



## Investigation of the Growth and Physiological Reactions of Kochia Plant to Simultaneous Stress of Salinity and Cadmium

Mohadeseh Shamsaddin Saied<sup>1,3\*</sup> , Nasibeh Pourghasemian<sup>2,3</sup>

- 1- **\*Corresponding Author:** Assistant Professor, Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (mohadesehsaid2014@uk.ac.ir)
- 2- Associate Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
- 3- Bardsir Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

**Citation:** Shamsaddin Saied, M., & Pourghasemian, N. (2022). Investigation of the growth and physiological reactions of Kochia plant to simultaneous stress of salinity and cadmium. *Plant Productions*, 44(4), 459-474.

 10.22055/ppd.2021.36646.1967

Received: 2 March 2021

Accepted: 7 July 2021

### Abstract

#### Introduction

Nowadays, due to the increasing use of phosphorus fertilizers in agricultural lands, the salinity of the soil, along with contamination with heavy elements such as cadmium, has increased sharply. Plants' response to a particular stress is different from when they experience multiple stresses simultaneously. The aim of this experiment was to investigate the simultaneous effect of salinity and cadmium stresses on morphological and physiological characteristics of Kochia.

#### Materials and Methods

For this purpose, a factorial greenhouse experiment based on a randomized complete block design with four replications was conducted in the educational-research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Valiasr University of Rafsanjan in 1397/2019. Experimental factors included four different levels of salinity stress (0, 6, 12 and 18 dS/m) and cadmium concentration in soil (0, 1, 5 and 10 mg/kg soil). The studied traits included dry weight of branches, stems and leaves, RWC, concentration of chlorophyll a, b and a + b, enzymes activity of superoxide dismutase, peroxidase, catalase, the concentration of cadmium, iron, zinc, manganese, calcium and magnesium.



## Results and Discussion

The results showed that due to increasing salinity to 18 dS/m the dry weight of branches, leaf and stem dry weight and leaf area, RWC, concentration of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids decreased by 56.8, 48.01, 50, 46.09, 21, 53.76, 56.91, 53.75 and 51.21 percent, respectively. By increasing the cadmium concentration to 10 mg/L, the dry weight of lateral branches, leaves, stems and leaf area decreased by 24.32, 31.89, 28.45 and 41.24%, respectively, but the concentration of leaf cadmium compared to the control treatment 1.7 times increased. The activity of superoxide dismutase, peroxidase and catalase enzymes in treatment of 18 dS/m salinity alongside with 10 mg/L cadmium were 1.83, 1.4 and 4.7 times higher than the control treatment, respectively. Leaf iron, zinc, calcium and magnesium concentrations decreased by 73.07%, 51.51, 51.8%, 0.17 and 0.26% with increasing salinity stress to 18 dS/m, respectively, and with increasing cadmium concentration to 10 mg/L increased iron concentration by 37.32% and zinc and magnesium concentrations decreased by 28.70 and 0.12%, respectively. The highest dry matter of *Kochia* in salinity and cadmium stress treatments belonged to the control treatment and the lowest dry matter were obtained from 18 dS / m salinity and 10 mg / kg cadmium in soil.

## Conclusion

The results of the present study revealed that in *Kochia* in the presence of cadmium stress, the concentration of cadmium in the leaves and shoots increased and this indicates the potential of this plant for phytoremediation (removal of heavy metals by the plant) from saline soils contaminated with cadmium. *Kochia*'s proper performance in high cadmium accumulation appears to be due to the detoxification of cadmium in cells. The presence of salinity along with cadmium increased the activity of antioxidant enzymes, which is probably one of the plant's solutions to stress. Decreased nutrients due to increased cadmium and salinity stress can be a reason for reduced yield and lead researchers to the direction that in the face of these stresses, nutrients can be used as fertilizer so that the plant does not suffer from nutrient deficiencies.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, Chlorophyll, Concentration of elements, Dry weight, Leaf area.

## بررسی واکنش‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه کوشیا به تنش همزمان شوری و کادمیوم

محدثه شمس‌الدین سعید<sup>۳،۱\*</sup>، نسیم پورقاسمیان<sup>۳،۲</sup>

- ۱- \*نویسنده مسئول: استادیار، گروه تولیدات گیاهی مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (mohadesehsaid2014@uk.ac.ir)
- ۲- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- ۳- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

## چکیده

هدف این آزمایش بررسی تأثیر همزمان دو تنش شوری و کادمیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کوشیا بود. به این منظور، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تکرار در گلخانه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر رفسنجان در سال زراعی ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح مختلف تنش شوری خاک (صفر، ۶، ۱۲ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) و کادمیوم (صفر، ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود. نتایج نشان داد صفات وزن خشک شاخه‌های جانبی، وزن خشک برگ و ساقه و سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، غلظت آهن، روی، کلسیم و منیزیم برگ با افزایش شوری به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۵۶/۸، ۵۸/۰۱، ۵۰، ۴۶/۰۹، ۲۱، ۵۳/۷۶، ۵۶/۹۱، ۵۳/۷۵، ۵۱/۲۱، ۵۱/۹، ۵۳/۰۷، ۵۱/۸، ۵۱/۱۷ و ۰/۲۶ درصد کاهش یافتند. با افزایش غلظت کادمیوم از صفر به ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک وزن خشک شاخه‌های جانبی، برگ، ساقه، سطح برگ، غلظت روی و منیزیم به ترتیب ۲۴/۳۲، ۳۱/۸۹، ۲۸/۴۵، ۴۱/۲۴ و ۲۸/۷۰ و ۰/۱۲ درصد کاهش یافتند اما غلظت کادمیوم برگ نسبت به تیمار شاهد ۱/۷ برابر و غلظت آهن برگ ۳۷/۳ درصد افزایش یافتند. میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز تحت اثر متقابل معنی دار تنش شوری و کادمیوم قرار گرفتند و فعالیت آن‌ها در تیمار تنش همزمان شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر و غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کادمیوم به ترتیب ۱/۴، ۱/۸۳ و ۴/۷ برابر تیمار شاهد بود. بیشترین ماده خشک کوشیا در هر یک از تیمارهای تنش شوری و کادمیوم متعلق به تیمار شاهد بود و کمترین مقدار ماده خشک از تیمار ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر شوری و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم در خاک به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سطح برگ، غلظت عناصر، کلروفیل، وزن خشک

## مقدمه

کادمیوم در گروه مضرترین تنش‌های غیرزیستی قرار گرفته‌اند (Gallego et al., 2012). در بین فلزات سنگین، کادمیوم به دلیل حلالیت بالا در آب و جذب سریع و راحت توسط سیستم ریشه گیاه دارای اهمیت ویژه‌ای

واکنش گیاهان در مواجهه با یک تنش خاص در مقایسه با مواجهه با چند تنش به‌طور همزمان، متفاوت می‌باشد (Goussia et al., 2018). تنش شوری و

است. این عنصر هم‌چنین بعد از آرسنیک، سرب و جیوه به‌عنوان چهارمین عنصر خطرناک برای گیاهان آوندی معرفی شده است (Wali et al., 2017). کادمیوم به‌واسطه رقابت با عناصر غذایی ضروری و جایگزین شدن با آن‌ها به‌طور غیرمستقیم سبب مسمومیت گیاه می‌شود (Goussia et al., 2018). Hosseinpour and Afsharipour (2016). کاهش عملکرد ریحان را در سطح ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، (Razavinia et al., 2021) کاهش عملکرد بادنجنویه در سطح ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و (Moradi et al., 2019) شروع کاهش عملکرد گل و برگ در زعفران سطح ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم خاک گزارش کردند. شوری یکی دیگر از تنش‌های کلیدی در کاهش رشد و عملکرد گیاهان است که با تأثیر روابط آبی گیاه سبب تنش اسمزی و خشکی فیزیولوژیکی می‌شود. در این شرایط، کاهش فعالیت فتوسنتزی به دلیل آسیب به غشاء سلولی و ورود  $Na^+$  به سلول که منجر به غیرفعال شدن سیستم‌های انتقال الکترون در فتوسنتز و سبب تنش اکسیداتیو می‌گردد، اتفاق می‌افتد (Ashraf and Harris, 2013). برهم خوردن تعادل عناصر غذایی نیز، به دلیل حضور مقادیر فراوان یون‌های سدیم و کلر در محیط ریشه رخ می‌دهد (Ghorbani et al., 2016).

