Journal of Plant Environmental Physiology
ISSN: 7671-2423 (Print), 2783-4689 (Online) http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir

Doi: 10.30495/iper.2021.679568;
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.65.7.0

Evaluation of the interaction effects of salinity and chromium on photosynthetic pigments and photochemical performance of *Portulaca oleracea* L.

Zahra Talebzadeh*, Rahleh Rahbarian, Mohabbat Nadaf, Hamid Sobhanian

Payame Noor University, Tehran, Iran, Email:zatalebzadeh@yahoo.com

Serial 65, 17th year, Number 1, Spring 2022 (109-126)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 2020/11/08
Revised: 2021/01/18
Accepted: 2021/01/30

Keywords
Chlorophyll
Fv/Fm
Ion leakage
Portulaca oleracea
Potassium dichromate
Salinity

Abstract

The aim of this study was to investigate the interaction effects of salinity and chromium stress on some morphological and physiological characteristics of *Portulaca oleracea*. The study was carried out in a completely randomized design with 3 replications. Four levels of salinity (0, 4, 8, and 12 dS/m) using sodium chloride every 4 days through irrigation and 5 levels of chromium (0, 7, 14, 21, and 28 mg/kg dry weight of soil) were applied. Before sowing the seeds, different levels of chromium treatment were applied through increasing potassium dichromate to soil. The values of ion leakage, fresh and dry weight, leaf area/chlorophyll a, b and total, chlorophyll stability coefficient, carotenoids, photosystem II efficiency, and relative water content of leaves were measured after 60 days of planting. Results showed that by increasing the levels of chromium and salinity, a significant decreasing trend ($P \leq 0.05$) was observed in fresh and dry weight/ leaf area/ chlorophyll a, b, and total, carotenoids, photosystem II efficiency while ion leakage showed increasing trtend. The lowest efficiency of photosystem II and the highest rate of ion leakage were observed at 12 dS/m salinity level and chromium 28 mg/kg. Salinity stress, chrome, and also the interaction of salinity and chromium had a significant decreasing effect on the growth of *Portulaca olerace* leaves. Relative water content, Fv/Fm, and leaf dry weight showed no significant differences with the control plants at 14 and 21 mg/kg chrome and 12 ds/m. Based on the findings *Portulaca olerace* might be introduced as a possible candidate to resist salinity and chrome stresses.

Please cite this article as Zahra Talebzadeh, Rahleh Rahbarian, Mohabbat Nadaf, Hamid Sobhanian. 2022. Evaluation of the interaction effects of salinity and chromium on photosynthetic pigments and photochemical performance of *Portulaca oleracea* L. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 65(1): 109-126.

© 2022. All Rights Reserved

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی

http://ecophysiologi.gorganiau.ac.irشاپا: (چاپی) ۲۴۲۳-۷۶۷۱ (آنلاین) ۴۶۸۹-۲۷۸۳،

Doi: 10.30495/iper.2021.679568;
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.65.7.0

ارزیابی اثرات متقابل شوری و کروم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد فتوشیمیایی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

زهرا طالب‌زاده*، راهله رهباریان، محبت نداف، حمید سبحانیان

دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، رایانامه: zatalebzadeh@yahoo.com

سال هفدهم، شماره ۶۵، بهار ۱۴۰۱ / صفحات: ۱۲۶-۱۰۹

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۸
تاریخ ویرایش:۱۳۹۹/۱۰/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱

واژه‌های کلیدی:
دی کرومات پتاسیم
شوری
خرفه
کلروفیل
Fv/Fm
نشت یونی

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی برهمکنش تنش شوری و کروم بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه خرفه بود. این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی گلخانه‌ای و با ۳ تکرار انجام شد. ٤ سطح شوری (۰، ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر) با استفاده از کلریدسدیم هر ٤ روز از طریق آبیاری و سطوح تیمار کروم (۰، ۷، ١٤، ۲۱ و ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک خاک) فراهم شد و قبل از کشت بذر در خاک، سطوح مختلف تیمار کروم با افزایش دی کرومات پتاسیم به خاک، اعمال شد. مقادیر نشت یونی، وزن خشک و سطح برگ‌ها، طول ساقه/ طول ریشه کلروفیل‌های a،b و کل، ضریب ثبات کلروفیل، کاروتنوئیدها، کارایی فتوسیستم II و مقدار آب نسبی برگ‌ها پس از ٦۰ روز از کشت گیاهان اندازه‌گیری و سنجش شدند. نتایج نشان داد با افزایش سطوح مختلف کروم و شوری و تنش ترکیبی آنها مقادیر وزن تر و خشک، سطح برگ، کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئیدها، کارایی فتوسیستم II روند کاهشی و نشت یونی روند افزایشی داشت. کمترین میزان کارایی فتوسیستم II و بیشترین میزان نشت یونی در سطوح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و کروم ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. تنش شوری، کروم و همچنین تنش ترکیبی شوری و کروم باعث کاهش معنی‌دار رشد برگ‌های خرفه و گردید، پارامترهای محتوای آب نسبی، Fv/Fm و وزن خشک برگ در سطوح کروم ١٤ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با گیاهان شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر گیاه خرفه را می‌توان به‌عنوان کاندیدای متحمل به شوری و کروم معرفی نمود

