

## 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 - ۴۰ - صفر میلی گرم در کیلوگرم خاک کلرید کادمیوم ( $CdCl_2$ ) و عامل دوم ترکیبات تیماری شامل کاربرد باکتری های محرک رشد، قارچ میکوریزا، هیومیک اسید و پلیمر سوپر جاذب به صورت جداگانه و توأم 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 سوپر جاذب + 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 ۶۲٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین کاربرد توأم باکتری های محرک رشد، قارچ میکوریزا و پلیمر سوپر جاذب بیشترین میزان کادمیوم را توسط اندام ریشه ای جذب کرده بود که این میزان حدود ۴۲/۳٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. مصرف توأم کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپر جاذب 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.

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

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

## مقدمه

آلودگی زیست محیطی توسط فلزات سنگین به دنبال افزایش فعالیت های صنعتی و معدنکاوی از اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ گسترده تر شده است علاوه بر این، این آلاینده ها از منابع متعدد انسانی شامل پسماندها و فاضلاب های صنعتی، رواناب شهری، کاربرد لجن فاضلاب، استفاده از قارچ کش های کشاورزی، زباله های خانگی و غیره حاصل می شوند. کادمیوم جذب کاتیون ها توسط گیاهان از طریق تاثیر بر قابلیت دسترسی آنها یا کاهش جمعیت میکروبی خاک را تغییر می دهد (۷). باز شدن روزنه ها، تعرق و فتوسنتز تحت تاثیر کادمیوم قرار می گیرد با این وجود، مکانیسم های سمیت کادمیوم هنوز به طور کامل شناخته نشده است (۴۱). ممانعت از عمل احیای آهن III در ریشه، منجر به کمبود آهن II و در نتیجه کاهش فتوسنتز می شود. به طور کلی کادمیوم در جذب، انتقال و استفاده از عناصر کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و آب توسط گیاه اختلال ایجاد می کند. کادمیوم جذب نیترات و انتقال آن از ریشه ها به اندام هوایی را از طریق ممانعت از فعالیت نیترات ردآکتاز کاهش می دهد (۷). میزان جذب کادمیوم توسط گیاه به عواملی نظیر غلظت در خاک، قابلیت زیست فراهمی، ماده ی آلی، pH، پتانسیل اکسید و احیاء، درجه حرارت و غلظت عناصر دیگر وابسته است و کادمیوم در جذب با حامل های انتقال دهنده ی غشایی عناصر غذایی پتاسیم، کلسیم، منیزیم آهن، منگنز، مس، روی و نیکل رقابت می کند (۷). برخی از گیاهان دارای مکانیزم های سازگاری ترکیبی برای انباشت یا تحمل غلظت های بالای آلاینده ها 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 ریشه ای، 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 می باشد (۱۶). 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 می باشد (۲۱). آلودگی به صورت بیوماس گیاهی از خاک استخراج و از بین برده می شود (۹). در این فرآیند مواد آلاینده در ساقه ها و برگ های گیاه تجمع می یابند و سپس با برداشت گیاهان، آلاینده ها از محل خارج می شوند.

در مطالعه ای حرکت کادمیوم در خردل هندی به عنوان تجمع دهنده ی خوب کادمیوم نشان داد که کادمیوم در ریشه ها به صورت کمپلکس  $Cds_4$  حضور دارد که ممکن است در بر گیرنده فیتوشلاتین ها نیز باشد. در شیرهی خام، کادمیوم غالباً با لیگاندهای نیتروژن و اکسیژن درگیر در ساختار اسیدهای آلی پیوند یافته است و در برگ ها نیز غالباً در ترکیب ها تجمع پیدا می کند (۴۰). گیاهان خاصی قادرند فلزات را توسط میکروارگانیزم های زیستی شناخته شده و ناشناخته تجمع دهند، بنابراین در حذف آلودگی فلزات سنگین از خاک ها 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 می کنند. فصل مشترک بین ریز موجودات فرا ریشه ای و ریشه های گیاهان تاثیر بالای آنها در افزایش جذب عناصر غذایی و کاهش سمیت فلزات می باشد (۴۶). بنابراین پتانسیل استفاده از روش های منحصر به فردی که از ریز موجودات فرا ریشه ای جهت کاهش سمیت فلزات سنگین برای گیاهان استفاده می شود، بایستی مورد توجه قرار گیرد (۳۷) و (۵۱). حضور قارچ های میکوریزی آربوسکولار در خاک های آلوده به فلزات سنگین گزارش شده است (۱۱ و ۴۹).

قارچ های میکوریزی آربوسکولار با مکانیسم های مستقیم و غیر مستقیم، کارایی پالایش گیاهی شامل استخراج و تثبیت گیاهی را افزایش می دهند (۶، ۱۸ و ۴۸). و بدین طریق نقش مهم و موثری در زدودن آلودگی و کاهش سمیت فلزات سنگین ایفا می کنند. در ریزوسفر علاوه بر قارچ های میکوریزی آربوسکولار، ریز موجودات مفید شامل باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) نیز باعث افزایش مقاومت گیاهان به آلودگی عناصر سنگین می شوند. برخی از باکتری های مفید آزادزی خاک که به عنوان باکتری های محرک رشد شناخته می شوند با ریشه های بسیاری از گیاهان همیار هستند (۱۹). باکتری های محرک رشد گیاه یک گروه از باکتری هایی هستند که به طور فعال در ریشه گیاه ساکن هستند و رشد و عملکرد گیاه را افزایش می دهند، که به طور مستقیم و غیر مستقیم از طریق تولید هورمون های تنظیم کننده رشد گیاه، تثبیت بیولوژیکی  $N_2$ ، حل کردن فسفات های معدنی، تولید سیدروفور، سنتز آنتی بیوتیک، آنزیم ها و ترکیبات قارچ کش بر رشد گیاه تاثیر می گذارند (۱۷). واکنش رشدی گیاه به باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) متغیر است و به گونه باکتری تلقیحی، حجم مواد آلی خاک، مرحله رشدی، زمان برداشت و ارزیابی شاخص های رشد وابسته است (۱۰). فول چیری (۱۹۹۳) مشاهده کرد که جیبرلین و *Azospirillum. lipoferium* اثرات مشابهی را در گیاه ذرت ایجاد می کنند و باعث افزایش رشد گیاهچه های ذرت، مخصوصاً از طریق افزایش تراکم ریشه های 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 می شود. باکتری های محرک رشد از طریق سنتز آنزیم های خاص که تغییرات فیزیولوژیکی را در گیاهان باعث می شوند، رشد گیاهان را افزایش می دهند (۲۶). باکتری های فرا ریشه ای مقاوم به فلزات سنگین از قدرت خاصی جهت تقویت رشد گیاه میزبان به واسطه مکانیسم های مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن اتمسفری، تولید سیدروفور، انحلال فسفات ها یا تولید تنظیم کننده های رشد گیاه (فیتوهورمون ها) برخوردارند (۱۹). علاوه بر این مکانیسم های مختلف تحمل به فلزات سنگین در میکروب های مختلف شناخته شده که شامل ممانعت از جذب، حذف فعال، جذب سطحی، ترسیب یا تجمع زیستی فلزات در فضاهای داخل و خارج سلولی می باشد. این فرآیندها حلالیت و زیست فراهمی فلزات را برای گیاه تحت