تنش هم‌زمان شوری و کادمیوم تغییرات فتوشیمیایی متفاوتی را در فتوسیستم I و II گیاهان ایجاد می‌کند و از طریق افزایش سطح اکسیژن فعال و القاء تنش اکسیداتیو سبب آسیب به سلول و تخریب غشاء سلولی می‌شود (Tekdal and Cetiner., 2018). هم‌چنین در خاک‌های شور، به دلیل تشکیل کمپلکس‌های کادمیوم و کلر و تبادل سدیم با کادمیوم در محل‌های جذب سطحی ذرات خاک، حلالیت و قابلیت جذب کادمیوم در گیاه افزایش می‌یابد (Bingham et al., 1984). میزان سازگاری گیاهان در مقابله با این تنش‌ها به درجه مقاومت، جنس و گونه گیاه بستگی دارد. تغییر در جذب عناصر غذایی مختلف از خاک، تولید سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی مختلف و تغییرات مرفولوژیکی و آناتومیکی، جزء راهکارهای گیاهان در مواجهه با تنش‌ها محسوب می‌شوند (Wali et al., 2017). هم‌چنین ثابت شده است که مصرف NaCl، گیاه را برای رشد و بقا در حضور کادمیوم توانمندتر می‌سازد. این عمل را از طریق کاهش سمیت کادمیوم، حفظ میزان آب در گیاه، پتانسیل رد اکس و حفظ ساختار کلروفیل انجام می‌دهد (Wali et al., 2016 و Wali et al., 2017). (Goussi et al., 2018) با بررسی هم‌زمان تنش شوری و کادمیوم در *Thellungiella salsuginea* نشان دادند که سدیم، تجمع کادمیوم را در بخش هوایی محدود می‌کند. با این حال تأثیر هم‌زمان دو تنش در گیاهان مختلف روند یکسانی را دنبال نمی‌کند. (Tekdal and Cetiner (2018) نشان دادند وقتی گیاه *Vuralia turcica* در معرض توام تنش شوری و کادمیوم قرار می‌گیرد با کاهش بیشتر وزن خشک رو به رو خواهد شد.

کوشیا (*Kochia scoparia* L. Schrad) گیاهی یک‌ساله از خانواده اسفناجیان، جزء گیاهان شوری‌پسند و متحمل به خشکی است. این گیاه برای تولید علوفه و دانه در مناطق بیابانی مناسب است (Kafi et al., 2010). کوشیا به دلیل عملکرد زیاد بذر، تولید ۱۱ درصد روغن در بذر و توان تولید زیست‌توده بالا در شرایط نامطلوب مانند شوری، خشکی و دمای بالا، به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای ارزشمند مورد توجه کشاورزان و محققان قرار گرفته است (Nabati et al., 2011). یک گیاه هالوفیت محسوب می‌شود که در بسترهای شور-قلیایی و کم عمق می‌تواند به راحتی جوانه‌زده و رشد کند (Friesen et al., 2009) با وجود مطالعات نسبتاً گسترده در زمینه پاسخ گیاه کوشیا به شوری (Kafi et al., Nabati et al., 2012)؛ (2014)، مطالعات بسیار اندکی (Jalali et al., 2019) در زمینه تأثیر کادمیوم و چگونگی پاسخ این گیاه به تنش مذکور صورت گرفته است. (Kafi et al. (2010) در بررسی خصوصیات علوفه‌ای توده‌های مختلف کوشیا در دو سطح شوری آب آبیاری ۵/۲ و ۱۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند که سطوح تنش شوری به جز بر عملکرد ماده خشک، تأثیر معنی‌داری بر صفت‌های مورد مطالعه نداشتند. اما (Nabati et al. (2011) گزارش کردند با افزایش سطوح شوری آب (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و

۴۶۲

سه روز یک‌بار محلول‌های شور به خاک اضافه گردید و برای جلوگیری از تجمع نمک در خاک مقدار محلول شوری به میزانی به خاک اضافه شد که مقدار یک سوم آب از طریق زهکش گلدان خارج شود. میزان شوری خاک با استفاده از دستگاه هدایت سنج اندازه‌گیری شد. بعد از کاشت بذور، در آبیاری‌های بعدی، آب شهر در حد ظرفیت زراعی به گلدان‌ها اضافه گردید و برای هر گلدان از زیر گلدانی استفاده شد تا در صورت خروج آب از زهکش به هر دلیلی، امکان برگشت آب زهکش به خاک گلدان و ممانعت از شسته شدن خاک امکان پذیر باشد. به منظور ایجاد آلودگی کادمیوم در خاک، نمک کلرید کادمیوم ( $CdCl_2, H_2O$ ) برای آلوده کردن وزن مشخصی از خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه گردید. سپس وزن محاسبه شده نمک در مقدار متناسب با وزن خاک در آب حل شده و روی خاک مورد نظر اسپری شد و کاملاً با آن مخلوط گردید. سپس خاک آلوده تا حد رطوبت FC آبیاری شده و برای ایجاد برهمکنش کادمیوم و خاک با حفظ همین رطوبت برای مدت دو ماه در انکوباتور در دمای ۲۵ درجه نگهداری شد (Moradi et al., 2019; Amacher, 1996). داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شده و پس از استقرار گیاه در هر گلدان ۵ بوته حذف شد.

دو ماه پس از رشد گیاهان، اندام هوایی گیاه از سطح خاک بریده و ارتفاع بوته توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. نمونه‌هایی که برای تعیین صفات مرتبط با وزن خشک مورد نیاز بودند، در آن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. وزن خشک ساقه و برگ با ترازوی دیجیتال (۰/۰۰۱) اندازه‌گیری شد. بقیه نمونه‌های گیاهی برای صفات مرتبط با وزن تر مورد استفاده قرار گرفتند. سطح برگ توسط دستگاه سنسجس سطح برگ (Delta T, WD3, UK) اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر مربع محاسبه شد. اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، به روش (Ritchie and Nguyen (1990) و اندازه‌گیری رنگدانه‌های برگ (کلروفیل a, b، کل و

۵۰ دسی‌زیمنس بر متر) در اعمال تدریجی در مرحله کاشت، گیاهچه‌ای و اعمال تدریجی تنش تا انتهای رشد ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ها، وزن خشک اندام هوایی و صفات کیفی علوفه کاهش یافت. مرگ گیاهچه‌ها در هدایت الکتریکی ۱۲۸ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد افزایش روزافزون آلودگی به عناصر سنگین، محدودیت منابع آب و کاهش کیفیت آب‌ها و زمین‌های کشاورزی از یک طرف و رشد جمعیت از طرف دیگر، معرفی گیاهان مقاومی که بتوانند در شرایط نامساعد موجود تولید کافی داشته باشند را جزء رسالت بسیاری از محققان امروز قرار داده است. از آنجایی که مطالعه‌ای بر چگونگی پاسخ گیاه کوشیا به کادمیوم و شوری صورت نگرفته است و از طرفی گیاهان مختلف در رویارویی هم‌زمان تنش‌ها واکنش‌های مختلفی نشان می‌دهند، بنابراین مطالعه فوق با هدف بررسی پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه شوری پسند کوشیا در شرایط وجود دو تنش شوری و کادمیوم در کنار هم صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر دو تنش کادمیوم و شوری بر پاسخ‌های زیستی (بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی) گیاه کوشیا، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح مختلف تنش شوری در چهار سطح (صفر، ۶، ۱۲ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) و سطوح کادمیوم نیز در چهار سطح (صفر، ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود. بستر کشت شامل ۶۰ درصد رس، ۲۵ درصد ماسه و ۱۵ درصد کود حیوانی در نظر گرفته شد. قبل از کاشت، تیمار آبیاری با آب شور بر حسب تیمار مورد نظر، در هر گلدان اعمال شد. برای اعمال تنش شوری، از نمک کلرید سدیم با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد از شرکت مرک آلمان استفاده گردید و محلول‌هایی با هدایت الکتریکی ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تهیه گردید. قبل از کاشت بذر، در طی سه نوبت هر

نرم‌افزارهای Excel و Word رسم شد. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد.