استناد: زهرا طالب‌زاده، راهله رهباریان، محبت نداف، حمید سبحانیان. (۱٤۰۱). ارزیابی اثرات متقابل شوری و کروم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد فتوشیمیایی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.). *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ٦۵ (۱)، ۱۲٦-۱۰۹.

مقدمه

خرفه (*Portulacaoleracea* L.) گیاهی (C4) چهار کربنه است که بسهولت در خاک‌های اسیدی یا شور رشد می‌کند و بهمین دلیل از جمله گیاهان هالوفیت است (Moradi et al., 2018). خرفه گیاه دارویی از تیره پروتولاکاسه است (Amiri et al., 2017) که ساقه‌های بدون کرک، گوشتی، برگ‌ها بدون کرک، گوشتی، قاشقی شکل با حواشی صاف و بدون دمبرگ، گل‌ها با دو کاسبرگ گوشتی ارغوانی مایل به سبز و گلبرگ زرد رنگ و میوه از نوع کپسول است که دارای تعداد زیادی بذر براق سیاه رنگ مایل به قهوه‌ای است گیاهی یکساله است. خرفه در سرتاسر نواحی معتدل و گرمسیر دنیا انتشار یافته است (Mir et al., 2018).

مشکل شوری و کروم می‌تواند همزمان در خاک و آب ایجاد شود. یون Na^+ موجود در آب زهکشی، رشد و بازده گیاه را محدود می‌کند. با اینحال، مقدار قابل توجهی از عناصر کمیاب، مانند کروم، کادمیوم، سلنیوم و نیکل، ممکن است به‌دلیل فعالیت‌های ژئوشیمیایی و مصنوعی در خاک انباشته گردد (Ali, 2011). نمونه دیگر کودهای آلی مانند بیوسیدها و کودهای فسفره است که به‌طور گسترده در خاک‌های شور برای بهبود کیفیت خاک استفاده می‌شود. مشخص شده است که این کودها حاوی مقدار قابل توجهی کروم هستند (Bini et al., 2000). شوری، که بخش قابل توجهی از آن را کلریدسدیم تشکیل می‌دهد، به عنوان یکی از تنش‌های مهم زیست محیطی اثر بازدارندگی قابل توجهی بر رشد و فعالیت‌های متابولیسمی گیاهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، دارد (Uddin, 2012). واکنش معمول گیاهان به افزایش غلظت نمک در محیط ریشه تنش اسمزی، سمیت یونی و کمبود عناصر غذایی است (Qurbani, 2016). علاوه بر شوری، آلودگی فلزات سنگین در خاک و آب‌های سطحی به ویژه در کشورهای در حال توسعه افزایش یافته است که این منجربه کاهش بهره‌وری کشاورزی و عواقب بهداشتی خطرناک می‌شود (Rafiie, 2018). کروم به شکل‌های ۳ ظرفیتی Cr(III) و ٦ ظرفیتی Cr (VI) می‌باشد. Cr (VI) با سمیت بیشتر می باشد و اغلب بهمراه اکسیژن بصورت کرومات CrO_4^{2-} یا دی کرومات CrO_7^{2-} اکسیژنه است (Talebzadeh et al., 2021). کروم (Cr) به اکوسیستم‌های طبیعی از طریق فعالیت‌های صنعتی مثل ساخت آهن و استیل، چرم سازی، نگهداری چوب، آبکاری کروم، فرایندهای ریخته‌گری، معدن‌کاری تولید سوخت، برون ریز صنعت و سایر منابع انسان ساخت می‌باشد (Oecd, 2003). دانش اندکی در مورد اثرات تلفیقی کلرید سدیم و کروم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی خرفه وجود دارد. بنابراین، تعیین تأثیرات ترکیبی شوری و تنش Cr بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فتوشیمیایی گیاه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