تاثیر قرار داده و اثرات سمی آنها را دسرخوش تغییر می سازد (۴۴). 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 می باشد (۲۳ و ۵۰). همچنین ثابت شده که باکتری های 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 قارچ های میکوریزا مشاهده شده است (۷). شواهدی وجود دارد که نشان می دهد قارچ میکوریزی آربوسکولار در گیاهان بیش انباشت گر و غیر بیش انباشت گر به جذب و تجمع فلزات سنگین و افزایش کارایی استخراج گیاهی کمک می کند.

آنجل و همکاران (۱۹۹۲)، جمال و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که میکوریزا، تجمع فلزات سنگین را در اندام هوایی لگوم هایی مثل سویا، یونجه و عدس افزایش می دهد. ستریو 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 فیتوشلاتین ها افزایش می دهد. گیاهان میکوریزی، عنصر کادمیوم را بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی از خاک جذب می کنند. جونر و لیوال (۱۹۹۷) نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم در حضور قارچ های میکوریزا جذب این عنصر توسط گیاه شبدر افزایش می یابد.

تحقیقات ساندر و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که کشت گیاه شاهدانه در خاک های آلوده به عناصر سنگین در حضور قارچ های میکوریزا، میزان عناصر سنگین در برگ و ساقه ی 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 استرس های خشکی و شوری، افزایش تنفس، افزایش آنتی اکسیدانها می شود (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 میکروارگانیزم های مفید افزایش تبادل کاتیونی (CEC) و توانایی بافر کردن pH بستر یا محلول غذایی و غیره باعث افزایش حاصلخیزی خاک می شوند (۱۲ و ۴۲). محققین بسیاری گزارش کرده اند که تاثیر مواد هومیک بر رشد ریشه ها بیشتر از قسمت های هوایی گیاه است (۴). 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 راه های افزایش ذخیره آب در خاک استفاده از پلیمرهای سوپرچاذب است که آب را در موقع نیاز در اختیار ریشه گیاه قرار می دهد (۳۴).

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 پلی‌الکترولیت 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 به کار 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 تنش می‌شوند. 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 ۰/۶٪، میزان ازت کل ۰/۰۵۴٪ 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 در آزمایش

| عمق  | بافت خاک                      | کادمیوم (mg/Kg) | منگنز | روی  | آهن  | پتاسیم | فسفر | نیترژن کل (%) | مواد خنثی شونده (%) | کربن آلی (%) | واکنش گل اشباع | هدایت الکتریکی (ds/m) |
|------|-------------------------------|-----------------|-------|------|------|--------|------|---------------|---------------------|--------------|----------------|-----------------------|
| ۰-۳۰ | Sand ۴۴<br>Silt ۲۲<br>Clay ۳۴ | ۰/۰۵            | ۲۳    | ۰/۹۸ | ۱۲/۸ | ۲۱۰    | ۱۰   | ۰/۰۹۱         | ۱۱                  | ۰/۹۳         | ۷/۹            | ۳/۷۶                  |

خاک گلدان هایی که دارای تیمار پلیمر سوپر جاذب بودند ابتدا با مقدار مشخصی پلیمر سوپر جاذب (۵ گرم پلیمر + ۴۰۰ سی سی آب، برای هر گلدان) کاملاً مخلوط شد (۱). نمک کلرید کادمیوم ( $CdCl_2$ ) با غلظت های 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 غلظت های ۰-۴۰-۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نمک کلرید کادمیوم ( $CdCl_2$ ) و عامل B ترکیبات تیماری (کاربرد پلیمر سوپر جاذب، تلقیح باکتری های محرک رشد، قارچ میکوریزا و کاربرد هیومیک اسید) در ۱۶ سطح که شامل: ۱. کاربرد پلیمر سوپر جاذب ۲. تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس ۳. تلقیح قارچ میکوریزا ۴. کاربرد هیومیک اسید ۵. کاربرد پلیمر سوپر جاذب + تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس ۶. 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 پلیمر سوپر جاذب + تلقیح باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + قارچ میکوریزا 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 ۱۴. 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 ۱۶. عدم کاربرد موارد فوق (شاهد) می باشد. میزان استفاده هیومیک اسید برای هر کرت آزمایشی ۰/۲ گرم و همزمان با کاشت بود. گونه های باکتری های مورد استفاده در این آزمایش شامل *Pseudomonas putida* و *Azospirillum lipoferum* *Azotobacter chroococcum* (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  $10^7$  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 سانتی گراد خشک شدند و پس از آسیاب نمودن نمونه‌ها، به ۱ گرم آن ۵ میلی لیتر اسید دوتایی (اسید پرکلریک  $\text{HClO}_4$  و اسید نیتریک  $\text{HNO}_3$ ) با نسبت‌های ۲:۳ در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۸ ساعت، هضم شد و سپس با اضافه کردن آب مقطر حجم آن را به ۵۰ میلی لیتر رسانده و این محلول از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و سپس میزان عناصر نمونه‌ها توسط اسپکتروفتومتر جذب اتمی قرائت شدند (۶).

