

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

SEYEDEH MAHSA HOSSEINI¹, SEPIDEH KALATEJARI^{*1}, MOHSEN KAFI² & BABAK MOTESHAREZADEH³

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

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

تنش سرب، شوری و نیترات

سیده مهسا حسینی^۱، سیده 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 پاسخ های 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 گلخانه ای 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 نشان دهنده فعالیت مکانیسم های دفاعی گیاه تحت این شرایط است. علاوه بر این سنتز پرولین به عنوان اسمولیت گیاهی مقابله کننده با شرایط تنش، تحت کاربرد بیشینه سرب (۶۰۰ mg kg⁻¹) افزایش معنی داری نشان داد؛ اما کاربرد نیترات، سبب کاهش تولید مالون دی آلدید در گیاه شد.

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

مقدمه

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 می باشد که این امر در بهسازی منطقه و خروج فلزات از خاک کمک شایانی خواهد کرد. از این رو می توان پیشنهاد کرد که برای مناطق آلوده به فلزات سرب، کادمیوم و نیکل از کاشت درخت صنوبر جهت کاهش آلودگی می توان استفاده کرد (Haider *et al.*, 2017). امروزه با آگاهی بشر از مضرات آلودگی محیط زیست، استفاده از این گیاهان مقاوم و جاذب در پاک سازی خاک های آلوده به روش "گیاه پالایی" بسیار مورد توجه قرار گرفته است. گیاه پالایی با توجه به جنبه های زیباشناختی محیط، دوست دار محیط زیست بودن و نیز جنبه های اقتصادی، می تواند برای پالایش آلاینده ها مورد استفاده قرار گیرد البته برخی کاستی ها نیز نظیر زمانبری و عدم پالایش آلودگی های عمقی خاک در مورد کارایی این روش مطرح می باشد (Motesharezadeh and Savaghebi, 2016; Karimi *et al.*, 2018). فلزات به عنوان آلاینده های محیطی تاثیرات بیوشیمیایی

جذب فلزات سنگین به وسیله گیاه می تواند 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 می شود (Dixit *et al.*, 2015; Saxena *et al.*, 2019). پژوهشگران غلظت های بالاتر از ۱۹ میلی گرم بر کیلوگرم (Purohit and Agrawal, 2006) و بیش از ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم (Alloway, 1990) را غلظت بحرانی برای گیاه و شروع بروز سمی بودن در گیاه عنوان کرده اند. 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 بافت های درختان بلوط در یک خاک آلوده اطراف معدن آهن، شد. در خاک های آلوده به فلزات سنگین، گونه های خاصی از گیاهان توانایی رشد، سازگاری و جذب فلزات سنگین را دارند (Saxena *et al.*, 2019). در پژوهشی، پتانسیل گیاه پالایی

کشاورزی می شود (Khadem Moqadam *et al.*, 2019). در تحقیق Ghorbani و همکاران (2016) تاثیر سطوح مختلف شوری و عناصر سنگین سرب و کادمیوم بر رشد، رنگدانه های فتوسنتزی و مقادیر سدیم و پتاسیم در اسفناج گزارش شد. سطوح شوری تاثیر معنی داری بر وزن تر و خشک اسفناج نداشت، اما عناصر سنگین سبب تغییرات معنی داری در آن ها گردید.

در دهه گذشته، استفاده از درختان به عنوان یک پوشش گیاهی پاک کننده ی خاک های آلوده به فلزات سنگین و مقاوم به تنش های غیرزنده به دلایل مختلف از جمله عمق نفوذ ریشه و گستردگی آن، تولید زیست توده بالا و چندساله بودن آن ها، افزایش یافته است (Houda *et al.*, 2016). گیاه پالایی به عنوان یک روش کم هزینه، پایدار و دوست دار محیط زیست در پالایش خاک های آلوده به فلزات سنگین، شناخته شده است (Yang *et al.*, 2020). این پژوهش با هدف بررسی گیاه پالایی نیترات و سرب توسط نهال کشمش ژاپنی (*Hovenia dulcis* L.) به عنوان گونه وارداتی جدید به کشور تحت شرایط تنش شوری کلرید سدیم، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش ها

این پژوهش، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. نیترات با حرف (N)، سرب به صورت (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 بر لیتر، از منبع نیترات پتاسیم اعمال شد و معادل پتاسیم افزوده شده در تیمارها، به سایر گلدان ها نیز سولفات پتاسیم افزوده و یکسان سازی شد تا صرفاً اثر نیترات، بروز پیدا کند. افزودن نیترات پتاسیم در طول دوره داشت، و به فاصله هر دو هفته یکبار همراه با آب آبیاری صورت گرفت تا تنش احتمالی به گیاه وارد نشود. سطوح تنش سرب بر اساس بررسی منابع و با توجه به اهداف گیاه پالایی در دامنه گسترده ای انتخاب شد (Alloway, 1990; Moteszarezhadeh and Savaghebi, 2012). این سطوح (Pb_1, Pb_2, Pb_3) در سه سطح غلظت صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی گرم 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 (Moteszarezhadeh 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

