تأثیر سطوح مختلف عناصر سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در سه گونه اکالیپتوس

آناهیتا شریعت[1] و محمد حسن عصاره[1]

۱- مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران. صندوق پستی: ۱۱۶-۱۳۱۸۵، E-mail:shariat@rifr-ac.ir

چکیده

فعالیت‌های فشرده بشر از جمله شهری، صنعتی، کشاورزی و ترافیک به آلودگی مناطق تحت آبیاری، سواحل و بسیاری از مناطق دیگر از طریق آفت کشها، نیتراتها، آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین و ... منجر شده‌است. در چنین مناطقی استفاده از گیاهانی که بتوانند عناصر سنگین را ذخیره نمایند، می‌تواند از نظر اقتصادی مؤثر باشد. این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه اثرات چهار عنصر سنگین مس (Cu)، روی (Zn)، کادمیم (Cd)، سرب (Pb) بر سه گونه *Eucalyptus camaldulensis*، *E. microtheca* و *E. occidentalis* انجام گرفت. ۱۶ تیمار عناصر سنگین شامل شاهد، هر یک از عناصر در سه سطح و مخلوط چهار عنصر در سه سطح، بر سه گونه اکالیپتوس در سه تکرار در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در اتاقک رشد بررسی شد. تجزیه واریانس یکطرفه به منظور بررسی اثر معنی‌دار ۱۶ تیمار بر روی شش صفت طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی بذر در هر گونه به طور مجزا انجام گرفت که نتایج تجزیه واریانس در تمامی موارد، غیر از مورد درصد جوانه‌زنی در گونه*E. camaldulensis*، در تمامی تیمارها معنی‌دار بود. همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل سه گونه اکالیپتوس و ۱۶ تیمار عناصر سنگین در تمامی موارد برای کلیه صفات اندازه گیری شده در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. از آزمون دانکن نیز جهت دسته بندی داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که از نظر صفت شاخص بنیه بذر *E. microtheca* دارای بالاترین مقدار بود.

واژه‌های کلیدی: اکالیپتوس، جوانه‌زنی بذر، ریشه‌چه، ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر و عناصر سنگین.

مقدمه

عناصر سنگین از جمله کادمیم، کرم، مس، سرب، آرسنیک، نیکل و روی که در نتیجه فعالیت‌های عمده شهری و صنعتی و کشاورزی تولید می‌شوند، باعث آلودگی مناطق وسیعی از جهان شده‌اند. پیشرفت شوری نیز از سوی دیگر مشکل عمده‌ای را در بخش کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک کشورهای آسیای مرکزی ایجاد نموده‌است. با توجه به اینکه روشهای سنتی برداشت عناصر سنگین از خاک و آب بسیار پرهزینه و دشوار و اغلب نامؤفق است، لزوم استفاده از گیاهان کاهش دهنده آلودگی خاک و آب ضروری است. از طرفی با توجه به نیاز روزافزون جنگلکاری در ایران، لازم است که تحقیقی جامع در مورد گونه‌های اکالیپتوس و نقش این گیاهان در جذب عناصر سنگین انجام شود. تحمل عناصر سنگین در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به عنوان کلید استقرار گیاهان تحت شرایط محدود کننده است.

بعضی از عناصر سنگین به عنوان عناصر میکرو برای گیاهان ضروری هستند، ولی زیادی آنها ممکن است باعث جلوگیری رشد و اختلالات متابولیکی در اکثر گونه‌های گیاهی گردد (Claire *et. al. 1991*).

Gulfraz *et. al. (2003)* در مطالعه‌ای از فاضلاب پنج کارخانه (نساجی، پالایشگاه نفت، صابون و مواد پاک کننده، روغن هیدروژنه و رزین سازی) به منظور آبیاری و بررسی اثرات احتمالی (به دلیل داشتن فلزات سنگین و کمیاب) بر جوانه‌زنی و کیفیت محصولات کشاورزی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که فاضلاب پنج کارخانه غلظت بالایی از فلزات Cr، Mn، Cu، Co، Ni، As، Cd و Pb را داشتند. علاوه بر این فاضلاب کارخانه نساجی بیشترین تأثیر و

کارخانه رزین سازی کمترین تأثیر را بر جوانه‌زنی داشت. بنابراین مشاهده گردید که فاضلابها نه تنها برای آبیاری مفید نیستند، بلکه برای استفاده دامها نیز به دلیل عناصر سمی و سنگین، از آلاینده‌های کشنده هستند.

Mahmood *et. al. (2005)* به بررسی تأثیر سطوح مختلف مس و روی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت (*Zea mays* L.) پرداختند. جوانه‌زنی تحت تأثیر هیچکدام از تیمارها قرار نگرفت، در حالی‌که رشد اولیه با افزایش غلظت سولفات روی به شدت محدود شد. علائم سمیت در گیاهچه‌ها در حضور هر دو عنصر ($ZnSO_4$ و $CuSO_4$) افزایش یافت، اما مناطق نکروزه و کلروزه در مقادیر مختلف $ZnSO_4$ بیشتر از $CuSO_4$ بود.

