Archive of SID

محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶
صفحات: ۶۴-۵۳

# پاسخ نهال‌های غرقاب شدهٔ بید مجنون (*Salix babylonica* L.) به فلز سنگین روی

**عظمت حسینی مجرّد[۱]، مسعود طبری کوچکسرایی[۲*] و سید احسان ساداتی[۳]**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استاد دانشکده منابع‌طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی مازندران

(تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۷/۲۸ ؛ تاریخ تصویب:۱۳۹۶/۷/۴ )

## چکیده

پژوهش حاضر به دنبال پاسخ این سوال بوده‌است که نهال‌های بید مجنون (*Salix babylonica* L.) رشد یافته در رژیم غرقاب تا چه غلظتی از فلز سنگین روی (Zn) را تحمل می‌کنند. برای این مقصود، در یک مکان مُسَقّف، به مدت ۱۲۰ روز نهال‌های تحت شرایط غرقابی به پنج سطح مختلف فلز روی (۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰و ۲۰۰۰ میکرو مولار) آغشته شدند. نتایج نشان داد که زنده‌مانی نهال‌ها در تمام غلظت‌های اعمال شده ۱۰۰ درصد بود. با افزایش فلز روی تغییری در رویش قطری، سطح برگ و سطح ویژه برگ ایجاد نشد، این در حالی است که در برخی سطوح نمک روی، رویش طولی، زی‌تودهٔ خشک برگ و زی‌تودهٔ خشک کل نهال کاهش یافت. در هر یک از سطوح تیمار نمک روی، غلظت نمک روی در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. بزرگترین اندازهٔ فاکتور انتقال (۰/۵۹) در غلظت ۱۰۰۰ میکرو مولار مشاهده شد. شاخص مقاومت اندام هوایی و ریشه در غلظت‌های بالای نمک روی بیش از ۹۰ درصد بود. با توجه به زنده‌مانی ۱۰۰ درصد، رویش مطلوب و شاخص مقاومت به‌نسبت خوب نهال بید مجنون می‌توان اظهار داشت که در محیط غرقابی نهال این گونه توانایی پالایش خاک آلوده به نمک روی تا غلظت ۲۰۰۰ میکرو مولارر را دارد. از این رو، در تحقیقات آتی، توانایی پالایش نهال غرقاب شدهٔ این گونه در غلظت‌های بالاتر نمک روی و نیز استعداد فیلترسازی ریشه‌ای آن برای پالایش خاک و آب آلوده به فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی قابل توصیه است. همچنین، کاشت بید مجنون در فضای سبز شهری، عرصه‌های ساحلی و جلگه‌ای، حاشیهٔ رودخانه‌ها و محیط‌های غرقابی که آلوده به فلز سنگین روی هستند می‌تواند در برنامه‌های اجرایی مد نظر قرار گیرد.

**کلید واژگان:** بید مجنون، رژیم غرقابی، فاکتور انتقال، فلز سنگین روی، شاخص مقاومت.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۸۹۱۱۲۲۴۶۲۵۰+
Email: mtabari@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID



## ۱. مقدمه

در فرآیند گیاه‌پالایی از گیاهان برای استخراج، جداسازی و سم‌زدایی آلاینده‌ها از محیط‌های آبی و خاکی استفاده می‌شود. این روش در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است،به‌طوری‌که علاوه بر کم هزینه بودن، قابلیت انجام در محل (In-situ) و سازگار بودن با محیط زیست، خاک نیز می‌تواند پاکسازی شده و مورد استفاده قرار گیرد (Hosseinzadeh *et al.*, 2013). گیاهان قادر به کاهش آلاینده‌ها از محیط زیست به روش‌های مختلف از جمله جذب، تثبیت و انتقال این مواد هستند. برخی گونه‌ها توانایی زیادی در جذب انتخابی عناصر و آلاینده‌ها دارند به طوری که در فرآیند گیاه‌پالایی می‌توانند مورد استفادهٔ مطلوب قرار گیرند (Ghosh and Singh, 2005 Hosseinzadeh *et al*., 2013).

اصطلاح فلز سنگین به هر عنصر فلزی با چگالی اتمی بیش از شش گرم بر سانتی‌متر مکعب ($g/cm^3$) گفته می‌شود؛ این فلزات خیلی پایدار و تجزیه‌ناپذیر بوده و موجب خطرات زیست‌محیطی و آسیب به موجودات زنده می‌شوند (Rafati *et al*., 2011). افزایش فعالیت‌های صنعتی و انسانی سبب تشدید انتشار آلاینده‌های متنوع در محیط زیست می‌شود. مراکز شهرنشینی با تمرکز جمعیت و تولید پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری و همچنین فعالیت‌های کشاورزی و استفادهٔ بی‌رویه از کودهای فسفاته و نیتراته، منابع آلایندهٔ مهمی در خصوص تولید فلزات سنگین Pb و Zn می‌باشند (Ahangari *et al*., 2013). بنابراین، جهت احیاء مناطقی با خاک‌های آلوده، استفاده از پوشش گیاهی مناسب امری اجتناب ناپذیر است، به‌طوری که شناخت و معرفی گونه‌های سازگار و مقاوم جهت احیاء و توسعهٔ این مناطق بسیار حائز اهمیت است.