زیادی بر رشد گیاهان دارند. پژوهشگران در بررسی سمیت سرب بر رشد گیاهان خار پنبه و گل گندم گزارش کردند کاربرد تیمارهای قارچ و باکتری های محرک رشد سبب کاهش سمیت سرب در گیاه شد. ضمناً 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 پساب های صنعتی و کشاورزی سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی از جمله انتشار گازهای گلخانه ای و غنی شدن (Eutrophication) آب های سطحی و زیرزمینی شده است (Khajavi-Shojaei *et al.*, 2019). بیماری متهموگلوبینمیا در نوزادان، آسیب دستگاه تنفسی و دیابت در کودکان، تشکیل نیتروزآمین های سرطان زا، سرطان خون و دستگاه گوارش در بزرگسالان و همچنین سقط جنین از جمله پیامدهای خطرناک افزایش غلظت نیترات در منابع آبی می باشد (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 می رسد. در این راستا، پژوهش ها نشان داده سرعت جذب ریشه در حضور نیترات، ۲ تا ۵ برابر افزایش می یابد و چنانچه ریشه در معرض بازدارنده های سنتز پروتئین قرار گیرد، سرعت جذب به سرعت به همان مقدار اولیه کاهش می یابد. همچنین کاربرد نیترات تحت شرایط تنش سبب تقویت تولید ماده خشک گیاهی می شود (Cuisinier *et al.*, 2011). در پژوهشی، پرورش و توانایی سه گونه مناسب آبی (نی، بامبو و نخل مرداب) در محیط آزمایشگاهی به روش هیدروپونیک ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر NO_3 ، در حذف نیترات از آبررسی شد. نتایج حاصل حاکی از قابلیت بیشتر گیاه نی برای حذف نیترات از آب، نسبت به دو گیاه دیگر بود به گونه ای که در بالاترین غلظت، میانگین حذف نیترات در نی، بامبو و نخل مرداب به ترتیب ۹۵، ۸۵ و ۷۰ درصد تعیین شد. بین وزن خشک گیاهی و کارایی حذف گونه ها 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، به طوری که بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک 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 رادیکال های آزاد اکسیژن، کاهش سنتز کلروفیل و به طور کلی کاهش عملکرد و کیفیت محصولات

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 تیمار زهکش خروجی از نظر مقدار EC اندازه گیری شد.

گیاهان زراعی در خاک‌های تحت کشت از یک سو که حدود ۲ الی ۴ دسی زیمنس 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 تیمار شاهد (بدون افزودن NaCl)، ۳، ۶ دسی زیمنس بر متر (Salimi et al., 2011)، انتخاب گردید. باتوجه به شرایط ظاهری نهال‌ها مرحله اول اعمال تیمارهای

جدول ۱- سطوح تیمارهای اعمال شده

تیمار	تنش شوری (دسی زیمنس بر متر)	نیترات (میلی گرم بر لیتر)	سرب (میلی گرم در لیتر)
S ₀ N ₀ Pb ₀	شاهد	صفر	صفر
S ₀ N ₀ Pb ₁	شاهد	صفر	۳۰۰
S ₀ N ₀ Pb ₂	شاهد	صفر	۶۰۰
S ₀ N ₁ Pb ₀	شاهد	۳۰	صفر
S ₀ N ₁ Pb ₁	شاهد	۳۰	۳۰۰
S ₀ N ₁ Pb ₂	شاهد	۳۰	۶۰۰
S ₀ N ₂ Pb ₀	شاهد	۶۰	صفر
S ₀ N ₂ Pb ₁	شاهد	۶۰	۳۰۰
S ₀ N ₂ Pb ₂	شاهد	۶۰	۶۰۰
S ₁ N ₀ Pb ₀	۳	صفر	صفر
S ₁ N ₀ Pb ₁	۳	صفر	۳۰۰
S ₁ N ₀ Pb ₂	۳	صفر	۶۰۰
S ₁ N ₁ Pb ₀	۳	۳۰	صفر
S ₁ N ₁ Pb ₁	۳	۳۰	۳۰۰
S ₁ N ₁ Pb ₂	۳	۳۰	۶۰۰
S ₁ N ₂ Pb ₀	۳	۶۰	صفر
S ₁ N ₂ Pb ₁	۳	۶۰	۳۰۰
S ₁ N ₂ Pb ₂	۳	۶۰	۶۰۰
S ₂ N ₀ Pb ₀	۶	صفر	صفر
S ₂ N ₀ Pb ₁	۶	صفر	۳۰۰
S ₂ N ₀ Pb ₂	۶	صفر	۶۰۰
S ₂ N ₁ Pb ₀	۶	۳۰	صفر
S ₂ N ₁ Pb ₁	۶	۳۰	۳۰۰
S ₂ N ₁ Pb ₂	۶	۳۰	۶۰۰
S ₂ N ₂ Pb ₀	۶	۶۰	صفر
S ₂ N ₂ Pb ₁	۶	۶۰	۳۰۰
S ₂ N ₂ Pb ₂	۶	۶۰	۶۰۰

این آزمایش به صورت گلخانه‌ای در سال ۹۷-۹۶ در گلخانه‌ی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران با پوشش شیشه‌ای در عرض جغرافیایی " ۲۷ ' ۴۸°۳۵ 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

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 خثی حاوی ترکیبی از ۷۰ درصد کوکوپیت - که غنی شده نبود- و ۳۰ 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 به کار رفت. پس از انتقال نهال از شمال کشور به کرج، برای سازش نهال‌ها، آنها به مدت یک ماه تحت تغذیه محلول‌های غذایی و شرایط مطلوب قرار گرفتند تا آماده اعمال تیمارها شوند.

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 حالی که تیمار ۶۰ میلی گرم 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 به دلیل 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 (Khoshgofar 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 (Khoshgofarmanesh, 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)، لیکلی یا *Gleditschia caspica* (Weisany et al., 2013) و ماش (Mosleh Arani et al., 2018) (Khamdi et al., 2017) تحت تنش شوری توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است.