Peralta *et. al. (2000)* نشان دادند که گیاه یونجه (*Medicago sativa*) در بعضی از ترکیبهای سنگین خاک می‌تواند رشد کند. بر این اساس اثرات هر یک از عناصر Cd(II)، Cr(VI)، Cu(II)، Ni(II)، Zn(II) را بر رشد و زنده‌مانی گیاهان یونجه در محیط جامد بررسی نمودند. جوانه‌زنی بذرها و رشد گیاهان به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر Cd(II) و Cr(VI) در غلظت ۱۰ppm و همین‌طور Ni(II) و Cu(II) در غلظت ۲۰ppm و غلظتهای بالاتر (<۱٪) قرار گرفت. همچنین Zn(II) اثری بر جوانه‌زنی نشان نداد.

Jeliazkova *et. al. (2003)* اثرات ترکیب فلزات سنگین (Cd+Cu)، (Cd+Pb)، (Cd+Zn)، (Cu+Pb)، (Cu+Zn) و (Pb+Zn) را بر روی رشد و جوانه‌زنی بادیان (*Pimpinella anisum*)، زیره سیاه (*Carum caravi*) و رازیانه (*Foeniculum vulgar*) مورد بررسی قرار دادند. در هر آزمایش گونه‌ها در مقابل محلولهای آماده شده در دو غلظت (غلظت بحرانی عنصر در خاک و دو برابر غلظت بحرانی) قرار داده شدند. آب مقطر نیز به عنوان تیمار شاهد استفاده گردید. نتایج نشان داد که رشد اولیه ریشه‌ها بیشتر تحت تأثیر عناصر سنگین است تا جوانه‌زنی بذرها. فقط زیره سیاه به ترکیب (Cd+Pb) به ترتیب ٦ mmg/lit و ۱۰۰ mg/lit متحمل بود.

مواد و روشها

بذرهای دو گونه *Eucalyptus camaldulensis* و *E. microtheca* از خوزستان و بذرهای گونه *E. occidentalis* نیز از شرکت Kim Seed از استرالیا تهیه گردید. ابتدا بذرهای سالم و درشت از بذرهای چروکیده و نابارور جدا گردیده و توسط الکل ۷۰٪ به مدت ۱۰ ثانیه ضدعفونی گردید و بعد با آب مقطر سه مرتبه شسته گردید و به مدت ۲۰ دقیقه در محلول بنومیل ۱ در هزار ضدعفونی شد. در ضمن کلیه وسایل از جمله پتریدیشها و کاغذ صافیها در اتوکلاو استریل گردیدند. این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل در پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. بعد از آماده نمودن پتریها در داخل هر پتری ۳۰ عدد بذر قرار داده شد و تیمارهای مختلف عناصر سنگین به شرح زیر ساخته شد:

برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. برای تهیه تیمارهای عناصر Cu، Zn، Cd و Pb به ترتیب از $CuSO_4$, $5H_2O$، $ZnSO_4$, H_2O، $Cd(NO_3)_2$, $4H_2O$ و $Pb(NO_3)_2$ استفاده و غلظتهای زیر بر حسب میلی مولار تهیه گردید:

Cu (۵۰، ۱۰۰ و ۳۰۰)، Zn (۱، ۱۰ و ۵۰)، Pb (۵۰، ۲۰۰ و ۵۰۰)، Cd (۱۰، ۵۰ و ۲۰۰) و ترکیب هر ٤ عنصر در سه سطح [Cu(۵۰)، Zn(۱)، Pb(۵۰)، Cd(۱۰)]، [Cu(۱۰۰)، Zn(۱۰)، Pb(۲۰۰)، Cd(۵۰)] و [Cu(۳۰۰)، Zn(۵۰)، Pb(۵۰۰)، Cd(۲۰۰)].

تیمارهای مختلف عناصر سنگین

T	شاهد	۸	Pb (200 mM)
۱	Cu (50 mM)	۹	Pb (500 mM)
۲	Cu (100 mM)	۱۰	Cd (10 mM)
۳	Cu (300 mM)	۱۱	Cd (50 mM)
٤	Zn (1 mM)	۱۲	Cd (200 mM)
٥	Zn (10 mM)	۱۳	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)
٦	Zn (50 mM)	۱٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)
۷	Pb (50 mM)	۱٥	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)

سپس پتریدیشها با پارافیلم پوشانده شدند و در داخل اتاقک رشد با دمای روزانه ۲۳°C (۱۲ ساعت) و شبانه ۱۸°C (۱۲ ساعت) قرار داده شدند. یادداشت برداریها با

توجه به تاریخ اولین جوانه‌زنی از روز چهارم آغاز گردید و هر چهار روز یکبار انجام و تا روز ٢٤ ادامه یافت. همچنین همراه با یادداشت برداریها درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نیز اندازه گرفته شد. داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه شد. لازم به ذکر است که داده‌های مربوط به درصد جوانه‌زنی با استفاده از روش Arc Sin نرمال گردید و بعد تجزیه واریانس شد. تجزیه واریانس نیز با استفاده از روش تجزیه واریانس یکطرفه جهت بررسی اثر تیمارهای مختلف عناصر سنگین بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، سرعت جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی در هر سه گونه بکار برده شد. همچنین جهت مقایسه میان گونه‌های مختلف از نظر مقاومت در مقابل تیمارهای مختلف نیز از روش تجزیه واریانس استفاده گردید. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت.