مواد و روش‌ها

آزمایش با هدف بررسی تاثیر توام تنش شوری و کروم بر صفات مربوط به سبز شدن، خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه خرفه طراحی شد، بر این اساس بذرهای خرفه در گلدان ۳ لیتری (قطر ۲۳ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) حاوی ۳ کیلوگرم خاک مزرعه‌ای روستای ینگه‌قلعه بجنورد با مشخصات فیزیکی جدول ۱ کشت گردید. دو ماه قبل از کشت بذور، خاک توسط دی‌کرومات‌پتاسیم آلوده به سطوح مختلف کروم (۰، ۷، ١٤، ۲۱ و ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک خاک) شدند و پس از ده روز تیمار شوری با سطوح مختلف شوری (۰، ٤، ۸ و ۱۲

دسی‌زیمنس بر متر) اعمال گردید. درصد رطوبت خاک از طریق آبیاری دو بار در هفته تنظیم شد. به این ترتیب، چهار تیمار تنش شوری و پنج تیمارکروم به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار مورد مقایسه قرار گرفتند. کشت گلدان‌ها در درجه حرارت محیط (۲۳ تا ۳۰°C) و در شرایط نور طبیعی (۱٤ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی) انجام گرفت. به منظور بررسی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، گیاهان ٦۰ روز بعد از کشت از گلدان‌ها خارج شده و صفاتی از قبیل سطح، وزن تر و خشک برگ، نسبت طول ساقه به ریشه، محتوای آب نسبی برگ‌ها، درصد نشت یونی، میزان کلروفیل کل و کلروفیل a وb، ضریب ثبات کلروفیل، میزان کاروتنوئیدهاو فلوئورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ هر گیاه به طور جداگانه در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت قرار گرفت و سپس با ترازوی دیجیتال توزین شد. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ توسط دستگاه Leaf Area Meter مورد سنجش قرار گرفت.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قبل از کشت بذر

PH	EC (ms/cm)	$CaCO_3$ %	بافت خاک (٪)			N (%)	P (PPM)	K (PPM)	Cr (PPM)	Cd (PPM)	Pb (PPM)	As (PPM)	Mn (PPM)	Cu (PPM)	Zn (PPM)	Fe (PPM)
			شن	رس	سیلت											
۷٫۷۳	۱٫٦۹	۲٦٫۲۵	۲۳	۱۷	٦۰	۰٫۰۳٦	۸٫۱	۲٦۰	٦٦	۰٫۳۱	۱٦	٦۰٤	٥٦٦	۲۵	۷۱	۲٦٫۹۹

میزان آب نسبی برگ: جهت سنجش میزان آب نسبی برگ طبق روش Barr و Weatherley(1962) ابتدا یک برگ از هر گیاه جدا و وزن تر آن اندازه‌گیری شد. سپس همان برگ در ظرف حاوی آب مقطر غوطه‌ور شد. پس از ۱٦ ساعت، برگ‌ها از آب خارج شده و بوسیله دستمال کاغذی خشک شده و توزین شدند. سپس برای تعیین وزن خشک، برگ‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت قرار گرفته و پس از آن توزین شدند. مقدار نسبی آب برگ طبق معادله (۱) زیر محاسبه گردید (Kafie et al., 2011).

معادله (۱) $$RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100$$

FW: وزن تر برگ

DW: وزن خشک برگ

TW: وزن تورگر برگ

شاخص پایداری غشاء: برای سنجش شاخص پایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی برگ ارزیابی شد.

نشت یونی: اندازه‌گیری نشت یونی بر اساس روش Lutz و همکاران (۱۹۹٦) صورت گرفت. میزان مساوی از برگ‌ها در هر تکرار پس از شستشو با آب دو بار تقطیر جهت حذف آلودگی‌های احتمالی، درون لوله‌های آزمایش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل منتقل شده و جهت آماده‌سازی برای اندازه‌گیری EC_1 نمونه‌ها به مدت ۲٤ساعت در دمای آزمایشگاه روی شیکر قرار داده شدند.

هدایت الکتریکی: میزان هدایت الکتریکی نمونه ها با دستگاه EC متر دیجیتالی قرائت شد.در مرحله بعد، لوله‌های آزمایش حاوی نمونه به مدت دو ساعت درون آون با دمای ۱۲۰°C قرار گرفتند که بعد از خنک شدن لوله‌ها مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد نشت یونی بر اساس روش Lutz و همکاران (۱۹۹٦) با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (داده‌های این صفت با واحد میکروزیمنس بر سانتی‌متر، µs/cm، گزارش شدند).

