Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.298953.668527 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۸، آبان ماه ۱۳۹۹ (ص ۱۹۹۶-۱۹۸۳)

Investigation of Morpho-physiological and Biochemical Adaptive Responses of *Hovenia dulcis* L. Affected by Salinity, Nitrate and Lead

SEYEDEH MAHSA HOSSEINI[1], SEPIDEH KALATEJARI[*1], MOHSEN KAFI[2] & BABAK MOTESHAREZADEH[3]

1. Horticultural Science Department, Islamic Azad University, Science and Research, Tehran, Iran.
2. Department of Horticultural Science, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Department of Soil Science, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
(Received: March. 11, 2020- Revised: May. 22, 2020- Accepted: May. 30, 2020)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the morpho-physiological and biochemical responses of Japanese raisin (*Hovenia dulcis* L.) seedlings to stress conditions of salinity (Electrical conductivity), nitrate and Pb. The experiment was conducted in a factorial experiment based on completely randomized design with three stress factors including nitrate (0, 30 and 60 mg L^{-1}), salinity (0, 3 and 6 dSm^{-1}) and Pb (0, 300 and 600 mg L^{-1}) and three replications. Plants were grown under greenhouse conditions for four months. The highest shoot fresh weight was observed in treatments of 300 and 600 mg/kg Pb with zero salinity and nitrate level and the lowest fresh weight was belonged to the treatment of 6 dS/m salinity, 600 mg/kg Pb and 30 mg/L nitrate. The highest Pb concentration of shoot (72 mg kg^{-1} dry matter) was reported in treatment of 600 mg kg^{-1} Pb and with zero salinity and nitrate level. The highest value of lipids peroxidation occurred at treatment of 600 mg kg^{-1} Pb, indicating the plant defense mechanisms activity under these conditions. Furthermore, the synthesis of proline as a plant response to stress conditions significantly increased at 600 mg kg^{-1} Pb; whereas, nitrate application led to reduce malondialdehyde production in plant.

Keywords: Soil Pollution, Plant Responses, Phytoremediation, Heavy Metals.

* Corresponding Author's Email: Kalatejari@yahoo.com
www.SID.ir

Archive of SID

بررسی برخی پاسخ های مورفو-فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کشمش ژاپنی (*Hovenia dulcis* L.) تحت تنش سرب، شوری و نیترات

سیده مهسا حسینی[۱]، سپیده کلاته جاری *[۱]، محسن کافی[۲]، بابک متشرع زاده[۳]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲. گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۳/۲- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۱۰)

چکیده

پژوهش حاضر، با هدف بررسی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال کشمش ژاپنی تحت شرایط تنش شوری، نیترات و فلز سنگین سرب اجرا شد. محلول نیترات در سه سطح (غلظت صفر، ۳۰، ۶۰ $mg\ L^{-1}$)، محلول سرب در سه سطح (غلظت صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ $mg\ L^{-1}$) و شوری (قابلیت هدایت الکتریکی) در سه سطح (تیمار شاهد ، ۳، ۶ $dS\ m^{-1}$)، اعمال و نهال گیاهان برای مدت چهار ماه در شرایط گلخانه‌ای بررسی شدند. نتایج حاصله نشان داد بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی در تیمارهای بدون تنش شوری و نیترات و سطوح آلودگی ۳۰۰ و ۶۰۰ ($mg\ L^{-1}$) و کم‌ترین وزن تر در سطح حداکثری قابلیت هدایت الکتریکی ۶ (dS/m)، آلودگی سرب ۶۰۰ و نیترات ۳۰ ($mg\ L^{-1}$)، گزارش شد. بیش‌ترین غلظت سرب اندام هوایی گیاه به میزان ۷۲ ($mg\ kg^{-1}$) در تیمار بدون شوری و سطح ۶۰۰ ($mg\ kg^{-1}$) سرب و بدون نیترات گزارش شد. بیش‌ترین پراکسیداسیون لیپیدها در سطح ۶۰۰ ($mg\ kg^{-1}$) سرب رخ داد که نشان‌دهنده فعالیت مکانیسم‌های دفاعی گیاه تحت این شرایط است. علاوه بر این سنتز پرولین به‌عنوان اسمولیت گیاهی مقابله کننده با شرایط تنش، تحت کاربرد بیشینه سرب (۶۰۰ $mg\ kg^{-1}$) افزایش معنی‌داری نشان داد؛ اما کاربرد نیترات، سبب کاهش تولید مالون دی آلدهید در گیاه شد.

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، پاسخ‌های گیاه، پالایش آلودگی، فلزات سنگین.

مقدمه

جذب فلزات سنگین به‌وسیله گیاه می‌تواند سبب آلودگی زنجیره غذایی انسان و دام شود (Ullah *et al.*, 2015). ورود فلز سنگین سرب در زنجیره غذایی، با سمی شدن برای گیاهان، سبب بروز سرطان و کاهش هوش در کودکان و کاهش شدید عملکرد و کیفیت محصولات در گیاهان می‌شود (Dixit *et al.*, 2015; Saxena *et al.*, 2019). پژوهشگران غلظت‌های بالاتر از ۱۹ میلی-گرم بر کیلوگرم (Purohit and Agrawal, 2006) و بیش از ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Alloway, 1990) را غلظت بحرانی برای گیاه و شروع بروز سمی بودن در گیاه عنوان کرده‌اند. نتایج پژوهش Kabata-Pendias and Pendias (2000) نشان داد سمی بودن فلزات سنگین سرب، مس و روی سبب کاهش اندازه برگ و از بین رفتن بافت‌های درختان بلوط در یک خاک آلوده اطراف معدن آهن، شد. در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، گونه‌های خاصی از گیاهان توانایی رشد، سازگاری و جذب فلزات سنگین را دارند (Saxena *et al.*, 2019). در پژوهشی، پتانسیل گیاه پالایی درخت صنوبر در خاک آلوده صنعتی بررسی شد. نتایج نشان داد درخت صنوبر قادر به جذب و تجمع فلزات سرب، کادمیوم و نیکل در برگ می‌باشد که این امر در بهسازی منطقه و خروج فلزات از خاک کمک شایانی خواهد کرد. از این رو می‌توان پیشنهاد کرد که برای مناطق آلوده به فلزات سرب، کادمیوم و نیکل از کاشت درخت صنوبر جهت کاهش آلودگی می‌توان استفاده کرد (Haider *et al.*, 2017). امروزه با آگاهی بشر از مضرات آلودگی محیط‌زیست، استفاده از این گیاهان مقاوم و جاذب در پاک‌سازی خاک‌های آلوده به روش "گیاه‌پالایی" بسیار مورد توجه قرارگرفته است. گیاه‌پالایی با توجه به جنبه‌های زیباشناختی محیط، دوست‌دار محیط زیست بودن و نیز جنبه‌های اقتصادی، می‌تواند برای پالایش آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرد البته برخی کاستی‌ها نیز نظیر زمانبری و عدم پالایش آلودگی‌های عمقی خاک در مورد کارایی این روش مطرح می‌باشد (Motesharezadeh and Savaghebi, 2016; Karimi *et al.*, 2018). فلزات به‌عنوان آلاینده‌های محیطی تاثیرات بیوشیمیایی

* نویسنده مسئول: Kalatejari@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

زیادی بر رشد گیاهان دارند. پژوهشگران در بررسی سمیت سرب بر رشد گیاهان خار پنبه و گل گندم گزارش کردند کاربرد تیمارهای قارچ و باکتری‌های محرک رشد سبب کاهش سمیت سرب در گیاه شد. ضمنا وزن اندام هوایی و ریشه گیاه با کاربرد این تیمارهای ضدتنشی، نسبت به تیمار بدون تلقیح، افزایش یافت (Karimi *et al.*, 2017; Karimi *et al.*, 2018).

آبشویی نیتروژن از اراضی کشاورزی و همچنین استفاده از پساب‌های صنعتی و کشاورزی سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای و غنی شدن (Eutrophication)آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است (Khajavi-Shojaei *et al.*, 2019). بیماری متهموگلوبینمیا در نوزادان، آسیب دستگاه تنفسی و دیابت در کودکان، تشکیل نیتروزآمین‌های سرطان‌زا، سرطان خون و دستگاه گوارش در بزرگسالان و همچنین سقط‌جنین از جمله پیامدهای خطرناک افزایش غلظت نیترات در منابع آبی می‌باشند (Volkmer *et al.*, 2005). لذا جلوگیری از هدررفت این عنصر غذایی در محیط-زیست و استفاده بهینه از آن برای رشد گیاه ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، پژوهش‌ها نشان داده سرعت جذب ریشه در حضور نیترات، ۲ تا ۵ برابر افزایش می‌یابد و چنانچه ریشه در معرض بازدارنده‌های سنتز پروتئین قرار گیرد، سرعت جذب به سرعت به همان مقدار اولیه کاهش می‌یابد. همچنین کاربرد نیترات تحت شرایط تنش سبب تقویت تولید ماده خشک گیاهی می‌شود (Cuisinier *et al.*, 2011). در پژوهشی، پرورش و توانایی سه گونه مناسب آبزی (نی، بامبو و نخل مرداب) در محیط آزمایشگاهی به روش هیدروپونیک ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر NO_3، در حذف نیترات از آببررسی شد. نتایج حاصل حاکی از قابلیت بیشتر گیاه نی برای حذف نیترات از آب، نسبت به دو گیاه دیگر بود به‌گونه‌ای که در بالاترین غلظت، میانگین حذف نیترات در نی، بامبو و نخل مرداب به‌ترتیب ۹۵، ۸۵ و ۷۰ درصد تعیین شد. بین وزن خشک گیاهی و کارایی حذف گونه‌ها رابطه مستقیمی وجود داشت و بیشترین میزان جذب نیترات در ریشه و ریزوم گیاه مشاهده شد Shooshtariyan and Tehranifar, (2010).