محاسبه شاخص جوانه‌زنی[1]: $GI=(\sum TiNi)/S$ که Ti تعداد روزهای پس از کشت، Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i و S تعداد کل بذرهای کاشته شده است. اندازه کم GI معمولا بیانگر مدت زمان کوتاه‌تر جوانه‌زنی است. معنی‌داری این ارزش از طریق تجزیه و تحلیل واریانس بررسی می‌شود. مزیت این روش سادگی آن است اگرچه هیچ‌گونه‌اطلاعاتی در مورد پراکنش جوانه‌زنی در طول زمان و تفاوت در زنده‌مانی یا حساست تیمارهای مختلف را نشان نمی‌دهد (Scott *et. al., 1984*).

فرمول سرعت جوانه‌زنی (عیسوند و علیزاده، ١٣٨٢):

$GS= \sum ni/Di$

ni تعداد بذرهای جوانـه‌زده در روزهـای شـمارش و Di تعداد روز پس از شروع آزمایش

شاخص بنیه =(درصد جوانه‌زنی × میانگین طول گیاهچه (mm))/١٠٠

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر ١٦ تیمار عناصر سنگین بر سه گونه اکالیپتوس بر روی شش صفت طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی بذر در جدول ١ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میان سه گونه مختلف در هر شش صفت محاسبه شده اختلاف معنی‌دار وجود دارد، به این مفهوم که میان سه گونه از نظر تحمل به تیمارهای عناصر سنگین اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همچنین میان تیمارهای مختلف عناصر سنگین از نظر تأثیر روی جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه نیز اختلاف کاملا معنی‌داری وجود دارد. اثر متقابل میان گونه و تیمار نیز در تمامی‌موارد به جز درصد جوانه‌زنی کاملا معنی‌دار شده‌است. می‌توان این‌طور تعبیر کرد که تیمارهای مختلف اثر مشابه در گونه‌های مختلف از خود نشان نداده‌اند و این اثرات از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است.

جدول ١- مجموع مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر ١٦ تیمار بر سه گونه‌اکالیپتوس

صفات / منابع تغییرات	درصد جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	شاخص جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر
گونه	٠/١٧*	٦٩/٧٥**	٧١/٣٧ **	٤٩٠/٣٧**	١٣/٨٤**	٦٥٦/٦٩**
تیمار	٠/٩٢ **	٨٦/٢٠ **	٥٢/٠٧ **	١٣/٠٩ **	٧/٩٢ **	٦٤٩/٢٤ **
گونه*تیمار	٠/١٦ ns	٤٢/١٣ **	٣/٦٠**	٦/١١ **	٠/١٢ **	٥٧/٩٨ **
خطا	٠/١٦	٥/٣٠	٠/٨٠	١/٧١	٠/٠٣	١٠/٦١

جدول ٢ بیانگر مقایسه میانگین سه گونه از نظر شش صفت بذر و گیاهچه به روش دانکن است. از نظر صفات طول ساقه‌چه و سرعت جوانه‌زنی، سه گونه در سه گروه مجزا قرار گرفته‌اند، ولی در مورد صفات دیگر گونه‌ها در دو گروه قرار گرفته‌اند. از نظر شاخص بنیه بذر *E. camaldulensis* با پایین‌ترین شاخص در یک گروه و دو گونه *E. microtheca* و *E. occidentalis* با شاخص‌هایی نزدیک به یکدیگر در گروه دیگر قرار گرفته‌اند. از نظر سرعت جوانه‌زنی بالاترین مقدار مربوط به گونه *E. microtheca* می‌باشد. در مورد درصد جوانه‌زنی *E.*

[1] Germination Index

camaldulensis کمترین مقدار و دو گونه *E. microtheca* و *E. occidentalis* دارای مقادیر یکسان بودند. از نظر طول ریشه‌چه بیشترین مقدار مربوط به گونه *E. microtheca* می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه معنی‌دار بودن تفاوت میانگین شش صفت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در سه گونه اکالیپتوس

صفات / گونه	درصد جوانه‌زنی	طول‌ریشه‌چه (mm)	طول‌ساقه‌چه (mm)	شاخص جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر
E. camaldulensis	۰/۸۸ A	۳/۸۹ A	۲/۲۰ A	۱/۹۷ A	۰/۱۸۷ A	٤/٤٤ A
E. microtheca	۱/۱۰ B	۹/۱۷ B	۳/٦٥ B	۷/۳۷ B	۱/۱۸ C	۱۱/٤۱ B
E. occidentalis	۱/۱۰ B	٤/٦۸ A	٤/۳۸ C	۱/٦۷A	۰/۳۱ B	۱۰/۷۷ B

از تجزیه واریانس یکطرفه به منظور بررسی معنی‌داری اثر تیمارهای مختلف در داخل یک گونه استفاده شد. جدول ۳ در واقع خلاصه سه جدول مجزا برای سه گونه است و بیانگر این است که میان ۱٦ تیمار اعمال شده در هر سه گونه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. فقط یک مورد استثنا وجود دارد و آن‌هم در مورد درصد جوانه‌زنی *E. camaldulensis* می‌باشد. به این مفهوم که تیمارهای مختلف نتوانسته‌اند بر درصد جوانه‌زنی این گونه اثر معنی‌داری داشته باشند، در حالی‌که تیمارهای مختلف بر روی صفات دیگر اثرات کاملا معنی‌داری را داشته‌اند.

