

Investigation of the Effect of Salinity and Cadmium Interaction on the Amount of Pigments in Hawthorn Plant

Allahyar Kamari¹, Farhanaz Noraei²

Original Article

Abstract

Background: One of the most important issues in today's world is cleaning soil contaminated with mineral pollutants. Phytoremediation is one of the methods that has received a lot of attention in recent decades due to its economic and environmental compatibility. This study aims to investigate the effect of salinity and polluted soils on cadmium absorption by hawthorn species.

Methods: This study was a completely randomized design with two factors of cadmium and salinity which was carried out in factorial form with 3 replications. Cadmium factor had five different levels including zero (control), 50, 100, 200, and 400 mM and salinity factor had three different levels of zero (control), 50, and 100 mM sodium chloride.

Findings: With the increase of salinity and cadmium concentration, the amount of photosynthetic pigments, i.e., chlorophyll a and b, carotenoid, and total chlorophyll decreased significantly which was related to 50 mmol of salinity and 100 mmol of cadmium.

Conclusion: Based on the obtained results, hawthorn seedlings can be suggested as stabilizing species for cleaning soils contaminated with the heavy metal cadmium.

Keywords: Crataegus L; Salinity; Cadmium; Photosynthesis; Soil

Citation: Kamari A, Noraei F. Investigation of the Effect of Salinity and Cadmium Interaction on the Amount of Pigments in Hawthorn Plant. J Health Syst Res 2022; 18(4): 321-7.

1- Department of Biology, Payam Noor University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biology, Payam Noor University, Tehran, Iran

Corresponding Author: Farhanaz Noraei; Assistant Professor, Department of Biology, Payam Noor University, Tehran, Iran

Email: noraei@pnu.ac.ir

بررسی تأثیر برهم‌کنش شوری و کادمیوم بر میزان رنگدانه‌های موجود در گیاه زالزالک

اله‌یار کمری^۱، فرحناز نورایی^۲

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: پاکسازی خاک‌های آلوده به آلاینده‌های معدنی، یکی از مسایل مهم در دنیای امروزی می‌باشد. گیاه‌پالایی یکی از روش‌های اقتصادی و سازگار با محیط زیست است که در دهه‌های اخیر توجه زیادی به آن شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر شوری و خاک‌های آلوده بر جذب کادمیوم توسط گونه‌های زالزالک صورت گرفت.

روش‌ها: این مطالعه یک طرح کاملاً تصادفی با دو شاخص کادمیوم و شوری بود که به صورت فاکتوریل همراه با ۳ تکرار انجام گردید. شاخص کادمیوم دارای پنج سطح مختلف شامل صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار و شاخص شوری دارای سه سطح مختلف صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود.

یافته‌ها: با افزایش غلظت شوری و کادمیوم، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی یعنی کلروفیل a و b، کاربوتئید و کلروفیل کل کاهش معنی‌داری پیدا کرد که این کاهش مربوط به ۵۰ میلی‌مول شوری و ۱۰۰ میلی‌مول کادمیوم بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به دست آمده، نهال‌های زالزالک را می‌توان به عنوان گونه تثبیت‌کننده برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلز سنگین کادمیوم پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: گیاه زالزالک؛ شوری؛ کادمیوم؛ فتوسنتز؛ خاک

ارجاع: کمری اله‌یار، نورایی فرحناز. بررسی تأثیر برهم‌کنش شوری و کادمیوم بر میزان رنگدانه‌های موجود در گیاه زالزالک. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۱؛ ۱۸ (۴): ۳۲۱-۳۲۷

تاریخ چاپ: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۸/۱۵

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۷

این‌ها باعث کوچک ماندن برگ‌ها، سیستم ریشه و جوانه‌ها می‌شود و بدین ترتیب، حاشیه برگ‌ها دارای لکه‌های زرد رنگ (به خصوص در نقاط رشد) می‌شود و مقدار آب و فعالیت آنزیمی گیاه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، سنتز پروتئین‌ها و نفوذپذیری غشای سلولی کاهش می‌یابد و در کل، اندام‌های گیاه آسیب می‌بیند (۲).