در ایران، شوری یک مسئله فراگیر و محدودکننده تولید پایدار کشاورزی است، به‌طوری که بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و حدود ۸۵ درصد از اراضی آبی کشور، یعنی ۶/۸ میلیون هکتار از ۸ میلیون هکتار، به درجات مختلفی با مشکل شوری مواجه هستند (Momeni, 2011). شوری سبب کاهش سطح برگ، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، کاهش سنتز کلروفیل و به‌طور کلی کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود (Khadem Moqadam *et al.*, 2019). در تحقیق Ghorbani و همکاران (2016) تاثیر سطوح مختلف شوری و عناصر سنگین سرب و کادمیوم بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر سدیم و پتاسیم در اسفناج گزارش شد. سطوح شوری تاثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اسفناج نداشت، اما عناصر سنگین سبب تغییرات معنی‌داری در آن‌ها گردید.

در دهه گذشته، استفاده از درختان به‌عنوان یک پوشش گیاهی پاک‌کننده‌ی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و مقاوم به تنش‌های غیرزنده به دلایل مختلف از جمله عمق نفوذ ریشه و گستردگی آن، تولید زیست‌توده بالا و چندساله بودن آن‌ها، افزایش یافته است (Houda *et al.*, 2016). گیاه‌پالایی به‌عنوان یک روش کم‌هزینه، پایدار و دوست‌دار محیط‌زیست در پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، شناخته شده است (Yang *et al.*, 2020). این پژوهش با هدف بررسی گیاه‌پالایی نیترات و سرب توسط نهال کشمش ژاپنی (*Hovenia dulcis* L.) به‌عنوان گونه وارداتی جدید به کشور تحت شرایط تنش شوری کلریدسدیم، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. نیترات با حرف (N)، سرب به‌صورت (Pb)، و شوری با حرف (S) نمایش داده شده است. مخفف همه تیمارها در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس بررسی منابع و تحقیقات انجام شده (Gheshlaghi *et al.*, 2015)، سطوح محلول نیترات (N_1,N_2,N_3) در سه سطح غلظت صفر،۳۰، ۶۰ میلی گرم برلیتر، از منبع نیترات پتاسیم اعمال شد و معادل پتاسیم افزوده شده در تیمارها، به سایر گلدان‌ها نیز سولفات پتاسیم افزوده و یکسان‌سازی شد تا صرفا اثر نیترات، بروز پیدا کند. افزودن نیترات پتاسیم در طول دوره داشت، و به فاصله هر دو هفته یک‌بار همراه با آب ابیاری صورت گرفت تا تنش احتمالی به گیاه وارد نشود. سطوح تنش سرب بر اساس بررسی منابع و با توجه به اهداف گیاه‌پالایی در دامنه گسترده‌ای انتخاب شد (Alloway, 1990; Motesharezadeh and Savaghebi, 2012). این سطوح (Pb_1, Pb_2, Pb_3) در سه سطح غلظت صفر، ۳۰۰ و۶۰۰ میلی‌گرم سرب در لیتر (Shabani *et al.*, 2015) از منبع نیترات سرب در طول دوره داشت و با فاصله زمانی هر دو هفته یک‌بار به همراه آبیاری، در تمامی تیمارهای گلدانی اعمال شد (Motesharezadeh and Savaghebi, 2016). نیترات موجود در ترکیب نمک نیترات سرب نیز محاسبه و معادل آن از منبع اوره، به سایر تیمارها، یکسان سازی شد. سطوح شوری (S_1,S_2,S_3) بر اساس آستانه تحمل عمده

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان زراعی در خاک‌های تحت کشت از یک سو که حدود ۲ الی ۴ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته می‌شود (Momeni, 2011) و از سوی دیگر با توجه به اهداف گیاه‌پالایی (Kalhor *et al.*, 2016) در دامنه بالاتری از آن، طراحی شد. بر این اساس، تنش شوری، در سه سطح تیمارشاهد (بدون افزودن NaCl)، ۳، ۶ دسی زیمنس برمتر (Salimi *et al.*, 2011)، انتخاب گردید. باتوجه به شرایط ظاهری نهال‌ها مرحله اول اعمال تیمارهای آزمایشی که شامل تنش شوری با نمک کلرید سدیم بود ابتدا محلولی که شوری ۳ دسی زیمنس بر متر را ایجاد می‌کرد تهیه شد. سپس از این محلول مادر بسته به سطح شوری هر تیمار، به گلدانها اضافه شد تا شوری مورد نظر حاصل گردد. برای اطمینان از حصول نیل به شوری مورد نظر در هر تیمارف زهکش خروجی از نظر مقدار EC اندازه گیری شد.

جدول ۱- سطوح تیمارهای اعمال شده

تیمار	تنش شوری (دسی زیمنس برمتر)	نیترات (میلی گرم برلیتر)	سرب (میلی گرم در لیتر)
$S_0N_0Pb_0$	شاهد	صفر	صفر
$S_0N_0Pb_1$	شاهد	صفر	۳۰۰
$S_0N_0Pb_2$	شاهد	صفر	۶۰۰
$S_0N_1Pb_0$	شاهد	۳۰	صفر
$S_0N_1Pb_1$	شاهد	۳۰	۳۰۰
$S_0N_1Pb_2$	شاهد	۳۰	۶۰۰
$S_0N_2Pb_0$	شاهد	۶۰	صفر
$S_0N_2Pb_1$	شاهد	۶۰	۳۰۰
$S_0N_2Pb_2$	شاهد	۶۰	۶۰۰
$S_1N_0Pb_0$	۳	صفر	صفر
$S_1N_0Pb_1$	۳	صفر	۳۰۰
$S_1N_0Pb_2$	۳	صفر	۶۰۰
$S_1N_1Pb_0$	۳	۳۰	صفر
$S_1N_1Pb_1$	۳	۳۰	۳۰۰
$S_1N_1Pb_2$	۳	۳۰	۶۰۰
$S_1N_2Pb_0$	۳	۶۰	صفر
$S_1N_2Pb_1$	۳	۶۰	۳۰۰
$S_1N_2Pb_2$	۳	۶۰	۶۰۰
$S_2N_0Pb_0$	۶	صفر	صفر
$S_2N_0Pb_1$	۶	صفر	۳۰۰
$S_2N_0Pb_2$	۶	صفر	۶۰۰
$S_2N_1Pb_0$	۶	۳۰	صفر
$S_2N_1Pb_1$	۶	۳۰	۳۰۰
$S_2N_1Pb_2$	۶	۳۰	۶۰۰
$S_2N_2Pb_0$	۶	۶۰	صفر
$S_2N_2Pb_1$	۶	۶۰	۳۰۰
$S_2N_2Pb_2$	۶	۶۰	۶۰۰

نهال‌های یک ساله گیاه درخت کشمش ژاپنی (*Hovenia dulcis* L.) از نهالستان هیرکانیا واقع در استان مازندران، شهرستان نوشهر تهیه و به گلخانه تحقیقاتی گروه زراعت دانشگاه تهران منتقل گردید. برای آزمایش از بستر کشت خنثی حاوی ترکیبی از ۷۰ درصد کوکوپیت -که غنی شده نبود- و۳۰ درصد پرلیت استفاده شد. نهال‌ها در گلدان‌هایی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر تعبیه گردید و پس از استقرار کامل گیاهان، تیمارهای مورد نظر به‌کار رفت. پس از انتقال نهال از شمال کشور به کرج، برای سازش نهال‌ها، آنها به‌مدت یک ماه تحت تغذیه محلول‌های غذایی و شرایط مطلوب قرار گرفتند تا آماده اعمال تیمارها شوند.

این آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای در سال ۹۷-۹۶ در گلخانه‌ی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران با پوشش شیشه‌ای در عرض جغرافیایی" ۲۷ ' ۳۵°۴۸ و طول جغرافیایی"۴۷ ' ۵۹ °۵۰ واقع در کرج انجام شد. دما و رطوبت با استفاده از دماسنج و رطوبت‌سنج‌های موجود در گلخانه، در شرایط استاندارد و دمای آن در روز و شب ۲۵ درجه سانتی‌گراد با ۵ درجه تغییرات، تحت کنترل قرار گرفت. پس از گذشت ۴ ماه دوره داشت، برخی خصوصیات مهم مورفولوژیکی و بیوشیمیایی قبل از برداشت گیاه و پس از آن اندازه‌گیری شد. بر این اساس طول ساقه با خط‌کش مدرج، سطح برگ‌ها با دستگاه مدل Leaf

www.SID.ir

Archive of SID

Area Meter Cl-202، وزن تر و خشک با ترازوی دیجیتال با دقت دو رقم اعشار، کلروفیل به روش آرنون، عصاره‌گیری برای اندازه‌گیری میزان پروتئین به روش برادفورد، پراکسیداسیون لیپیدها (Velikova *et al.*, 2000)، پرولین به روش (Bates *et al.*,1973)، کربوهیدارات محلول (Blum, 1997)، مالون دی‌آلدئید با استفاده از محلول ۲۰ درصد TCA به روش والنتوویک (Valentovic *et al.*, 2006) و غلظت سرب پس از برداشت گیاه به روش خاکستر خشک اندازه‌گیری گردید (Emami, 1996). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار با استفاده از نرم افزار SPSS 18.0 انجام و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی صفات مورفو-فیزیولوژیکی (وزن تر اندام هوایی، وزن و طول ریشه، طول ساقه و سطح برگ)

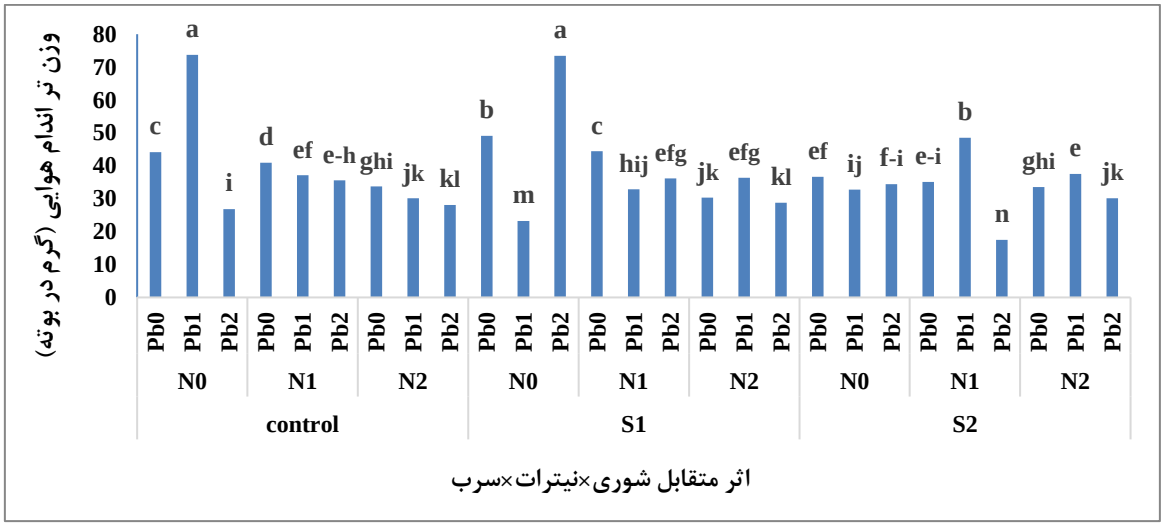
نتایج ارائه شده در جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر سه گانه تنش شوری، نیترات و سرب بر همه صفات مورفو-فیزیولوژیکی در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). کم‌ترین وزن اندام هوایی در تیمار S2N1Pb2 مشاهده شد (شکل ۱). از نظر سرب، تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌ترین طول ریشه را با ۳۰/۲۲ سانتی‌متر به خود اختصاص داد. اعمال ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب منجر به افزایش ۱۰/۲۹ درصدی طول ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲ و شکل ۳). تیمار S2N2Pb2 بیشترین طول ریشه (۴۴/۶۷ سانتی‌متر) را داشت و با تیمار S0N1Pb2 در یک کلاس قرار گرفتند و نسبت به سایر تیمارها برتری داشتند. همچنین تیمارهای‌های S1N0Pb0 وS2N1Pb1 از کم‌ترین طول ریشه برخوردار بودند (شکل ۳). بر این اساس، بالاترین سطح شوری و آلودگی سرب، سبب بیش‌ترین کاهش وزن تر اندام هوایی گیاه گردید (S2N1Pb2) در حالی‌که تیمار ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات به همراه این سطوح تنش (سرب ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر و شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر)، سبب افزایش وزن تر اندام هوایی گردید. این امر از یک سو، به‌خوبی تاثیر هم‌زمان تنش‌های غیرزنده شوری و سرب را بر کاهش وزن تر گیاه و از سوی دیگر، تاثیر مثبت تغذیه نیترات را تحت شرایط بروز تنش، نشان می‌دهد. در واقع، بررسی‌ها نشان داد که تحت تنش شوری، جذب فلزات آلاینده نظیر سرب افزایش می‌یابد (Motesharezadeh *et al.*, 2016). این امر به‌دلیل غلظت بالای یون کلر تحت شرایط تنش شوری و افزایش انحلال و تحرک یون‌های فلزات سنگین نظیر سرب و کادمیوم بواسطه ایجاد ترکیب محلول کلرید سرب، رخ می‌دهد (Khoshgoftar *et al.*, 2004). از سوی دیگر، نتایج آزمایش‌های متعددی نشان می‌دهد، شوری سبب کاهش جذب و انباشت عناصر غذایی می‌شود و بر توزیع عناصر در داخل گیاه اثر می‌گذارد. همچنین تحت تنش‌های غیرزنده نیاز غذایی گیاهان افزایش می‌یابد (Khoshgoftarmanesh, 2010). در واقع مصرف بیش‌تر کودهای حاوی عناصر غذایی به گیاه تحت تنش شوری، سبب بهبود کیفیت محصول و کاهش خسارات وارده بر گیاه می‌شود. کاهش وزن اندام هوایی و ریشه محصولات مختلفی از جمله، چمن (Matichenkov and Kosobrukhov., 2004)، رازیانه (Safarnejad and Hamidi, 2008)، سیاه دانه و سویا (Weisany *et al.*, 2013)، لیکلی یا *Gleditschia caspica* (Mosleh Arani *et al.*, 2018) و ماش (Khamdi *et al.*, 2017)، تحت تنش شوری توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است.

جدول ۲. نتایج آنالیز تجزیه واریانس صفات مرتبط با ریشه و اندام هوایی در کشمش ژاپنی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن تر اندام هوایی	طول ریشه	وزن ریشه	طول ساقه	سطح برگ	کلروفیل a	کلروفیل b
شوری	۲	۲۳۸/۶**	۸/۴۴۴ ^{ns}	۱۳۱۵/۵**	۴۳/۳۶۱*	۵۲۹۳۲۸/۳**	۴/۴۱**	۰/۶۲۸**
نیترات	۲	۹۴۹/۰۳**	۱۶/۴۴۴ ^{ns}	۳۲۵/۶**	۲۹۷/۶۹**	۱۰۱۸۵۸/۵**	۱/۴۳۵**	۰/۱۷۲*
شوری×نیترات	۴	۲۰۲/۳۳**	۴۸/۴۴۴**	۳۳/۹۱۹**	۷/۳۶۱ ^{ns}	۵۶۴۶۷/۸**	۱/۱۳۷ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}
سرب	۲	۱۶۹/۹۴**	۷۸/۷۷**	۱۱۵۶/۲۲**	۴۲۶/۸۶**	۲۷۰۸۱۷/۴**	۱/۷۷۲**	۰/۱۹*
شوری×سرب	۴	۶۸۱/۸۲**	۲۸۴/۲۷**	۹۰/۱۲**	۲۴۱/۰۳**	۱۸۵۵۴۸/۵**	۰/۰۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}
نیترات×سرب	۴	۱۰۷/۹۱**	۷/۲۷۸^{ns}	۵۳۴/۹**	۱۳۵/۶۱**	۱۱۶۵۹۱/۲**	۰/۰۷۲ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}
شوری×نیترات×سرب	۸	۷۰۰/۳۵**	۱۹۷/۲۷۸**	۲۳۷/۸۲**	۱۲۱/۵۳**	۱۷۵۷۱۸/۴**	۰/۰۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}
خطای آزمایشی	۵۴	۲/۹۱۴	۶/۳۳۳	۷/۹۹۶	۱۲/۳۳۳	۸۹/۵۶۱	۰/۰۹۳	۰/۰۵۶
ضریب تغییرات (٪)		۴/۵۶	۸/۹۱	۵/۳۹	۳/۲۶	۱/۰۳	۲۴/۸۴	۲۶/۸۵