### نتایج و بحث

#### خصوصیات رشدی کوشیا (وزن خشک

**شاخه‌های جانبی، برگ، ساقه و سطح برگ):** کوشیا گیاهی علوفه‌ای است که بوته آن ظاهر مخروطی شکلی داراست، به طوری که از طوقه تا انتهای این گیاه پوشیده از شاخه می‌باشد و صفاتی از جمله وجود تعداد زیاد شاخه‌های جانبی در افزایش درصد برگ و خوش خوراکی این علوفه بسیار تأثیر گذار می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها صفات رشدی کوشیا شامل وزن خشک شاخه‌های جانبی، وزن خشک برگ، ساقه و سطح برگ به طور معنی داری تحت تأثیر تیمار تنش شوری و کادمیوم قرار گرفتند، با این حال برهمکنش تیمار شوری و کادمیوم اثر معنی داری بر این صفات نداشت (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شوری به ۶، ۱۲ و ۱۸ دسی‌زیمنس، وزن خشک شاخه‌های جانبی به ترتیب ۱۷/۲، ۳۷/۵ و ۵۶/۸ درصد کاهش یافتند (جدول ۲). این روند کاهشی رشد شاخه‌های جانبی به شکل مشابهی در وزن خشک برگ، ساقه و سطح برگ نیز مشاهده گردید و هم‌چنین با افزایش تنش شوری به ۶، ۱۲ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک برگ به ترتیب ۱۴/۸، ۲۷ و ۴۸/۰۱ درصد، وزن خشک ساقه به ترتیب ۱۲/۴، ۳۰/۵ و ۵۰ درصد و سطح برگ نیز به ترتیب ۱۸/۰۴، ۳۱/۱۴ و ۴۶/۰۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند (جدول ۲).

به عبارت دیگر کلیه صفات رشدی تأثیر گذار در عملکرد علوفه کوشیا در تنش شوری شدید (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) تنها با کاهش تقریبی ۳۰ درصدی مواجه شدند و با افزایش شدیدتر شوری به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش صفات رشدی کوشیا به حدود ۵۰ درصد رسید. بنابراین کوشیا گیاه علوفه‌ای با مقاومت بالا به تنش شوری می‌باشد. نتایج این آزمایش با نتایج حاصل از مطالعات محققین دیگر نیز مطابقت داشت (Kafi et al., 2014; Nabati et al., 2011).

کاروتنوئیدها) به روش (Lichenthaler 1987) انجام شد. جهت عصاره‌گیری برای تعیین میزان پروتئین محلول کل و فعالیت آنزیمی، ۰/۵ گرم برگ تازه منجمد همراه ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات (PBS) در دمای ۴ درجه سلسیوس سائیده شد و محلول حاصل درون میکروتیوپ ریخته شد. پس از آن محلول به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۳-۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد و فاز رویی محلول مورد استفاده برای سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پروتئین قرار گرفت. مقدار پروتئین کل از طریق روش برادفورد با معرف بیوره و در طول موج ۵۹۵ اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976). سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده روش ابی با محاسبه کاهش جذب آب اکسیژنه در ۲۴۰ نانومتر انجام شد (Aebi, 1984). فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی برحسب پروتئین کل (میلی گرم) موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره در یک دقیقه محاسبه گردید. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش ناکادا و آسا در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت (Nakano and Asada, 1981). فعالیت آنزیم برحسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل (میلی گرم) موجود در ۲۰ میکرولیتر عصاره گزارش شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از روش بیجامپ و فرودویچ استفاده شد و میزان جذب نوری محلول در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد (Beauchamp and Fridovich, 1971). غلظت کادمیوم در نمونه‌های عصاره‌گیری شده یا اسید نیتریک با استفاده از دستگاه جذب اتمی دارای شعله (SpectraA 55B, Varian, Agelant, USA) برای غلظت‌های بالای کادمیوم در گیاه و یا کوره گرافیتی (GTA 100) برای غلظت‌های پایین کادمیوم در گیاه تعیین شد. هم‌چنین محتوای عناصر آهن، روی، مس، منگنز، کلسیم و منیزیم در نمونه‌های عصاره‌گیری شده با اسید کلریدریک برگ با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند.

تمامی محاسبات آماری این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. نمودارها و جدول‌ها توسط

**Table 1. Analysis of variance of growth traits, antioxidant enzymes and element concentrations in Kochia under salinity and cadmium stress conditions**

S.O. V.	df	Means Squars									
		Branch dry weight	Leaf dry weight	Stem dry weight	Leaf area	RWC	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b	Carotenoids	SOD
<b>Block</b>	3	0.046 <sup>ns</sup>	0.21 <sup>ns</sup>	0.253 <sup>ns</sup>	5501.30 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	1.66 <sup>ns</sup>	3.06 <sup>ns</sup>	5.24 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	83.31*
<b>Salinity</b>	3	54.00 <sup>**</sup>	8.18 <sup>**</sup>	11.85 <sup>**</sup>	124821.75 <sup>**</sup>	0.122 <sup>**</sup>	47.58 <sup>**</sup>	92.32 <sup>**</sup>	248.93 <sup>**</sup>	16.79 <sup>**</sup>	4653.39 <sup>**</sup>
<b>Cd</b>	3	6.67 <sup>**</sup>	2.90 <sup>**</sup>	3.16 <sup>**</sup>	102139.31 <sup>**</sup>	0.031 <sup>**</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	1.65 <sup>ns</sup>	2.74 <sup>ns</sup>	0.092 <sup>ns</sup>	180.52 <sup>**</sup>
<b>Cd × Salinity</b>	9	0.18 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.199 <sup>ns</sup>	3290.52 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.641 <sup>ns</sup>	2.80 <sup>ns</sup>	6.56 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	150.75 <sup>**</sup>
<b>Error</b>	45	0.644	0.293	0.34	3254.56	0.005	2.91	5.11	16.33	0.97	28.88
<b>C.V. (%)</b>		15.02	19.83	19.31	16.60	9.81	35.25	36.75	35.59	31.23	10.71

S.O. V	df	Means Squars										
		POX	CAT	Cd	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg	Na	K	Na/K
<b>Block</b>	3	0.029 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	13.82 <sup>ns</sup>	1283.71 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>**</sup>	259.38 <sup>**</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	512.94 <sup>ns</sup>	446.35 <sup>**</sup>	0.188 <sup>ns</sup>
<b>salinity</b>	3	0.51 <sup>**</sup>	23.50 <sup>**</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	673859.6 <sup>**</sup>	11.15 <sup>**</sup>	1686.94 <sup>**</sup>	0.093 <sup>**</sup>	0.2 <sup>**</sup>	106.02 <sup>ns</sup>	65.44 <sup>ns</sup>	0.026 <sup>ns</sup>
<b>Cd</b>	3	0.16 <sup>**</sup>	2.67 <sup>**</sup>	7.89 <sup>**</sup>	43026.57 <sup>**</sup>	2.41 <sup>**</sup>	489.37 <sup>**</sup>	0.036 <sup>ns</sup>	0.054 <sup>**</sup>	277.60 <sup>ns</sup>	18.85 <sup>ns</sup>	0.036 <sup>ns</sup>
<b>Cd × Salinity</b>	9	0.27 <sup>**</sup>	1.16 <sup>*</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	12718.72 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	44.84 <sup>ns</sup>	0.026 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	225.56 <sup>ns</sup>	88.90 <sup>ns</sup>	0.037 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	45	0.018	0.44	1.97	1490.67	0.15	65.92	0.014	0.009	376.47	72.88	0.065
<b>C.V. (%)</b>		20.51	21.66	22.54	9.80	13.21	23.64	17.40	12.16	24.5	10.9	25.32

ns,\*,\*\* Non significant and significant at 5% and 1% level, respectively.