### فاکتور انتقال (TF)<sup>۱</sup>

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):

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

### ضریب تجمع گیاهی (AF)<sup>۲</sup>

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

$$AF = \frac{\text{Concentration in shoot}}{\text{Concentration in soil}}$$

### ضریب استخراج فلز سنگین از خاک به اندام هوایی (EC)<sup>۳</sup>

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

$$EC = \frac{\text{Concentration in shoot}}{\text{Concentration in soil} \times \text{TF}}$$

### 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.

<sup>1</sup>. Translocation Factor

<sup>2</sup>. Accumulation Factor

<sup>3</sup>. Enrichment Coefficient

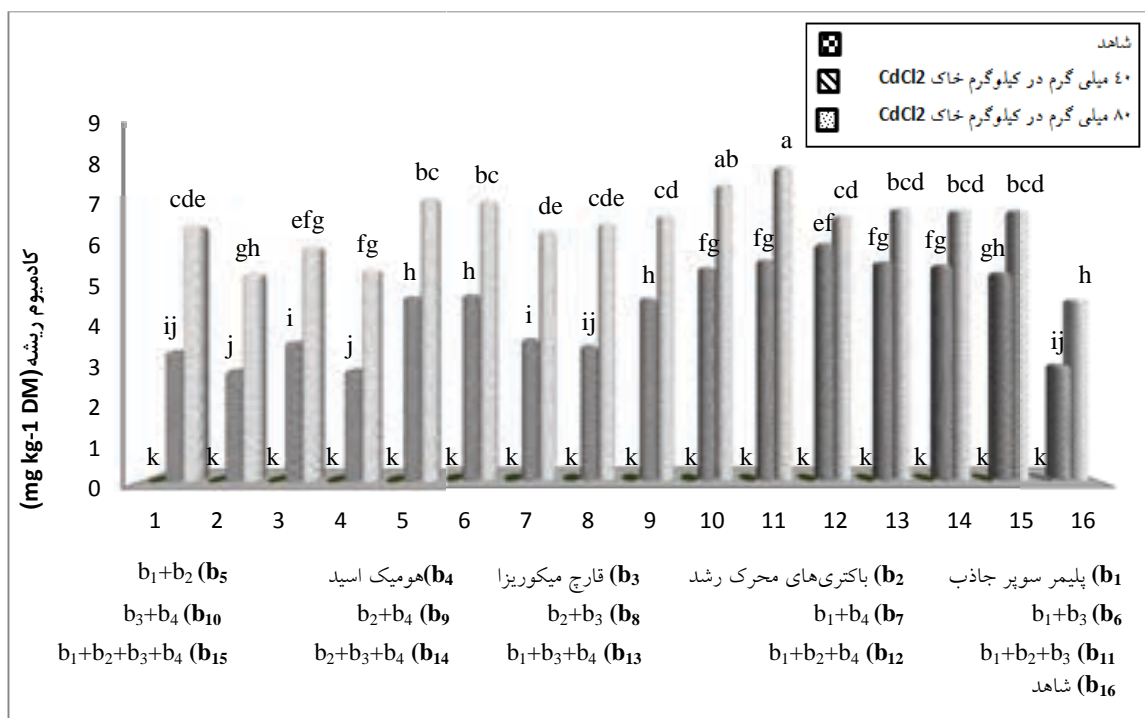
## نتایج و بحث

شکل ۱ نشان دهنده تاثیر متقابل سطوح فلز سنگین کادمیوم و همچنین ترکیبات تیماری شامل کاربرد پلیمر سوپر جاذب، تلقیح باکتری های محرک رشد، تلقیح قارچ میکوریزا و کاربرد هومیک اسید) به صور جداگانه و توام بر میزان کادمیوم جذب شده توسط اندام ریشه ای گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) می باشد. با توجه به این شکل مشاهده شد که تیمار شماره ۱۱ (کاربرد توام پلیمر سوپر جاذب، تلقیح باکتری های محرک رشد و قارچ میکوریزا) در بالاترین غلظت کادمیوم (۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) دارای بیشترین میزان کادمیوم جذب شده توسط اندام ریشه ای در گونه مورد مطالعه می باشد به طوری که این میزان ۴۲/۳٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. جونر و لیوال (۱۹۹۷) نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم در حضور قارچ های میکوریزا جذب این عنصر توسط گیاه شبدر افزایش می یابد. باکتری های PGPR رشد گیاه را در حضور فلزات سنگینی نظیر کادمیوم، سرب و روی افزایش می دهند (۸).

با توجه شکل ۲ که اثر متقابل سطوح فاکتورهای این آزمایش را بر میزان کادمیوم قابل جذب در خاک نشان می دهد تیمار شاهد دارای بیشترین میزان کادمیوم موجود در خاک می باشد. بدین معنی که عدم کاربرد کودهای بیولوژیک، پلیمر سوپر جاذب و هومیک اسید، جذب عنصر کادمیوم را توسط اندام ریشه ای و اندام هوایی در گونه ای مورد آزمایش کاهش پیدا کرده است که این امر می تواند دلیلی بر اثر افزایشی کاربرد این مواد، بر جذب و تجمع کادمیوم از خاک های آلوده به این عنصر باشد. تیمارهای b<sub>13</sub>، b<sub>14</sub> و b<sub>15</sub> در بالاترین غلظت سمیت کادمیوم دارای بیشترین میزان جذب کادمیوم از خاک بودند.