از گونه‌های درختی مطلوب برای فرآیند گیاه‌پالایی می‌توان به گونه‌های جنس صنوبر و بید اشاره کرد. در این ارتباط، تحقیقات چندی در خارج از کشور انجام شده است. از جمله، Vandecasteele و همکاران (۲۰۰۲) غلظت Cd و Zn در شاخ و برگ چهار گونه بید و آقطی[1] (*Sambucus nigra*) را در شرایط مزرعه بررسی کردند. فقط بیدهای رشد یافته روی رسوبات لایروبی شدهٔ محل دفن زباله، غلظت بالایی از این دو عنصر را در شاخ و برگشان نشان دادند. همچنین، برای بید ارتباط معنی داری بین Zn و Cd خاک و شاخ و برگ (بدون در نظر گرفتن سن، گونه و یا کلن) وجود داشت. در تحقیق دیگری اثرات تجمع کادمیوم روی پارامترهای مورفولوژیکی و Cd تخصیص یافته در برگ‌های بید سبدی (*Salix viminalis*) توسط Cosio و همکاران (۲۰۰۶) بررسی شد. تجمع Cd و شدت علائم سمیت برگ در غلظت‌های ۳ تا ۵۰ مولار افزایش و در غلظت‌های بالاتر کاهش یافت. در تمام غلظت‌ها، Cd در برگ‌های جوان‌تر به طور عمده در نوارها و لبه‌های برگ و در برگ‌های مسن در قاعده تجمع یافته بود. این نحوهٔ تجمع همزمان با لکه‌های نکروتیک، نشان از تحمل بالای گیاه به Cd بوده است. در تحقیقی Di Baccio و همکاران (۲۰۰۳) کلن I-214 گونهٔ *Populus×euramericana* رشد یافته در خاک آلوده به غلظت‌های مختلف فلز سنگین Zn (۱، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرو مولار در فرم محلول نمک سولفات روی ۹۹ درصد ($ZnSO_4 .7H_2O$) را بررسی و در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرو مولار کاهش قابل توجهی در زی‌تودهٔ شاخ و برگ و وزن خشک کل نهال‌ها مشاهده کردند. نتایج مطالعهٔ Fernàndez و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی پاسخ‌های رشد دو کلن صنوبر (Eridano و I-214) با غلظت‌های صفر، ۱ و ۵ میلی مولار $ZnCl_2$ نشان داد که تعداد برگ‌های جوان، طول و قطر ساقه با افزایش غلظت نمک در هر دو کلن و سطح برگ در کلن I-214 کاهش یافت. بررسی پاسخ دو کلن بید *Salix fragilis* (Sf) و *Salix aurita* (Sa) نسبت به حضور عناصر سنگین Ni، Cd، Cu و Zn در مطالعهٔ Evlard و همکاران (۲۰۱۴) آشکار ساخت که رویش در بستر آلوده به عناصر سنگین تأثیر قابل توجهی در تولید زی‌تودهٔ کلن Sa نداشت اما در کلن Sf میزان رشد به‌طور

[1]. Black elder

www.SID.ir

Archive of SID



قابل توجهی در بستر آلوده پایین‌تر بود. در واقع کلن Sa می‌تواند تولید زی‌تودهٔ خود را حفظ کند اما القاء مداوم فلزات سنگین باعث افزایش آسیب به سلول می‌شود. در مقابل، کلن Sf با حداقلِ القا، به مکانیزم حفاظت سلول در برابر آسیب فلزات سنگین کمک می‌کند.

اطلاعات دربارهٔ اثر رژیم‌های آبی بر تجمع و انتقال فلزات سنگین در بیدها اندک است و تنها به چند نمونه می‌توان اشاره کرد. از جمله اینکه، Chen و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی کلن‌های *Salix jiangsuensis* CL. J-172 و *Salix babylonica* L. را در خاک‌های غنی از Cu تحت رژیم‌های مختلف آبی بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش زی‌توده و افزایش محتوای Cu در ریشه هر دو گونه در غلظت بالای Cu خاک بود و شرایط غرقابی سبب افزایش تجمع Cu در ریشه و کاهش انتقال آن به ساقه و برگ گیاه شد. Vandecasteele و همکاران (۲۰۰۵)، در آزمایش صحرایی و گلخانه‌ای، زیست فراهمی Cd، Mn و Zn را در رسوبات آلوده در رژیم‌های مختلف آبی را روی گونهٔ تالابی *Salix cinerea* بررسی کردند. نتایج غلظت نرمال Cd و Zn در برگ را در حالت غرقاب آزمایش گلخانه‌ای نشان داد، در حالی‌که غرقاب در آزمایش صحرایی سبب غلظت بالای Cd و Zn برگ شد. Kissoon و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعهٔ گونهٔ *Rumex crispus* مشاهده کردند که بستر در شرایط خشک Al، Ba، Cu، Cr، Fe، K، La، Mg، Na، Sr، V، Y و Zn در خاک نزدیک به ریشه فقط در قسمت فوقانی محدودهٔ ارتباطی خاک و ریشه تجمع یافته بود. در شرایط غرقاب Al، Fe، Cr، K، V و Zn در بالا و در ۳ میلی‌متری زیر محدودهٔ ارتباطی ریشه و خاک و La، Sr و Y فقط در ۳ میلی‌متری زیر محدودهٔ ارتباطی خاک و ریشه تجمع یافته بودند. در شرایط غرقاب، تولید زی‌توده به‌طور متوسط ۱/۵ برابر و جذب عناصر ۲/۵ برابر بیشتر از شرایط خشک بوده است.

بر اساس گزارشات واصله، بالغ بر ۵۲۶ گونه بید در جهان و حدود ۳۸ گونه در ایران شناسایی شده‌است که علاوه بر مصارف مختلف، در جلوگیری و کاهش آب‌های آلوده صنعتی اثرگذار هستند (Maesumi *et al*., 2011). از میان گونه‌های این جنس، بید مجنون (*Salix babylonica* L.) گونه‌ای زینتی است که در پارک‌ها و معابر عمومی و در فضای سبز اطراف صنایع و تأسیسات مختلف کشورمان استفاده می‌شود و اغلب در معرض آلودگی فلزات سنگین قرار دارد. البته، در مناطق آلوده، خاک در بعضی از قسمت‌ها به دلایل مختلف ممکن است حالت ماندابی پیدا کند. با وجود فراوانی و تنوع این گونه و مصارف آن در فضای سبز شهری، تأسیسات و صنایع مختلف، گزارش اندکی در رابطه با توان گیاه‌پالایی این گونه ارائه شده است. در این خصوص تنها می‌توان به مطالعهٔ Azimpur و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد که در منطقهٔ آلوده (و غیر آلوده)، غلظت Ni برگ در بید سفید (*salix alba*) به‌طور معناداری بیش‌تر از زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia*) و نارون چتری (*Ulmus densa*) بود. در مجموع، می‌توان گفت که در داخل کشور (و نیز دنیا) هنوز در ارتباط با تأثیر آلاینده‌ها روی نهال غرقاب شدهٔ این گونه تحقیق خاصی انجام نشده است. این پژوهش در آزمایشی در یک مکان مُسَقّف به دنبال آن است تا معلوم کند این گونه تا چه حد قادر به تحمل غلظت‌های بالای فلز سنگین روی (Zn) در شرایط رطوبتیِ غرقاب خاک است.

## ۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام تحقیق ابتدا قلمه‌های ۲۰ سانتی‌متری بید مجنون (*Salix babylonica* L.) در اردیبهشت ماه تهیه شد؛ سپس، در گلدان‌های پلاستیکی ۲ کیلویی بدون منفذ، واجد خاک تهیه شده با مشخصات مندرج در جدول ۱ کاشته و در یک مکان مُسَقّف از جنس UV (طوری‌که از پایینِ سقف نیز نور کامل در اختیار نهال‌ها قرار می‌گرفت) نگهداری شد. چهار هفته پس از کاشت و به دنبال ریشه‌زاییِ قلمه‌ها، جوانه‌دار شدن و برگ‌زایی،

www.SID.ir

Archive of SID



شرایط غرقابی با سه سانتی‌متر آب در سطح خاک اجرا شد (Sadati *et al*., 2010). آنگاه پس از دو هفته از اعمال شرایط غرقابی، گلدان‌ها در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی و در ۴ تکرار در ۵ غلظت مختلف فلز روی (Zn) (صفر، ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرو مولار) در فرم محلول نمک سولفات روی ۹۹ درصد ($ZnSO_4 .7H_2O$) قرار گرفتند. لازم به ذکر است که غلظت‌های مختلف سولفات روی به‌صورت نمک محلول در سه نوبت (هر نوبت ۵۰ میلی لیتر) و طی یک دوره ۳ هفته‌ای اضافه شد (Alotaibi *et al*., 2014; Di Baccio *et al*., 2003). تعداد کل گلدان‌ها ۱۲۰ عدد و طول دورهٔ آزمایش ۴ ماه بود.

**جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش**

| ویژگی‌های اندازه‌گیری شده | مقدار |
|---|---|
| رس (در صد) | ۳۰ |
| سیلت (در صد) | ۱۸ |
| شن (در صد) | ۵۲ |
| کلاس بافت | شنی- رسی- لومی |
| pH | ۷/۷۴ |
| قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m) | ۰/۵۰ |
| کربن آلی (درصد) | ۲/۶۴ |
| مواد آلی (درصد) | ۴/۵۴ |
| نیتروژن کل (درصد) | ۰/۱۳۳ |
| روی کل (mg/kg) | ۴۴/۱۲ |

## ۱.۲. اندازه‌گیری‌ها

**زنده‌مانی:** به‌منظور بررسی درصد زنده‌مانی نهال‌های کاشته شده در شروع آزمایش (اواخر اردیبهشت ماه)، در هر سطح تیمار، نسبت تعداد نهال‌های باقی مانده در پایان آزمایش (S) به تعداد نهال‌های اولیه ('n) به‌صورت درصد زنده‌مانی (SP) منظور و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (رابطهٔ ۱).

$$SP=S/n'\times100 \qquad \text{رابطهٔ (۱)}$$

**رشد نهال:** قطر کلیهٔ نهال‌ها در قبل از اعمال فلز سنگین روی و نیز در پایان آزمایش، از محل یقه نهال با میکرومتر (دقت یک صدم میلی‌متر) اندازه‌گیری و با تفاضل از قطر اولیه (قبل از اعمال تیمار فلز سنگین)، رویش قطری تعیین شد. همچنین طول نهال‌ها در پایان آزمایش با استفاده از خط‌کش مدرج (با دقت یک میلی‌متر) از سطح خاک گلدان تا محل جوانهٔ انتهایی اندازه‌گیری و با تعیین اختلاف آن از ارتفاع نهال در شروع آزمایش، رویش طولی نهال برآورد گردید.

**زی‌توده:** در پایان فصل رشد، به‌طور تصادفی از هر سطح تیمار، ۳ نهال از خاک خارج کرده و پس از شستشوی خاک اطراف ریشه، اندام‌ها در دستگاه آون در دمای ۷۰°C به مدت حداقل ۴۸ ساعت خشک و وزن خشک هر یک از اندام‌های نهال (ریشه، ساقه و برگ) به‌طور جداگانه با ترازوی رقومی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. بدین ترتیب زی‌تودهٔ خشک اندام‌ها و سرانجام زی‌تودهٔ کل نهال (Total Dry Mass) تعیین شد (Bissonnette *et al*., 2010).

**سطح برگ (Leaf Area):** به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ، ابتدا از هر سطح تیمار، ۳ برگ کاملاً توسعه یافته از بالاترین قسمت هر نهال برداشت و سپس با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter سطح هر برگ مشخص شد.

www.SID.ir

Archive of SID



سطح ویژهٔ برگ از نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ متناظر محاسبه گردید (Yang *et al*., 2007).

**غلظت روی در اندام‌های گیاه:** برای مشخص شدن غلظت روی در اندام‌ها از روش هضم تر استفاده شد. به این منظور از هر سطح تیمار، ۳ نمونه یک گرمی برای انجام آزمایش اکسیداسیون تر با مخلوط اسید نیتریک و اسید پرکلریک با نسبت حجمی ۱۰ و ۳ میلی‌لیتر به‌کار رفت (Gupta, 2000). دماهای به کار برده شده در آزمایش شامل دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد برای مخلوط نمونه‌ها با اسید نیتریک و همچنین دمای ۲۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد (نقطه جوش اسید پرکلریک) پس از اضافه کردن اسید پرکلریک به مخلوط نمونه‌ها و اسید نیتریک بود. پس از هضم نمونه‌ها غلظت روی با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای شرکت فیلیپس مدل PU9400X اندازه‌گیری شدند.

**مقدار روی اندام‌ها:** از حاصل‌ضرب غلظت روی اندام‌ها در زی‌تودهٔ اندام مورد نظر محاسبه شد.

**فاکتور انتقال[1] (TF):** این فاکتور که در واقع نشان‌دهندهٔ توانایی گیاه در انتقال فلز سنگین به اندام هوایی است، بر اساس غلظت فلز سنگین در اندام هوایی و ریشه، طبق رابطهٔ ۲ محاسبه شد (Jakovljević *et al*., 2009; Wu *et al*., 2010).

(رابطهٔ ۲)

فاکتور انتقال = غلظت فلز در اندام هوایی / غلظت فلز در ریشه

**شاخص تحمل[2] (TI):** این شاخص معیاری برای سنجش بردباری گیاه به فلز سنگین است و طبق رابطهٔ ۳ تعیین شد (Kovačević *et al*., 2011).

(رابطهٔ ۳)

$$\text{شاخص مقاومت} = \frac{\text{وزن خشک گیاه در خاک آلوده}}{\text{وزن خشک گیاه در خاک شاهد}} \times ۱۰۰$$

### ۲.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق حاضر از نرم‌افزار آماری SPSS 22 استفاده شد. در ابتدا توزیع داده‌ها بررسی و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها، مقایسهٔ میانگین پارامترهای مورد اندازه‌گیری تحت تأثیر تیمارهای مختلف نمک روی در رژیم آبیاری غرقابی پس از انجام تجزیه واریانس یک‌طرفه با آزمون دانکن انجام شد. همچنین، از آزمون تی جفتی (Paired samples test) برای مقایسهٔ هر یک از غلظت‌های روی بین ریشه و اندام هوایی انجام شد.