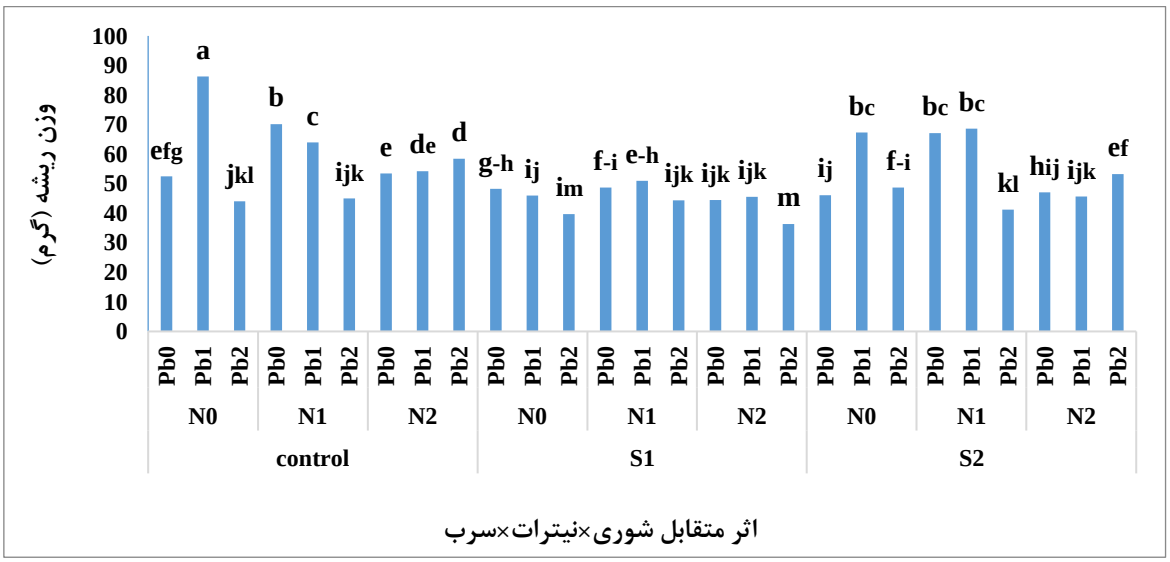
www.SID.ir

Archive of SID



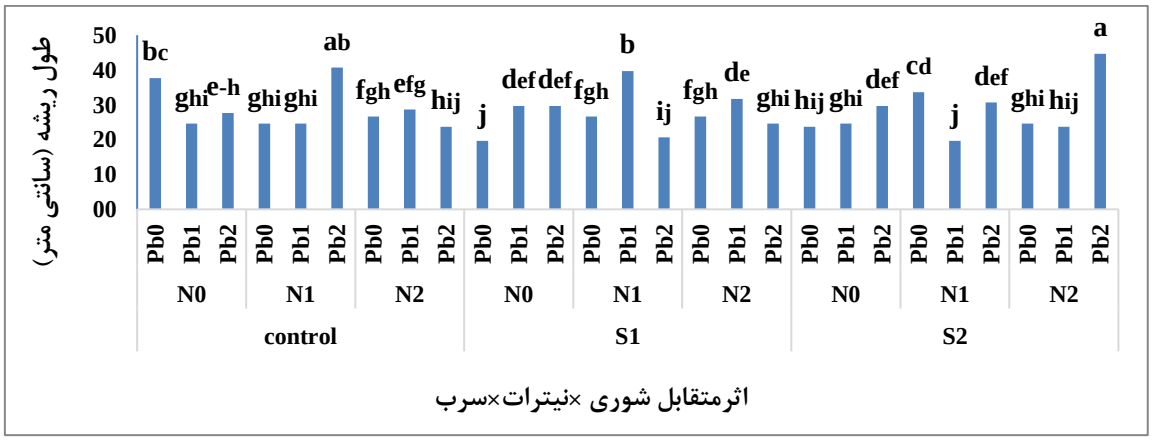
شکل ۱- میانگین مقایسه اثرسه جانبه شوری×نیترات×سرب بر وزن تر اندام هوایی (گرم در نهال)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



شکل ۲- میانگین مقایسه اثرسه جانبه شوری×نیترات×سرب بر وزن تر ریشه (گرم در نهال)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) . حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



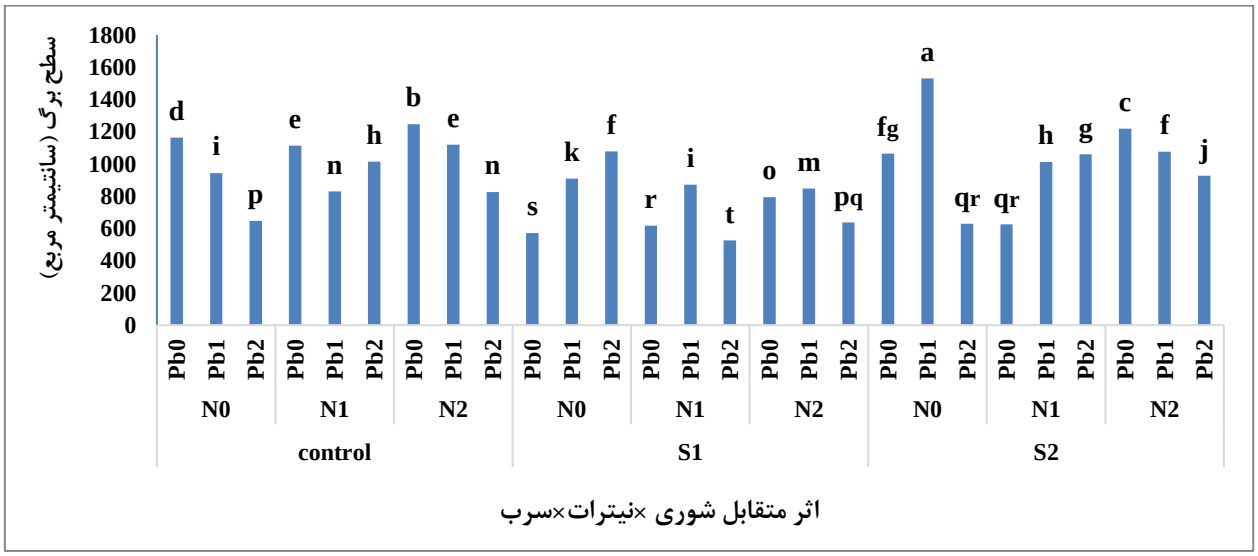
شکل ۳- میانگین مقایسه اثرسه جانبه شوری×نیترات×سرب بر طول ریشه (سانتی‌متر)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) . حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

www.SID.ir

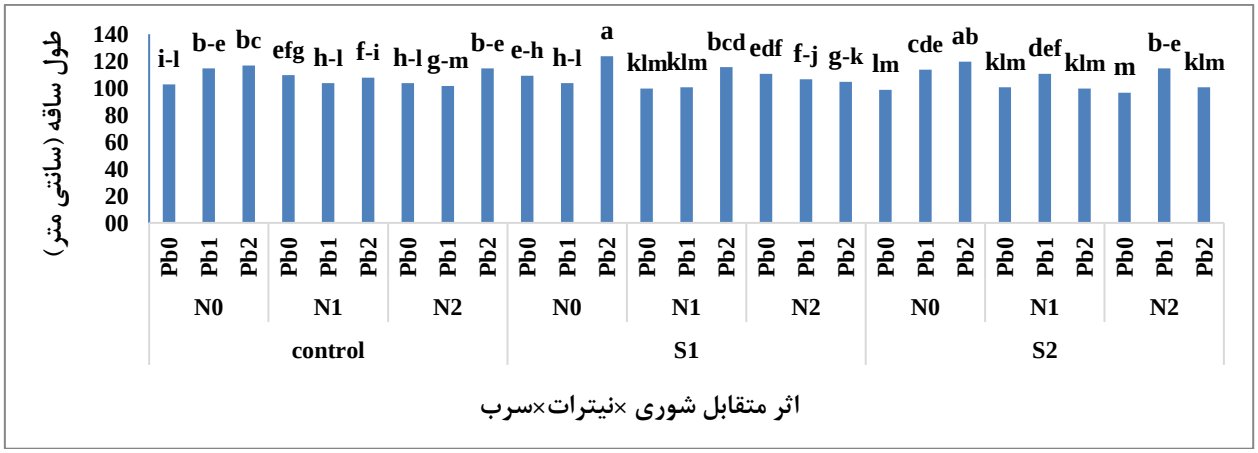
Archive of SID

در خصوص شاخص سطح برگ، شوری باعث کاهش سطح برگ در تیمارهای تنش شوری و سرب، نسبت به شاهد گردید. ضمن آنکه تیمار ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات، سطح برگ را نسبت به شاهد افزایش داد. از نظر سرب تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، کم‌ترین سطح برگ را به خود اختصاص داد و اعمال ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب منجر به کاهش ۱۲/۷۰ درصدی سطح برگ نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۴). با افزایش شوری و نیترات، طول ساقه کاهش و با افزایش سرب، طول ساقه افزایش داشت (شکل۵). نتایج حاصله نشان داد که اعمال تنش شوری و آلودگی فلز، اولا با تاثیر بر سازوکارهای توسعه و رشد سلولی گیاه، از گسترش سطح فتوسنتزکننده گیاه می‌کاهد (Kafi *et al.*, 2015). شوری ظاهرا روی دو فرایند روابط آبی و روابط یونی در گیاه اثر دارد. گیاهان زمانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند ابتدا تنش آب را تجربه می‌کنند که به کاهش توسعه برگ‌ها می‌انجامند. در صورتی که گیاه مدت طولانی در معرض شوری قرار گیرد، تنش یونی را نیز تجربه می‌کند که باعث پیری زودرس برگ‌های بالغ می‌شود. بنابراین، شوری کاهش در سطح فتوسنتزی ایجاد می‌کند (Kafi *et al.*, 2015). دوم اینکه پاسخ گیاه متناسب با سطوح تنش، می‌تواند کمی متفاوت باشد و در واقع پاسخ ارقام و گونه‌های گیاهی بسته به توانایی سازش با شرایط تنش و تحمل آن، متفاوت می‌باشد. در همین رابطه کاهش سطح برگ با اعمال تنش فلزات سنگین در ماریتیغال توسط Poortabrizi و همکاران (2018) نیز گزارش شده است. Hoseinpour و همکاران (2017) نیز گزارش نمودند که با افزایش غلظت فلزات سنگین ارتفاع بوته گیاه مرتعی *Stipa capensis* کاهش یافت.