شکل ۳ نشان دهنده میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی گونه مورد مطالعه می باشد. با افزایش غلظت کادمیوم روندی صعودی در جذب کادمیوم در اندام هوایی به وجود آمده است، با توجه به این شکل در وهله اول تیمار b<sub>15</sub> (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 می باشد به طوری که میزان کادمیوم جذب شده توسط اندام هوایی گونه مورد مطالعه در این تیمار ۶۲/۲٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین تیمارهای b<sub>12</sub> (کاربرد پلیمر نانو سوپر جاذب + کاربرد باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و سودوموناس + کاربرد هیومیک اسید)، b<sub>13</sub> (کاربرد پلیمر نانو سوپر جاذب + تلقیح قارچ میکوریزا + کاربرد هیومیک اسید)، b<sub>14</sub> (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 معنی دار نبودند.

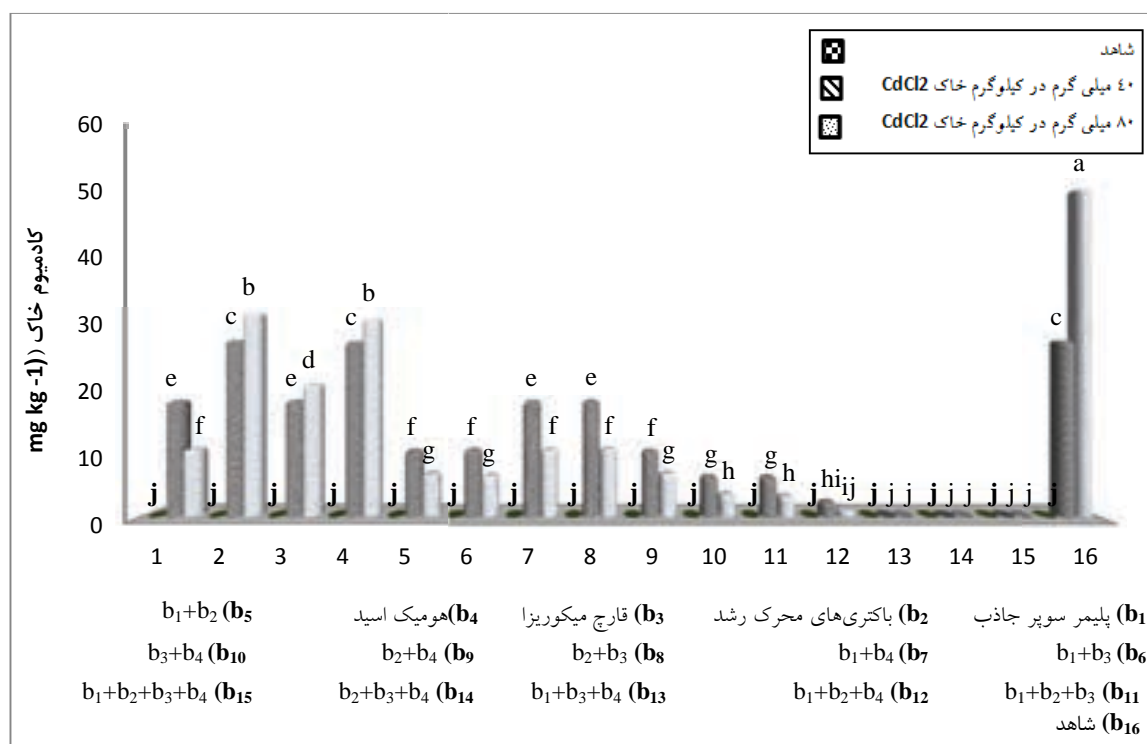




شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرچاذببر میزان کادمیوم ریشه

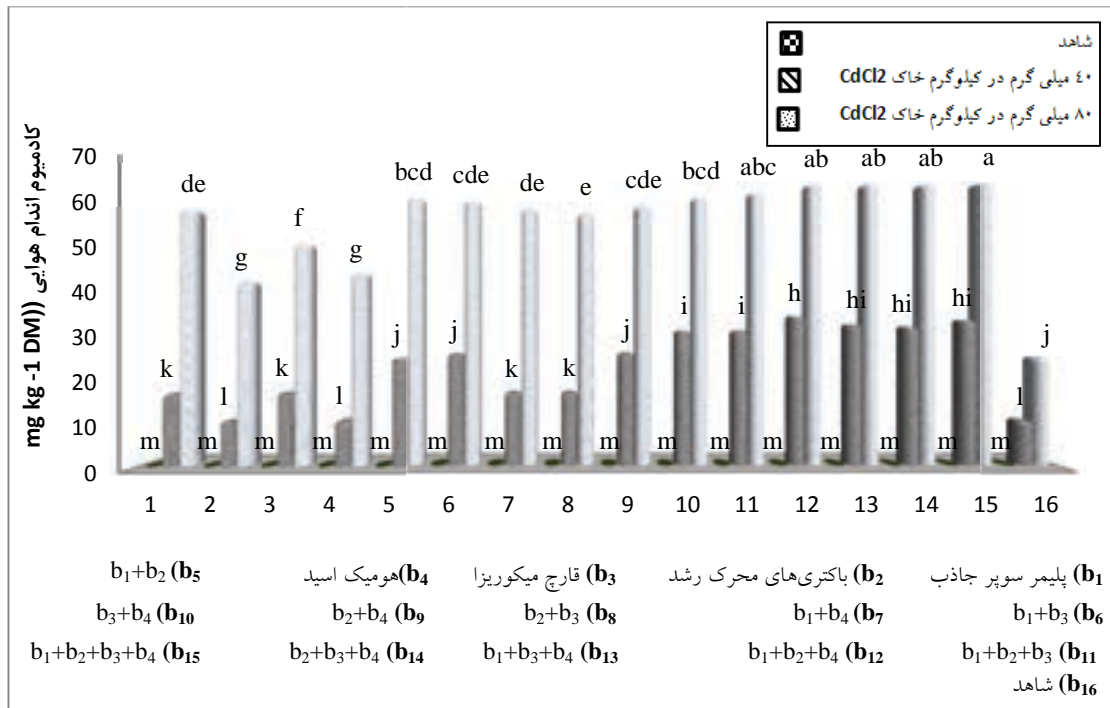
نتیجه فوق می‌تواند به دلیل تاثیر کاربرد توام مواد مورد آزمایش، در توسعه سیستم ریشه‌ای و در نتیجه افزایش سطح جذب گیاه باشد که خود عاملی مهم در جذب عناصر می‌باشد. همچنین کاربرد پلیمر سوپرچاذب به دلیل تامین آب مورد نیاز گیاه می‌تواند عاملی مهم در جهت افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش فلز سنگین باشد.