تحت شرایط شوری، گیاهان به جای استفاده از یون سدیم، بیشتر از یون‌های پتاسیم یا کلسیم استفاده می‌کنند که این امر منجر به افزایش نسبت یون‌های پتاسیم یا کلسیم به سدیم می‌گردد و بر اساس نتایج مطالعات، مشخص شده است که تمامی غلات در مقایسه با بقولات، مقاومت و ماندگاری بیشتری را در برابر تنش شوری دارند (۳). جذب کادمیوم در حضور شوری یا کلر، ممکن است یک پدیده کلی باشد که در بسیاری از محصولات رخ می‌دهد که این محصولات شامل گروه بزرگی از غلات می‌باشد (۴). شواهد نشان می‌دهد که تنش شوری و کادمیوم در ترکیب با هم، باعث نفوذپذیری بیشتر اجزای پلاسما و پیشبرد تولید رادیکال‌ها در گندم می‌شود. وقتی که گیاه در خاکی با کلرید سدیم (NaCl) بیشتر رشد می‌کند، جذب کادمیوم بیشتر است (۵). کادمیوم و شوری، باعث تولید تنش اکسیداتیو در گیاه و توقف رشد و حتی مرگ گیاه می‌شود. تنش اکسیداتیو عامل اصلی آسیب سلول در همه ارگانیسم‌ها است که در برابر تنش‌های مختلف قرار می‌گیرد (۶). بر اساس آمارها، حدود ۳۹۷ میلیون هکتار از زمین‌ها شور هستند. ۹/۵۷۶۲ میلیون هکتار تحت تنش خشکسالی قرار

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحت تنش شوری، خشکی فیزیولوژیک ممکن است موجب محدودیت در جذب آب از خاک شود. از سوی دیگر، افزایش جذب نمک و سمیت یونی، سبب اختلال در کارکرد سلولی و آسیب رساندن به فرایندهای فیزیولوژیک از قبیل فتوسنتز و تنفس می‌شود که کاهش فرایندهای رشد و نمو گیاه مانند جوانه‌زنی، رشد گیاهچه می‌شود و در نهایت، کاهش میزان تولید محصول را در گیاه به دنبال دارد. با توجه به روند افزایشی اراضی شور، شناسایی ارقام مقاوم به شوری از جمله در خیار، از اهمیت زیادی برخوردار است (۱). شوری زیاد، از طرق گوناگونی بر گیاهان تأثیر می‌گذارد که از آن جمله می‌توان به تنش آبی، مسمومیت یونی، اختلال تغذیه‌ای، تنش اکسایشی، تغییر فرایندهای متابولیسمی، از هم‌پاشیدگی غشای سلولی، کاهش رشد سلول، مسمومیت ژنتیکی وقتی که گیاه در معرض نمک و شوری بیش از حد قرار می‌گیرد، رشد ریشه‌ها و ارتفاع آن همراه با تشکیل جوانه، طول اندام‌هایی مانند ریشه، ساقه و شاخه، کاهش وزن خشک و تازه گیاه و مساحت سطح برگ گیاه اشاره کرد. بدین ترتیب، تعداد گیاهان پدیدار شده کاهش می‌یابد و مقدار کلروفیل و سطح بازده محصول و طعم و رنگ میوه‌های گیاه تنزل پیدا می‌کند و تعادل یونی سلول‌ها به هم می‌خورد و تنش اکسایشی رخ می‌دهد که همگی

۱- گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

نویسنده مسؤول: فرحناز نورایی؛ استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تجزیه و تحلیل قرار گرفت. $P < 0.05$ به عنوان سطح معنی داری در نظر گرفته شد. برای رسم جداول و نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