Area Meter CI-202، وزن تر و خشک با ترازوی دیجیتالی 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)، کربوهیدرات محلول (Blum, 1997)، مالون دی‌آلدئید با استفاده از محلول ۲۰ درصد TCA به روش والتوویک (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.

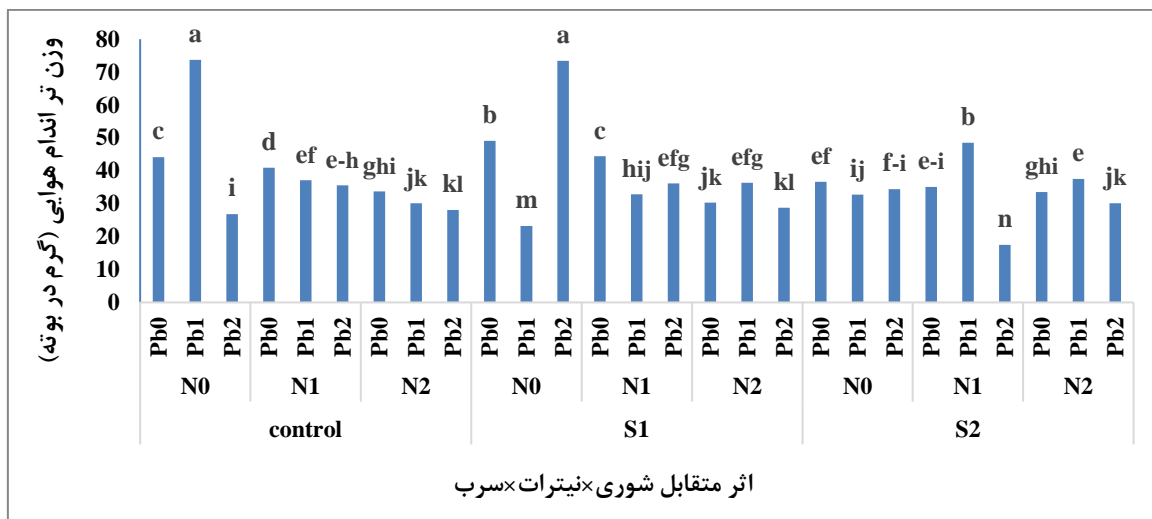
نتایج و بحث

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 تیمارهای S1N0Pb0 و S2N1Pb1 از کم‌ترین طول

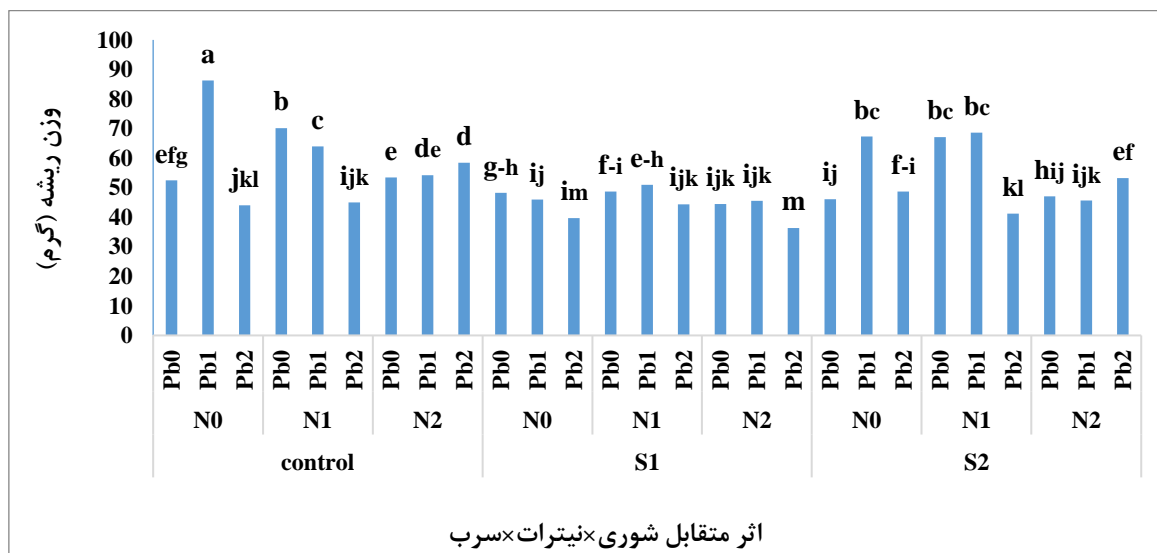
جدول ۲. نتایج آنالیز تجزیه واریانس صفات مرتبط با ریشه و اندام هوایی در کشمش ژاپنی