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).

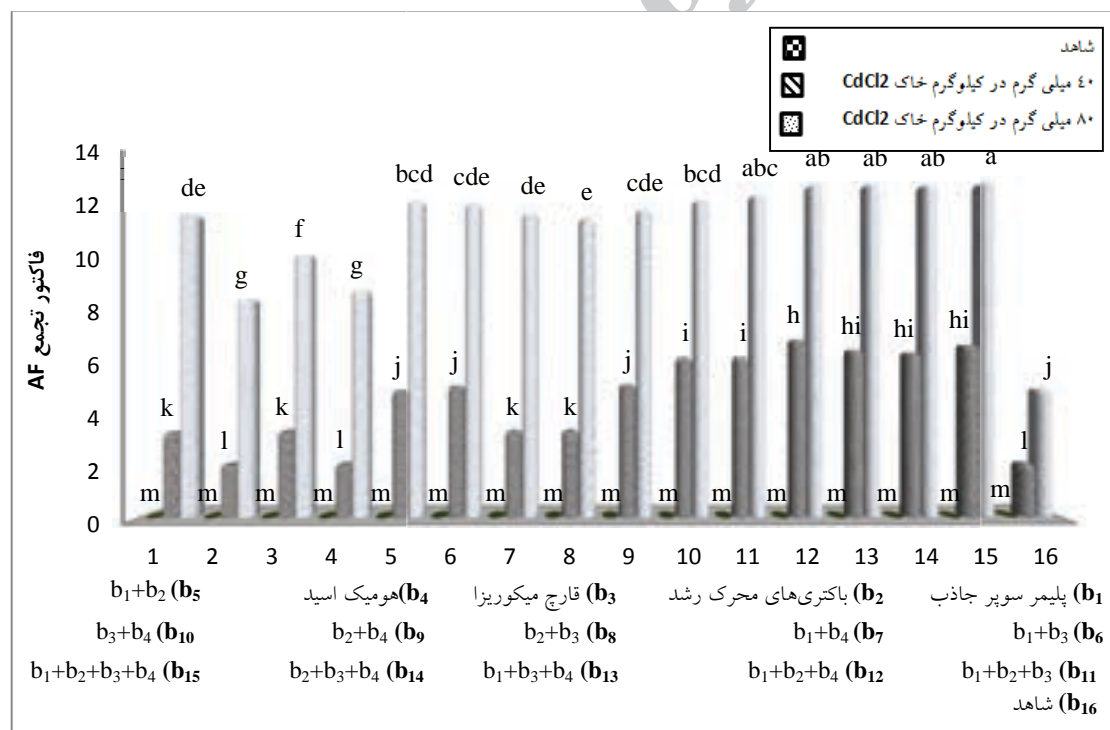


شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپر جاذب بر میزان کادمیوم خاک

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 ریشه 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 میکوریز با افزایش سطح هیف‌ها، جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند که احتمالاً جذب کادمیوم را در گونه مورد مطالعه نیز افزایش داده‌اند.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپر جاذب بر میزان کادمیوم اندام هوایی



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپر جاذب بر میزان فاکتور تجمع کادمیوم

کوفتر و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که بهبود جذب فلزات سنگین توسط باکتری های مفید خاک نیز در نتیجه تولید سیدروفور و اکسین در خاک های آلوده به روی، کادمیوم و سرب می باشد بر اساس این گزارش برخی جدایه ها 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 معنی دار ( $P < 0.01$ ) فاکتورهای آزمایش بر میزان این صفات بود.

شکل های ۴، ۵ و ۶ 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) می باشند. با توجه به این شکل ها در می یابیم که با افزایش غلظت کادمیوم، روندی صعودی در میزان صفات فوق نیز وجود دارد. به طوری که بیشترین میزان این صفات در بالاترین سطح سمیت کادمیوم (۸۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) مشاهده شد. تیمارهای  $b_{12}$  (کاربرد پلیمر سوپرجاذب + باکتری های محرک رشد + هیومیک اسید)،  $b_{13}$  (کاربرد پلیمر سوپرجاذب + باکتری های محرک رشد + هیومیک اسید)،  $b_{14}$  (کاربرد باکتری های محرک رشد + قارچ میکوریزا + هیومیک اسید) و  $b_{15}$  (کاربرد پلیمر سوپرجاذب + باکتری های محرک رشد + قارچ میکوریزا + هیومیک اسید) دارای بیشترین میزان AF، TF و EC بودند که این مقدار به ترتیب برای (AF) ۶۲٪، (TF) ۴۵٪ و (EC) ۶۴٪ بیشتر از تیمار شاهد (عدم کاربرد مواد فوق در بالاترین سطح سمیت کادمیوم) بود.

تحقیقات نشان می دهد که کشت گیاه شاهدانه در خاک های آلوده به عناصر سنگین، میزان عناصر سنگین در برگ و ساقه گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بود (۳۱). باکتری های 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 (۴۷).

با توجه به نتایج آزمایش مشاهده شد که گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) از توانایی بالایی جهت جذب عنصر سنگین کادمیوم از خاک های 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 می باشد که گونه مورد مطالعه در این آزمایش دارای فاکتو انتقال بالایی جهت انتقال عنصر سنگین از ریشه به اندام هوایی می باشد که این امر می تواند 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 معنی دار 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 کار برده شده در این تحقیق می تواند راه گشای مشکل گیاه پالایی اراضی آلوده به فلزات

سنگین باشد. به طور کلی 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 میلی گرم 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.