## ۳. نتایج

### ۱.۳. زنده‌مانی

در این تحقیق نهال‌های بید مجنون در فصل رشد به مدت ۴ ماه در شرایط غرقابی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که زنده‌مانی نهال‌ها در شرایط غرقابی با افزایش غلظت نمک روی تغییری نکرد و ۱۰۰ درصد بوده است (جدول ۲).

### ۲.۳. رشد

رویش طولی نهال‌های تیمار شده با ۱۵۰۰ میکرو مولار به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۵$) نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد، در حالی‌که این کاهش معنی‌دار در سایر سطوح تیمارها مشاهده نشد. همچنین، رویش قطری نهال‌ها در سطوح مختلف تیمار اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداد (جدول ۲).

### ۳.۳. سطح برگ و سطح ویژهٔ برگ

تجزیه و تحلیل داده‌ها برای پارامترهای سطح برگ و سطح ویژهٔ برگ در سطوح مختلف تیمار نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری (به‌ترتیب با سطح معنی‌داری ($P=۰/۴۸$) و ($P=۰/۳۲$)) را نشان نداد (جدول ۲).

[1] Translocation Factor
[2] Tolerance Index

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۲. ویژگی‌های نهال بید مجنون (*S.babylonica*) رشد یافته در غلظت‌های مختلف روی (میانگین ± (SE))**

| مشخصه | سطوح مختلف روی (µm) | | | | | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۵۰۰ | ۲۰۰۰ | |
| زنده‌مانی[a] (٪) | - | - | - | - | - | - |
| رویش طولی (cm) | ۶۲/۰۴a (۵/۱۳) | ۶۴/۷۶a (۶/۷۲) | ۶۲/۵۲ab (۶/۶۶) | ۵۳/۴۳b (۶/۰۵) | ۵۸/۳۵ab (۶/۳۷) | ۰/۰۳ * |
| رویش قطری (mm) | ۲/۹۸ (۰/۵۳) | ۳/۰۰ (۰/۴۰) | ۲/۷۸ (۰/۳۴) | ۲/۳۷ (۰/۳۶) | ۲/۷۵ (۰/۲۵) | ۰/۱۷ ns |
| سطح برگ ($cm^2$) | ۷/۳۷ (۱/۱۹) | ۶/۰۵ (۱/۰۹) | ۵/۰۴ (۰/۵۲) | ۴/۳۱ (۰/۵۵) | ۶/۲۹ (۰/۸۲) | ۰/۴۸ ns |
| سطح ویژهٔ برگ ($cm^2/g$) | ۱۸۰/۶۳ (۱۳/۱۵) | ۱۶۵/۵۶ (۱۷/۷۰) | ۱۷۲/۰۰ (۱۸/۷۶) | ۱۶۲/۵۵ (۱۷/۳۵) | ۱۴۰/۶۵ (۷/۷۰) | ۰/۳۲ ns |
| زی‌تودهٔ خشک ریشه (g) | ۱۱/۵۶ (۱۰/۰۳) | ۳/۶۹ (۲/۵۹) | ۵/۴۵ (۳/۹۰) | ۴/۴۱ (۲/۸۰) | ۳/۶۱ (۰/۰۲) | ۰/۸۲ ns |
| زی‌تودهٔ خشک ساقه (g) | ۸/۳۱ (۲/۴۱) | ۶/۷۳ (۳/۹۶) | ۱۰/۵۹ (۴/۱۹) | ۶/۶۹ (۰/۹۹) | ۷/۴۰ (۳/۱۲) | ۰/۲۱ ns |
| زی‌تودهٔ خشک برگ (g) | ۶/۱۲a (۱/۵۰) | ۲/۸۹b (۰/۳۹) | ۶/۵۵a (۲/۰۹) | ۵/۷۸a (۱/۰۳) | ۵/۲۸ab (۱/۹۹) | ۰/۰۲* |
| زی‌تودهٔ خشک کل نهال (g) | ۲۶/۰۰a (۱۳/۷۵) | ۱۳/۳۳b (۶/۶۴) | ۲۲/۵۹a (۱۰/۱۵) | ۱۶/۸۸ab (۴/۶۳) | ۱۶/۳۰ab (۷/۱۲) | ۰/۰۵* |

[a] زنده‌مانی نهال‌های (*S. babylonica*) در تمام تیمارهای مورد بررسی ۱۰۰ درصد بود؛

ns و * به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشند و حروف انگلیسی متفاوت نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد است.

### ۴.۳. زی‌توده

هر یک از زی‌تودهٔ خشک ریشه و ساقه در سطوح مختلف تیمار تفاوت معنی‌دار را نشان ندادند (جدول ۲). اگرچه هر یک از مقادیر زی‌تودهٔ ریشه و ساقه در سطوح مختلف تیمار به لحاظ آماری فرقی نکردند اما در اغلبِ سطوحِ اعمال شده کمتر از آن در نهال‌های شاهد بودند (جدول ۲). زی‌تودهٔ خشک برگ و کل نهال در سطح ۱۰۰ میکرو مولار دارای کمترین اندازه بوده است (جدول ۲). با این وجود، زی‌تودهٔ خشک کل نهال در تیمارِ بدون فلز، بیشترین میانگین و کاهش ۴۸/۷۳، ۳۵/۰۷ و ۳۷/۳۰ درصدی به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرو مولار داشته است (جدول ۲).

### ۵.۳. غلظت و مقدار روی در اندام‌ها، فاکتور انتقال روی از ریشه به اندام هوایی و شاخص مقاومت

اگرچه مقادیر شاخص غلظت و مقدار روی در ریشه و اندام هوایی در سطوح مختلف تیمار به لحاظ آماری تفاوتی نداشت (جدول ۳)، اما غلظت روی در ریشه در سطوح ۱۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ و غلظت روی در اندام هوایی در سطوح ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرو مولار نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود (شکل a,b ۱). همچنین، مقدار روی در اندام هوایی و ریشه با افزایش غلظت روی در خاک در سطوح ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرو مولار افزایش یافت (شکل a,b ۲).