**Table 2. Comparison of the mean of some morphological and physiological traits of Kochia in different levels of salinity and cadmium stress**

Salinity (dS/m)	Branch dry weight (gr/plant)	Leaf dry weight (gr/plant)	Stem dry weight (gr/plant)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	RWC	Chlorophyll a (mg/g fresh weight leaf)	Chlorophyll b (mg/g fresh weight leaf)	Chlorophyll a+b (mg/g fresh weight leaf)	Carotenoids (mg/g fresh weight leaf)
0	7.41 <sup>a</sup>	3.52 <sup>a</sup>	3.94 <sup>a</sup>	451.6 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	7.18 <sup>a</sup>	9.77 <sup>a</sup>	16.78 <sup>a</sup>	4.55 <sup>a</sup>
6	6.14 <sup>b</sup>	3.00 <sup>b</sup>	3.45 <sup>b</sup>	369.67 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	5.053 <sup>b</sup>	6.72 <sup>b</sup>	11.58 <sup>b</sup>	3.26 <sup>b</sup>
12	4.63 <sup>c</sup>	2.57 <sup>c</sup>	2.74 <sup>c</sup>	310.58 <sup>c</sup>	0.72 <sup>b</sup>	3.81 <sup>c</sup>	5.36 <sup>bc</sup>	9.29 <sup>bc</sup>	2.59 <sup>bc</sup>
18	3.20 <sup>d</sup>	1.83 <sup>d</sup>	1.97 <sup>d</sup>	243.16 <sup>d</sup>	0.60 <sup>c</sup>	3.32 <sup>d</sup>	4.21 <sup>c</sup>	7.76 <sup>c</sup>	2.22 <sup>c</sup>

Cd (ppm)	Branch dry weight	Leaf dry weight	Stem dry weight	Leaf area	RWC	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b	Carotenoids
0	5.92 <sup>a</sup>	3.23 <sup>a</sup>	3.48 <sup>a</sup>	442.06 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>	4.77 <sup>a</sup>	6.72 <sup>a</sup>	11.50 <sup>a</sup>	3.16 <sup>a</sup>
1	5.74 <sup>ab</sup>	2.83 <sup>b</sup>	3.27 <sup>a</sup>	370.06 <sup>b</sup>	0.72 <sup>b</sup>	4.95 <sup>a</sup>	6.34 <sup>a</sup>	11.29 <sup>a</sup>	3.22 <sup>a</sup>
5	5.20 <sup>b</sup>	2.67 <sup>c</sup>	2.85 <sup>b</sup>	302.26 <sup>c</sup>	0.69 <sup>b</sup>	4.96 <sup>a</sup>	6.84 <sup>a</sup>	11.80 <sup>a</sup>	3.18 <sup>a</sup>
10	4.48 <sup>c</sup>	2.20 <sup>d</sup>	2.49 <sup>b</sup>	259.76 <sup>d</sup>	0.69 <sup>b</sup>	4.66 <sup>a</sup>	6.15 <sup>a</sup>	10.81 <sup>a</sup>	3.05 <sup>a</sup>

Means with the same letter in each column are not significantly different at 5% level (Duncan's Multiple Range Test).

وزن خشک برگ به ترتیب ۱۲/۳۸، ۱۷/۳۴ و ۳۱/۸۹ درصد و وزن خشک ساقه به ترتیب ۶/۰۳، ۱۸/۱۰ و ۲۸/۴۵ درصد و سطح برگ کوشیا ۱۶/۲۱، ۳۱/۶۲ و ۴۱/۲۴ درصد کاهش یافتند (جدول ۲). گزارش‌های مشابهی از تأثیر منفی کادمیوم بر رشد در برخی گیاهان نظیر ذرت (Chaab and Savaghebi, 2010; Kang et al., 2010; Fathi Darreh Nietzsche et al., 2010; Talatam and Pardia, Ghorbani et al., 2016) و اسفناج (2018) توسط سایر محققین ارائه شده است. علت اثرات (2009) توسط سایر محققین ارائه شده است. علت اثرات نامطلوب کادمیوم بر گیاه را در خاک‌های آلوده می‌توان به جذب بیشتر کادمیوم توسط گیاه و اختلال رشد ناشی از سمیت کادمیوم در گیاه (Fathi Darreh Nietzsche et al., 2018)، کاهش سرعت رشد، تبخیر و تعرق، کاهش جذب آب و جذب سایر یون‌های مؤثر بر فعالیت‌های رشدی گیاه (Veselov et al., 2003)، کاهش فعالیت هورمون سیتوکینین که تأثیر بسزایی در تکثیر سلولی و رشد دارد (Mok, 1994) یا تأثیر منفی کادمیوم بر تولید انرژی در میتوکندری (Talatam and Pardia, 2009) نسبت داد.

### غلظت کادمیوم برگ

در پژوهش حاضر غلظت کادمیوم در برگ‌های کوشیا، با افزایش سطح کادمیوم در خاک به ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب به میزان ۱/۵ و ۱/۷ برابر تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۳). بنابراین به نظر می‌رسد علت کاهش رشد کوشیا به علت افزایش جذب کادمیوم توسط گیاه بوده باشد. البته این موضوع طبیعی به نظر می‌رسد، چرا که با افزایش هر عنصر در اطراف ریشه غلظت آن در گیاه نیز افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین به اثبات رسیده است تجمع فلزات سنگین در زیست‌توده گیاهی به غلظت فلزات موجود در خاک وابسته می‌باشد و تحرک و پویایی آن‌ها به عوامل محیطی از جمله دما، pH و رطوبت و ... بستگی دارد (Mendez and Mayer, 2008).

### محتوای نسبی آب برگ (RWC)

محتوای نسبی آب برگ نیز تنها تحت تأثیر اثرات ساده تنش شوری و غلظت کادمیوم در خاک قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش شدت تنش شوری به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر ۲۱ درصد محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (جدول ۲). Kafi et al. (2010) نیز کاهش

