Journal Agriculture. 31: 189-199.

11. Chaudhry,T. M., Hill, L., Khan, A. G. and Kuek, C. 1999. Colonization of iron and zinc contaminated dumped filtercake waste by microbs microbs, plant and associated mycorrhiza. In:Wong,M.H Wong,J.W.C.,Baker A.J.M.(Eds.),Remediation and management of Degarded land.CRC press LLC,Boca Raton,27,pp.275-283.

12. Chen, Y. and Ariad, T. 1990. Effects of Humic substances in soil and crop Science: Mac carthy, P. *et al*., (ed.). 161-186 madison.

13. Davis, R. D. 1984. Cadmium in sludge used as fertilizer. Environ. Protect. Direct. Vol 40:117-126.

14. Fulchieri, M., Lucangeli, C. and Bottini, R. 1993. Inoculation With Azospirillum lipoferum affects growth and gibberellins status of corn seedling roots. Plant and Cell physiology. 34(8):1305-1309.

15. Gadd, G. M. 2004. Microbial onfluence on metal mobility and application for bioremediation. Geoderma., 122:109-119.

16. Gardea-Torresdey, J. L., Peralta, J. R., De La Rosa, G. and Parsons, J. G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews 249, 1797-1810.

17. Gholami, A., Shahsavani, S. and Nezaet, S. 2009. The effect of Plant Growth promoting Rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. International. Journal of Biological and Life Sciences. (1):35- 40.

18. Ghore,V. and Paszkowski, U. 2006. Contribution of the arbuscular myccorahizal symbiosis to heavy metal phytoremediation.planta. 233:1115-1122.

19. Glick, B. R., Patten, C. L., Holguin, G. and Penrose, G. M. 1999. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. London:Imperial College Press.

20. Grichko, V. P., Fillby, B. and Glick, B. R. 2000. Increased ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn. J. Biotech. 81:45-53.

21. Handreek, K. A. 1994. Effect of pH on the uptake of Cd and Zn from soil less media Containing sewage sludge Commun. Soil Sci. plant Anal. 25. Pp. 1913-1927.

22. Hashem, A. R. 1990. Hymenoscy phuserica and the resistance of Vaccinum macrocarpon to lead Transactions of the mycological society of Japan. 31:3. Pp. 345-353.

23. Huang, C. M. and Cuningham, S. D. 1996. Lead phytoremediation : species variation in lead uptake and translocation. New phytol. 134:75-84.

24. Jamal, A., Ayub, N., Usman, M. and Khan, A. G. 2002. Arbuscular mycorrhizal inoculation on plants growing on arsenic contaminated soil. Chemosphere 72:1092-1097.