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



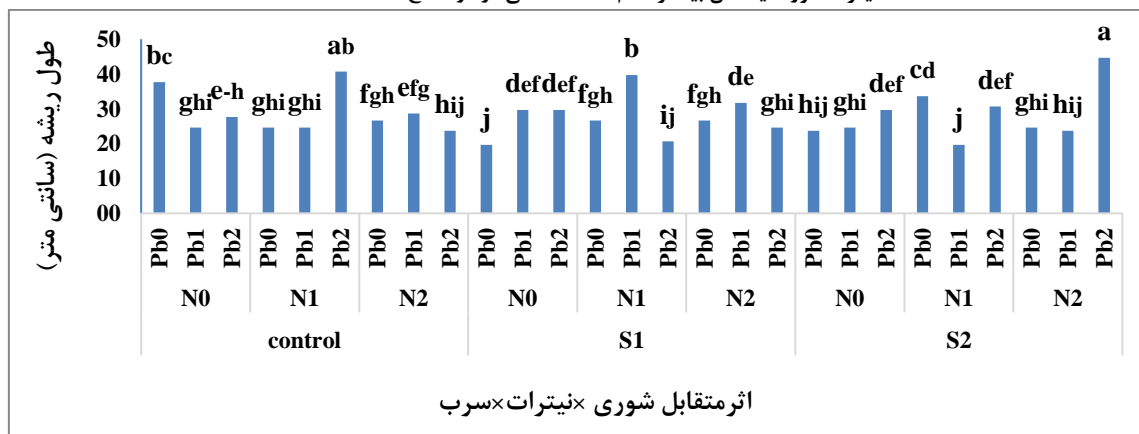
شکل ۱- میانگین مقایسه اثرسه جانبه شوری×نیتترات×سرب بر وزن تر اندام هوایی (گرم در نهال)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زمینس برمتر)، نیتترات (N0: صفر، N1: ۳۰ و N2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb0: صفر، Pb1: ۳۰۰ و Pb2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ است.



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

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زمینس برمتر)، نیتترات (N0: صفر، N1: ۳۰ و N2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb0: صفر، Pb1: ۳۰۰ و Pb2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

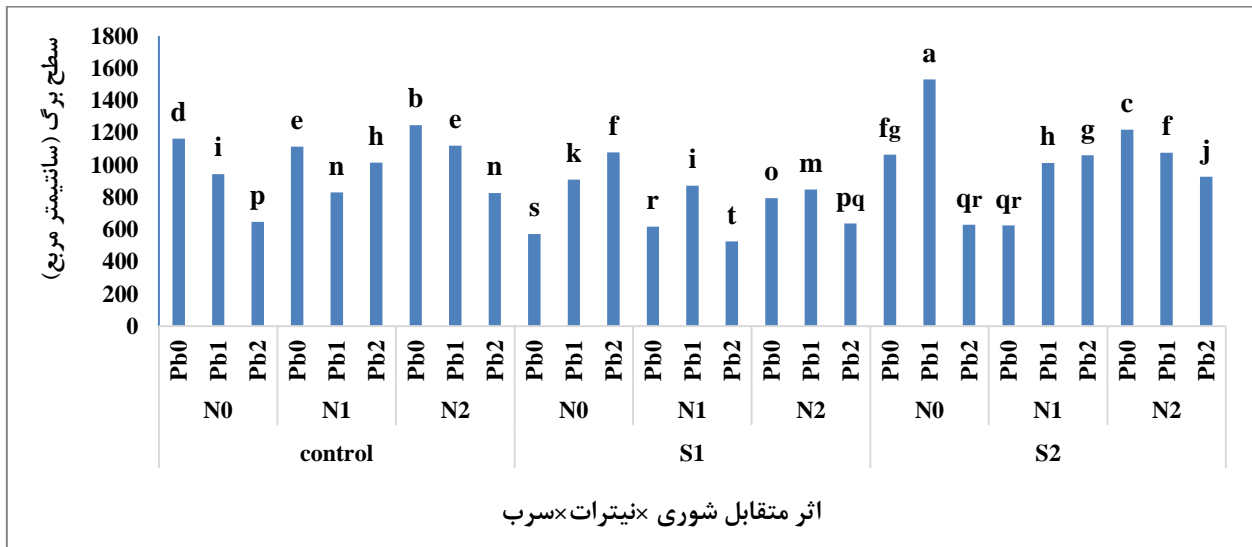


شکل ۳- میانگین مقایسه اثرسه جانبه شوری×نیتترات×سرب بر طول ریشه (سانتی‌متر)

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زمینس برمتر)، نیتترات (N0: صفر، N1: ۳۰ و N2: ۶۰ میلی‌گرم برلیتر) و سرب (Pb0: صفر، Pb1: ۳۰۰ و Pb2: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

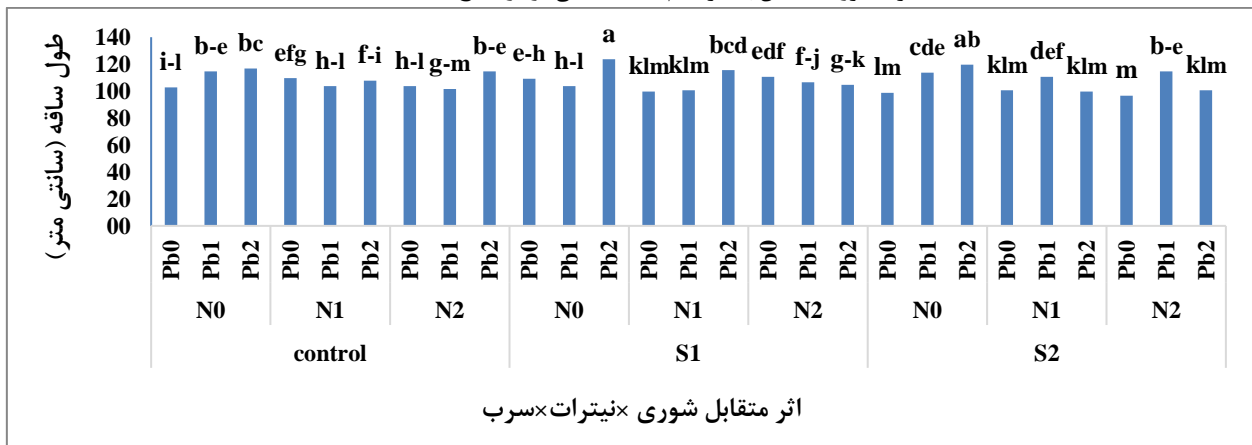
ابتدا تنش آب را تجربه می کنند که به کاهش توسعه برگها می انجامند. در صورتی که گیاه مدت طولانی در معرض شوری قرار گیرد، تنش یونی را نیز تجربه می کند که باعث پیری زودرس برگ های بالغ می شود. بنابراین، شوری کاهش در سطح فتوسنتزی ایجاد می کند (Kafi *et al.*, 2015). دوم اینکه پاسخ گیاه متناسب با سطوح تنش، می تواند کمی متفاوت باشد و در واقع پاسخ ارقام و گونه های گیاهی بسته به توانایی سازش با شرایط تنش و تحمل آن، متفاوت می باشد. 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.