www.SID.ir

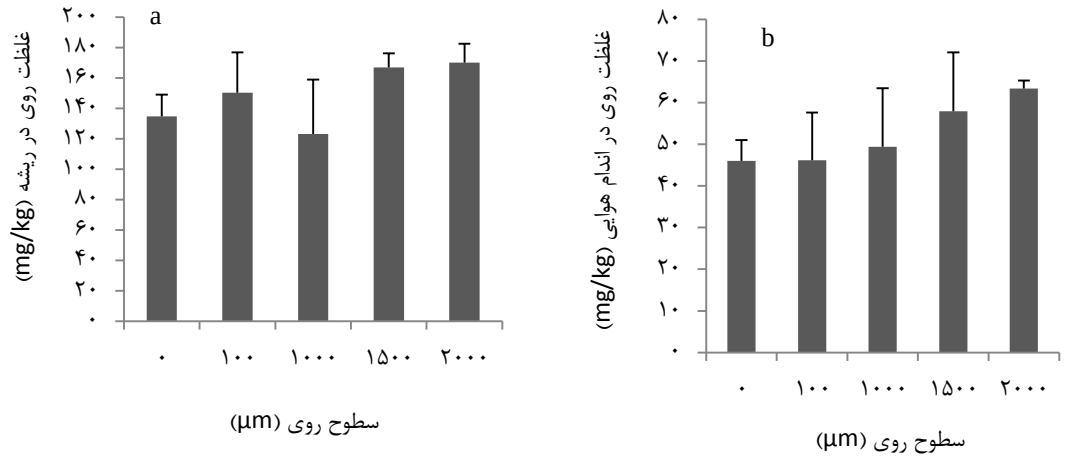
Archive of SID



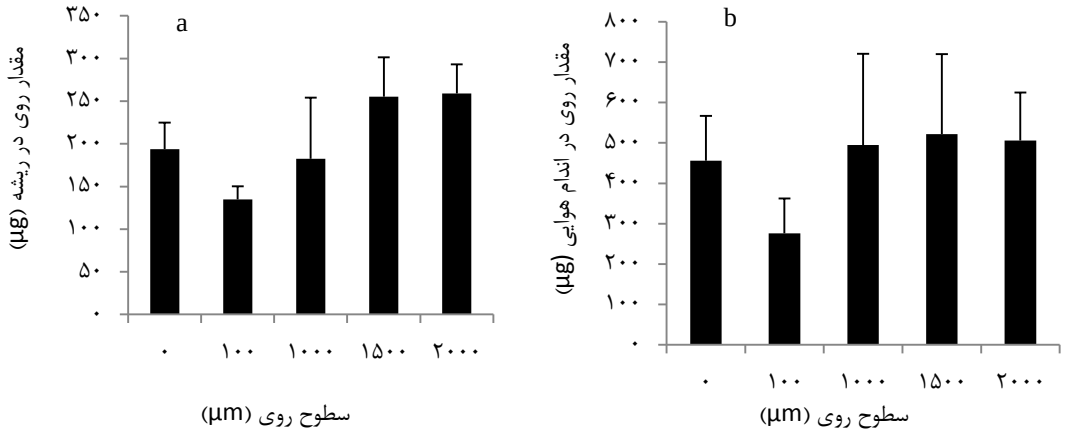
**جدول ۳. نتایج تجزیهٔ واریانس (ANOVA) تأثیر نمک روی بر شاخص مقاومت، غلظت روی و فاکتور انتقال نهال (*S. babylonica*)**

| مشخصه | غلظت روی در اندام‌ها (mg/kg) | | مقدار روی در اندام‌ها (µg) | | فاکتور انتقال روی | شاخص مقاومت اندام‌ها | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ریشه | اندام هوایی | ریشه | اندام هوایی | از ریشه به اندام هوایی | ریشه | اندام هوایی |
| F | ۰/۵۱ | ۰/۵۲ | ۰/۹۵ | ۲/۴۰۸ | ۰/۱۲ | ۰/۸۸ | ۲/۴۱ |
| *P*-value | ۰/۸۵ ns | ۰/۸۴ns | ۰/۴۶۹ns | ۰/۱۰۷ns | ۰/۹۶ns | ۰/۱۰ns | ۰/۵۰ns |

ns غیرمعنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشند.




**شکل ۱. غلظت روی در ریشه (a) و اندام هوایی (b) نهال بید مجنون (*S.babylonica*) در غلظت‌های مختلف روی (SE ± میانگین).**

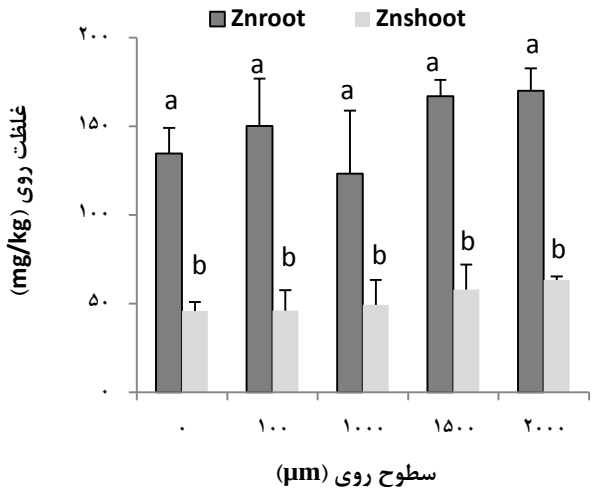



**شکل ۲. مقدار روی در ریشه (a) و اندام هوایی (b) نهال بید مجنون (*S.babylonica*) در غلظت‌های مختلف نمک روی (SE ± میانگین).**

www.SID.ir

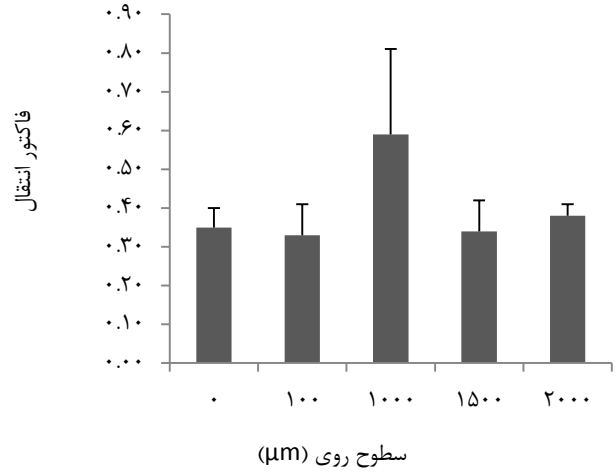
Archive of SID






**شکل ۳. مقایسهٔ غلظت روی در ریشه و اندام هوایی نهال بید مجنون (*S. babylonica*) در غلظت‌های مختلف نمک روی (SE ± میانگین).**

مقایسهٔ غلظت روی در ریشه و اندام هوایی از طریق آزمون تی‌جفتی (Paired samples test) انجام شد و این مقایسه تفاوت معنی‌داری بین غلظت روی در ریشه و اندام هوایی نشان داد (P=۰/۰۰۰). به‌طوری‌که در همهٔ سطوح سولفات روی اعمال شده، غلظت روی در ریشه بیشتر از غلظت روی در اندام هوایی بود (شکل ۳).