معادله (۲)

EL= $EC_1/EC_2\times 100$ EL = درصد نشت یونی نمونه

EC_1= هدایت الکتریکی نمونه در دمای آزمایشگاه

EC_2= هدایت الکتریکی نمونه در دمای ۱۲۰°C

کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها: برای سنجش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها از روش Lichtentaler (۱۹۸۷) استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم برگ با ٤ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ در هاون چینی سائیده شد و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مدل۲۱۰۰در طول موج‌های ٦٤٧، ٦٦٤ و٤٧٠ نانومتر قرائت گردید. جهت صفرکردن دستگاه اسپکتروفتومتر از استن ۸۰٪ استفاده گردید. میزان کل کلروفیل، کلروفیل a و b، میزان کاروتنوئیدها از طریق معادله‌های زیر محاسبه گردید.

معادله (۳) $Chl_b = 21.21A_{647} - 5.1A_{664}$

معادله (٤) $Chl_a = 12.25A_{664} - 2.79A_{647}$

معادله (۵) $Chl_T = Chl_a + Chl_b$

معادله (٦) $carotenoid = \frac{1000A_{470} - 1.8chla - 85.02chlb}{198}$

ضریب ثبات کلروفیل: برای اندازه‌گیری ضریب ثبات کلروفیل از روش Koleyoreas (1956) استفاده شد. و میزان آن با استفاده از معادله ۷ محاسبه شد.

معادله (۷)

۱۰۰× کلروفیل کل در شرایط بدون تنش/ کلروفیل کل در شرایط تنش=CSI

A٦٤٧: میزان جذب نوری در طول موج ٦٤٧ نانومتر

A٦٦٤: میزان جذب نوری در طول موج ٦٦٤ نانومتر

A٤٧٠: میزان جذب نوری در طول موج٤٧٠ نانومتر

CSI:ضریب ثبات کلروفیل

میزان فلورسانس کلروفیل: برای اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل و میزان کارایی فتوسیستم II، ابتدا سطح برگ‌های جوان توسعه یافته با قرار گرفتن گیره بر روی آنها بمدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفتند و سپس با اتصال رابط دستگاه به برگ و تنظیم دستگاه، سنجش عملکرد فتوسیستم II به وسیله دستگاه کلروفیل فلورومتر مدل OS1-F1 اندازه‌گیری شد.

عملکرد فتوسیستم II: برای سنجش عملکرد فتوسیستم II، نسبت Fv (تفاوت حداکثر فلورسانس با حداقل فلورسانس ([Fm-F0]) به Fm (حداکثر فلورسانس) توسط دستگاه اندازه‌گیری شد (Rahbarian, 2019).

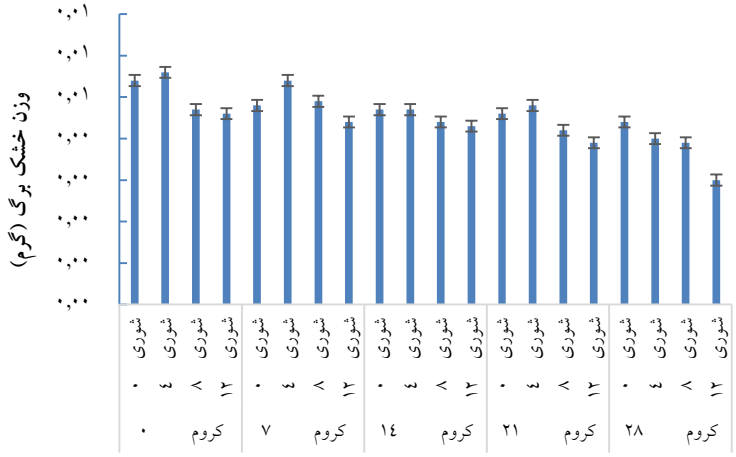
نتایج

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر تغییرات سطوح کروم و شوری و برهمکنش بر وزن تر برگ (P≤۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج اثر تغییرات سطوح کروم و کلرید سدیم بروزن تر برگ مشخص گردید که بیشترین مقدار وزن تر برگ متعلق به گیاهان تیمار شده با سطوح بدون کروم و شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار (۰/۱۷ گرم) بود و کمترین مقدار وزن تر برگ (۰/۰٦۰ گرم) متعلق به گیاهان در تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاهشی حدود ٦۵٪ نسبت به شاهد بود. همچنین اثر تغییرات سطوح کروم و شوری و برهمکنش آنها بر فاکتور وزن خشک برگ معنی‌دار نبود، اما اختلاف سطوح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و کروم ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم با گیاهان شاهد و سطوح کروم ۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک برگ متعلق به گیاهان شاهد به مقدار (۵/٦ میلی‌گرم) بود و کمترین وزن خشک برگ (۳ میلی‌گرم) متعلق به تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و کلریدسدیم ۱۲دسی‌زیمنس بر متر با کاهشی حدود ٤٦٪ نسبت به شاهد بود (جدول ۳). وزن خشک برک گیاه خرفه در سطوح کروم ١٤ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه

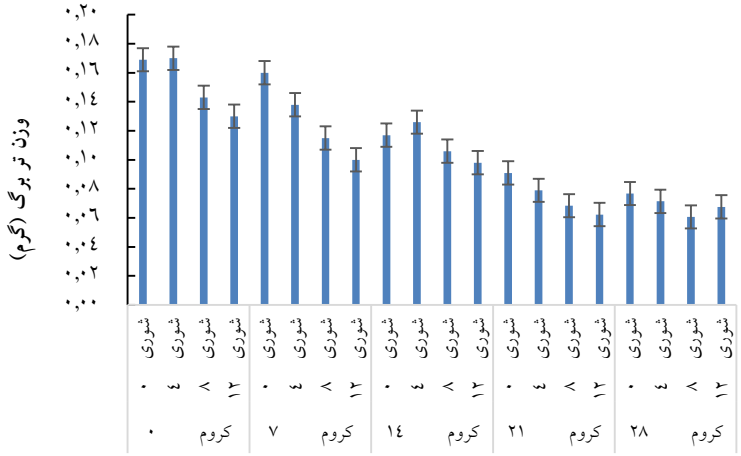
منبع	df	سطح برگ (میلی‌مترمربع)	وزن تر برگ (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	طول ساقه/ طول ریشه	نشت یونی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	ضریب ثبات کلروفیل	Fv/Fm	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	محتوای آب نسبی (٪)
Corrected Model	۱۹	۱۷/۴۵۴۴۹۸	۰/۰۰۴	۱/۰۱۹۰۶	۰/۰۶۶	۱۱۱/۶۴۷	۴/۷۷۱	۲۰۴۷/۰۵۳	۰/۰۳۸	۲۰/۱۱۴	۱/۹۹۱	۳۳/۵۰۷	۳۸/۴۰۸
Intercept	۱	۱۱۵۱۵۴۴۴۸	۰/۶۹۳	۰/۰۰۱	۸۵۷/۸۴	۲۰۱۱۳۵	۱۲۵/۲۹۰	۱۵۸۲۹۳/۷۸	۳۵/۹۷۶	۱۵۵۲/۶۷	۵۸۳/۸۸۴	۴۰۴۰/۸۴	۳۹۳۴۹۳/۳۳۹
Cr	۴	۱۲۹۶۵۸۹/۳*	۰/۰۱۵*	۲/۸۳۶*	۰/۲۶۹*	۲۵۷/۱۲*	۲/۶۷۷*	۲۴۴۳/۳۲*	۰/۱۲۲*	۲۱/۲۹۸*	۲/۱۰۲*	۳۶/۴۶۳*	۱۲۰/۰۱۷*
NaCl	۳	۱۰۳۲۷۵۷/۴*	۰/۰۰۳*	۲/۰۸*	۰/۰۳۳*	۳۱۳/۱۲*	۱۶/۹۲۹*	۹۰۲۶/۹۱*	۰/۰۵۶*	۹۳/۵۱۱*	۸/۵۱۵*	۱۵۸/۰۷۴*	۷۲/۷۱۳*
Cr ×NaCl	۱۲	۲۹۲۳۶	۰/۰۰۰*	۱/۴۷۵۱*	۰/۰۲۶*	۱۲/۷۹NS	۲/۴۲۹NS	۱۷۰/۰*	۰/۰۰۵NS	۱/۳۷۰*	۰/۳۲۳*	۱/۳۸۰*	۲/۶۲۹NS
Error	۴۰	۵۲۵۲۰/۰۶۷	۰/۰۰۰	۱/۲۵۴۰۶	۰/۰۱۵	۱۱۶/۵۸۸	۰/۲۹۷	۱۰۴/۰۵	۰/۰۳۰	۱/۷۴۸	۰/۸۸۱	۲/۴۵۷	۲۰/۱۸۹

(علامت * و NS به‌ترتیب معنی‌دار (P≤۰/۰۵) و عدم معنی‌دار)



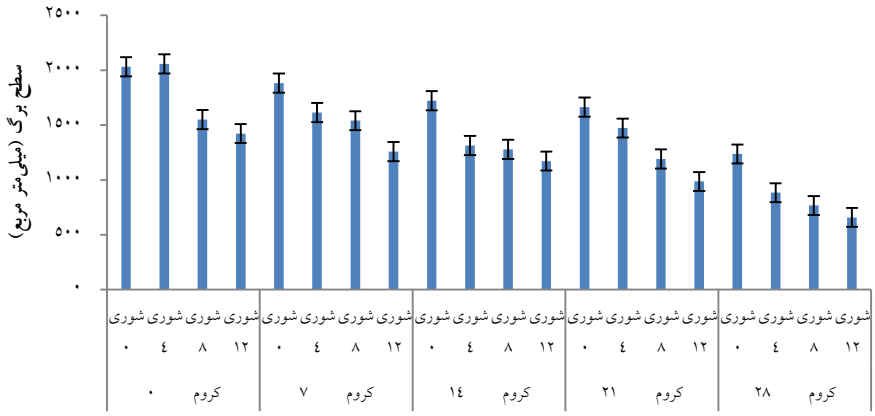
تیمار کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