در خصوص شاخص سطح برگ، شوری باعث کاهش سطح برگ در تیمارهای تنش شوری و سرب، نسبت به شاهد گردید. ضمن آنکه تیمار ۶۰ میلی گرم بر لیتر نیترات، سطح برگ را نسبت به شاهد افزایش داد. از نظر سرب تیمار ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر، کمترین سطح برگ را به خود اختصاص داد و اعمال ۶۰۰ میلی گرم 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 (شکل ۵). نتایج حاصله نشان داد که اعمال تنش شوری و آلودگی فلز، اولاً با تاثیر بر سازوکارهای توسعه و رشد سلولی گیاه، از گسترش سطح فتوسنتزکننده گیاه می کاهد (Kafi *et al.*, 2015). شوری ظاهراً روی دو فرایند روابط آبی و روابط یونی در گیاه اثر دارد. گیاهان زمانی که در معرض شوری قرار می گیرند



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

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زمینس برمتر)، نیترات (N0: صفر، N1: ۳۰ و N2: ۶۰ میلی گرم بر لیتر) و سرب (Pb0: صفر، Pb1: ۳۰۰ و Pb2: ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \leq 0.05$ است.



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

شوری (S0: شاهد، S1: ۳ و S2: ۶ دسی زمینس برمتر)، نیترات (N0: صفر، N1: ۳۰ و N2: ۶۰ میلی گرم بر لیتر) و سرب (Pb0: صفر، Pb1: ۳۰۰ و Pb2: ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

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 نیتراژ 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.

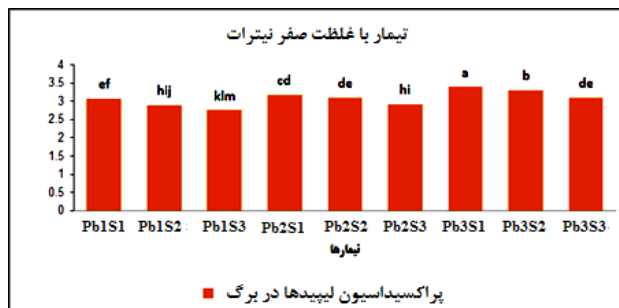
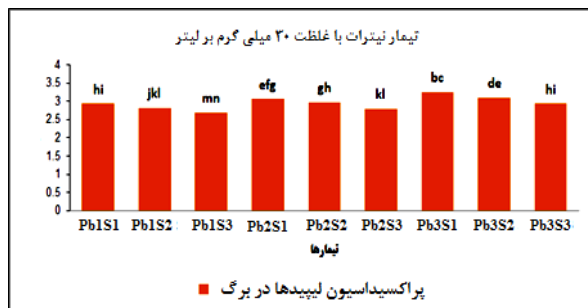
صفات بیوشیمیایی (کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدها، پرولین، کربوهیدرات محلول و مالون دی آلدئید) نتایج جدول تجزیه واریانس کروویل نشان داد (جدول ۲) که تنها اثرات اصلی تیمارها، یعنی اثر مستقل شوری، نیتراژ و سرب اختلاف معنی‌داری نشان دادند. تنش شوری، باعث افزایش تجمع NaCl در کلروپلاست‌های گیاهان عالی می‌شود 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

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

منابع تغییر	غلظت سرب	پراکسیداسیون لیپیدها در برگ	پرولین	کربوهیدرات محلول	مالون دی آلدئید
شوری	۲	۰/۷**	۰/۰۴**	۲۵/۷۱**	۱۳۶۸۰**
نیتراژ	۲	۰/۶۳**	۰/۰۴**	۲/۶۷**	۳۲۹۰**
شوری*نیتراژ	۲	۰/۴۸**	۰/۱۹**	۱۱/۴۱**	۱۱۰۷۲**
سرب	۴	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۱/۱۶**	۱۳۴ ^{ns}
شوری*سرب	۴	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۲۰۴ ^{ns}
نیتراژ*سرب	۴	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۱/۰۱*	۱۸۰ ^{ns}
شوری*نیتراژ*سرب	۸	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۸۱*	۲۰۶ ^{ns}
خطای آزمایشی	۵۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۲۹	۱۶۴
ضریب تغییرات	۵/۴۵	۱/۷۵	۶/۴۲	۱۲/۸۱	۱۴/۲۳

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.