جدول ۲- 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

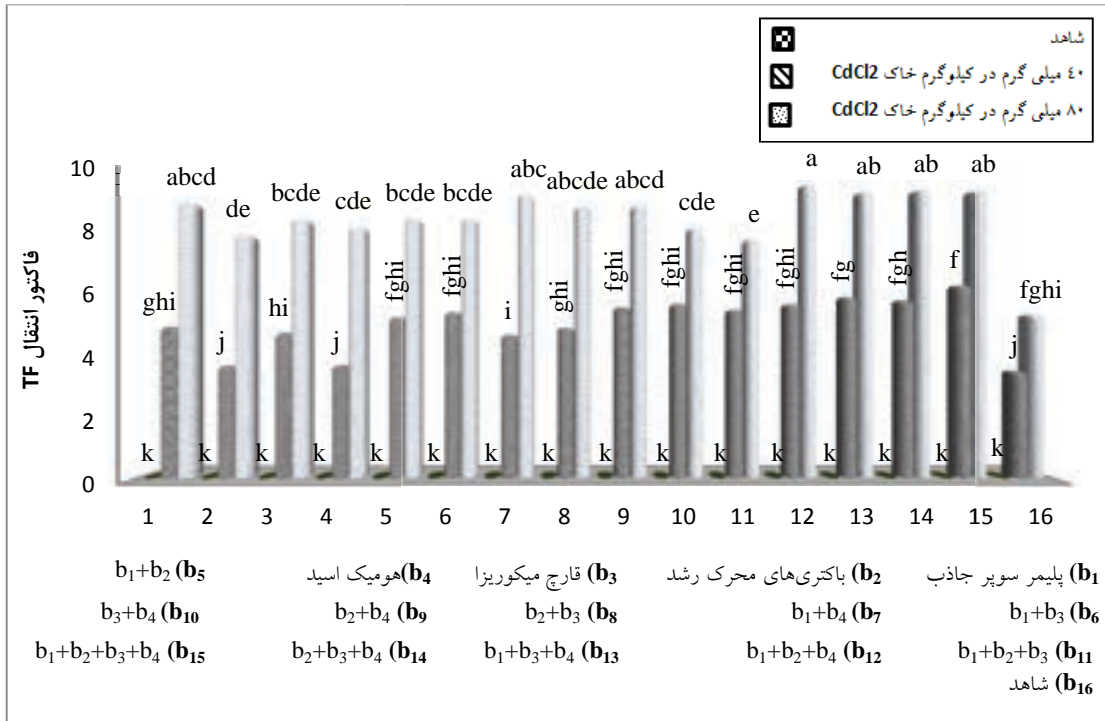
| میانگین مربعات         |               |             |                     |             |              |                | درجه آزادی           | منابع تغییرات |
|------------------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|--------------|----------------|----------------------|---------------|
| ضریب استخراج فلز سنگین | فاکتور انتقال | فاکتور تجمع | کادمیوم اندام هوایی | کادمیوم خاک | کادمیوم ریشه | میانگین مربعات |                      |               |
| EC                     | TF            | AF          |                     |             |              |                |                      |               |
| ۹/۱۰**                 | ۱۱۹۵/۱۲**     | ۲۰۹۱/۲۵**   | ۵۲۲۸۱/۴۸**          | ۳۱۶۸/۰۳**   | ۷۲۳/۴**      | ۲              | سطوح فلز کادمیوم (A) |               |
| ۰/۱۵**                 | ۳/۹۷**        | ۱۹/۴۲**     | ۴۸۵/۶۹**            | ۷۴۴/۰۸**    | ۴/۹۴**       | ۱۵             | ترکیبات تیماری (B)   |               |
| ۰/۰۵**                 | ۱/۶۲**        | ۶/۵۵**      | ۱۶۳/۷۶**            | ۲۴۱/۱۳**    | ۱/۶۸**       | ۳۰             | اثر متقابل (AxB)     |               |
| ۰/۰۰۱۲                 | ۰/۴۶          | ۰/۱۷        | ۴/۴                 | ۱/۳         | ۰/۱۹         | ۱۴۴            | خطا                  |               |
| ۸/۳۱                   | ۱۴/۸۷         | ۷/۸۸        | ۷/۸۸                | ۱۴/۰۴       | ۱۲/۰۸        |                | ضریب تغییرات (%)     |               |

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

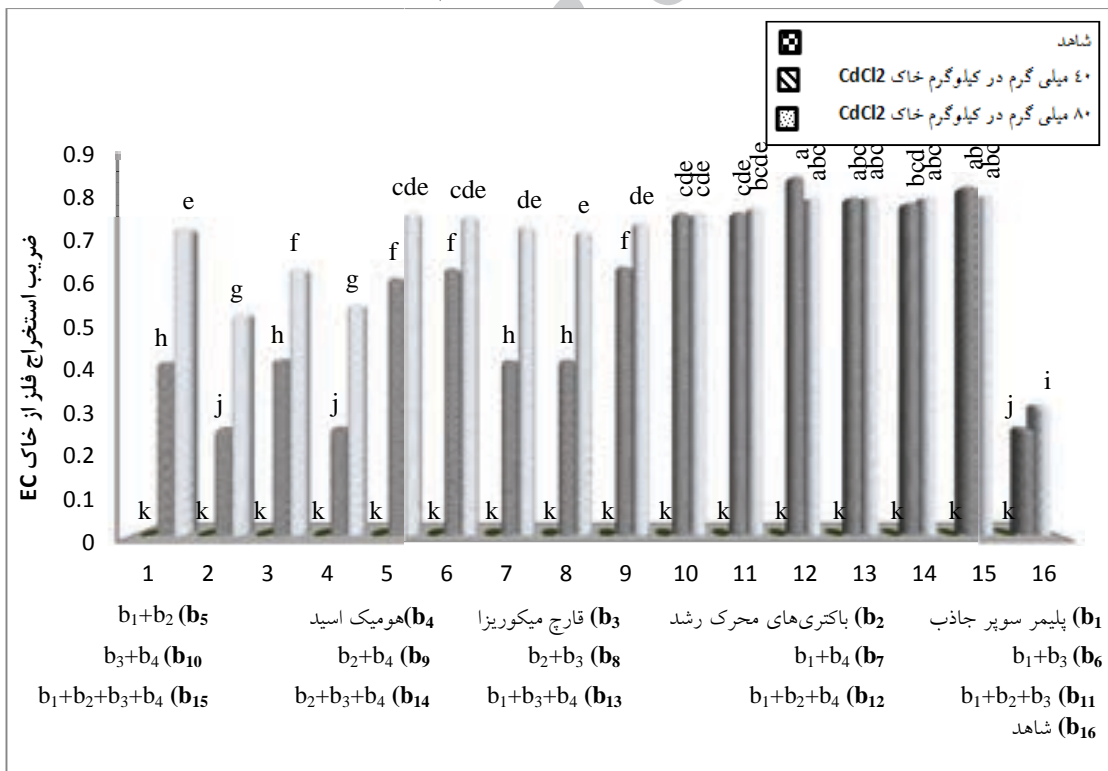
جدول ۳: مقایسه میانگین تاثیر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپر جاذب بر جذب و پالایش کادمیوم در ریشه و اندام هوایی یونجه یکساله