دلایل مختلفی برای چگونگی تأثیر شوری بر روند رشد گیاه وجود دارد. وجود مقادیر زیادی از یون‌های مضر کلر و سدیم در خاک‌های شور به واسطه ایجاد رقابت یونی باعث اختلال در جذب و متابولیسم عناصر غذایی دیگر می‌شوند که در نهایت منجر به کاهش رشد برگ‌ها، ساقه و کل گیاه می‌گردند (Gorai et al., 2010). هم‌چنین شوری با اختلال در جذب آب باعث اختلال در فرایندهای متابولیکی، فراهمی عناصر غذایی، بستن روزنه‌ها و تأثیر بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش فتوسنتز می‌شود که مجموع این عوامل نهایتاً منجر به کاهش فعالیت‌های مرستمی و طویل شدن سلولی می‌گردد (Kaydan and Okut, 2007; Munns and Tester, 2008). با گذشت بیشتر زمان و بروز تنش یونی نکرروز شدن و پیری زودرس برگ‌های بالغ و نهایتاً ریزش آن‌ها نیز سبب کاهش سطح فتوسنتزی حمایت‌کننده رشد، می‌شود (Kafi et al., 2014). قابل ذکر است در این پژوهش غلظت پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌ها تحت تأثیر هیچکدام از عوامل تنش شوری و کادمیوم و برهمکنش آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۱) که با نتایج Nabati et al. (2012) در گیاه کوشیا تحت تنش ۱۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر مطابقت دارد. آن‌ها علت این امر را مقاومت گیاه کوشیا به ورود سدیم بیان کردند. به نظر می‌رسد گیاه کوشیا در شرایط تنش شوری از طریق صرف مقادیر بیشتری انرژی، برای فرایندهای تنظیم اسمزی و تعادل یونی سعی بر حفظ رشد و بقا نموده و به‌ناچار ذخیره انرژی متابولیکی و سهم انرژی برای رشد در آن کاهش یافته و این امر سبب کاهش نسبی رشد کوشیا در شرایط بسیار شور گردیده است. Nabati et al. (2012) در کوشیا و Atlasi pak et al. (2016) در کلزا نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. افزایش میزان کادمیوم در خاک نیز تأثیر منفی و معنی‌داری بر خصوصیات رشدی کوشیا گذاشت (جدول ۱). با افزایش غلظت کادمیوم به ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک شاخه‌ها به ترتیب ۳/۰۴، ۱۲/۱۶ و ۲۴/۳۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). وزن خشک برگ، ساقه و سطح برگ نیز روند مشابه وزن خشک شاخه‌های جانبی نشان دادند و به گونه‌ای که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک به ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم



افزایش تنش شوری مشاهده نشد و گیاه با کاهش شدید در غلظت عناصر آهن و منگنز (به ترتیب به میزان ۵۰/۶ و ۷۶/۰۸ درصد) به عنوان عناصر اساسی در سنتز کلروفیل مواجه گردید، به نظر می رسد یکی از مهم ترین علل کاهش میزان رنگیزه های فتوسنتزی در این آزمایش عدم سنتز کلروفیل باشد.

### فعالیت آنتی اکسیدان های آنزیمی

میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز به طور معنی داری تحت تأثیر اثرات ساده و برهمکنش تنش شوری و کادمیوم قرار گرفت (جدول ۱). اگرچه در کلیه سطوح تنش کادمیوم با افزایش تنش شوری افزایش معنی داری در فعالیت هر سه آنزیم مورد مطالعه اتفاق افتاد و بیشترین فعالیت آن ها متعلق به تیمار شوری ۱۸ دسی زیمنس بر متر بود (شکل های ۱، ۲ و ۳)، اما فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز بیشتر تحت تأثیر تنش شوری افزایش یافت و اثر تنش کادمیوم نامحسوس بود. این افزایش فعالیت در آنزیم سوپراکسیددسموتاز تحت تنش به سنتز مولکولی پروتئین های آنزیمی نسبت داده شده است (Diwan et al., 2008). بنابراین آنزیم سوپراکسیددسموتاز به عنوان اولین سد دفاعی مخصوصاً در مقابل تنش شوری، توانسته است در کاهش اثرات این تنش نقش ایفا کرده و به عنوان یکی از مکانیسم های دفاعی گیاه کوشیا در مقابل تنش شوری مورد توجه قرار گیرد. فعالیت آنزیم کاتالاز با افزایش همزمان سطوح تنش شوری و کادمیوم به طور چشمگیری افزایش یافت (شکل ۲).

محتوای نسبی آب برگ را در کوشیا (Yousefi et al., 2016) و در کلزا تحت تأثیر تنش شوری گزارش کردند. افزایش غلظت کادمیوم در خاک نیز سبب کاهش معنی دار محتوای نسبی آب برگ کوشیا شد و با افزایش غلظت کادمیوم به ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش ۹ درصدی در محتوای نسبی آب برگ مشاهده گردید. گیاهان مقاوم به تنش در مقایسه با گیاهان حساس، رطوبت را با سرعت کمتری از دست می دهند و در مواجهه با تنش با محتوای آب نسبی بالاتر می توانند از طریق حفظ هدایت روزنه ای و در نتیجه تعرق و فتوسنتز بالاتر مقاومت بیشتر نشان دهند (Pessarakli and Kopec, 2008). کاهش محتوای نسبی آب برگ نه تنها سبب کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاهان می شود بلکه در اثر آسیب به غشای کلروپلاست ها، می تواند منجر به مرگ گیاه گردد (Bor et al., 2003).

### کلروفیل

میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها تنها به طور معنی داری تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش تنش شوری به ۱۸ دسی زیمنس بر متر غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل a و b و کاروتنوئید به ترتیب ۵۳/۷۶، ۵۶/۹۱، ۵۳/۷۵ و ۵۱/۲۱ درصد کاهش یافتند (جدول ۲). در پژوهش های مختلف علت کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش شوری را یا به تجزیه کلروفیل در اثر سمیت یون های کلرید و سدیم و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (نسبت دادند و یا عدم سنتز کلروفیل ذکر کردند (Kafi et al., 2014). با توجه این که در آزمایش حاضر در گیاه کوشیا سمیت یون سدیم با

Table 3. Comparison of the mean of simple effects of salinity and cadmium stress on the concentrations of iron (mg/kg), zinc (mg/kg), calcium (%) and magnesium (%) in Kochia

Salinity	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg
0	665.59 <sup>a</sup>	3.90 <sup>a</sup>	47.00 <sup>a</sup>	0.75 <sup>a</sup>	0.91 <sup>a</sup>
6	411.92 <sup>b</sup>	3.20 <sup>b</sup>	36.93 <sup>b</sup>	0.73 <sup>a</sup>	0.84 <sup>b</sup>
12	315.75 <sup>c</sup>	2.67 <sup>c</sup>	30.78 <sup>c</sup>	0.63 <sup>a</sup>	0.72 <sup>c</sup>
18	179.19 <sup>d</sup>	1.93 <sup>d</sup>	22.66 <sup>d</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.65 <sup>d</sup>
Cd (ppm)	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg
0	321.41 <sup>c</sup>	3.36 <sup>a</sup>	40.73 <sup>a</sup>	2.08 <sup>b</sup>	0.87 <sup>a</sup>
1	392.16 <sup>b</sup>	3.13 <sup>a</sup>	37.14 <sup>b</sup>	2.14 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>
5	417.52 <sup>ab</sup>	2.67 <sup>b</sup>	3.46 <sup>c</sup>	3.15 <sup>a</sup>	0.75 <sup>b</sup>
10	441.37 <sup>a</sup>	2.54 <sup>b</sup>	29.04 <sup>d</sup>	3.46 <sup>a</sup>	0.74 <sup>b</sup>

Means with the same letter in each column are not significantly different at 5% level (Duncan's Multiple Range Test).