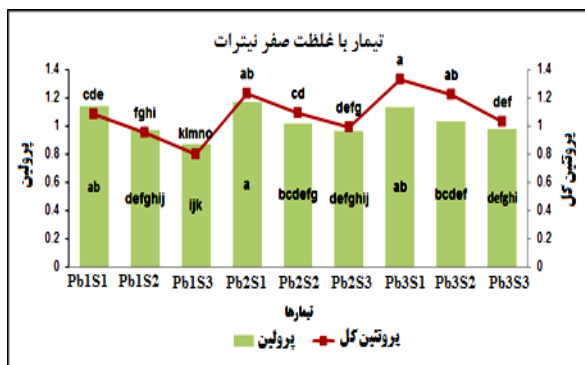
حداکثر پراکسیداسیون لیپیدها در برگ با نیتراژ شاهد بدون اعمال شوری (N_1) و کاربرد ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب (Pb_3)، در تیمار $N_1Pb_3S_1$ گزارش شد (شکل ۶). در واقع تنش سرب بیش‌ترین تاثیر بیوشیمیایی خود را بر این صفت مورد مطالعه نشان داده است. این امر می‌تواند ناشی از تاثیر افزایشی در تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در فرایندهای فیزیولوژیکی



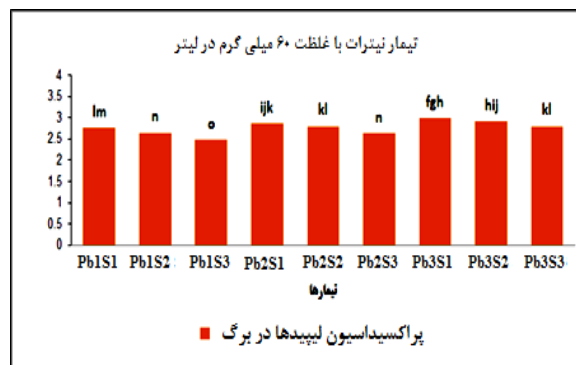
شکل ۷- مقایسه مقادیر میانگین پراکسیداسیون لیپیدها در برگ در سطح نیتراژ ۳۰ (N_2)

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

شوری (S1: شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی زمینس برمتر)، نیتراژ (N_0 : صفر، N_1 : ۳۰ و N_2 : ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) 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 ۹- مقادیر میانگین پروتئین و پروتئین کل در سطح نیترات صفر

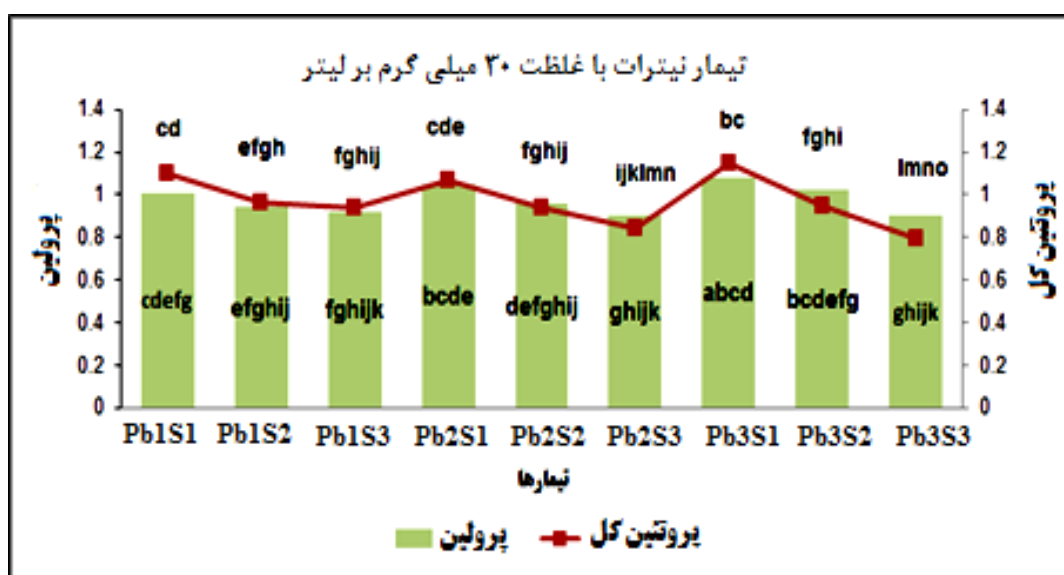


شکل ۸- مقایسه مقادیر میانگین پراکسیداسیون لیپیدها در برگ در سطح نیترات ۶۰ (N₃)

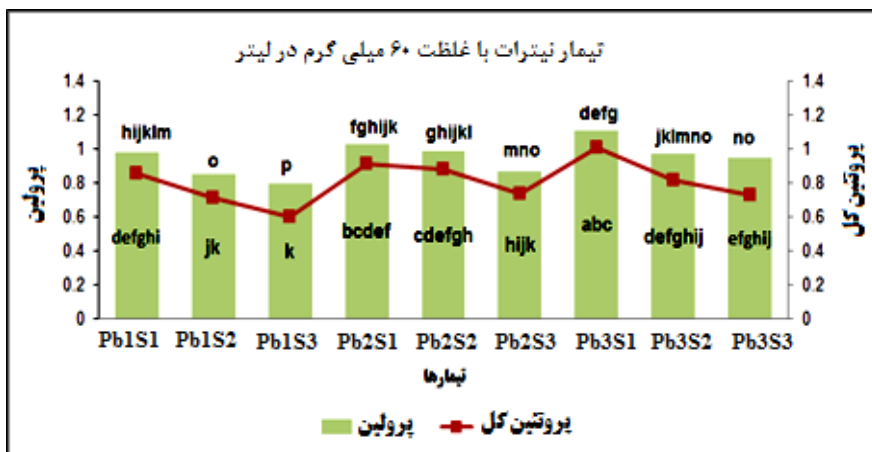
شوری (S1): شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی زمینس برمتر، نیترات (N₀: صفر، N₁: ۳۰ و N₂: ۶۰ میلی گرم بر لیتر) و سرب (Pb₀: صفر، Pb₁: ۳۰۰ و Pb₂: ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