نمودار ۱: میانگین مقدار وزن خشک برگ در سطوح مختلف کروم و شوری



تیمار کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

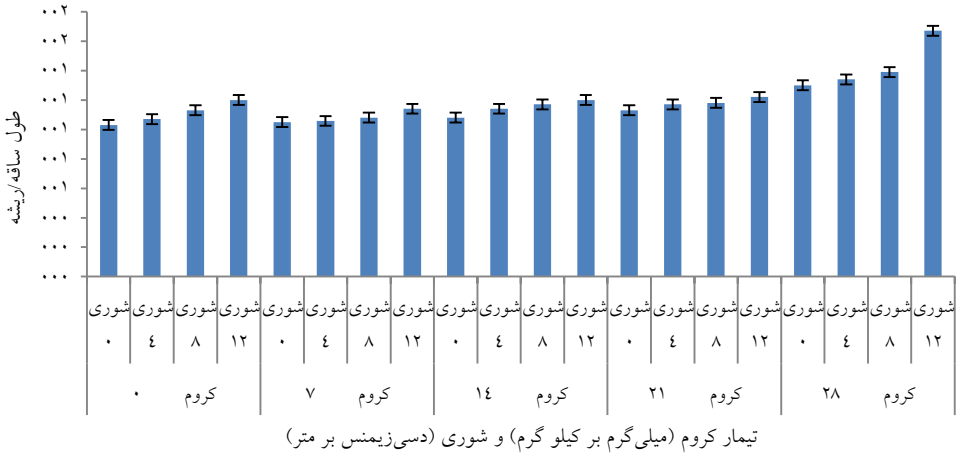
نمودار ۲: میانگین مقداروزن تر برگ در سطوح مختلف کروم و شوری



تیمار کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

نمودار ۳: میانگین مقدار سطح برگ در سطوح مختلف کروم و شوری

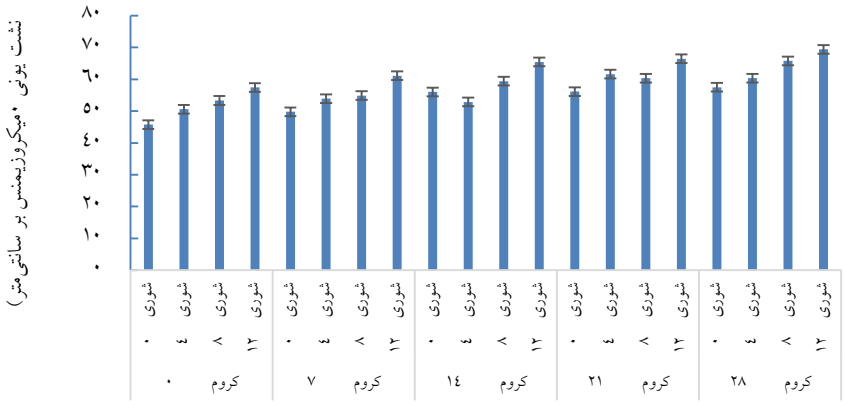
نتایج حاصل از تجریه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف کروم و شوری بر سطح برگ (P≤۰/۰۵) معنی‌دار بود، اما اثر برهمکنش آنها بر سطح برگ معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین مقدار سطح برگ متعلق به تیمار کروم ۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ٤ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار (۲۰۵۷ میلی‌مترمربع) بود و کمترین مقدار سطح برگ (٦٥٩ میلی‌مترمربع) متعلق به تیمار سطوح کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، با کاهشی حدود ٦٧ درصد نسبت به شاهد مشاهده گردید (جدول ۳).