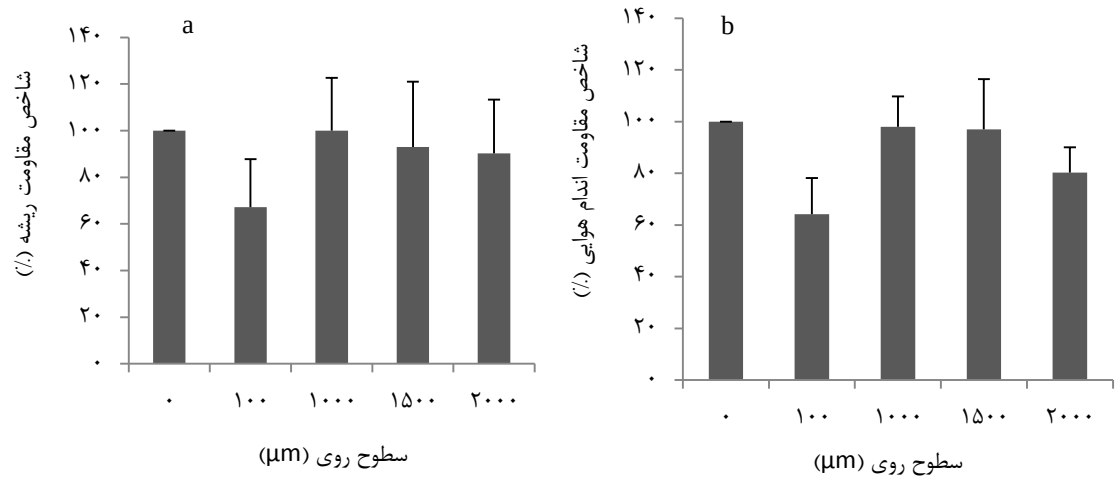

**شکل ۴. فاکتور انتقال یا تجمع روی در اندام‌های نهال بید مجنون (*S. babylonica*) در غلظت‌های مختلف نمک روی (SE ± میانگین).**

با اعمال غلظت‌های مختلف روی، مقادیر فاکتور انتقال روی از ریشه به اندام هوایی و شاخص مقاومت ریشه و اندام هوایی در سطوح مختلف تیمار روی به لحاظ آماری تفاوتی نداشت (جدول ۳) و شاخص مقاومت ریشه و اندام هوایی در سطوح مختلف روی اعمال شده، نسبت به شاهد تغییری نکرد (شکل ۵ a,b).

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۵. شاخص مقاومت ریشه (a) و اندام هوایی (b) نهال بید مجنون (*S. babylonica*) رشد یافته در غلظت‌های مختلف نمک روی (SE ± میانگین).**

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق در مورد نهال‌های بیدِ مجنون رشد یافته به مدت ۴ ماه در سطوح مختلف تیمار فلز سنگین روی، زنده‌مانی ۱۰۰ درصدی را نشان داد. رویش طولی ساقه در نهال‌های بید مجنون تیمار شده با ۱۵۰۰ میکرو مولار به‌طور معناداری نسبت به شاهد کمتر بود (جدول ۲). همچنین، کاهش معنی‌دار زی‌تودهٔ برگ و زی‌تودهٔ کل نهال تیمار شده با غلظت‌های ۱۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرو مولار نمک روی در مقایسه با نهال‌های شاهد مشاهده شد (جدول ۲). از مطالعات مشابه که تأثیر سایر فلزات سنگین را بررسی کرده‌اند می‌توان به تحقیق Chen و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد، به طوری‌که با اعمال غلظت بالای Cu در خاک، نهال‌های رشد یافته *Salix babylonica* و *S. jiangsuensis*، زی‌تودهٔ اندام‌های مختلف نهال‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. در مطالعهٔ Evlard و همکاران (۲۰۱۴) نیز پاسخ دو کلن بید *Salix fragilis* (Sf) و *Salix aurita* (Sa) نسبت به حضور عناصر سنگین Zn و Ni، Cd، Cu نشان داد که بستر آلوده تأثیر قابل توجهی در تولید زی‌توده Sa نداشت اما رشد Sf به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت.

کاهش رشد و نقصان تولید زی‌توده یکی از پاسخ‌های مهم گیاه به تنش فلزات سنگین است (Adriaensen و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از اثرات مهم فلزات سنگین، اختلال در پتانسیل اسمزی و روابط آبی گیاه است که منجر به کاهش رشد در برگ، نهال و تولید زی‌توده می‌شود. انباشته شدن فلز سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و مواد غذایی، کاهش انتقال آب و برهم خوردن تعادل آب، مهار فعالیت آنزیم‌ها و کاهش متابولیسم سلولی، کاهش نرخ فتوسنتز، تعرق، فقدان نیتروژن و فسفر و مهار رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه می‌گردد (Cheng *et al*., 2006). در واقع، در اثر غلظت‌های سمیِ عناصر سنگین، و اختلال ایجاد شده در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و متابولیسمِ نیتروژن، کاهش جذب عناصر غذایی ضروری مانند Mg، Ca، K و Fe و کاهش زی‌تودهٔ گیاه رخ می‌دهد (Gogorcena *et al*., 2002). در تحقیق Di Baccio و همکاران (۲۰۰۳) روی کلن I-214 گونهٔ *Populus×euramericana* زی‌تودهٔ برگ نهال در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرو مولار کاهش یافت، این در حالی است که در تحقیق ما این کاهش در غلظت‌های ۱۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار اتفاق افتاد.

www.SID.ir

Archive of SID



در تحقیق حاضر، در هر سطحِ غلظت نمک روی اعمال شده به بستر، میزان غلظت روی در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. نتایجِ کم و بیش مشابه توسط Todeschini و همکاران (۲۰۱۱) و Fernandez و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است. یافته‌های مشابه، از جمله با فلز سنگین Cu در گزارش Chen و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده می‌شود به‌طوری‌که غلظت بالای Cu در خاک به طور قابل توجهی باعث افزایش محتوای Cu ریشهٔ گونه‌های *Salix jiangsuensis* و *Salix babylonica* شد. این در حالی است که شرایط غرقاب باعث افزایش تجمع Cu در ریشه و کاهش انتقال آن به ساقه و برگ شده بود. در این ارتباط، می‌توان گفت که در تحقیق ما تجمع روی در ریشه می‌تواند به‌دلیل کاهش انتقال آن به برگ‌ها و حساسیت برگ‌ها به فلزات سنگین باشد.