مختلف گونه‌های گیاهی نیز می‌تواند کاملاً متفاوت باشد (Siosemardeh et al., 2003). این پژوهشگران بیان داشتند که تجمع پروتئین تحت شرایط تنش می‌تواند به بسته شدن روزنه‌ها و مقاومت روزنه‌ای در ارقام مقاوم به خشکی بیانجامد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت پروتئین نسبت به تنش‌های محیطی از جمله تنش نیترات و شوری و مقادیر سرب از جمله صفات مقاوم به شمار 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.

در مورد صفت پروتئین، صرفاً اثرات متقابل دو گانه شوری*نیترات معنی دار شد (جدول ۳). ترکیب سطوح نیترات، مقادیر سرب و تنش‌های شوری با یکدیگر، بالاترین پروتئین را به میزان ۱/۱۷ در تیمار N₁Pb₂S₁ حاصل نمود (شکل‌های ۱۱-۹). در این تیمار تنش‌های نیترات و شوری حداقل مقدار را دارد و سرب به میزان ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر مصرف شده است. تیمارهای N₁Pb₃S₁ و N₁Pb₁S₁ نیز به ترتیب با پروتئین ۱/۱۴ و ۱/۱۳ در یک سطح آماری قرار گرفته و با حداکثر پروتئین در سطوح نزدیک به هم قرار گرفتند. این مسئله نشان می‌دهد که پروتئین نسبت به سطوح سرب به کار رفته در این پژوهش، حساسیت زیادی ندارد. نتایج محققان نشان داده پروتئین ضمن آنکه مکانیسمی مقاومتی در برابر تنش شوری به شمار می‌رود، میزان سنتز آن در ارقام



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

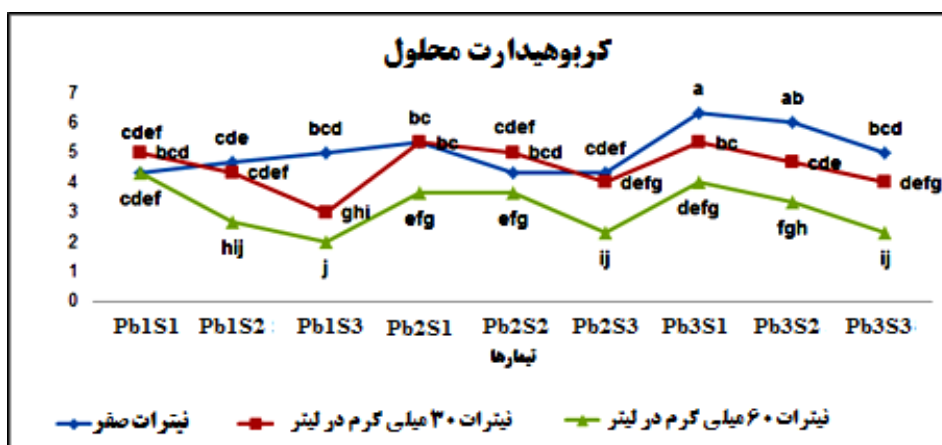


شکل ۱۱- مقادیر میانگین پرویلین و پروتئین کل در سطح نیترات ۶۰

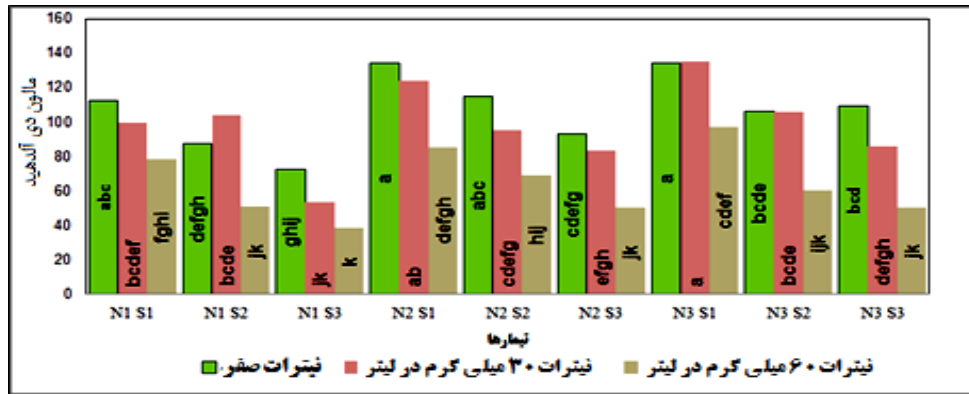
شوری (S1: شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی زمینس برمتر)، نیترات (N₀: صفر، N₁: ۳۰ و N₂: ۶۰ میلی گرم بر لیتر) و سرب (Pb₀: صفر، Pb₁: ۳۰۰ و Pb₂: ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

بیان داشت که شوری باعث کاهش وزن تر و خشک اندام های هوایی، عملکرد، پروتئین های محلول ریشه و برگ و محتوای کلروفیل در هر سه مرحله رشد (قبل از گلدهی، بعد از گلدهی و پر شدن دانه) شد، درحالی که کاربرد روی، این پارامترها را افزایش داد. تحت شرایط تنش شوری، غلظت پتاسیم و فسفر ساقه به طور معنی داری کاهش پیدا کردند، درحالی که غلظت سدیم برگ افزایش پیدا کرد. همچنین نتایج با تحقیقاتی چون Yousefinia and Ghasemiyan (2016) و Khalilpour and Jafarnia (2017) مطابقت دارد. در مورد صفت مالون دی آلدئید نیز روند تغییرات تحت تنش فاکتورهای به کار رفته مشابه بود (شکل ۱۳) و افزایش مالون دی آلدئید متأثر از میزان نیترات بود. Amiriyani-mojarad و همکاران (2018) بیان کردند که با افزایش شوری میزان پرویلین و مالون دی آلدئید در تمام توده ها افزایش و مقدار فنل کل کاهش یافت.