یافته‌ها

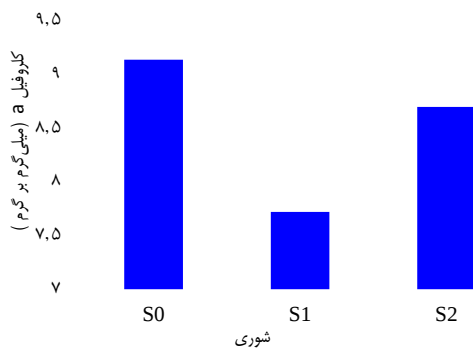
تأثیر شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل a: نتایج آزمون ANOVA نشان داد که اثر شوری، کادمیوم و تأثیر متقابل آن‌ها و همچنین، اثر تیمار و تکرار بر میزان کلروفیل a در گیاه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱). معنی دار شدن اثر شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل گیاه نشان می‌دهد که این دو عامل تأثیر مثبت و معنی داری بر مقدار کلروفیل a داشت. همچنین، اثر متقابل این دو نشان دهنده آن است که با حضور شوری، کادمیوم اثر منفی بر مقدار کلروفیل a می‌گذارد. مقدار ضریب تغییرات محاسبه شده برای کلروفیل a، ۸/۶۲ درصد به دست آمد.

جدول ۱. نتایج آزمون ANOVA تأثیر سطوح مختلف شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل a در گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
شوری	۲	۱۲/۶۶	۶/۳۳**
کادمیوم	۳	۸۳/۱۳	۲۷/۷۱**
شوری × کادمیوم	۶	۱۹/۰۸	۳/۱۸**
تیمار	۱۱	۱۱۴/۸۸	۱۰/۴۳**
تکرار	۲	۴/۸۹	۲/۴۴*
خطا	۲۲	۷/۲۶	۰/۳۳
کل	۴۶	۲۷۴۲/۴۹	
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۶۲	

* معنی داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی داری در سطح ۰/۰۱

اثر سطوح شوری بر مقدار کلروفیل a نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار شاهد و سطح ۱۰۰ میلی گرم شوری به ترتیب ۹/۱۴ و ۸/۷۰ میلی گرم بر گرم کمترین میزان کلروفیل a در غلظت ۵۰ میلی گرم شوری، ۷/۷۲ میلی گرم بر گرم مشاهده گردید (شکل ۱).



شکل ۱. اثر ساده شوری بر مقدار کلروفیل a گیاه

دارند. تحت شرایط تنش شوری، افزایش مقدار و شدت نمک‌های حل شده در اطراف ریشه گیاه، باعث اختلال در جذب آب توسط ریشه‌ها می‌شود و بدین ترتیب، غلظت یونی را افزایش می‌دهد و در نهایت، باعث مسمومیت گیاه می‌گردد (۷). جنس زالزالک در مناطق معتدل ایران (شمال، شمال غرب و غرب) پراکنش دارد. زالزالک در ایران یکی از جنس‌های مهم تیره گل سرخ (رزاسه) می‌باشد و در منابع مختلف، تعداد گونه‌های متفاوتی برای این جنس ذکر شده است. از طرف دیگر، تحقیقات انجام شده در مورد این جنس در ایران بیشتر جنبه ریخت‌شناسی محض داشته است و جنبه‌های مهم زیادی به خصوص در مورد وجود هیبریدها وجود دارد. همچنین، تنوع مورفولوژیک درون گونه‌ای در برخی از گونه‌های آن یافت می‌شود. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر شوری و خاک‌های آلوده بر جذب کادمیوم توسط گونه‌های زالزالک بود.

روش‌ها

در این مطالعه، از گیاه زالزالک، فلز کادمیوم به صورت نیترات کادمیوم در پنج سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی مولار) و شوری به صورت کلرید سدیم در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) بر رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه زالزالک مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های تصادفی با سه تکرار انجام شد. بذره‌های گیاه زالزالک از مرکز اصلاح بذر کرج تهیه و پس از ضدعفونی و شستشو، داخل گلدان‌هایی به ارتفاع ۱۳ سانتی متر و قطر دهانه ۱۱ سانتی متر کشت گردید. پس از نم دادن بذرها، در هر گلدان ۱۴ بذر قرار داده و روی آن‌ها با لایه نازکی از لیکا پوشانده شد. آبیاری گلدان‌ها در ۱۰ روز اول با آب مقطر و در ۱۰ روز دوم با محلول Hoagland انجام شد. از روز ۲۰ تا ۳۰ به دادن تیمار اقدام گردید و روز ۳۰ گیاهان جمع‌آوری شد.