جدول ۳- مجموع مربعات حاصل از تجزیه واریانس یکطرفه‌اثر تیمار بر گونه (این جدول خلاصه سه جدول اثر ۱٦ تیمار بر هر یک از گونه‌های اوکالیپتوس می‌باشد)

گونه / صفات	*E. camaldulensis*	*E. microtheca*	*E. occidentalis*
درصد جوانه‌زنی	۰/۳۸٦ ns	۰/٤۳۹ **	۰/٤٥۳ **
طول ریشه‌چه (mm)	۸٦/۷۳ **	۳٤۳/۸٤ **	۱۰۸/۰٥۱ **
طول ساقه‌چه (mm)	۱۰/٤٦٥ **	۱٦/۲۰ **	۲۲/۸ **
شاخص جوانه‌زنی	۱/۸٥۷ *	۲۲/۸ *	۰/٦٤۹ **
سرعت جوانه‌زنی	۰/۰۲۱ **	۰/٤٤ **	۰/۰۲۷ **
شاخص بنیه بذر	۷۳/۸۹۱ **	٤۰۳/۷۹ **	۲۸٥/۳٦٦ **

جدولهای ٤ تا ۹ مقایسه میانگین داده‌های حاصل از سه گونه را بر اساس صفات مختلف دسته بندی نموده است. در جدول ٤ مقایسه میانگین صفت درصد جوانه‌زنی در سه گونه تحت ۱٦ تیمار عناصر سنگین مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین تأثیر درکاهش مقدار درصد جوانه‌زنی در سه گونه مربوط به تیمارهای Cu (100 mM) و Cu (300 mM) می‌باشد، همچنین بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به گونه *E. camaldulensis* در تیمار Cu (50 mM) می‌باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین صفت درصد جوانه‌زنی در سه گونه اکالیپتوس تحت ۱٦ تیمار عناصر سنگین

شماره	تیمار / گونه	*E. camaldulensis*	*E. microtheca*	*E. occidentalis*
T	شاهد	۰/۷۸ AB	۱/۰٥ AB	۱/۰٤ AB
۱	Cu (50 mM)	۱/٥۷ A	۱/۰۰۷ AB	۱/۰٤ AB
۲	Cu (100 mM)	۰/۱۷ B	۰/۳٤ C	۰/۷٥ BC
۳	Cu (300 mM)	۰/۱٦ B	۰/۲ C	۰/۰٦۷ C
٤	Zn (1 mM)	۰/۹۸ AB	۱/٤۲ A	۱/۲٦ AB
٥	Zn (10 mM)	۰/۷۳AB	۱/۳٥ A	۱/۲٦ AB
٦	Zn (50 mM)	۰/۸۷ AB	۱/۲۰ AB	۱/٥۷ A
۷	Pb (50 mM)	۱/۲۲ A	۱/۲۷ AB	۱/۱٤AB
۸	Pb (200 mM)	۱/۳۲ A	۱/۱٥ AB	۱/۱٤ AB
۹	Pb (500 mM)	۰/۸۹ AB	۱/۲٦ AB	۱/۳٥ AB
۱۰	Cd (10 mM)	۰/۸۹ AB	۱/۱٤ AB	۱/٥۷ A
۱۱	Cd (50 mM)	۱/۰۸ AB	۱/۳٥ A	۱/٥۷ A
۱۲	Cd (200 mM)	۰/۷۳ AB	۱/٤۲ A	۰/۸۷ AB
۱۳	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)	۰/۹۸ AB	۱/٤۲ A	۰/۷٥ BC
۱٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)	۰/۹۸ AB	۱/٤۲ A	۱/۳٥ AB
۱٥	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)	۰/۹۸ AB	۱/٦٥BC	۰/۸۷ AB

در جدول ٥ مقایسه میانگین صفت طول ریشه‌چه مورد بررسی قرار گرفته است. تیمارهای مختلف عناصر سنگین در گونه*E. camaldulensis* از نظر صفت طول ریشه‌چه به ٥ گروه دسته بندی شده است که بیشترین مقدار مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای(Cu (100 mM و Cu (300 mM) می‌باشد. در گونه‌های *E. microtheca* و*E. occidentalis* نیز بیشترین مقدار مربوط به تیمارهای شاهد و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای ٣، ١٢، ١٣ و ١٥ می‌باشند.

بر اساس طول ساقه‌چه تیمارهای مختلف به هفت گروه در *E. camaldulensis*، به شش گروه در *E. microtheca* و به نه گروه در *E. occidentalis* دسته‌بندی شده‌اند. کمترین مقدار طول ساقه‌چه در هر سه گونه مربوط به تیمار Cu (300 mM) می‌باشد (جدول ٦).