در مورد تغییرات کربوهیدرات محلول، در سطوح نیترات با غلظت صفر (N₁)، با افزایش مقدار سرب، مقدار این صفت افزایش یافت (شکل ۱۲). این امر نشان می دهد که اثر تنش شوری به وسیله کاربرد نیترات در مقادیر بیش تر، به مقدار کافی از بین رفته است و با افزایش مقدار سرب ارزش این صفت از نظر آماری افزایش یافته است. بیش ترین کربوهیدرات کل در همین سطح نیترات و در تیمار N₁Pb₃S₁ با مقدار ۶/۳۳ به دست آمده است که در این تیمار مقدار سرب و تنش شوری حداکثر مقدار خود را دارد. کم ترین مقدار این شاخص نیز در تیمار N₃Pb₁S₃ که مقدار سرب حداقل و تنش های اعمال شده حداکثر می باشد، حاصل شد. اما در دو سطح بعدی نیترات، با افزایش تنش شوری، کربوهیدرات محلول کاهش یافته است؛ لذا در کل می توان گفت کربوهیدرات محلول همانطور که گفته شد نسبت به کمبود نیترات حساس تر بوده و در صورت اعمال نیترات با مقدار کافی می توان اثرات کاهنده تنش شوری را از بین برد. Weisany و همکاران (2013)



شکل ۱۲- مقادیر میانگین کربوهیدرات محلول در سطوح نیترات



شکل ۱۳- مقادیر میانگین مالون دی‌آلدئید در سطوح نیترات

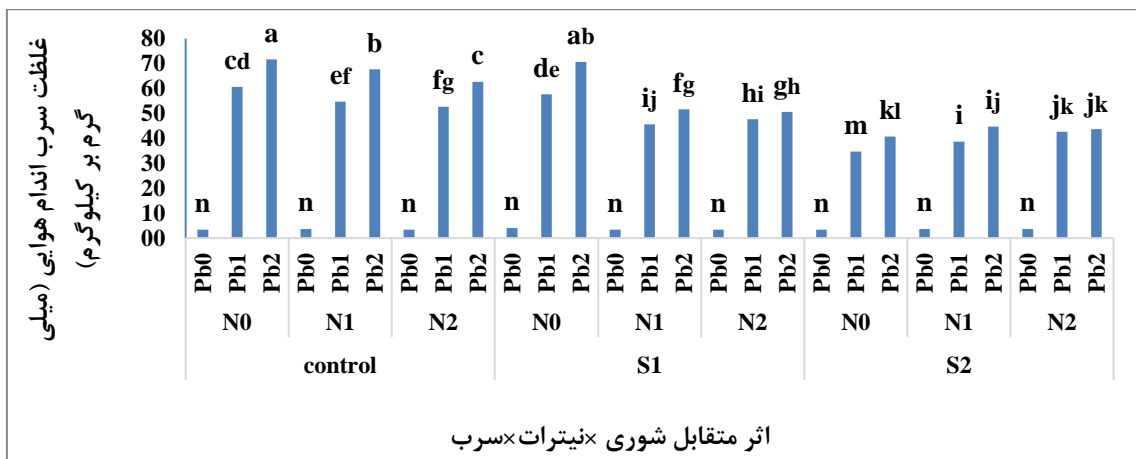
شوری (S1: شاهد، S2: ۳ و S3: ۶ دسی‌زیمنس برمتر)، نیترات (N₀: صفر، N₁: ۳۰ و N₂: ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سرب (Pb₀: صفر، Pb₁: ۳۰۰ و Pb₂: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ 0.05 است.

۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (Tafvizi and Motesharezadeh, 2014).

غلظت سرب در گیاه بر اساس 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 دسی‌زیمنس 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 نمونه‌های 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 بر کیلوگرم) و ریشه (۳۲۵/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار سرب

غلظت سرب در گیاه

۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (Tafvizi and Motesharezadeh, 2014). غلظت ۸۷ میلی‌گرم 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 جذب‌کننده 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 (Khoshgoftar 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 دسی‌زیمنس برمتر)، نیترات (N₀: صفر، N₁: ۳۰ و N₂: ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سرب (Pb₀: صفر، Pb₁: ۳۰۰ و Pb₂: ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ 0.05 است.

نتیجه گیری کلی

بر این، تولید پراکسیداسیون لیپیدها و سنتز پرولین در سطح بیشینه سرب و کاهش تولید مالون دی آلدئید 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، به نظر 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 stress studies. *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., Borzoe, 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: 2019.261768.667964jswr./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*

- 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.
- Khoshgofarmanesh, A.H. (2010) Advanced concepts in plant nutrition, Isfahan University of Technology Press, No. 74, 383 p. pp: 9-12. (In Persian).
- Khoshgofar, 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 annuus*) 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. Agrawal. (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 on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize. *Plant Soil Environment*, 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

- 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.