برای تعیین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در نمونه‌ها، از روش Arnon (۲) استفاده گردید. استخراج کلروفیل از برگ با کمک استون ۸۰ درصد انجام شد. مقدار ۰/۲ گرم از بافت تر برگ هر کدام از تیمارها وزن گردید. ساییدن برگ با استون به صورت تدریجی تا حصول یک محلول بی‌رنگ ادامه یافت. سپس حجم محلول با استون به ۲۵ میلی لیتر رسید. محصول به دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفوژ گردید. پس از آن، جذب محلول رویی به وسیله دستگاه UV اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر ثبت شد. از استون ۱۰۰ درصد نیز به عنوان بلانک استفاده شد. در نهایت، برای محاسبه کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل از روابط ۱ تا ۳ استفاده شد.

رابطه ۱ کلروفیل a = $[(12/7) \times \text{جذب } 663 - (2/6) \times \text{جذب } 645]$ نانومتر / میلی لیتر استون / میلی گرم بافت برگ

رابطه ۲ کلروفیل b = $[(22/9) \times \text{جذب } 645 - (4/68) \times \text{جذب } 663]$ نانومتر / میلی لیتر استون / میلی گرم بافت برگ

رابطه ۳ کلروفیل کل = کلروفیل a + کلروفیل b

کل گلدان‌های مورد استفاده، ۷۲ گلدان بود. داده‌ها با استفاده از آزمون ANOVA و میانگین‌ها با استفاده از آزمون Duncan در نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ (version 26, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد

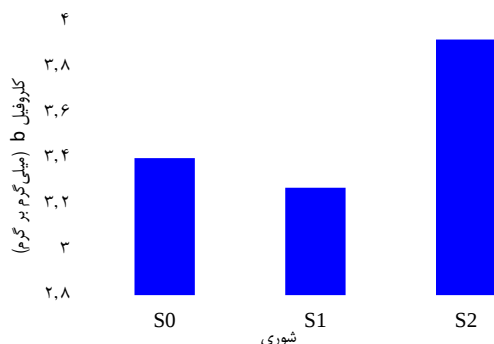
تیمار بر مقدار کلروفیل b در سطح ۱ درصد و تکرار در ۵ درصد بر میزان کلروفیل b گیاه معنی‌دار گزارش گردید. نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل b می‌باشد. مقدار ضریب تغییرات محاسبه شده برای کلروفیل b، ۸/۹۱ درصد بود.

جدول ۲. نتایج آزمون ANOVA تأثیر سطوح مختلف شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل b گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
شوری	۲	۲/۸۶	۱/۴۳
کادمیوم	۳	۱۱/۹۹	۳/۹۹
شوری × کادمیوم	۶	۴/۸۴	۰/۸۰
تیمار	۱۱	۱۹/۷۰	۱/۷۹
تکرار	۲	۳/۶۹	۱/۸۴
خطا	۲۲	۳/۳۹	۰/۱۵
کل	۴۶	۴۷/۸۲	
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۹۱	

* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

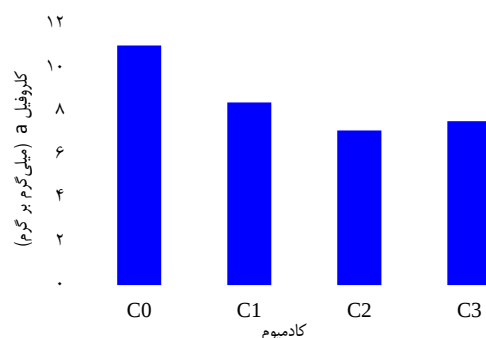
مقایسه میانگین‌های انجام شده برای تعیین بهترین سطح شوری و تأثیر ساده آن بر میزان کلروفیل b نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل در بالاترین مقدار شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) برابر با ۳/۹۲ میلی‌گرم بر گرم بود و کمترین مقدار کلروفیل b در تیمار شاهد و ۵۰ میلی‌مولار به ترتیب برابر با ۳/۲۷ و ۳/۴۰ میلی‌گرم بر گرم مشاهده گردید (شکل ۴).