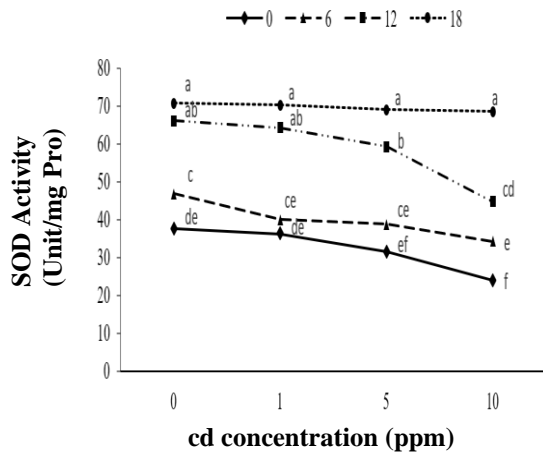


Figure 1. Comparison of the mean interaction of salinity and cadmium stress on the amount of superoxide dismutase enzyme activity in Kochia

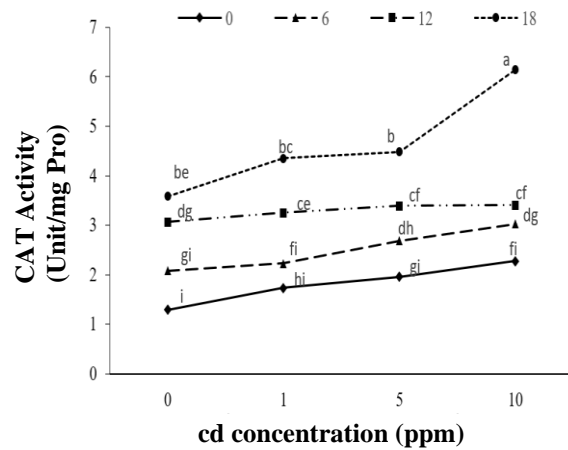


Figure 2. Comparison of the mean interaction of salinity and cadmium stress on catalase enzyme activity in Kochia

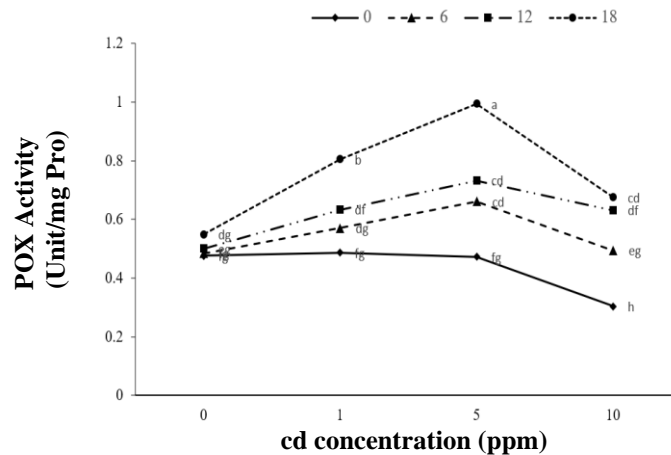


Figure 3. Comparison of the mean interaction of salinity and cadmium stress on peroxidase activity in Kochia

تنش شوری افزایش می‌یابد و گیاه از این طریق با تنش مقابله می‌کند هم‌چنین آن‌ها بیان کردند تأثیر منفی تنشی مانند فلزات سنگین بر فعالیت آنزیم‌ها می‌تواند با تأثیر مثبت تنش شوری خنثی شود، به عبارتی تنش شوری با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش ناشی از تخریب آنزیم‌های مذکور به واسطه فلزات سنگین را جبران می‌کند. فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز در کلیه تیمارهای تنش کادمیوم با افزایش شدت تنش شوری افزایش یافت اما در غلظت‌های متفاوت کادمیوم میزان این افزایش متفاوت و متغیر بود (شکل ۳). در صورت عدم وجود تنش کادمیوم با

به عبارت دیگر این دو تنش اثرات سینرژیتی بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز داشتند. به طوری که فعالیت این آنزیم در تنش شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر و در تیمارهای صفر، ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم نسبت به تیمار شاهدشان (عدم تنش شوری در غلظت کادمیوم موردنظر) به ترتیب ۲/۷، ۲/۳، ۲/۵، ۲/۷ برابر و نسبت به تیمار شاهد آزمایش (عدم تنش شوری و عدم تنش کادمیوم) ۳/۴، ۲/۷، ۴/۷ و ۳/۵ برابر شد.

Hosseinpour and Afsharipour (2016) نشان

دادند که فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه ریحان در مواجهه با

(جدول ۳). یکی از اثرات مضر تنش شوری روی گیاهان برهم زدن تعادل عناصر غذایی تحت تأثیر میزان سدیم و کلسیم خارج سلولی می‌باشد. یون‌های کلسیم و سدیم دارای اثرات رقابتی با یکدیگر بوده و تنظیم مناسب این دو عنصر بر غلظت عناصر غذایی از جمله آهن، روی، منگنز، کلسیم و پتاسیم تأثیر بسزایی دارد (Renault, 2005). Nabati et al. (2012) بیان داشتند در طی بروز تنش شوری علاوه بر کاهش جذب آب، تجمع برخی از یون‌ها در غلظت بالا در بافت گیاهان می‌تواند منجر به ایجاد سمیت و یا عدم تعادل یونی شود. به دلیل فراوانی و غلظت دو یون سدیم و کلر در خاک و آب‌های شور از جذب بسیاری از عناصر پر مصرف و کم مصرف کاسته می‌شود (Naseer, 2001). اما نتایج نشان داد کادمیوم نه تنها اثر منفی بر جذب آهن نداشت بلکه در غلظت بالا باعث افزایش جذب آهن گردید و در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم نسبت به تیمار شاهد ۳۷/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

Javad Zarrin and Motesahre Zade (2015) نتایج مشابهی را از تأثیر کادمیوم در افزایش جذب عنصر آهن در گندم گزارش نمودند. آن‌ها علت افزایش غلظت آهن در دو رقم پیش‌تاز و امید را در حضور کادمیوم به ترشح بیشتر سیدروفور از ریشه و رقابت آهن و عناصر مس و منگنز برای جذب شدن نسبت دادند. Wang et al. (2009) نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند. افزایش غلظت کادمیوم اثر منفی بر میزان منگنز و روی برگ داشت، به طوری که با افزایش میزان کادمیوم خاک به ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت منگنز و روی به ترتیب ۲۴/۴ و ۲۸/۷۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند. کادمیوم با تأثیر بر غشای پلاسمایی ریشه موجب اختلال در جذب و توزیع عناصر غذایی در قسمت‌های مختلف گیاه می‌شود.

Javad Zarrin and Motesahre Zade (2015) نیز کاهش شدید غلظت منگنز در دو رقم روشن و پیش‌گام در گندم را گزارش کردند و این کاهش را به انتقال بیشتر کادمیوم از طریق پروتئین‌های ناقل در غشای سلولی در مقایسه با منگنز مربوط دانستند. نتایج مشابهی در گیاهان

افزایش شوری تفاوت معنی‌داری در فعالیت آنزیم پراکسیداز مشاهده نشد اما با افزایش میزان کادمیوم به ۱ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با افزایش تنش شوری به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر در فعالیت این آنزیم افزایش محسوس و معنی‌داری نشان داد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به تیمار ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و تنش شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت که نسبت به تیمار شاهد فعالیتش ۲/۱ برابر شد اما این روند افزایشی در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نزول پیدا کرد و فعالیت آنزیم پراکسیداز در شوری ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر و کادمیوم ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به تیمار شاهد ۱/۴ برابر بود.

Hosseinpour and Afsharipour (2016) گزارش کردند فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط کاربرد کادمیوم کاهش یافت اما آن‌ها اظهار داشتند تیمار شوری توانست اثر مثبتی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی داشته باشد و از کاهش درصد پراکسیداز توسط کادمیوم ممانعت کند. افزایش آنزیم در رویارویی با همه تنش‌ها و در همه گیاهان رخ نمی‌دهد. در برخی مواقع با افزایش تنش، شاهد کاهش فعالیت آنزیم‌های مورد مطالعه هستیم که این کاهش از آسیب بر پیش‌سازهای لازم برای ساخت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی حکایت دارند (Moradi et al., 2019). در مطالعه حاضر نیز کادمیوم در سطح ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سبب کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز شده است که به نظر می‌رسد آسیب به سنتز و پیش‌سازهای این آنزیم در اثر تنش کادمیوم عامل این مسئله بوده است.