| سطوح مورد آزمایش               | کادمیوم ریشه (mg kg <sup>-1</sup> ) | کادمیوم خاک (mg kg <sup>-1</sup> ) | کادمیوم اندام هوایی (mg kg <sup>-1</sup> ) | استخراج گیاهی AF | فاکتور انتقال TF | ضریب استخراج فلز سنگین EC |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|------------------|------------------|---------------------------|
| a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>5</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>6</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>7</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>8</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>9</sub>  | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>10</sub> | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>11</sub> | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>12</sub> | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>13</sub> | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>14</sub> | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>15</sub> | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>1</sub> b <sub>16</sub> | .k                                  | .j                                 | .m   | .m               | .k               | .k                        |
| a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>  | ۳/۳۵.ij                             | ۱۷/۸۰.c                            | ۱۶/۵۵.k                                    | ۳/۳۱.k           | ۴/۹۶gh           | ۰/۴۱۳h                    |
| a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>  | ۲/۸۵.j                              | ۲۷/۴۰.c                            | ۱۰/۲۳.l                                    | ۲/۰۴۵.l          | ۳/۶۶v            | ۰/۲۵۵p                    |
| a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>  | ۳/۵۵.ij                             | ۱۷/۸۳.c                            | ۱۶/۸۳.k                                    | ۳/۳۶۵.k          | ۴/۱۷۵.hi         | ۰/۴۲۰q                    |
| a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>  | ۲/۸۵.j                              | ۲۷/۲۵.c                            | ۱۰/۳۰.l                                    | ۲/۰۶۰.l          | ۳/۶۷۱j           | ۰/۲۵۷۵                    |
| a <sub>2</sub> b <sub>5</sub>  | ۴/۱۷۵.h                             | ۱۰/۱۸.f                            | ۲۴/۱۳۳                                     | ۴/۹۴۵.l          | ۵/۲۸۱.fghi       | ۰/۶۱۸۱f                   |
| a <sub>2</sub> b <sub>6</sub>  | ۴/۱۷۵.h                             | ۱۰/۱۸.f                            | ۲۵/۶۳۳                                     | ۵/۱۲۵.l          | ۵/۴۲۳.fghi       | ۰/۶۴۰۶f                   |
| a <sub>2</sub> b <sub>7</sub>  | ۳/۶۲۵.ij                            | ۱۷/۸۰.c                            | ۱۶/۷۵.k                                    | ۳/۳۵.k           | ۴/۶۷۹.i          | ۰/۴۱۸۱h                   |
| a <sub>2</sub> b <sub>8</sub>  | ۳/۴۵.ij                             | ۱۷/۸۵.c                            | ۱۶/۸۰.k                                    | ۳/۳۶.k           | ۴/۹۱۱ghi         | ۰/۴۲۰۰h                   |
| a <sub>2</sub> b <sub>9</sub>  | ۴/۶۵.h                              | ۱۰/۰۷.f                            | ۲۵/۸۳۳                                     | ۵/۱۶۵.l          | ۵/۶۰۰.fghi       | ۰/۶۴۵۶f                   |
| a <sub>2</sub> b <sub>10</sub> | ۵/۴۵.fg                             | ۶/۰۷۵.g                            | ۳۱/۰۲۲                                     | ۶/۲۰۵.l          | ۵/۷۲۱.fghi       | ۰/۷۷۵۶cde                 |
| a <sub>2</sub> b <sub>11</sub> | ۵/۶۵.fg                             | ۵/۹۷۵.g                            | ۳۱/۰۷۲                                     | ۶/۲۱۵.l          | ۵/۵۱۴.fghi       | ۰/۷۷۶۹cde                 |
| a <sub>2</sub> b <sub>12</sub> | ۶/۰۷۵.g                             | ۲/۱۰.hi                            | ۳۴/۵۰.h                                    | ۶/۹۰.h           | ۵/۶۹۹.fghi       | ۰/۸۶۲۵a                   |
| a <sub>2</sub> b <sub>13</sub> | ۵/۶۰.fg                             | .j                                 | ۳۲/۵۰.hi                                   | ۶/۵۰.hi          | ۵/۹۳۹.fg         | ۰/۸۱۲۵abc                 |
| a <sub>2</sub> b <sub>14</sub> | ۵/۵۲۵.fg                            | .j                                 | ۳۱/۹۸.hi                                   | ۶/۳۹۵.hi         | ۵/۸۲۰.fgh        | ۰/۷۹۹۴bcd                 |
| a <sub>2</sub> b <sub>15</sub> | ۵/۳۲۵.gh                            | .j                                 | ۳۳/۵۵.hi                                   | ۶/۷۱.hi          | ۶/۳۱۷.f          | ۰/۸۳۸۸ab                  |
| a <sub>2</sub> b <sub>16</sub> | ۲/۹۵.ij                             | ۲۷/۲۵.c                            | ۱۰/۰۵.l                                    | ۲/۰۳۰.l          | ۳/۴۷۱j           | ۰/۲۵۳۷۵                   |