شکل ۴- میانگین مقایسه اثرسه جانبه شوری×نیترات×سرب بر سطح برگ (سانتی‌مترمربع)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) . حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



شکل ۵- میانگین مقایسه اثرسه جانبه شوری×نیترات×سرب بر طول ساقه (سانتی‌متر)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) . حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

www.SID.ir

Archive of SID

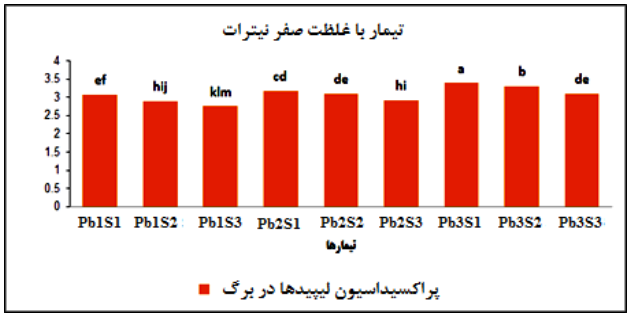
صفات بیوشیمیایی (کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدها، پرولین، کربوهیدارات محلول و مالون دی آلدهید)

نتایج جدول تجزیه واریانس کروفیل نشان داد (جدول ۲) که تنها اثرات اصلی تیمارها، یعنی اثر مستقل شوری، نیترات و سرب اختلاف معنی‌داری نشان دادند. تنش شوری، باعث افزایش تجمع NaCl در کلروپلاست‌های گیاهان عالی می‌شود که روی سرعت رشد تاثیر گذاشته و اغلب سبب کاهش فعالیت انتقال الکترون فتوسنتزی می‌شود (Kafi *et al.*, 2015). تنش شوری فعالیت اکسیژنازی رابیسکو در فتوسیستم دو فتوسنتز را افزایش و فعالیت کربوکسیلازی را کم می‌کند و به گیاه آسیب وارد می‌کند. سرب نیز بیش‌ترین تاثیر را بر تخریب ترکیبات موثر بر فتوسنتز گذاشته و سبب القای کلروز و نکروز برگ، تغییر در اندازه و شکل کلروپلاست و اختلال در عمل روزنه‌ها و تنفس می‌گردد Tafvizi (and Motesharezadeh, 2014). در همین رابطه Khalilpour and Jafarnia (2017) گزارش نمودند که مقدار کلروفیل a، b با افزایش شوری نسبت به شاهد کاهش یافت، این کاهش توسط Yousefnia and Ghasemiyan (2016) روی گیاه جو و توسط Farhangiyan-Kashani (2009) روی یونجه و اسپرس نیز گزارش شده است. همچنین تیمارهای ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات منجر به کاهش ۱۵/۷۵ و ۳۱/۶۴ درصدی کلروفیل a گردید، تیمارهای ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم سرب باعث کاهش ۲۵ و ۳۲/۲۳ درصدی محتوی کلروفیل a شد. Abdollahzadeh (2013) نیز به کاهش کلروفیل a در پاسخ به تیمارهای فلزات سنگین در گیاه سالیکورنیا اشاره نمودند.

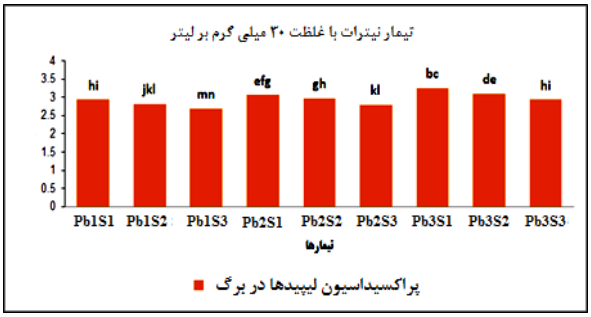
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی مورد مطالعه تحت تاثیر فاکتورهای آزمایشی

منابع تغییر		غلظت سرب	پراکسیداسیون لیپیدها در برگ	پرولین	کربوهیدارت محلول	مالون دی الدهید
شوری	۲	۱۳۲۶/۰۱۲**	۰/۷**	۰/۰۴**	۲۵/۷۱**	۱۳۶۸۰**
نیترات	۲	۱۳۴/۴۵**	۰/۶۲**	۰/۰۴**	۲/۶۷**	۳۲۹۰**
شوری*نیترات	۲	۱۴۸/۳۸**	۰/۴۸**	۰/۱۹**	۱۱/۴۱**	۱۱۰۷۲**
سرب	۴	۲۱۶۹۶/۵**	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۶ns	۱/۱۶**	۱۳۴ns
شوری*سرب	۴	۳۶۴/۰۱۲**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۰۶ns	۰/۰۸ns	۲۰۴ns
نیترات*سرب	۴	۴۹/۲۹**	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۳ns	۱/۰۱*	۱۸۰ns
شوری*نیترات*سرب	۸	۳۷/۴۶۶**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۳ns	۰/۸۱*	۲۰۶ns
خطای آزمایشی	۵۲	۳/۸۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۲۹	۱۶۴
ضریب تغییرات		۵/۴۵	۱/۷۵	۶/۴۲	۱۲/۸۱	۱۴/۲۳

حداکثر پراکسیداسیون لیپیدها در برگ با نیترات شاهد (N_1)، بدون اعمال شوری (S_1) و کاربرد ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر سرب (Pb_3)، در تیمار $N_1Pb_3S_1$ گزارش شد (شکل ۶). در واقع تنش سرب بیش‌ترین تاثیر بیوشیمیایی خود را بر این صفت مورد مطالعه نشان داده است. این امر می‌تواند ناشی از تاثیر افزایشی در تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه تحت تنش فلزات سنگین باشد (Kafi *et al.*, 2015). ضمن آنکه تنش شوری به همراه سرب در سایر نمودارها، تاثیر خود را بر افزایش روند پراکسیداسیون لیپیدها به‌خوبی نشان می‌دهد (شکل‌های ۸ و ۹). نتایج این تحقیق با گزارش Husejnovic *et al.*, (2018) نیز مطابقت دارد.



شکل ۶- مقایسه مقادیر میانگین پراکسیداسیون لیپیدها در برگ در سطح نیترات صفر (N_1)

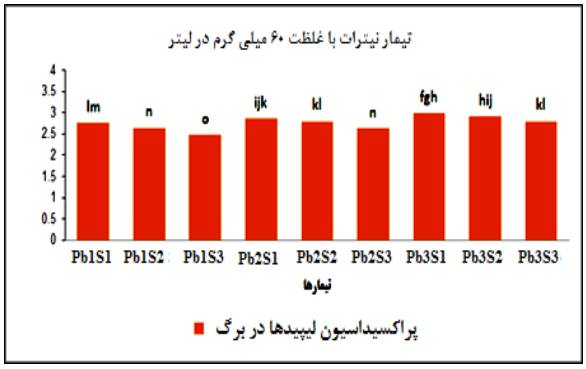


شکل ۷- مقایسه مقادیر میانگین پراکسیداسیون لیپیدها در برگ در سطح نیترات ۳۰ (N_2)

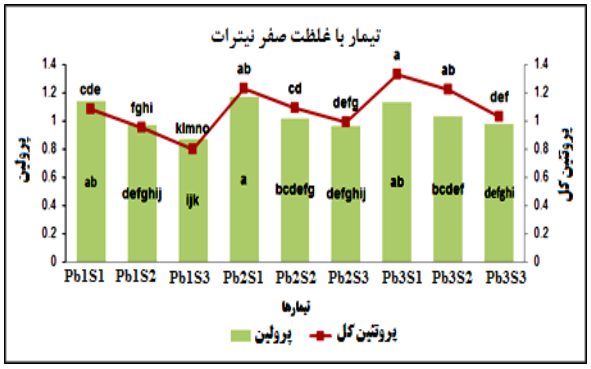
شوری (S1: شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