جدول ٥- مقایسه میانگین صفت طول ریشه‌چه در سه گونه اکالیپتوس تحت ١٦ تیمار عناصر سنگین

شماره	گونه / تیمار	*E. camaldulensis*	*E. microtheca*	*E. occidentalis*
T	شاهد	١٧/٦٦ A	٣٢/٦٦ A	١٨ A
١	Cu (50 mM)	٠/٨٦ DE	٠/٦٦ E	٠/٨٣ D
٢	Cu (100 mM)	٠/٠٣٣E	١ E	٠/٣٦ D
٣	Cu (300 mM)	٠/٠٦٦ E	٠/٣٣ E	٠/٣٣ D
٤	Zn (1 mM)	١٠ B	٢١ B	١٥/٣٣ AB
٥	Zn (10 mM)	٤/٦٦ CD	١٩/٣٣ B	١٣ B
٦	Zn (50 mM)	١/٥ DE	٤ DE	١/٦٦ D
٧	Pb (50 mM)	٥/٦٦ C	٢٠/٣٣ B	٩/٦٦ C
٨	Pb (200 mM)	١٠/٦٦ B	١٢/٦٦ C	٣/١٦ D
٩	Pb (500 mM)	٠/١ E	١/٦٦ E	٠/٥ D
١٠	Cd (10 mM)	١٠ B	٢٣ B	٩/٦٦ C
١١	Cd (50 mM)	٠/٦٦ DE	٧/٦٦ D	٠/٨٣ D
١٢	Cd (200 mM)	٠/١ E	٠/٢٦ E	٠/٤ D
١٣	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)	٠/١ E	٠/٣٦ E	١/١٦ D
١٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)	١/١٦ DE	١/٣٣ E	٣ D
١٥	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)	٠/١ E	٠/٥ E	٠/٣ D

جدول ٦- مقایسه میانگین صفت طول ساقه‌چه در سه گونه اکالیپتوس تحت ١٦ تیمار عناصر سنگین

شماره	گونه / تیمار	*E. camaldulensis*	*E. microtheca*	*E. occidentalis*
T	شاهد	٥/٣٣ A	٥ C	٦,٦٦ ABC
١	Cu (50 mM)	١/٥٦ DEF	٢/١٦ DE	٤ DEF
٢	Cu (100 mM)	٠/٥ EFG	٢/١٦ DE	١,٠٣ GHI
٣	Cu (300 mM)	٠/٠٦٦ G	٠/٥ F	٠,٠٣ I
٤	Zn (1 mM)	٥ AB	٦/٣٣ BC	٥,٦٦ BCD
٥	Zn (10 mM)	٢/٨٣CD	٥/٣٣ BC	٨ A
٦	Zn (50 mM)	٤/٣٣ AB	٥/٣٣ BC	٣/٦٦ DEF
٧	Pb (50 mM)	٤/٥ AB	٧/٦٦ A	٧/٣٣ AB
٨	Pb (200 mM)	٢/٦٦ CD	٥/٦٦ BC	٨ A
٩	Pb (500 mM)	٠/٥ EFG	٢/٦٦ DE	٥ CDE
١٠	Cd (10 mM)	٣/٦٦ BC	٦/٦٦ AB	٨ A
١١	Cd (50 mM)	١/٦٦ DE	٣/٣٣ D	٢ FGHI
١٢	Cd (200 mM)	٠/٥٣ EFG	٠/٧٦ F	٠/٤ HI
١٣	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)	٠/٣٦ EFG	٠/٧٦ F	٣ EFG
١٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)	١/٥ DEFG	٢/٣٣ DE	٥ CDE
١٥	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)	٠/١ FG	١/٨٣ EF	٢/٣٣ FGH

از نظر صفت شاخص جوانه‌زنی گونه *E. occidentalis* به دو گروه دسته بندی شده است که همه تیمارها در یک گروه و تیمار Cu (300 mM) در گروه دیگر دسته بندی شده است. مقادیر شاخص‌ها در این گونه نیز نسبت به دو گونه دیگر کمتر می‌باشد که نشاندهنده کوتاه‌تر بودن مدت جوانه‌زنی می‌باشد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین صفت شاخص جوانه‌زنی در سه گونه اکالیپتوس تحت ۱٦ تیمار عناصر سنگین

شماره	گونه / تیمار	*E. camaldulensis*	*E. microtheca*	*E. occidentalis*
T	شاهد	۱/۵ BCD	٦/۲٦CDE	۱/٦۸ A
۱	Cu (50 mM)	۳/۳۸ A	٦/۲٦ CDE	۱/٦٤ A
۲	Cu (100 mM)	۰/۳۳ D	۳/٦ EF	۱/٦۰ A
۳	Cu (300 mM)	۰/۵ CD	۰/۹۳ F	۰/۱۳ B
٤	Zn (1 mM)	۲/۷۲ AB	۱۰/۲٦ ABC	۱/۷۳ A
۵	Zn (10 mM)	۱/۸۸ ABCD	٦/۵۳ CDE	۱/۸٦ A
٦	Zn (50 mM)	۲/۰۵ ABCD	۷/٤٦ BCDE	۲/۰٤ A
۷	Pb (50 mM)	۲/۳۳ AB	۷/٦۰ BCD	۱/۸۲ A
۸	Pb (200 mM)	۲/۸۳ AB	۷/۷۳ BCD	۱/۹۵ A
۹	Pb (500 mM)	۱/۵ BCD	۸/۵۳ ABCD	۱/۹۱ A
۱۰	Cd (10 mM)	۱/٦۱ BCD	٦/۲٦ CDE	۲/۰٤ A
۱۱	Cd (50 mM)	۲/۲۲ AB	۷/٦۰ BCD	۲/۰۸ A
۱۲	Cd (200 mM)	۲/۲۲ ABC	۹/۳۳ ABCD	۱/۳۷ A
۱۳	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)	۲/٤٤ AB	۱۲/۲٦ A	۱/٤۲ A
۱٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)	۲/٤۹ AB	۱۱/۲ AB	۱/۹۱ A
۱۵	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)	۱/۸۳ ABCD	٦/۱۳ DE	۱/۵۵ A