25. Joner. E. J. and Leyval, C. 1997. Plant uptake of Cd through arbuscular mycorrhiza. An important group of symbiotic fungi. Conference – paper- Journal-article.
26. Khan, M. S., Zaidi, A., Wani, P. A. and Oves, M. 2008. Role of Plant growth prompting rhizo bacteria in the remedition of metal contaminated soils.Environ.chem.Lett.
27. Kiatkamjornwong, S. 2007. Superabsorbent polymers and superabsorbent polymer composites. Science Asia. 33:39-43.
28. Kuffner, M., Puschenreiter, M., Wieshammer, G., Gorfer, M. and Sessitsch, A. 2008. Rhizospher bacteria affect growth and metal uptake of heavy metal accumulating willows, plant Soils., 304:35-44.
29. Lombi, E., Zhao, F. J., Duham, S. J. and Mc Grath, S. P. 2001. Phytoremediation of heavymetal comtaminated soils: natural hyperaccumulation Versus chemically enhanced phtoextraction. J. Environ. Qual. 30:1919 – 1926.
30. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P. and Zerbi, G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicotaminated soil. Environ. Pollut. 132, 21-27.
31. Norris, J. R., Read, D. J. and Varma, A. K. 1992. Methods in microbiology. Techniques for the study of mycorrhiza. Academic press, London. Volume 24.
32. Orzeszyna, H., Garlikowski, D. and Pawlowski, A., 2006. Using of geocomposite with superabsorbent synetic polymers as water retention element in vegetative laters. Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences. 20:201-206.
33. Pal, A., Dutta, S., Mukherjee, P. K. and Paul, A. K. 2005. Occurrence of Heavy metal resistance in microflora from serpentine soil of Andaman. J. Basic Microbial. 45:207-218.
34. Pawlowski, A., Lejcus, K., Garlikowski, D. and Orezesyna, H. 2009. Geocomposite with superabsorbent as an element improving water availability for plants on slopes. Geophysical Research Abstracts. 11:1-2.
35. Peralta, J. R., Gardea Torresdey, J. L., Timann, K. J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E. and Parsons, J. G. 2001. Uptake and effects of five heavy metals on seed Germination , and Toxicology . 66:727-734.
36. Pivetz, B. 2001. Phytoremediation of contaminated soil and ground water and hazardous waste sites.Ground water Issue.United State Environmental Protection Agency.
37. Rajkumar, M. and freitas, H. 2008. Effects of inoculation of plant growth promoting bacteria on Ni uptake by Indian mustared.Biores Technol. 3491-3498.
38. Rauthan, B. S. and Schnitzer, M. 1981. Effect of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. Plant soil 63:491- 495.
39. Salt, D. E., Blaylock, M., KumarNanda, P. B. A., Dushenkov, V., Esley, B. D., Chet, I. and Raskin, I. 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Bio/Technology. 13:468- 478.
40. Salt, D. E., Prince, R. C. and Raskin, I. 1995. Mechanisms of Cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. Plant physiol., 109:1427-1433.
41. Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. 1999. Response to Cadmium in higher plants. Environ. EXP. Bot 41:105-130.
42. Sharif, M., Khattak, R. A. and Sarir, M. S. 2002. Effect of different levels of lignitic coal drived humic acid on growth of maize plants. Communication in soil science and plant Analysis 33(19820):3567-3580.
43. Siebe, C. 1995. Heavy metal availability to plants and soils irrigated with wastewater from Mexico City. Water Sci. Technol. 32, 29-34.
44. Silver, S. 1996. Bacterial resistances to toxic metal ions-a review. Gene., 179:9-19.
45. Smith, S. R. 1994. Effect of soil pH on availability to crops metals in sewage sludge treated soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxity to rye grass. Environ. Pollut. 85:321-327.
46. Smith, S. E. and Read, D. J . 1997. Mycorrhizal symbiosis.2nd ed.Academic press,London.
47. Vassilev, A., Vangronsveld, J. and Yordanov, I. 2002. Cadmium phytoextraction: Present state, Biological Backgrounds and Research Needs. BULG. J. plant physiol, 28(3-4): 68-95.
48. Vogel-mikus, K., Pongrac, P., kump, P., Necemer, M. and Regavar, M. 2006. colonization of a Zn,Cd and Pb hiperaccumulator *Thalspi praecox wulfen* with indigenous arbuscular mycorrhizal fungal mixture induces changes in heavy metal and nutrient uptake.Environ.Pollut.,139:362-371.
49. Weissenhorn, I. and Leyval, C. 1995. Root colonization of maize by a Cd-sensitive and a Cd tolerant *Glomus mosseae* and cadmioum uptake in sand culture.plant soil. 75:233-238.
50. Wenger, K., Gupta, S. K., Furrer, G. and Schulin, R. 2002. Zinc extraction potential of two Common Crop plants *Nicotiana tabacum* and *Zea mays* plant soil. 242:P217-225.
51. Zaidi, S., Usmani, S., singh, B. R. and Musarrat, J. 2006. significance of Bacillus subtilis strain S.J-101 as a bioinuculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *brassica juncea*.chemosphere. 64:991-997.

52. Zohuriaan-Mehr, M. J. and Kabiri, K. 2008. Superabsorbent polymer materials: a review. Iranian Polymer Journal. 17(6):451-477.
53. Zu, Y. Q., Li, Y., Chen, H. Y., Qin, L. and Schvartz, C. 2005. Hyper accumulation of Pb, Zn,Cd in Yunnan, China. Invirоment international. 31:755-762.