www.SID.ir

Archive of SID



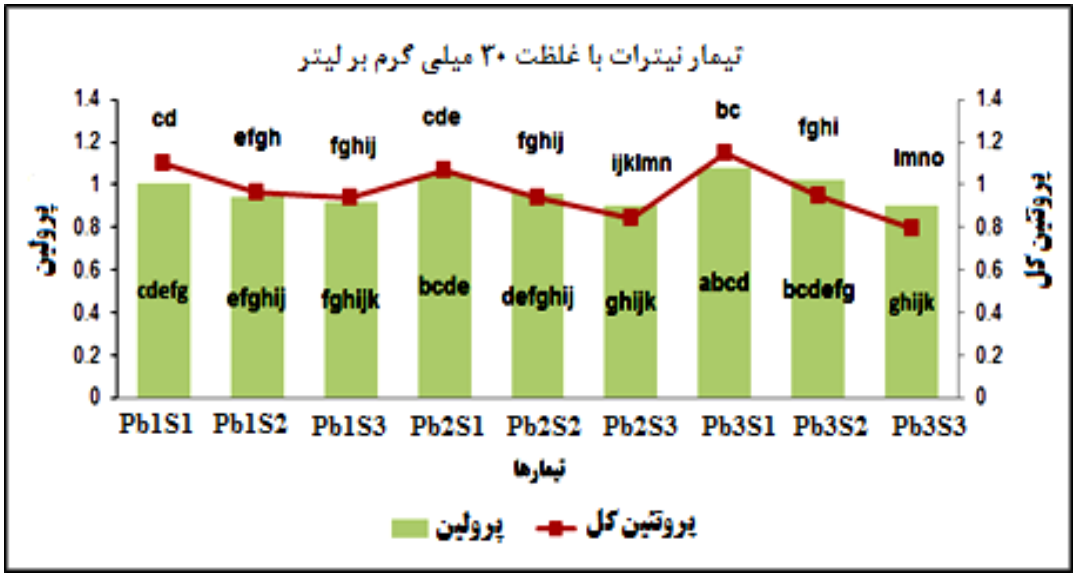
شکل ۸- مقایسه مقادیر میانگین پراکسیداسیون لیپیدها در برگ در سطح نیترات ۶۰ (N_3)



شکل ۹- مقادیر میانگین پرولین و پروتئین کل در سطح نیترات صفر

شوری (S1: شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

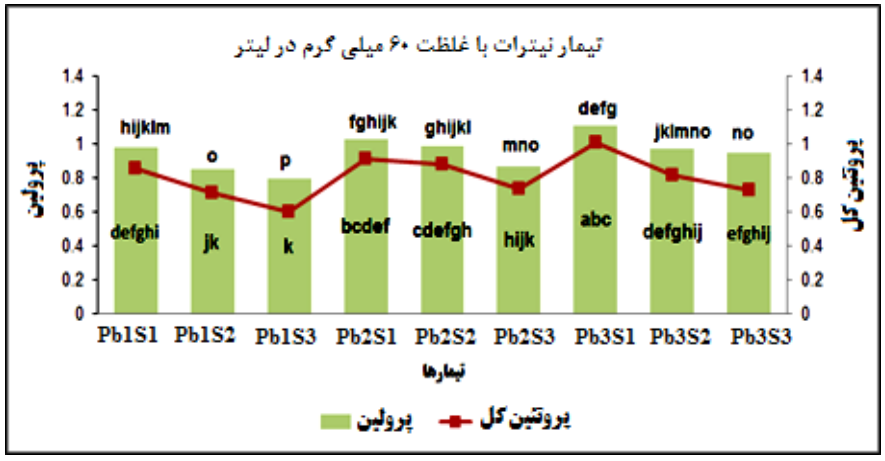
در مورد صفت پرولین، صرفا اثرات متقابل دو گانه شوری*نیترات معنی‌دار شد (جدول ۳). ترکیب سطوح نیترات، مقادیر سرب و تنش‌های شوری با یکدیگر، بالاترین پرولین را به میزان ۱/۱۷ در تیمار $N_1Pb_2S_1$ حاصل نمود (شکل‌های ۱۱-۹). در این تیمار تنش‌های نیترات و شوری حداقل مقدار را دارد و سرب به میزان ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مصرف شده است. تیمارهای $N_1Pb_1S_1$ و $N_1Pb_3S_1$ نیز به‌ترتیب با پرولین ۱/۱۴ و ۱/۱۳ در یک سطح آماری قرار گرفته و با حداکثر پرولین در سطوح نزدیک به هم قرار گرفتند. این مسئله نشان می‌دهد که پرولین نسبت به سطوح سرب به‌کار رفته در این پژوهش، حساسیت زیادی ندارد. نتایج محققان نشان داده پرولین ضمن آنکه مکانیسمی مقاومتی در برابر تنش شوری به‌شمار می‌رود، میزان سنتز آن در ارقام مختلف گونه‌های گیاهی نیز می‌تواند کاملا متفاوت باشد(Siosemardeh *et al.*, 2003). این پژوهشگران بیان داشتند که تجمع پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند به بسته شدن روزنه‌ها و مقاومت روزنه‌ای در ارقام مقاوم به خشکی بیانجامد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت پرولین نسبت به تنش‌های محیطی از جمله تنش نیترات و شوری و مقادیر سرب از جمله صفات مقاوم به‌شمار می‌رود. Türkdoğan *et al.*, (2003) بیان داشتند که سرب در فعالیت‌های فتوسنتزی و تنفسی میتوکندریایی و یا توسط مداخله کردن در واکنش‌های انتقال الکترون می‌تواند بر روی فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر منفی بگذارد.



شکل ۱۰- مقادیر میانگین پرولین و پروتئین کل در سطح نیترات ۳۰

www.SID.ir

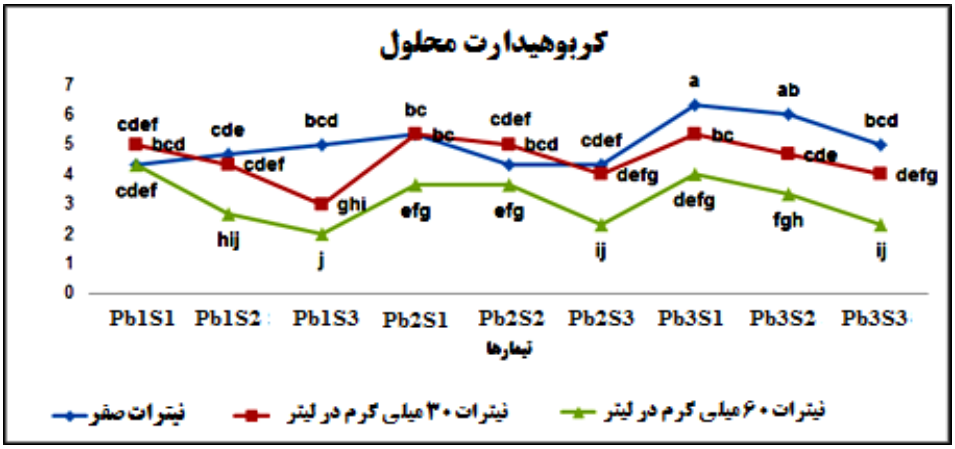
Archive of SID



شکل ۱۱- مقادیر میانگین پرولین و پروتئین کل در سطح نیترات ۶۰

شوری (S1: شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

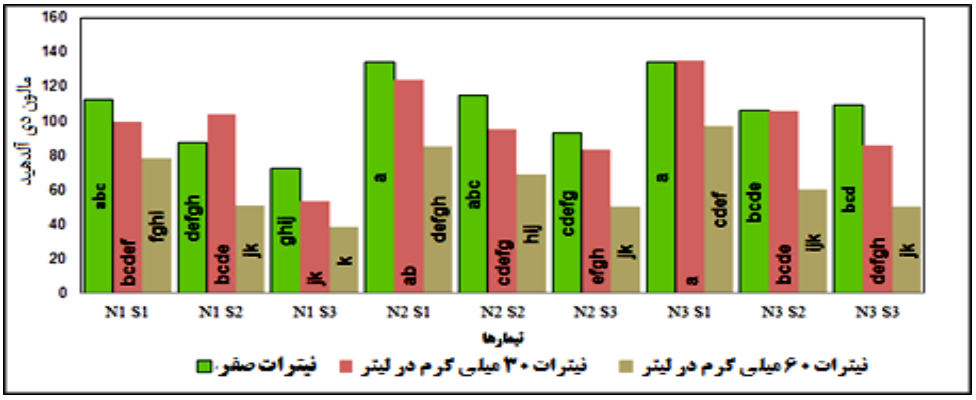
در مورد تغییرات کربوهیدرات محلول، در سطوح نیترات با غلظت صفر (N_1)، با افزایش مقدار سرب، مقدار این صفت افزایش یافت (شکل ۱۲). این امر نشان می‌دهد که اثر تنش شوری به‌وسیله کاربرد نیترات در مقادیر بیش‌تر، به مقدار کافی از بین رفته است و با افزایش مقدار سرب ارزش این صفت از نظر آماری افزایش یافته است. بیش‌ترین کربوهیدرات کل در همین سطح نیترات و در تیمار $N_1Pb_3S_1$ با مقدار ۶/۳۳ به‌دست آمده است که در این تیمار مقدار سرب و تنش شوری حداکثر مقدار خود را دارد. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در تیمار $N_3Pb_1S_3$ که مقدار سرب حداقل و تنش‌های اعمال شده حداکثر می‌باشد، حاصل شد. اما در دو سطح بعدی نیترات، با افزایش تنش شوری، کربوهیدرات محلول کاهش یافته است؛ لذا در کل می‌توان گفت کربوهیدرات محلول همانطور که گفته شد نسبت به کمبود نیترات حساس‌تر بوده و در صورت اعمال نیترات با مقدار کافی می‌توان اثرات کاهنده تنش شوری را از بین برد. Weisany و همکاران (2013) بیان داشت که شوری باعث کاهش وزن تر و خشک اندام های هوایی، عملکرد، پروتئین‌های محلول ریشه و برگ و محتوای کلروفیل در هر سه مرحله رشد (قبل از گلدهی، بعد از گلدهی و پرشدن دانه) شد، درحالی که کاربرد روی، این پارامترها را افزایش داد. تحت شرایط تنش شوری، غلظت پتاسیم و فسفر ساقه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کردند، درحالی که غلظت سدیم برگ افزایش پیدا کرد. همچنین نتایج با تحقیقاتی چون Yousefinia (2016) and Ghasemiyan و Khalilpour and Jafarnia (2017) مطابقت دارد. در مورد صفت مالون دی آلدهید نیز روند تغییرات تحت تنش فاکتورهای به‌کار رفته مشابه بود (شکل ۱۳) و افزایش مالون دی آلدهید متأثر از میزان نیترات بود. Amiriyan-mojarad و همکاران (2018) بیان کردند که با افزایش شوری میزان پرولین و مالون دی‌آلدئید در تمام توده‌ها افزایش و مقدار فنل کل کاهش یافت.