شکل ۴. اثر ساده شوری بر مقدار کلروفیل b گیاه

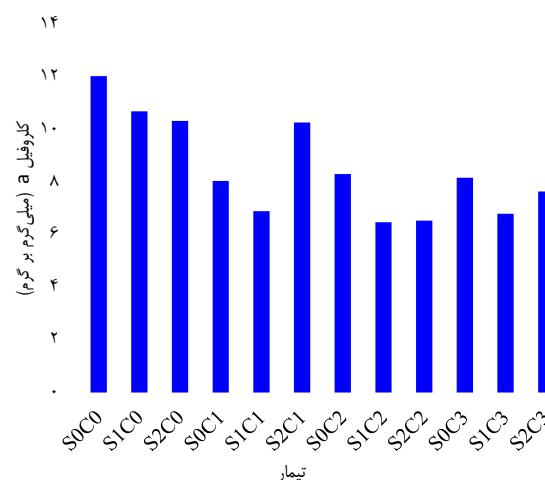
مقایسه میانگین اثر ساده کادمیوم بر میزان کلروفیل b نشان داد که با افزایش کادمیوم، میزان کلروفیل b کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین میزان آن در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کادمیوم به ترتیب ۲/۹۷ و ۳/۱۷ میلی‌گرم بر گرم مشاهده گردید (شکل ۵). اثر متقابل تیمارهای شوری و کادمیوم نشان داد که در هر سطح شوری با افزایش مقدار کادمیوم در خاک میزان کلروفیل افزایش یافت؛ به گونه‌ای که بیشترین مقدار کلروفیل در سطوح بالای شوری مشاهده گردید.

به نظر می‌رسد افزایش شوری، باعث کاهش میزان کلروفیل a شده است. همچنین، مقایسه میانگین کادمیوم بر میزان کلروفیل a نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a با میزان ۵/۱۲ میلی‌گرم بر گرم در سطح دوم کادمیوم (۵۰ میلی‌مول) مشاهده گردید و کمترین میزان کلروفیل a در تیمار شاهد و سطوح بالای کادمیوم مصرفی (سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مول)، ۳/۸۶، ۳/۳۳ و ۴/۵۲ میلی‌گرم بر گرم مشاهده گردید (شکل ۲). یکی از دلایل کاهش کلروفیل a شاید تنش ناشی از مسمومیت کادمیوم باشد.



شکل ۲. اثر ساده کادمیوم بر مقدار کلروفیل a گیاه

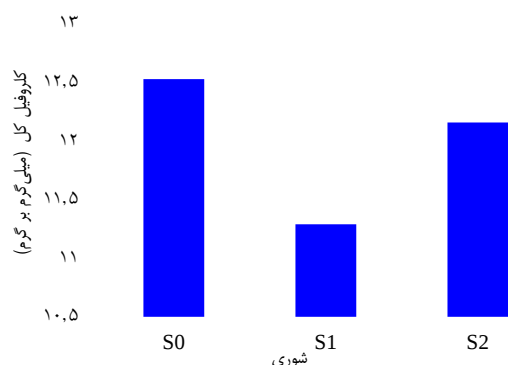
نتایج اثر متقابل دو عامل شوری و کادمیوم نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمارهای عدم مصرف کادمیوم (S1C0 و S0C0 و S2C0) مشاهده گردید؛ در حالی که کمترین میزان کلروفیل در S2C2 و aS1C2 گزارش شد. به نظر می‌رسد که با وجود شوری، افزایش کادمیوم باعث کاهش مقدار کلروفیل a شده است (شکل ۳).



شکل ۳. اثر متقابل شوری و کادمیوم بر مقدار کلروفیل a در گیاه

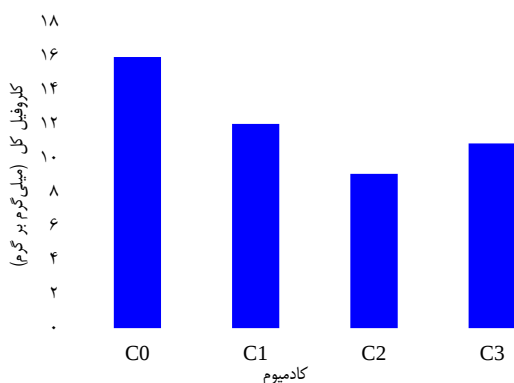
تأثیر شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل b بر اساس نتایج آزمون ANOVA، اثر شوری و کادمیوم در سطح ۵ درصد و اثر متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل b گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). از طرف دیگر، اثر