از نظر سرعت جوانه‌زنی بیشترین مقادیر مربوط به گونه *E. microtheca* می‌باشند. از نظر سرعت جوانه‌زنی گونه *E. camaldulensis* و *E. microtheca* به چهار گروه و گونه *E. occidentalis* به پنج گروه تقسیم بندی شده است. پایین‌ترین سرعتهای جوانه‌زنی در سه گونه مربوط به تیمارهای ۲، ۳ و ۱۵ می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین صفت سرعت جوانه‌زنی در سه گونه اکالیپتوس تحت ۱٦ تیمار عناصر سنگین

شماره	گونه / تیمار	*E. camaldulensis*	*E. microtheca*	*E. occidentalis*
T	شاهد	۰/۱۵ BC	۱/۵۰ ABC	۰/۳۲ ABCD
۱	Cu (50 mM)	۰/٤ A	۱/۰٤ CD	۰/۳۳ ABCD
۲	Cu (100 mM)	۰/۱۳ D	۰/٤۷ E	۰/۰۲ E
۳	Cu (300 mM)	۰/۰۵۵ CD	۰/٤۵ E	۰/۲۳ D
٤	Zn (1 mM)	۰/۲۲ B	۱/۵۱ ABC	۰/۳٦ ABCD
۵	Zn (10 mM)	۰/۱٦ BC	۱/٦۵ A	۰/۳٤ ABCD
٦	Zn (50 mM)	۰/۱۵ BC	۱/۳۰ ABC	۰/٤ A
۷	Pb (50 mM)	۰/۲۲ B	۱/۵۵ ABC	۰/۳٤ ABCD
۸	Pb (200 mM)	۰/۲۵ B	۱/۱٤ ABCD	۰/۳۲ ABCD
۹	Pb (500 mM)	۰/۲ BC	۱/۱۱ ABCD	۰/۳۸ ABC
۱۰	Cd (10 mM)	۰/۱۹ BC	۱/۳۷ ABC	۰/٤ A
۱۱	Cd (50 mM)	۰/۲۲ B	۱/٦۱ AB	۰/٤ A
۱۲	Cd (200 mM)	۰/۱۳ BCD	۱/۳۳ ABC	۰/۲۷BCD
۱۳	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)	۰/۱٦ BC	۱/۰٦ BCD	۰/۲٦ CD
۱٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)	۰/۲۱ B	۱/۰۸ BCD	۰/۳۸ ABC
۱۵	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)	۰/۲۱ B	۰/٦٤ DE	۰/۲٤ D

شاخص بنیه بذر در گونه *E. camaldulensis* تیمارها را در چهار گروه قرار داد، در حالی‌که در *E. microtheca* تیمارها به پنج گروه و در *E. occidentalis* تیمارها به هشت گروه تقسیم شدند. بیشترین شاخص در سه گونه مربوط به تیمارهای شاهد می‌باشد و کمترین مقدار مربوط به تیمار Cu (300 mM) می‌باشد (جدول ۹).

جدول ۹- مقایسه میانگین صفت شاخص بنیه بذر در سه گونه اکالیپتوس تحت ١٦ تیمار عناصر سنگین

شماره	گونه / تیمار	*E. camaldulensis*	*E. microtheca*	*E. occidentalis*
T	شاهد	١٣/٣٣ A	٣٢/٨٦ A	٣١/١٩ A
١	Cu (50 mM)	٢/٤٣ CD	٢/٠٨ E	٥/٨٨ FGH
٢	Cu (100 mM)	٠/٢٦ D	١/٢٣ E	٢/٣٧ GH
٣	Cu (300 mM)	٠/٠٣ D	٠/٢٥ E	٠/٣٣ H
٤	Zn (1 mM)	١٢/٤١ A	٢٦/٤٦ B	٢٥/٦٦ B
٥	Zn (10 mM)	٥/٣٣ BCD	٢٣/٠٠ B	٢٥/٢٢ B
٦	Zn (50 mM)	٣/٧٥ CD	٨/٤٠ DE	٥/٣٣ FGH
٧	Pb (50 mM)	٨/١٦ BC	٢٦/١٣ B	١٩/٨٣ C
٨	Pb (200 mM)	١٢/٤١ A	١٢/٠٠ C	١٢/٧٠ DE
٩	Pb (500 mM)	٠/٤٠ D	٣/٨٦ DE	٥/٩٥ FGH
١٠	Cd (10 mM)	٩/٥٤ AB	٢٥/٥٣ B	١٤/٦٦ CD
١١	Cd (50 mM)	٢/٠٠ CD	٩/٨٠ C	٢/٨٣ FGH
١٢	Cd (200 mM)	٠/٤٥ D	١/٠١ E	١/٢٢ GH
١٣	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)	٠/٣١ D	١/٠٩ E	٦/٤٥ FG
١٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)	١/٦٦ CD	٣/٥٨ DE	٨/٦٦ EF
١٥	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)	٠/١٥ D	١/٣٦ E	٤/٠٨ FGH

جدول ۱۰ بیانگر مقایسه میانگین صفات مختلف جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در برابر ١٦ تیمار عناصر سنگین می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقایسه جدولهای مختلف مقایسه میانگین نشاندهنده این موضوع هستند که تیمارهای مس بیشترین اثرات منفی را در رشد گیاهچه داشته‌اند.