نمودار ٤: میانگین مقدار طول ساقه/ ریشه در سطوح مختلف کروم و شوری

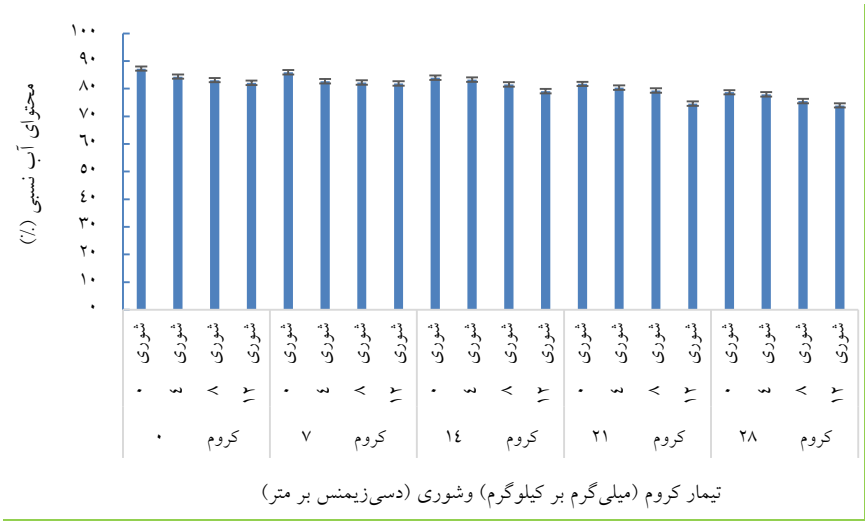
مقایسه نتایج میانگین نشان داد با افزایش تنش شوری و کروم مقادیر نسبت طول ساقه به ریشه افزایش یافت بطوریکه کمترین مقدار طول ساقه به طول ریشه متعلق به گیاهان شاهد به مقدار (۱/۰۳) بود و بیشترین آن متعلق به گیاهان تحت تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۱/٤۷) با کاهش ٤٥٪ در مقایسه با گیاهان شاهد بود (جدول ۳).

نتایج حاصل از تجریه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کروم و شوری بر محتوای آب نسبی معنی‌دار بود اما برهمکنش آنها (P≤۰/۰۵) معنی‌دار نبود (جدول ۲). طبق نتایج میانگین داده‌ها با افزایش سطوح مختلف شوری و کروم، مقادیر محتوای آب نسبی کاهش داشت. مقایسه نتایج میانگین نشان داد که بیشترین مقدار محتوای آب نسبی متعلق به گیاهان شاهد به مقدار (۸۷/۲٦ درصد) بودو کمترین آن متعلق به گیاهان تحت تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار (۷۳/۹٤ درصد) با کاهشی حدود ۱٥ درصد نسبت به گیاهان شاهد بود. محتوای آب نسبی در شوری ۱۲ds/m و سطوح کروم ۲۱ و ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به شاهد اختلاف معنی داری نشان داد (جدول ۳). محتوای آب نسبی گیاه در سطوح کروم ۱٤ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر گیاه اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت.



تیمار کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

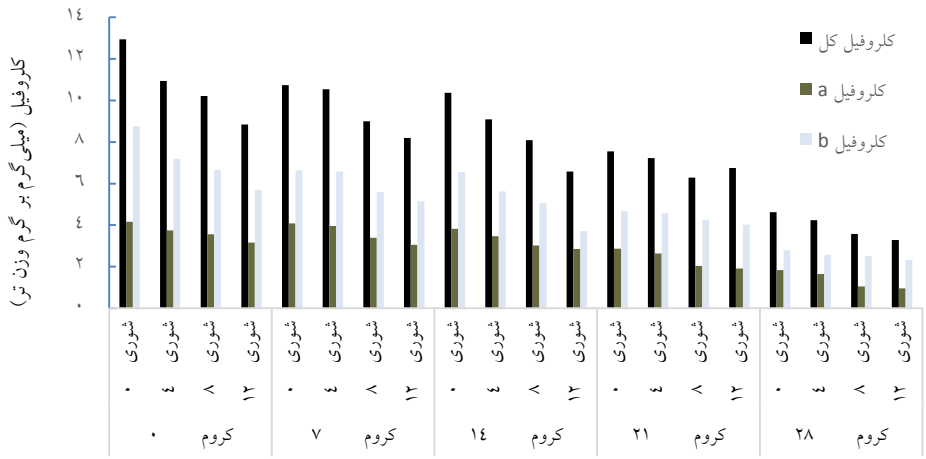
نمودر ۵: میانگین مقادیر نشت یونی در سطوح مختلف شوری و کروم



تیمار کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) وشوری (دسی‌زیمنس بر متر)

نمودار ٦: میانگین مقادیر آب نسبی برگ در سطوح مختلف شوری و کروم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح کروم و شوری نشت یونی گیاه خرفه افزایش معنی‌دار داشت (P≤۰/۰۵) (جدول ۲). تغییرات نشت یونی در نمودار ۵ نشان داده شده است. بیشترین نشت یونی متعلق به گیاهان تحت تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار (۶۹/۳۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) با افزایشی حدود ۵۲ درصد نسبت به گیاهان شاهد بود و کمترین آن متعلق به گیاهان شاهد به مقدار (٤٥/٧٨ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) بود. نشت یونی گیاهان سطوح کروم ١٤، ٢١ و ٢٨ میلی‌گرم در کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳).