با توجه به این که همین نتایج در کلروفیل a و b مشاهده شده است، امکان وجود چنین نتایجی برای کلروفیل کل مسلم می‌باشد. مقدار ضریب تغییرات محاسبه شده برای کلروفیل کل، ۱۳/۷۴ درصد به دست آمد. مقایسه میانگین سطوح شوری نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سطوح شوری بر میزان کلروفیل کل مشاهده نگردید و با افزایش سطح شوری، تغییری در مقدار کلروفیل کل گیاه ایجاد نشد (شکل ۷).



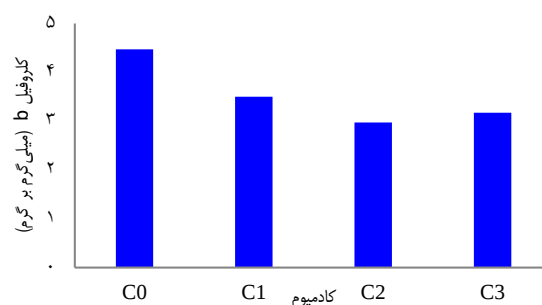
شکل ۷. اثر ساده شوری بر مقدار کلروفیل کل گیاه

همچنین، مقایسه میانگین کادمیوم بر میزان کلروفیل کل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد با میزان ۱۵/۹۷ میلی گرم بر گرم بود؛ در حالی که کمترین مقادیر کلروفیل کل اندازه‌گیری شده در سطوح بالای کادمیوم مشاهده گردید که ممکن است به علت مسمومیت بالای کادمیوم بر گیاه باشد (شکل ۸).



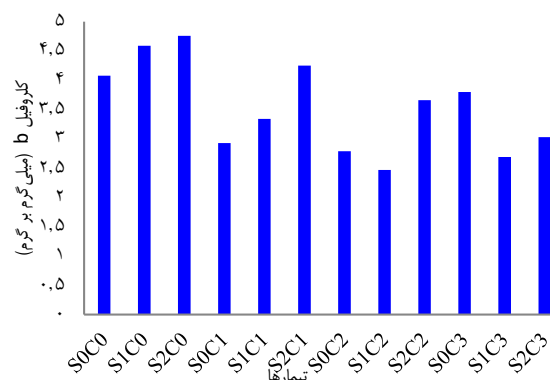
شکل ۸. اثر ساده کادمیوم بر مقدار کلروفیل کل گیاه

نتایج اثر متقابل دو عامل شوری و کادمیوم نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمارهای S0C0, S1C0 و S2C0 یعنی تیمارهای عدم مصرف کادمیوم به دست آمد که شاید این امر به دلیل کاهش اثرات تنش عنصر سنگین بر عملکرد و کلروفیل کل گیاه باشد. از طرف دیگر، کمترین میزان کلروفیل کل در تیمار S2C2 مشاهده گردید که این امر نیز ممکن است به علت اثرات توأم منفی شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل کل باشد (شکل ۹).



شکل ۵. اثر ساده کادمیوم بر مقدار کلروفیل b گیاه

بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار S2C0 برابر با ۴/۷۶ میلی گرم بر گرم و کمترین مقدار کلروفیل b در تیمار S1C2 برابر با ۲/۴۷ میلی گرم بر گرم به دست آمد (شکل ۶).



شکل ۶. اثر متقابل شوری و کادمیوم بر مقدار کلروفیل b گیاه

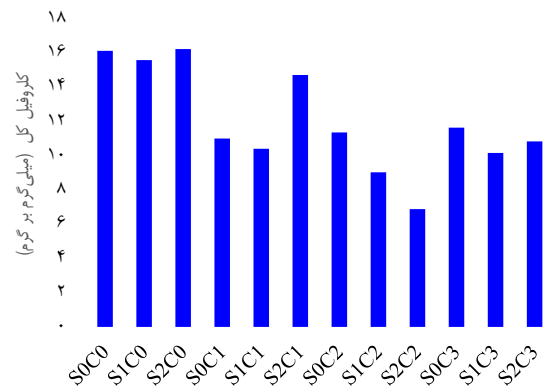
تأثیر شوری و کادمیوم بر میزان کلروفیل کل: نتایج آزمون ANOVA نشان داد که اثر شوری، کادمیوم و تیمار در سطح ۱ درصد معنی‌دار و اثر متقابل شوری و کادمیوم و تکرار بر میزان کلروفیل کل گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج آزمون ANOVA تأثیر سطوح مختلف شوری و