جدول ۱۱ ضریب همبستگی میان صفات مختلف را نشان می‌دهد. در تمامی‌موارد ضریب همبستگی میان صفات مثبت و در اکثریت موارد معنی‌دار است فقط همبستگی میان شاخص جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه معنی‌دار نمی‌باشد. شکلهای ۱، ۲ و ۳ روند رشد گیاهچه‌های سه گونه را در مقابل ١٦ تیمار بعد از گذشت ٢٤ روز از تاریخ کاشت بذرها نشان می‌دهد.

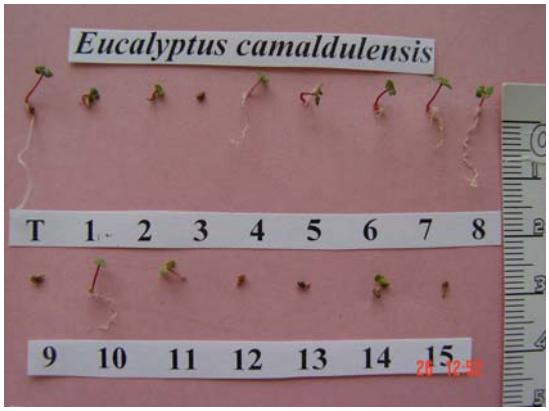
بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر پایین عناصر سنگین [Cu(٥٠)، Zn(١)، Pb(٥٠)، Cd(١٠)] تأثیر چندانی در جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه نداشته است بنابراین، در صورتی‌که آلودگی مناطقی که برای رشد این سه گونه در نظر گرفته شده است از این مقادیر بالاتر نباشد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های اوکالیپتوس می‌تواند این مقادیر را تحمل نماید.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین صفات مختلف جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در برابر ۱٦ تیمار غلظت عناصر سنگین و تیمار شاهد

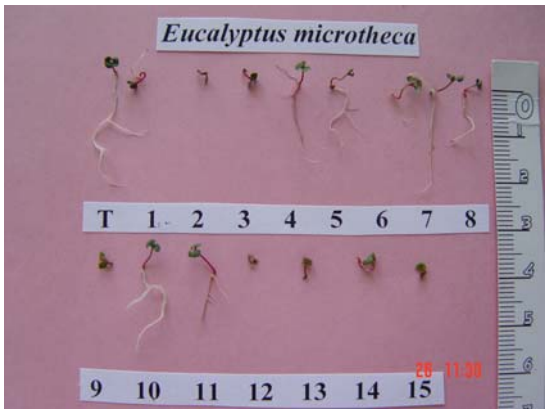
شماره	گونه / تیمار	درصد جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	شاخص جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر
T	شاهد	۰/۹٦ AB	۲۲/۷۷ A	٥/٦٦ AB	۳/۱٥ CD	۰/٦٦ AB	۲٥/۷۹ A
۱	Cu (50 mM)	۱/۲۰ AB	۰/۷۸ EF	۲/٥۷ D	۳/۷٦ BC	۰/٥۹ AB	۳/٤٦EFGH
۲	Cu (100 mM)	۰/٤۲ C	۰/٤٦ F	۱/۲۳ E	۱/۹ D	۰/۱۸ E	۱/۲۹ GH
۳	Cu (300 mM)	۰/۱٤ C	۰/۱٤ F	۰/۲ F	۰/٤٦ E	۰/۲٤ DE	۰/۲ H
٤	Zn (1 mM)	۱/۲۲ AB	۱٥/٤٤ B	٥/٦٦ AB	٤/۹ AB	۰/۷ A	۲۱/٥۱ B
٥	Zn (10 mM)	۱/۱۱ AB	۱۲/۳۳ C	٥/۳۸ B	۳/٤۲ C	۰/۷۲ A	۱۷/۸٥ C
٦	Zn (50 mM)	۱/۲۱ AB	۲/۳۸ EF	٤/٤٤ C	۳/٤۲ C	۰/٦۲ AB	٥/۸۲ E
۷	Pb (50 mM)	۱/۲۱ AB	۱۱/۸۸ C	٦/٥ A	۳/۸٥ BC	۰/۷۱ A	۱۸/۰٤C
۸	Pb (200 mM)	۱/۱٦ AB	۹/۰٦ D	٥/۸۷ AB	۳/۳٤ABC	۰/٦۱ AB	۱٤/۲۹ D
۹	Pb (500 mM)	۱/۱٦ AB	۰/۷٥ EF	۲/۷۲ D	۳/۹۸ ABC	۰/٥٦ AB	۳/٤ EFGH
۱۰	Cd (10 mM)	۱/۲۰ AB	۱۳/۲۲ C	٦/۱۱ AB	۳/۳ C	۰/٦٥ AB	۱٦/٥۸CD
۱۱	Cd (50 mM)	۱/۳۳ A	۳/۰٥ E	۲/۳۳ D	۳۲/۹۷ ABC	۰/۷٤ A	٤/۸۷EF
۱۲	Cd (200 mM)	۱/۰۱ AB	۰/۲٥ F	۰/٥٦ EF	٤/۳۱ ABC	۰/٥۸ AB	۰/۸۹ H
۱۳	Cu(50),Zn(1),Pb(50),Cd(10)	۱/۰٥ AB	۰/٥٤ F	۱/۳۷ E	٥/۳۷ A	۰/٥ BC	۲/٦۲EFGH
۱٤	Cu(100),Zn(10),Pb(200),Cd(50)	۱/۲٥ AB	۱/۸۳ EF	۲/۹٤ D	٥/۲ AB	۰/٥٦ AB	٤/٦۳EFG
۱٥	Cu(300),Zn(50),Pb(500),Cd(200)	۰/۸۳۸۱B	۰/۳۰ F	۱/٤۲ E	۳/۱۷ CD	۰/۳٦ CD	۱/۸٦ FGH