شکل ۱۲- مقادیر میانگین کربوهیدارت محلول در سطوح نیترات

www.SID.ir

Archive of SID

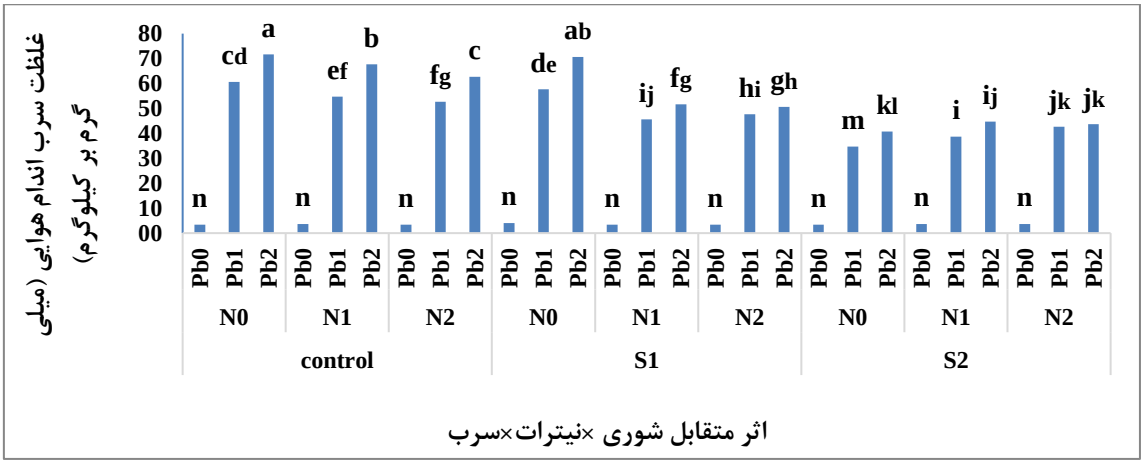


شکل ۱۳- مقادیر میانگین مالون دی‌آلدهید در سطوح نیترات

شوری (S1: شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

غلظت سرب در گیاه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات سه‌گانه شوری، نیترات، سرب بر صفت غلظت سرب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در رابطه با اثرات متقابل مشخص شد که ترکیب (عدم شوری×عدم مصرف نیترات× ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب) با میانگین ۷۱/۶۷ درصد بالاترین محتوی سرب را به خود اختصاص داد و با تیمار (۳ دسی زیمنس بر متر ×عدم مصرف نیترات× ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب) در کلاس a قرار گرفتند. همچنین با افزایش غلظت سرب در محیط، جذب آن توسط گیاه نیز افزایش یافت (شکل ۱۴). در همین رابطه Kabata-Pendias and Pendias (2000) گزارش نمودند که در درختان رشد یافته در مناطق آلوده به سرب، غلظت سرب ۲۰ برابر بیش‌تر از نمونه-های شاهد بود. محققان در بررسی سطوح مختلف سرب بر پاسخ‌های گیاهی ذرت گزارش دادند با افزایش سطوح سرب در خاک، غلظت این عنصر سمی در اندام‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیش‌ترین غلظت سرب در شاخساره (۵۴/۳۳ میلی‌گرم برکیلوگرم) و ریشه (۳۲۵/۱۱ میلی‌گرم برکیلوگرم) در تیمار سرب ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (Tafvizi and Motesharezadeh, 2014). غلظت ۸۷ میلی گرم بر گرم در گیاه زینتی خرزهره (Ashiri and Safari, 2012) نیز گزارش شده است. نکته مهم دیگر تاثیر شوری بر کاهش غلظت سرب در تیمارهاست. به‌نظر می‌رسد تنش شوری زیاد با کاهش اندام جذب کننده گیاه، سبب تاثیر منفی و محدودکننده بر جذب و انباشت سرب در اندام گیاهی گردیده به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تجمع سرب در سطوح شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید که موید اثر سینرژیستی (برهم‌کنش مثبت شوری و سرب) در سطوح متوسط غلظتی است (Motesharezadeh *et al.*, 2016; Khoshgoftar *et al.*, 2004). مطالعات نشان داده که با افزایش شوری، شکل قابل جذب فلزات کادمیوم، سرب و نیکل در خاک افزایش یافته است (Khoshgoftat *et al.*, 2004). به‌خاطر تحرک زیاد فلز سنگین کادمیوم در گیاه، بیش‌ترین جذب این فلز در برگ گیاه مشاهده شده در حالی که سرب به دلیل تحرک کم، جذب آن در ساقه و برگ محدود بود ولی در ریشه با افزایش شوری مقدار جذب، افزایش نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- میانگین مقایسه اثر سه جانبه شوری×نیترات×سرب بر غلظت سرب (٪)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زیمنس برمتر)، نیترات (N_0:صفر، N_1: ۳۰ و N_2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb_0: صفر، Pb_1: ۳۰۰ و Pb_2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) . حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری کلی

در پژوهش حاضر که اثر هم‌زمان سه تنش شوری، آلودگی سرب و نیترات در نهال‌های کشمش ژاپنی مورد بررسی قرار گرفت، برخی سازوکارهای تحمل و سازش این گونه جدید وارداتی به کشور در حضور این آلاینده‌ها آشکار شد. بر این اساس، از بین صفات مورفو-فیزیولوژیکی، وزن تر اندام هوایی و ریشه بهتر از سایر صفات، روند تغییرات تیمارها را نشان داد و بیش‌ترین مقدار این صفات در تیمار بدون تنش شوری، حاوی نیترات و سطح ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر سرب مشاهده شد. از سوی دیگر در بین صفات بیوشیمیایی، بیش‌ترین تجمع سرب اندام هوایی در سطح بیشینه کاربرد سرب (۶۰۰ میلی گرم بر لیتر)، بدون نیترات و تنش متوسط شوری (۳ دسی‌زیمنس برمتر) مشاهده شد. علاوه بر این، تولید پراکسیداسیون لیپیدها و سنتز پرولین در سطح بیشینه سرب و کاهش تولید مالون‌دی‌آلدهید در حضور نیترات نشان دهنده فعالیت مکانیسم‌های دفاعی گیاه تحت این شرایط است. در واقع، تامین نیترات کافی برای گیاه تحت شرایط تنش شوری و آلودگی سرب، می‌تواند با کمک به برخی سازوکارهای گیاه، مقاومت و تحمل گیاه را افزایش دهد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به‌نظر می‌رسد این گونه درختی بواسطه توان تولید زیست‌توده بالا تحت شرایط تنش می‌تواند پتانسیل مناسبی برای استفاده تحت شرایط تنش‌های غیرزنده داشته باشد. پژوهش‌های بیشتر، در شرایط عرصه، توصیه می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Alloway, B.J. (1990) Heavy metals in soils. John Wiley & Sons, Inc . New York. USA.

Ashiri, S. and Safari, J. (2012) Nano-Au and Ag in plant beds and their application, *Iranian Nanotechnology bulletin*, 1(186): 1-4.

Bates, I.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D. (1973) Rapid determination of free proline for water stressstudies.*Journal of Plant and Soil*, 39: 205-207.

Blum, A. (1997) Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. In Wheat: Prospects for Global Improvement, Springer Netherlands, 135-141.

Cuisinier, O., Le Borgne, T., Deneele, D. and Masrouri, F. (2011) Quantification of the effects of nitrates, phosphates and chlorides on soil stabilization with lime and cement. *Engineering Geology*, *117*(3-4), pp.229-235.

Emami, A. (1996) Plant analysis methods, Bulliten No. 982. Taat Publications, Tehran, Iran.

Farhangiyan-Kashani S. (2009). The study of the effect of salinity stress on chlorophyll content in species of Medicago and onobrichis, *Plant and Ecosystem*, 5(18): 77-89.