کادمیوم بر مقدار کلروفیل کل گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
شوری	۲	۹/۶۵	۴/۸۳**
کادمیوم	۳	۲۲۹/۵۲	۷۶/۵۱**
شوری × کادمیوم	۶	۵۷/۱۰	۹/۵*
تیمار	۱۱	۲۹۶/۲۲۸	۲۶/۹۳**
تکرار	۲	۵/۷۴	۲/۸۷*
خطا	۲۲	۶۳/۷۴	۲/۸۹
کل	۴۶	۵۵۴۶/۹۴	
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۷۴	

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، **معنی‌داری در سطح ۰/۰۱



شکل ۹. اثر متقابل شوری و کادمیوم بر مقدار کلروفیل کل گیاه

بحث

گونه‌های جنس زالزالک دارای چوب سخت می‌باشند و به این دلیل، نام این جنس از واژه یونانی Kratos به معنای سخت و محکم گرفته شده است. گونه‌های این جنس به صورت درختچه یا درختی خزان‌کننده هستند و اغلب خار دارند. برگ‌ها در این جنس متناوب و در حاشیه ساده یا لب‌دار می‌باشند. گونه‌ها در این جنس دارای گوشوارک هستند که گوشوارک در شاخه‌های نازا بزرگ و گاهی برگ مانند است (۸). گل آذین حالت دپهیمی دارد که بر روی شاخه‌های کوتاه به وجود می‌آید. گل‌ها ۵ تایی می‌باشد و اغلب کاسبرگ فرعی وجود ندارد. گلبرگ‌ها ۵ عدد سفید یا صورتی و اغلب بلندتر از کاسبرگ‌ها هستند. پرچم‌ها ۵ تا ۲۵ و برچه‌ها ۱ تا ۵ می‌باشد. میوه‌ها بیشتر کروی تا بیضی در بعضی گونه‌ها در قاعده زاویه‌دار، غضروفی، زرد، قرمز، ارغوانی یا سیاه می‌باشد. کاسبرگ‌ها بر روی میوه افراشته، تاج مانند یا برگشته هستند. قسمت گوشتی میوه گاهی آبدار و توسعه یافته است. دانه‌ها ۱ تا ۵ عدد، محکم و بسیار سخت است (۹).

در پژوهش حاضر، تنش شوری باعث کاهش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی شد. این کاهش می‌تواند به طور عمده به علت تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها و واکنش آن‌ها با اکسیژن یکتایی، تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل، جلوگیری از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیل‌از و اختلالات هورمونی باشد که با نتایج سایر مطالعات (۱۰-۱۲) همسو بود. تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها در تنش شوری نیز تأثیر منفی بر غلظت کلروفیل دارد (۱۳). علاوه بر این، تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری همچون آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند. این عناصر در سنتز کلروفیل

ضروری هستند (۱۴). لیپواکسیژناز نیز از آنزیم‌های دخیل در کاتابولیسم کلروفیل است و در هنگام تنش، یکی از آنزیم‌های دخیل در پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد (۱۵). یکی از عوامل کاهش کلروفیل، می‌تواند سست شدن اتصال کلروفیل به پروتئین‌های کلروپلاستی باشد که بستگی به مقدار یون‌ها دارد. تحت تأثیر شوری، میزان Na^+ و Cl^- افزایش می‌یابد و در شوری شدید به حد سمیت می‌رسد. به دنبال آن، کاهش جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم صورت می‌گیرد که می‌تواند از دلایل کاهش کلروفیل باشد که با نتایج تحقیق Norvell و همکاران (۱۴) مطابقت داشت.