### غلظت آهن، منگنز و روی در برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس غلظت آهن، منگنز و روی به طور معنی‌داری تنها تحت تأثیر اثرات ساده تنش شوری و کادمیوم قرار گرفتند (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش شوری غلظت آهن، منگنز و روی در برگ به طور محسوس و معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). به طوری که با افزایش تنش شوری به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر غلظت آهن، منگنز و روی برگ به ترتیب ۷۳/۱، ۵۱/۵ و ۵۱/۸ درصد کاهش یافتند

ریونوکلئیک اسیدها و پروتئین‌ها نقش مهمی دارد (Valentine et al., 2012). میزان جذب آن با افزایش غلظت محیطی کاتیون‌های دیگر از جمله پتاسیم، آمونیوم و کلسیم بشدت کاهش می‌یابد، زیرا بین منیزیم، کلسیم و پتاسیم برای محل‌های جذب روی غشاهای سلولی ریشه رقابت وجود دارد (Hosseinzad-Behbood et al., 2014). هم‌چنین با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، غلظت یون منیزیم در خاک ۰/۱۲ درصد کاهش یافت و از این نظر اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده نشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد در کوشیا در حضور تنش کادمیوم غلظت کادمیوم در برگ‌ها و اندام هوایی به افزایش یافت و این امر نشان‌دهنده پتانسیل این گیاه برای گیاه پالایی (حذف فلزات سنگین توسط گیاه) از خاک‌های شور آلوده به کادمیوم می‌باشد. به نظر می‌رسد کارایی مناسب کوشیا در تجمع بالای کادمیوم، به دلیل سمیت‌زدایی کادمیوم در سلول‌ها باشد. زیرا کادمیوم با تولید گونه‌های فعال اکسیژن سبب بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود و در مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن، گیاه کوشیا مجهز به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (نظیر سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز) شده است. حضور شوری در کنار کادمیوم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد که احتمالاً یکی از راهکارهای گیاه در مواجهه با تنش محسوب می‌شود. هم‌چنین غلظت آهن با افزایش غلظت کادمیوم افزایش یافت، این افزایش می‌تواند دلیلی بر عدم تأثیر کادمیوم بر کاهش کلروفیل باشد، زیرا آهن به‌عنوان یکی از عناصر ضروری در ساخت کلروفیل محسوب می‌شود. با این حال کاهش بقیه عناصر غذایی در اثر افزایش تنش کادمیوم و شوری می‌تواند دلیلی بر کاهش عملکرد بوده و محققین را به این سمت و سو هدایت کند که در مواجهه با تنش‌های مذکور می‌توان از عناصر غذایی به‌صورت کود استفاده کرد تا گیاه دچار کمبود عناصر غذایی نشود.

ذرت (Lagriffoul et al., 1998) لویای سفید (Zornoza et al., 2002) و برنج (Liu et al., 2010) نیز گزارش شده است. کادمیوم و عناصر غذایی مانند روی و منگنز به دلیل هم‌ظرفیت بودن و داشتن رفتارهای شیمیایی همسان دارای برهمکنش منفی هستند (Mirsaid Hosseini et al., 2014). هم‌چنین داده‌های آزمایشگاهی نشان داده‌اند یون کادمیوم و یون‌های فلزی ضروری مانند یون روی و منگنز برای اتصال حامل‌های غشایی با یکدیگر رقابت می‌کنند (Irafan et al., 2013). (Akbarpour Saraskanrood et al., 2012). کردند از مهم‌ترین فلزات سنگین که معمولاً بر هم اثرات متقابل داشته می‌توان به روی و کادمیوم اشاره داشت. در غلظت‌های پایین عناصر روی و کادمیوم این دو فلز بر هم اثر سینرژیک داشته و به علت شباهت‌های زیاد این دو عنصر گیاهان قادرند عنصر کادمیوم را به جای عنصر روی در خود جذب نمایند. اما در غلظت‌های زیاد این دو عنصر اثرات آنتاگونیستیک (تداخلی و متضاد) داشت. در غلظت‌های بالای فلز روی از ورود و جذب کادمیوم در داخل گیاه ممانعت می‌کند.

غلظت کلسیم و منیزیم در برگ: نتایج نشان داد غلظت کلسیم و منیزیم برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱) و با افزایش تنش شوری به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر غلظت کلسیم و منیزیم برگ به ترتیب نسبت به تیمار شاهد ۰/۱۷ و ۰/۲۶ درصد کاهش یافتند (جدول ۳). کلسیم پایداری ساختمان غشای سلولی، انتقال و انتخاب پذیر یون را تنظیم می‌کند و رفتار تبادل یونی را به همان خوبی فعالیت‌های آنزیمی کنترل می‌کند (Marschner, 1995). اثرات آنتاگونیستی بین یون‌های کلسیم و سدیم گزارش شده است (Renault and Affifi, 2009). کاهش کلسیم تحت تنش شوری ممکن است نتیجه جایگزینی سدیم با کلسیم در مکان‌های تبادل کاتیونی آپوپلاستی باشد (Lynch and Lauchli, 1985). منیزیم به‌عنوان یک عنصر پر مصرف ضروری برای رشد گیاهان، اصلی‌ترین نقش خود را در ساختمان کلروفیل برای انجام فرایند فتوسنتز بازی می‌کند. هم‌چنین این کاتیون در سنتز

دانشگاه شهید باهنر کرمان در انجام این پژوهش کمال  
تشکر و قدردانی را داریم

## سپاس‌گزاری

بدین وسیله از حمایت مالی پژوهشکده تولیدات گیاهی

## References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods Enzymol*, 105,121-126.
- Akbarpour Saraskanrood, F., Sadri, F., & Gol Alizadeh, D. (2012). Phytoremediation of soils contaminated with some heavy metals by some native plants of Arasbaran protected area. *Journal of Soil and Water Resources Protection*, 4(1), 53-66. [In Farsi]
- Amacher, M. C. (1996). Nickel, cadmium, and lead. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. (P. 739-768). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163-190.
- Atlassi Pak, M., Nabipour, M., & Meskarbashi. 2016. Relationship between accumulation of nitrogen compounds and sugars and salt tolerance in rapeseed plant (*Brassica napus* L.). *Plant Productions*, 39(1), 1-10. [In Farsi]
- Beauchamp, C. H., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44(1), 276-287.
- Bingham, F. T., G. Sposito and J. E. Strong. (1984). The effect of chloride on the availability of cadmium. *Journal of Environment Quality*, 13(1), 71-74.
- Bor M., Ozdemir F., & Turkan, I. (2003). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L., & wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science*, 164(1), 77-84.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Chaab, A., & Savaghebi, G. H. (2010). Effect of zinc application on cadmium uptake of maize growth. *Agricultural Segment*, 1(1), 1515.
- Diwan, H., Ahmad, A., & Iqbal, M. (2008). Genotypic variation in the phytoremediation potential of Indian mustard for chromium. *Environmental Management*, 41(5), 734-740.
- Fathi Darreh Nietzsche, A., Parsinejad, M., Mirzaei, F., & Shariyazadeh, B. (2018). Effect of salinity of wastewater-contaminated soil on plant uptake of cadmium. *Iranian Soil and Water Research*, 48(2), 359-368. [In Farsi]
- Friesen, L. F., Beckie, H. J., Warwick, S. I., & Van Acker, R. C. (2009). The biology of Canadian weeds. *Kochia scoparia* (L.) schrad. *Canadian Journal of Plant Science*, 89(1), 141-167.
- Gallego, S. M., Pena, L. B., Barcia, R. A., Azpilicueta, C. E., Iannone, M. F., Rosales, E. P., ... & Benavides, M. P. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 83, 33-46.
- Ghorbani, H., Heydari, M., & Ghaffari, M. (2016). The effect of different salinity levels and heavy elements of lead and cadmium on growth, photosynthetic pigments and sodium and potassium in spinach. *Science and Technology of Greenhouse Cultivation*, 25(7), 15-23. [In Farsi]
- Gorai, M., Ennaje, M., Khemira, H., & Neffati, M. (2010) Combined effect of NaCl-salinity and hypoxia on growth, photosynthesis, water relations and solute accumulation in *Phragmites australis* plants. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(7), 462-470.