| a <sub>3</sub> b <sub>1</sub>  | ۶/۵۷۵.cde                           | ۱۰/۴۳.f                            | ۵۹/۲۰.de                                   | ۱۱/۸۵.de         | ۹/۰۶۳abcd        | ۰/۷۲۰۰c                   |
| a <sub>3</sub> b <sub>2</sub>  | ۵/۳۲۵.gh                            | ۳۱/۸۰.b                            | ۴۲/۴۷.g                                    | ۸/۴۹۵.g          | ۸/۰۰۰۰.de        | ۰/۵۳۰۹g                   |
| a <sub>3</sub> b <sub>3</sub>  | ۶/۰۳۵.fg                            | ۲۰/۴۸.d                            | ۵۱/۲۸.f                                    | ۱۰/۲۳.f          | ۸/۵۱۷bcde        | ۰/۶۴۰۹f                   |
| a <sub>3</sub> b <sub>4</sub>  | ۵/۴۲۵.fg                            | ۳۰/۸۸.b                            | ۴۴/۲۸.g                                    | ۸/۸۵۵.g          | ۸/۲۶۱.cde        | ۰/۵۵۳۴g                   |
| a <sub>3</sub> b <sub>5</sub>  | ۷/۲۷۵.bc                            | ۶/۵۷۵.g                            | ۶۱/۹۵.bcd                                  | ۱۲/۳۹.bcd        | ۸/۵۲۷.bcd        | ۰/۷۷۴۴cde                 |
| a <sub>3</sub> b <sub>6</sub>  | ۷/۲۰۰.bc                            | ۶/۲۵۰.g                            | ۶۱/۳۵.cde                                  | ۱۲/۲۷.cde        | ۸/۵۲۴.bcd        | ۰/۷۶۶۹cde                 |
| a <sub>3</sub> b <sub>7</sub>  | ۶/۴۰۰.de                            | ۱۰/۳۰.f                            | ۵۹/۴۷.de                                   | ۱۱/۹۰.de         | ۹/۳۲۰.abc        | ۰/۷۴۳۴de                  |
| a <sub>3</sub> b <sub>8</sub>  | ۶/۶۰۰.cde                           | ۱۰/۳۸.f                            | ۵۸/۵۰.c                                    | ۱۱/۷۰.c          | ۸/۹۱۸abcde       | ۰/۷۳۱۲e                   |
| a <sub>3</sub> b <sub>9</sub>  | ۶/۸۰۰.cd                            | ۶/۶۰۰.g                            | ۶۰/۱۵.cde                                  | ۱۲/۰۰.cde        | ۸/۹۵۲abcd        | ۰/۷۵۱۹de                  |
| a <sub>3</sub> b <sub>10</sub> | ۷/۶۰۰.ab                            | ۳/۳۵۰.h                            | ۶۲/۰۰.bcd                                  | ۱۲/۴۰.bcd        | ۸/۲۱۴.cde        | ۰/۷۷۵۳cde                 |
| a <sub>3</sub> b <sub>11</sub> | ۸/۰۷۵.a                             | ۳/۱۲۵.h                            | ۶۳/۰۸.abc                                  | ۱۲/۶۰.abc        | ۷/۸۳۵.c          | ۰/۷۸۸۴bcde                |
| a <sub>3</sub> b <sub>12</sub> | ۶/۸۰۰.cd                            | ۰/۹۰۷۵.ij                          | ۶۵/۰۰.ab                                   | ۱۳/۰۰.ab         | ۹/۶۵۶q           | ۰/۸۱۲۵abc                 |
| a <sub>3</sub> b <sub>13</sub> | ۷/۰۰۰.bcd                           | .j                                 | ۶۵/۱۸.ab                                   | ۱۳/۰۳.ab         | ۹/۴۰۵.ab         | ۰/۸۱۴۷abc                 |
| a <sub>3</sub> b <sub>14</sub> | ۶/۹۵۰.bcd                           | .j                                 | ۶۵/۰۱.ab                                   | ۱۳/۰۹.ab         | ۹/۴۸۰.ab         | ۰/۸۱۳۸abc                 |
| a <sub>3</sub> b <sub>15</sub> | ۶/۹۵۰.bcd                           | .j                                 | ۶۵/۴۰.a                                    | ۱۳/۰۸.a          | ۹/۴۵۸.ab         | ۰/۸۱۷۵abc                 |
| a <sub>3</sub> b <sub>16</sub> | ۴/۶۵۰.h                             | ۵/۱۰۳ab                            | ۲۴/۷۵.l                                    | ۴/۹۵.l           | ۵/۳۵۷fghi        | ۰/۳۰۹۴i                   |

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن می باشد



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرچادب بر میزان فاکتور انتقال کادمیوم



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کادمیوم و کاربرد کودهای بیولوژیک، هیومیک اسید و پلیمر سوپرچادب 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 باکتری های محرک رشد و پلیمر سوپرجاذب بر مقاومت به خشکی ذرت. اولین همایش منطقه ای 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. Beneficial 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 microbes, 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. Handreck, 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 promoting rhizo bacteria in the remediation 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 later. 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 mustard. *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 toxyty to rye grass. *Environ. Pollut.* 85:321-327.
46. **Smith, S. E. and Read, D. J. 1997.** Mycorrhizal symbiosis. 2<sup>nd</sup> 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 indigenou 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 bioinoculant 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 Schwartz, C. 2005. Hyper accumulation of Pb, Zn, Cd in Yunnan, China. Inviroment international. 31:755-762.

Archive of SID