انتقال کادمیوم به اندام هوایی و در نهایت، تجمع آن در سلول‌های برگ، باعث بروز علائم موفولوژیک و فیزیولوژیک تنش کادمیوم در برگ می‌شود که از شاخص‌ترین این علائم، کلروزگی است که این علائم به وضوح در تیمار با کادمیوم در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد. مطالعات گزارش کرده‌اند که این کلروزگی به علت بیوسنتز ناقص کلروفیل است (۱۵). بنابراین، محتوای کلروفیل به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، وجود کادمیوم در سلول‌های برگ، باعث کاهش میزان کاروتنوئیدها می‌شود که در تحقیق حاضر هم کاملاً این اثر مشاهده شد. وجود یون کادمیوم در سلول، می‌تواند دلیل احتمالی مهار انتقال الکترون در سطح کمپلکس شکست آب باشد که در نهایت، باعث کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل و کاروتنوئید می‌شود و با نتایج پژوهش Sunkar و همکاران (۱۶) مطابقت داشت.

در اثر کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، تولید بیوماس و رشد در گیاه مورد بررسی کاهش یافت. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که کاهش وزن بوته لوبیا در اثر افزایش کادمیوم به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی و آب می‌باشد (۱۶).

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میزان کلروفیل برگ‌ها با افزایش غلظت کادمیوم در محیط رشد کاهش یافت. کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تیمار کادمیوم می‌تواند به دلیل آسیب‌های اکسیداتیو باشد. همچنین، این کاهش در اثر بازدارندگی مراحل مختلف سنتز کلروفیل و رنگدانه‌های کارتنوئیدی است. بنابراین، در نتیجه‌گیری کلی می‌توان ذکر نمود که تنش شوری و کادمیوم بر روی گیاه زالزالک باعث کاهش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات تمام مشارکت‌کنندگان و همچنین، افرادی که در انجام پژوهش حاضر همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

- John R, Ahmad P, Gadgil K, Sharma S. Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemna polyrrhiza* L. *Plant Soil Environ* 2008; 54(6): 262-70.
- Arnon AN. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agron J* 1967; 23(1): 112-21.
- Chinnusamy V, Zhu J, Zhu JK. Cold stress regulation of gene expression in plants. *Trends Plant Sci* 2007; 12(10): 444-51.
- Costa MaL, Civello PM, Chaves AR, Martinez GA. Effect of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20°C. *Postharvest Biol Technol* 2005; 35(2): 191-9.

5. El-Tayeb MA. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul* 2005; 45(3): 215-24.
6. Gouia H, Habib Ghorbal M, Meyer C. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiol Biochem* 2000; 38(7): 629-38.
7. Gupta NK, Meena SK, Gupta S, Khandelwal SK. Gas exchange, membrane permeability, and ion uptake in two species of Indian jujube differing in salt tolerance. *Photosynthetica* 2002; 40(4): 535-9.
8. Hegedus A, Erdei S, Horvath G. Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. *Plant Sci* 2001; 160(6): 1085-93.
9. A. Jenssen. Chlorophyll and carotenoids. In: Hellebust JA, Craigie JS, editors. *Handbook of physiological methods: Physiological and biochemical methods*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1978. p. 59-70.
10. Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A, Karam F, Mastrorilli M. Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agric Water Manag* 1994; 26(1): 81-91.
11. Kaya C, Higgs D, Kirnak H. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Bulg J Plant Physiol* 2001; 27(3-4): 47-59.
12. Liu D, Wang M, Zou JH, Jiang WS. Uptake and accumulation of cadmium and some nutrient ions by roots and shoots of maize (*Zea mays* L.). *Pak J Bot* 2006; 38(3): 701-9.
13. Neocleous D, Vasilakakis M. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. 'Autumn Bliss'). *Sci Hortic* 2007; 112(3): 282-9.
14. Norvell WA, Wu J, Hopkins DG, Welch RM. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Sci Soc Am J* 2000; 64(6): 2162-8.
15. Stepien, P., Klbus, G. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biol Plant* 2006; 50(4): 610-6.
16. Sunkar R. MicroRNAs with macro-effects on plant stress responses. *Semin Cell Dev Biol* 2010; 21(8): 805-11.