در بررسی پیش رو، تحت شرایط غرقابی، با افزایش غلظت نمک روی تغییر محسوسی در غلظت روی اندام‌های هوایی و ریشه دیده نشد. مطالعه Kisson و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد در تیمارهای غرقابی، محتوای عنصر Zn (همانند Cu، Fe، K و Mn) در ریشهٔ گیاه *Rumex crispus* افزایش داشته است. در این راستا Chen و همکاران (۲۰۱۲) نیز در تحقیقی با فلز Cu روی نهال‌های بیدِ رشد یافته در رژیم‌های مختلف آبی به نتایج مشابه دست یافتند. اصولا، شرایط غرقابِ خاک سبب کاهش بهره‌وری اکسیژن[1] و در نتیجه کاهش شرایط اکسایش خاک می‌شود. بنابراین، در طول دورهٔ غرقابی، اکسیدهای Fe و Mn خاک کاهش می‌یابند و فرم‌های اکسیداسیون و سولفیدها ممکن است تحرک فلز را تحت تأثیر قرار دهند (Dulaing, 2009؛ Chen *et al*., 2012). غلظت‌های بالای Zn در ریشه‌ها ممکن است با افزایش رسوب سولفیدها یا اکسیدهای Fe و Mn در ریشه‌ها مرتبط باشد.

فاکتور انتقال (TF) همان نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به ریشه‌هاست و نشان‌دهندهٔ گرایش گیاهان به جابه‌جا کردن فلزات از ریشه به ساقه است (Stoltz and Greger, 2002). در این پژوهش، افزایش غلظت روی در ریشه تأثیر معنادار بر افزایش انتقال آن به اندام هوایی نهال بید مجنون نداشت. این امر نشان‌دهندهٔ انتقال مقدار کمی از فلز روی به بافت گیاهی بالای سطح زمین است که شاید بتوان *Salix babylonica* را به‌عنوان تثبیت‌کنندهٔ فلز روی در ریشه معرفی کرد. البته، از طرفی می‌توان اظهار داشت که انتقال محدود فلز روی به شاخه‌ها حکایت از تحرّک کم آن در اندام بید می‌باشد (Chen *et al*., 2012 ،Kuzovkina *et al*., 2004).

شاخص مقاومت (TI) در مباحث گیاه‌پالایی، یکی از عوامل مهم بررسی گیاه در بستر آلوده به فلز سنگین است (Umebese and Motajo, 2008). در پژوهش Landberg و Greger (۲۰۰۲) شاخص مقاومت کلن‌های حساس به فلز سنگین گونهٔ *Salix viminalis* معادل ۳۰-۱۵ درصد و برای کلن‌های مقاوم به فلز سنگین آن گونه معادل ۸۵-۷۰ درصد گزارش شده است. همچنین Salehi و همکاران (۲۰۱۳)، شاخص مقاومت اندام هوایی نهال سپیدار *Populus alba* (کلن ۴۴/۹) رشد یافته در خاک آلوده به Pb را حداقل ۸۰ درصد و شاخص مقاومت ریشه را حداقل ۴۵ درصد گزارش کردند. در بررسی Chen و همکاران (۲۰۱۲)، شاخص مقاومت *S. babylonica* به فلز Cu معادل ۷۸-۷۵ درصد و برای *S. jianguensis* معادل ۸۶-۸۰ درصد گزارش شده است. بنابراین، با توجه به شاخص مقاومت به‌دست آمده در این پژوهش (TI اندام هوایی ۹۸-۶۴ درصد و TI ریشه ۹۸-۶۷ درصد) می‌توان گفت که این گونه مقاومت به‌نسبت خوبی در برابر غلظت‌های بالای نمک روی در شرایط غرقاب را داراست.

از آنجا که بید یک گونهٔ آب‌دوست بوده و در شرایط غرقابی با تولید ریشه‌های نابجا[2] زنده‌مانی و رشد مناسبی دارد، می‌تواند در بستر آلوده به فلز سنگین روی رشد نموده و محیط آلودهٔ خاک را پالایش کند. در این تحقیق

1. Hypoxy
2. Hypertrophied Lenticels

www.SID.ir

Archive of SID



همچنین معلوم شد که با وجود افزایش غلظت محلول نمک روی، نهال بید با راهکارهای مناسب توانست اثرات سوء محلول این فلز سنگین را خنثی نماید. به‌طور کلی، از برآیند یافته‌های این تحقیق استنتاج می‌شود که با توجه به زنده‌مانی ۱۰۰ درصدی در غلظت‌های بالای نمک روی و رویش مطلوبِ نهال در شرایط غرقابی، گونهٔ بید مجنون ضمن مناسب بودن به‌عنوان یک گونهٔ مقاوم به غرقابی، غلظت‌های بالای محلول فلز سنگین روی را در این شرایط می‌تواند تحمل نماید. بدین‌ترتیب، می‌توان توصیه کرد که کاشت بید مجنون با اهداف در فضای سبز شهری، مناطق ساحلی و جلگه‌ای، حاشیه رودخانه‌ها و محیط‌های غرقابی که آلوده به نمک فلز سنگین روی هستند در برنامه‌های اجرایی قرار گیرد. این تحقیق با محلول فلز سنگین روی صورت گرفت و با توجه به اینکه روی از عناصر غذایی کم‌مصرف گیاهان است، توصیه می‌شود مطالعاتی با دیگر فلزات سنگین نیز جهت بررسی تعیین تحمل گونه بیدمجنون نسبت به آن‌ها صورت گیرد.

# References


Adriaensen, K., Van der Lelie, D., Van Laere, A., Vangronsveld, J., Colpaert, J.V., 2003. A zinc-adapted fungus protects pines from zinc stress. New Phytologist 161: 549-555.

Ahangari, A., Hafezi Moghadas, N., Ghafuri, M., 2013. The use of fuzzy logic and AHP in zoning potential soil contamination of Pb and Zn. Proceeding of 8th Congress of Geological Engineering and the environment, Mashhad, Iran, pp: 1621-1628 (In Persian).

Azimpur, S., Pilevar, B., Shirvani, A., babazadeh, V., Ahmadi, M., 2013. Nickle phytoremediation by leaves of planted species (*Fraxinus rotundifolia*, *Ulmus densa*, *Salix alba*) (Case study: Kermanshah oil refinery area), Iranian Forest Journal 5(2): 141-150 (In Persian).

Alotaibi, M., Abdalla, M., Elobeid, M., 2014. Influence of copper stress on the growth performance of *Eucalyptus camaldulensis* seedling. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences 2 (4): 649-653.