- Goussia, R., Manaab, A., Derbalia, W., Ghnaya, T., Abdelly, Ch., & Barbato, R. (2018). Combined effects of NaCl and Cd<sup>2+</sup> stress on the photosynthetic apparatus of *Thellungiella salsuginea*. *BBA-Bioenergetics*, 1859(12), 1274-1287.
- Hosseinpour, M. A., & Afsharipour, H. (2016). Investigation of different levels of cadmium and lead on some phytochemical properties of *Ocimum basilicum* in salinity conditions. *Journal of Ecophytochemistry of Medicinal Plants*, 1(10), 50-65. [In Farsi]
- Hossein-zad-Behbood, E., Chaparzadeh, N., & Dilmaghani, K. (2014). Effect of salicylic acid on growth parameters, osmolytes and osmotic potential in radish (*Raphanus sativus* L.) under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(1), 32-40.
- Irafan, M., Hayat, S.H., Ahmad, A., & Alyemeni, M. N. (2013). Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(1), 1-10.
- Jalali, J., Gaudin, P., Capioux, H., Ammar, F., & Lebeau, T. (2019). Fate and transport of metal trace elements from phosphogypsum piles in Tunisia and their impact on soil bacteria and wild plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174, 12-25.
- Javad Zarrin, I., & Moteshare Zade, B. (2015). Effect of cadmium on concentration of copper, iron, manganese and zinc in shoot of different cultivars of wheat. *Journal of Crops Improvement*, 17(1), 27-41. [In Farsi]
- Kafi, M. F., Nabati, J., Zare Mehrjardi, M., Goldani, M., Khani Nejad, S., Kashmiri, A., & Nowruzian, A. (2014). Evaluation of the healing effects of calcium and potassium on physiological properties of *Kochia scoparia* under salinity stress. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(2), 181-192. [In Farsi]
- Kafi, M., Asadi, H., & Ganjeali, A. (2010). Possible utilization of high salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte *Kochia scoparia* as alternative fodder in saline agroecosystems. *Agricultural Water Management*, 97(1), 139-147.
- Kang, Y., Chen, M., Wan, S. (2010). Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. ceratina Kulesh) in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97, 1303-1309.
- Kaydan, D., & Okut, M.Y. (2007). Effect of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tarim Bilimleri Derg.*, 13(2), 114-119.
- Lagriffoul, A. B., Mocquot, M., & Mench Vangronsveld, J. (1998) Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.). *Plant and Soil*, 200(2), 241-250.
- Lichenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoid pigments of photosynthetic. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
- Liu, J., Cao, C., Wong, M., Zhang, Z., & Chai, Y. (2010) Variations between rice cultivars in iron and manganese plaque on roots and the relation with plant cadmium uptake. *Environmental Sciences*, 22(7), 1067-1072.
- Lynch, J., & Lauchli, A. (1985). Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare* L.). *New Phytologist*, 99, 345-54.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press.
- Mendez, M. O., & Maier, R. M. (2008). Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Reviews in Environmental Science Biotechnology*, 7(1), 47-59.
- Mirsaid Hosseini, H., Khanbloki, G., & Shariah-zadeh, B. (2014). Evaluation of the effect of increasing the concentration of atmospheric carbon dioxide and cadmium on the concentrations of iron, copper and zinc in wheat and sorghum. *Journal of Ecological Agriculture*, 4(2), 65-81.
- Mok, M. C. (1994). Cytokinins and plant development: An overview. In: Mok, D. W. S., & M. C. Mok (Eds.), *Cytokinins: Chemistry, activity and function* (PP. 155-166). Boca Raton, FL: CRC Press.

- Moradi, R., Pourghasemian, N., & Naghizadeh, M. (2019). Effect of beeswax waste biochar on growth, physiology and cadmium uptake in saffron. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1251-1261.
- Munns, R., & Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Physiology*, 59(1), 651-681.
- Nabati, J., Gafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghadam, P., Masoumi, A., & Zare Mehrjardi, M. (2011). Study of oil production and biomass in saline bio-agriculture by *Kochia scoparia*. *Iranian Journal of Crop Research*, 9(4), 615-622. [In Farsi]
- Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghadam, P., Masoumi A., & Zare Mehrjoui, M. (2012). The effect of salinity stress at different growth stages on quantitative and qualitative characteristics of *Kochia forage*. *Electronic Journal of Crop Production*, 5(2), 111-128. [In Farsi]
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen-peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach-chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22(5), 867-880.
- Naseer, S. (2001). Response of barley (*Hordeum vulgare* L.) at various growth stages to salt stress. *Journal of Biological Science*, 1(5), 326-259.
- Pessaraki, M., & Kopec, D. M. (2008). Comparing growth responses of selected cool-season turfgrasses under salinity and drought stresses. *Acta Horticulturae*, 783, 169-174.
- Razavinia, S. M. B., Pourghasemian, N., & Najafi, F. (2021). Investigating the Effect of Cadmium and Lead on Growth Parameters and Quality Characteristics of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 35(2), 235-251. [In Farsi].
- Renault, S. (2005). Response of red osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings to sodium sulphate salinity: effects of supplemental calcium. *Physiologia Plantarum*, 123, 75-81.
- Renault, S., & Affifi, M. (2009). Improving NaCl resistance of red-osier dogwood: Role of CaCl<sub>2</sub> and CaSO<sub>4</sub>. *Plant and Soil*, 315, 123-133.
- Ritchie, S. W., & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1), 105-111.
- Talatam, S., & Parida, B. (2009). *Crop growth as influenced by Zinc and organic matter in cadmium-rich polluted soils*. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/1277783q>.
- Tekdal, D., & Cetiner, S. (2018). Investigation of the effects of salt (NaCl) stress and cadmium (cd) toxicity on growth and mineral acquisition of *Vuralia turcica*. *South African Journal of Botany*. 118, 274-279.
- Valentine, J., Clifton-Brown, J., Hastings, A., Robson, P., Allison, G., & Smith, P. (2012). Food vs. fuel: the use of land for lignocellulosic 'next generation' energy crops that minimize competition with primary food production. *Gcb Bioenergy*, 4, 1-19.
- Veselov, D., Kuudoyarova, G., Ssymonyan, M., & Veselov, S. T. (2003). Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seedlings. *Plant Physiology*, 117, 353-359.
- Wali, M., Gunse, B., Llugany, M., Corrales, I., Abdelly, C., Poschenrieder, C., & Ghnaya, T. (2016). High salinity helps the halophyte *Sesuvium portulacastrum* in defense against Cd toxicity by maintaining redox balance and photosynthesis. *Planta*, 244(2), 333-346.
- Wali, MS. Martos, L. Pérez-Martín, C. Abdelly, T. Ghnaya, C. Poschenrieder, B. Gunse. (2017). Cadmium hampers salt tolerance of *Sesuvium portulacastrum*, plant physiol. *Biochem*, 115, 390-399.
- Wang, C., Sun, Q., & Wang, L. (2009) Cadmium toxicity and phytochelatin production in a rooted submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* exposed to low concentrations of cadmium. *Environmental Toxicology*, 24(3), 271-278.
- Yousefi, F., Hasibi, P., Dezfuli, H., & Maskarbashi, M. (2016). Study of drought and salinity stresses effect

on some physiological characters of two canola (*Brassica napus* L.) varieties in Ahvaz. *Plant Productions*, 38(4), 25-34. [In Farsi]

Zornoza, P. S., Vazquez, E., Esteban, M., Fernandez, P., & Carpena, R. (2002). Cadmium-stress in nodulated white lupin: Strategies to avoid toxicity. *Plant Physiologia Biochemistry*, 40, 1003-1009.