جدول ۱۱- ضریب همبستگی میان صفات مختلف

	درصد جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	شاخص جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر
درصد جوانه‌زنی	1/000	0/193*	0/353**	0/467**	0/426**	0/289**
طول ریشه‌چه	0/193*	1/000	0/643**	0/236**	0/470**	0/910**
طول ساقه‌چه	0/193*	0/643**	1/000	0/105νσ	0/290**	0/783**
شاخص جوانه‌زنی	0/467**	0/236**	0/105νσ	1/000	0/814**	0/186*
سرعت جوانه‌زنی	0/426**	0/470**	0/290**	0/814**	1/000	0/416**
شاخص بنیه بذر	0/289**	0/910**	0/783**	0/186*	0/416**	1/000



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف عناصر سنگین بر گونه *E. camaldulensis* (نوع تیمارها در جدول ٦ آمده‌است)



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف عناصر سنگین بر گونه *E. microtheca* (نوع تیمارها در جدول ٦ آمده‌است)

Mahmood, S., Hussain, A., Zaeed, Z. and Athar, M., 2005. Germination and seedling growth of corn (*Zea mays L.*) under varying levels of copper and zinc. International Journal of Environmental Science and Technology. 2 (3): 269-274.

Claire, L.C., Adriano, D.C., Sajwan, K.S., Abel, S.L., Thoms, D.P. and Driver, J.T., 1991. Effects of selected trace metal on germinating seeds of six plant species. Water, Air and Soil Pollution. 59: 200-231.

Gulfraz, M., Mussadeq, Y., Khanum, R. and Ahmad, T., 2003. Metal contamination in wheat crop (*Triticum aestivum L.*) irrigated with industrial effluent. Online Journal of Biological Science, 3(3): 335-339.

Jeliazkova, E.A., Craker, L.E. and Xing, B., 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, 10(3): 83-93.

Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., . Tiemann, K.J., Gómez, E., . Arteaga, S., Rascon, E., and . Parsons, J.G., 2000. Study of the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) growth in solid media. Proceedings of the 2000 Conference on Hazardous Waste Research. May 23-25, 2000. Denver,Clorado.

Scott, S.J., Jones, R.A. and Williams, W.A., 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24:1192-1199.

شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف عناصر سنگین بر گونه *E. occidentalis* (نوع تیمارها در جدول ٦ آمده است)

منابع مورد استفاده

عیسوند، ح. ر. و علیزاده، م. ع.، ۱۳۸۲. بررسی برخی فاکتورهای کیفیت فیزیولوژیکی بذر (درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه) گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) تحت شرایط آزمون پیری زودرس، فصلنامه پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان جنگلی و مرتعی ایران، جلد ۱۱، ۲.

Effects of different levels of heavy metals on seed germination and seedling growth of three *Eucalyptus* species

A. Shariat[1] and M.H. Asareh[1]
1- Research Institute of Forests and Rangelands, P.O. Box 13185-116, Tehran, Iran E-mail:Shariat@rifr-ac.ir

Abstract

Intensive human activities such as urban, industrial, agriculture and traffic leads to indirect destruction of the human environment such as air pollution, water table contamination,… by pesticides, nitrates, organic contaminants and heavy metals. In such areas use of plants that have the capability to store the heavy metals can be economically effective. This research was carried out to estimate the effects of four heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) on three *Eucalyptus* species, including *E. camaldulensis, E. microtheca* and *E. occidentalis*. 16 treatments (every metal in 3 levels combination of 4 metals in 3 levels and control) in a factorial design in base of completely randomized design in a growth chamber was carried out. One way analysis of variance used to verify significance of 16 treatments on 6 characters such as height of radicle, height of plumule, vigor index, germination percentage, speed of germination and germination index, for each species. The result showed that the effects of the treatments and their interactions on seed and seedling characters were significant, except of the interaction on seed germination. The species performed different seed germination and seedling growth characters under different levels of heavy metals. Duncan analysis was used for classification of data. Results showed that *E. microtheca* had the greatest values of vigor index, germination speed, germination index, germination percentage and radicle length.

Key words: *Eucalyptus*, Heavy metals, Seed germination, Vigor index, Radicle and Plumule.