Gheshlaghi, Z., Khorasani, R., Haghnia, Gh., & Kafi, M. (2015). Effect of nitrate and harvest time on yield and concentration of iron, zinc and copper in lettuce. *Production and Processing of Crops and Horticulture*, 5 (16), 315-330 (In Persian)

Haider G, Steffens D, Moser G, Müller C, Kammann CI. (2017) Biochar reduced nitrate leaching and improved soil moisture content without yield improvements in a four-year field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, pp.80-94.

Houda, Z., Bejaoui, Z., Albouchi, A., Gupta, D.K. and Corpas, F.J. (2016) Comparative study of plant growth of two poplar tree species irrigated with treated wastewater, with particular reference to accumulation of heavy metals (Cd, Pb, As, and Ni). *Environmental monitoring and assessment*, *188*(2), p.99.

Husejnovic, M.S., Bergant, M., Jankovic, S., Zizek, S., Smajlovic, A., Softic, A., Music, O. and Antonijevic, B., (2018) Assessment of Pb, Cd and Hg soil contamination and its potential to cause cytotoxic and genotoxic effects in human cell lines (CaCo-2 and HaCaT). Environmental geochemistry and health, pp.1-16.

Kabata-Pendias A, Pendias H. (2000) Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. (2015) Physiology of environmental stresses in plants, Jehat University of Ferdousi Press, 455 pp, (In Persian).

Kalhor, H., Ganji, H. and Ayati, B. (2016) Simultaneous Removal of Salinity and Organic Loading Rate using Phytoremediation, *Journal of Environmental Studies*, 42(3): 531-550. doi: 10.22059/jes.2016.60065

Karimi, A., Khodaverdiloo, H. and Rasouli Sadaghiani, M.H. (2017) Characterisation of growth and biochemical response of *Onopordum acanthium* L. under lead stress as affected by microbial inoculation, *Chemistry and Ecology*, 33:10, 963-976, DOI: 10.1080/02757540.2017.1391798

Karimi, A., Khodaverdiloo, H. and Rasouli Sadaghiani, M.H. (2018) Microbial-Enhanced phytoremediation of lead contaminated calcareous soil by *Centaurea cyanus* L., Clean Soil Air Water, 46: 1-9: https://doi.org/10.1002/clen.201700665

Khadem Moqadam, N, Motesharezadeh, B. and Alikhani, H.A. (2019) The effect of zinc and potassium treatments on the antioxidant activities and physiological responses of Canola in a saline soil, *Soil and Water Research*, 50(60): 1409-1420, DOI: 2019.261768.667964ijswr./10.22059

Khajavi-Shojaei, S., Moezzi, A., Norouzi Masir, M., Taghavi zahedkolaei, M. (2019) Study of Ammonium and Nitrate adsorption kinetics and isotherm by common reed (*Phragmites australis*) biochar from aqueous solution, *Iranian Journal of*

www.SID.ir

Archive of SID

Soil and Water Research, 50(8), pp. 2009-2021. https://ijswr.ut.ac.ir/article_71004.html

Khalilpour M. and Jafarinia. A. (2017) Investigation the effects of salinity and nitric oxide on the changes of chlorophyll a fluorescence in Oat (*Avena sativa* L.) plant probed by JIP-Test, *Iranian Journal of Plant Biology*, 31: 87-98.

Khamdi F, Bakhshandeh AM and Khamdi N. (2017) Effect of salt stress on proline content and the amount of ions, the initial growth of mung bean varieties, *Quarterly Journal of Plant Production Science*, 4(1): 1-4.

Khoshgoftarmanesh, A.H. (2010) Advanced concepts in plant nutrition, Isfahan University of Technology Press, No. 74, 383 p. pp: 9-12. (In Persian).

Khoshgoftar, A.H., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M., van der Zee, S.E.A.T.M. and Parker, D.R. (2004) Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. Soil Science Society of America Journal, 68: 1885-1889. doi:10.2136/sssaj2004.1885.

Matichenkov V. and Kosobrukhov, A. (2004) Si effect on the plant resistance to salt toxicity. 13th International Soil Conservation Organization Conference- Brisbane, Australia.

Momeni, A. (2011) Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran, Iranian Journal of Soil Research, 24(3): 203-215.

Motesharezadeh, B., Savaghebi, G. (2012) Interaction between Cadmium and Lead and the effects of these on the concentration of Zinc and Manganese in sunflower, *International Journal of Environmental Research*, 6(3): 793-800. Doi: 10.22059/ijer.2012.550

Motesharezadeh, B. and Savaghebi, G.R. (2016) Phytoremediation or green remediation, University of Tehran Press, 284 pp.

Motesharezadeh, B., Navabzadeh, M., Liyaghat, A. (2016) Modeling Phytoremediation of Cadmium Contaminated Soil with Sunflower (*Helianthus annus*) Under Salinity Stress. *International Journal of Environmental Research*, 10(1): 109-118. doi: 10.22059/ijer.2016.56893

Mosleh Arani A, Rafiei A, Tabandeh A, Azimzadeh HR. (2018) Morphological and physiological responses of root and leave in *Gleditschia caspica* to salinity stress, *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(4): 1-12.

Najafi, N., and Sarhangzadeh E. (2012) Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center* 3(2): 1-15 URL: http://ejgcst.iut.ac.ir/article-1-346-en.html

Poortabrizi S., pourseyedi S., Abdoshahi R., Nadernejad N. (2018) Effect of cadmium stress on morphological and physiological traits of milk thistle (Silybum marianum), *Journal of Plant Process and Function*, 7 (26) :185-198, URL: http://jispp.iut.ac.ir/article-1-661-fa.html

Purohit, S.S. and A.K. Agrrawal. (2006) Environmental Pollution. Agrobios Pub. India.

Safarnejad A, Hamidi H. (2008) Study of morphological characters of *Foeniculum vulgare* under salt stress, *Iranian Journal of Rangelands and Forests plants Breeding and Genetic Research*, 16(1): 125-140.

Salimi M, Amin M, Ebrahimi A, Ghazifard A, Najafi P, Amini H. (2011) Influence of Salinity on Phytoremediation of Cadmium in Contaminated Soils. *Journal of Health System Research*, 7 (6), 1130-1137 (In Persian with abstract in English)

Saxena, G., Purchase, D., Mulla, S.I., Saratale, G.D., and Bharagava, R.N. (2019) Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Sites: Eco-environmental Concerns, Field Studies, Sustainability Issues, and Future Prospects. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, DOI 10.1007/398_2019_24

Shabani E, Sajjadinia A, Tabatabaee S. (2015) Investigating the amount of lead tolerance in petroleum using ecophysiological properties. *Journal of Science and technology of greenhouse planting*. 6(23), 89-94 (In Persian with abstract in English)

Shooshtariyan, S. and Tehranifar, A. (2010) A review on phytoremediation for improvement of wastewater use, 2 nd National Congress on Water re-use and Wastewater, 10-21 (In Persian)

Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Ebrahimzadeh, H. (2003) Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars, *Iranian Journal of Agricultural Science*, 34(4): 93-106,

Tafvizi, M. and Motesharezadeh, B. (2014) Effects of Lead on Iron, Manganese, and Zinc Concentrations in Different Varieties of Maize (Zea mays), *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(14): 1853-1865, doi.org/10.1080/00103624.2014.912287

Türkdoğan MK, Kilicel F, Kara K, Tuncer I, Uygan I. (2003) Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. Environ Toxicol Pharmacol. 2003 Apr;13(3):175-9. doi: 10.1016/S1382-6689(02)00156-4.

Ullah, A., Heng, S., Munis, M.F.H., Fahad, S. and Yang, X. (2015) Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: a review. *Environmental and Experimental Botany, 117*, pp.28-40.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. and Gasparikora, O. (2006) Effect of osmotic stress oncompatible solutes content, memberane stability and water relation in two maize.*Plant SoilEnvironment*, 52 (4): 186-191.

Velikova,V., Yordanov, I., Edreva, A. (2000) Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Plant Science, 151(1): 59-66.

Volkmer, B.G., Ernst, B., Simon, J., Kuefer, R., Bartsch Jr., G., Bach, D. and Gschwend, J.E. (2005) Influence of nitrate levels in drinking water on.

www.SID.ir

Archive of SID

urological malignancies: A community- ased cohort study. *British Journal of Urology International*, 95(7): 972–976. https://ijswr.ut.ac.ir/article_71004.html

Yang, W., Wang, Y., Liu, D., Hussain, B., Ding, Z., Zhao, F. and Yang, X. (2020). Interactions between cadmium and zinc in uptake, accumulation and bioavailability for Salix integra with respect to phytoremediation, *International Journal of Phytoremediation*, 22(6): 628-637, doi.org/10.1080/15226514.2019.1701981.

Weisany W, Sohrabi Y, Ahmadi H Abasi H. (2013) The effect of salinity stress and the application of zinc on the chlorophyll content, soluble proteins, growth, yield, and the mineral nutrients of soybean (*Glycine Max* L.), *Plant and Ecosystem*, 9(34): 75-96.

Yousefinia M, Ghasemiyan AR. (2016) Salinity stress effect assessment on photosynthesis and chlorophyll florescence a in *Hordeum Vulgaris*, *Journal of Developmental Biology*, 8(1): 35-44.

www.SID.ir