Bissonnette, L., St-Arnaud, M., Labrecque, M., 2010. Phytoextraction of heavy metals by two *Salicaceae* clones in symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi during the second year of a field trial. Plant and Soil 1-2 (332): 55-67.

Cheng, S., Huang, C., 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal of Applied Science and Engineering 3: 243-252.

Cosio, C., Vollenweider, P., Keller, C., 2006. Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.). Environmental and Experimental Botany 58 (1): 64-74.

Chen, G.C., Liua, Z., Zhanga, J., Owens, G., 2012. Phytoaccumulation of copper in willow seedlings under different hydrological regimes. Ecological Engineering 44(1): 285-289.

Di Baccio, D., Tognetti, R., Sebastiani, L., Vitagliano, C., 2003. Responses of *Populus deltoides* × *Populus nigra* (*Populus* × *euramericana*) clone I-214 to high zinc concentrations. New Phytologist 159 (1): 443-452.

Du Laing, G., Vanthuyne, D.R.J., Vandecasteele, B., Tack, F.M.G., Verloo, M.G., 2007. Influence of hydrological regime on pore water metal concentrations in a contaminated sediment-derived soil. Environment Pollution 147: 615-625.

Evlard, A., Sergeant, K., Printz, B., Guignard, C., Renaut, J., Campanella, B., Paul, R., Hausman, J.F., 2014. A multiple-level study of metal tolerance in *Salix fragilis* and *Salix aurita* clones. Journal of Proteomics 101 (1): 113-129.

Fernàndez, J., Zacchini, M., Fleck, I., 2012. Photosynthetic and growth responses of *Populus* clones Eridano and I-214 submitted to elevated Zn concentrations. Geochemical Exploration 123 (1):77-86.

Gupta, P.K., 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New DeIhi, India, 483 pp.

Gogorcena, Y., Lucena, J.J., Abadia, J., 2002. Effects of Cd and Pb in sugar beets plants grown in nutrient solution: Induced Fe deficiency and growth inhibition Journal. Functional Plant Biology 29: 1453-1464.


www.SID.ir

Archive of SID



Ghosh, M., Singh, S.P., 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Applied Ecology and Environmental Research 3: 1-18.

Hosseinzadeh Monfared, S., Shirvany, A., Matinizadeh, M., Jalilvand, H. Zahedi Amiri, Gh., Mousavi Fard, R., Rostami, F., Monemian, M., 2013. Comparison of phytoremediation potential and MAI index in *Platanus orientalis*, *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus rotundifolia* 6 (10): 575-582.

Jakovljević T., Bubalo M. C., Orlović S., Sedak M., Bilandžić N., Brozinčević I., Redovniković I. R., 2014. Adaptive response of poplar (*Populus nigra* L.) after prolonged Cd exposure period, Journal of Environmental Science and Pollution Research 21(5): 3792-3802.

Kuzovkina, Y.A., Knee, M., Quigley, M.F., 2004. Cadmium and copper uptake and translocation in five willow (*Salix* L.) species. International Journal Phytoremediation 6: 269-287.

Kissoon, L.T.T., Jacob, D.L., Otte, M.L., 2010. Multi-element accumulation near *Rumex crispus* roots under wetland and dryland conditions. Environment Pollution 158: 1834-1841.

Kovačević B., Miladinović D., Orlović S., Katanić M., Kebert M., Kovinčić J., 2013. Lead tolerance and accumulation in white poplar cultivated In vitro. Journal of South-East European Forestry 4 (1): 3-12.

Landberg, T., and Greger, M., 2002. Differences in oxidative stress in heavy metal resistant and sensitive clones of *Salix viminalis*, Journal of Plant Physiology 159: 69-75.

Maesumi, A.A., Hemmati, A., Safavi, S.R., Siavash, B., Kazempur, S., Moieni, F., Nuri, F., Sadati, S.E., 2011. Iran's willows empirical Taxonomy. Iranian Research Institute of Forests and Pastures Press.112 p. (In Persian).

Pulford, I.D., Watson, C., Mcgregor, S.D., 2001. Uptake of chromium by trees: prospects for phytoremediation. Environmental Geochemistry and Health 23: 307-311.

Rafati, M., Khorasani, N., Moattar, F., Shirvany, A., Moraghebi, F., Hosseinzadeh, S., 2011. Phytoremediation Potential of *Populus alba* and *Morus alba* for Cadmium, Chromium and Nickel Absorption from Polluted Soil. International Journal Environment Research 5 (4): 961-970.

Stoltz, E., Greger, M., 2002. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. Environment and Experimental Botany 47: 271-280.

Sadati, S.E., Tabari, M., Assareh, M.H., Heidari Sharif Abad, H., Faiaz, P., 2010. Response of *Populus caspica* Bornm. seedlings to flooding stress. Iranian Journal of Forest and Poplar Research 19 (3): 355-340 (In Persian).

Salehi, A., Tabari, M., Shirvani, A., 2013. Survival, growth and Pb concentration of *Populus alba* (clone 44/9) seedling in Pb-contaminated soil. Iranian Journal of Forest 6 (4): 419-433 (In Persian).

Todeschinia, V., Lingua, G., D' Agostino, G., Carniato, F., Roccotiello,E., Berta, G., 2011. Effects of high zinc concentration on poplar leaves: A morphological and biochemical study. Environmental and Experimental Botany. 71(1):50-56.

Umebese, C.E., and Motajo, A.F., 2008. Accumulation, tolerance and impact of aluminum, copper and zinc on growth and nitrate reductase activity of *Ceratophyllum demersum* (Hornwort), Journal of Environmental Biology 29: 197-200.

Vandecasteele, B., De Vos, B., Tack, F.M.G., 2002. Cadmium and Zinc uptake by volunteer willow species and elder rooting in polluted dredged sediment disposal sites. The Science of the Total Environment 299 (1): 191-205.

Vandecasteele, B., Quataerta, P., Tack, F.M.G., 2005. The effect of hydrological regime on the metal bioavailability for the wetland plant species *Salix cinerea*. Environmental Pollution 135: 303-312.

Vollenweider, P., Bernasconi, P., Gautschi, H.P., Menard, T., Frey, B., Günthardt-Goerg, M.S., 2011. Compartmentation of metals in foliage of *Populus tremula* grown on soils with mixed contamination. II. Zinc binding inside leaf cell organelles. Environmental Pollution 159 (1): 337-347.

Wu, F., Yang, W., Zhang, J., Zhou, L., 2010 Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (*Populus deltoides* × *Populus nigra*) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil, Hazard Mater Journal 177: 268–273.

Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q. and Yin. H. J., 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. Photosynthetica 45 (4): 613-619.

www.SID.ir