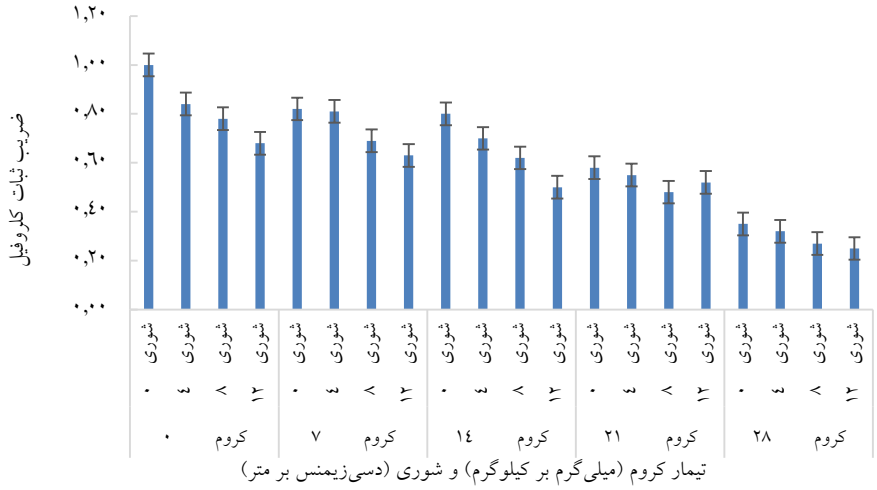


تیمار کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

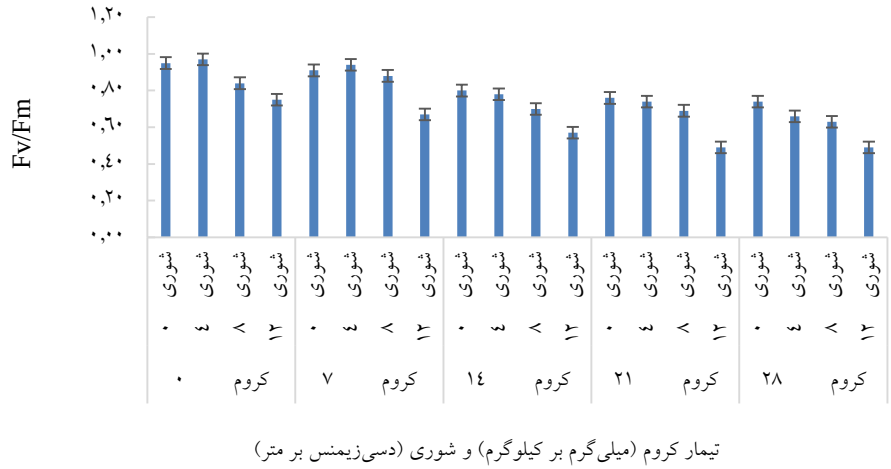
نمودار ۷: میانگین مقادیر کلروفیل a، b و کل در سطوح مختلف کروم و شوری

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که با افزایش تیمار کلریدسدیم و کروم مقدار کلروفیل a، b و کل بطور معنی‌داری کاهش یافت و برهمکنش آنها معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵) (جدول ۲). تغییرات کلروفیل a، b و کل گیاه تحت تیمار شوری و کروم در نمودار ٦ نشان داده شد. بیشترین مقدار کلروفیلb، a و کل در گیاهان شاهد (۸/۷۷)، (٤/١٦) و (۱۲/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود و کمترین مقدار در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم بترتیب به مقدار (۲/۳۳)، (۰/۹٦) و (۳/۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. محتوای کلروفیل a سطوح تیمار ۷، ١٤ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. کلروفیل b و کل گیاهان متعلق به سطوح بدون شوری و کروم ١٤ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول۳).

تغییرات ضریب ثبات کلروفیل گیاه در سطوح مختلف شوری و کروم در نمودار ۹ نشان داده شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که افزایش سطوح مختلف شوری و کروم، مقدار فاکتور ضریب ثبات کلروفیل کاهش معنی‌داری دارد (جدول ۲) و برهمکنش کلریدسدیم و کروم بر ضریب ثبات کلروفیل معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵). نتایج نشان داد با افزایش سطوح کروم ١٤، ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری مشاهده نگردید. بیشترین مقدار فاکتور ضریب ثبات کلروفیل در گیاهان شاهد بود و کمترین آن در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم به مقدار (۲۵٪) بود که در مقایسه با شاهد ۷۵٪ کاهش داشت (جدول ۳).

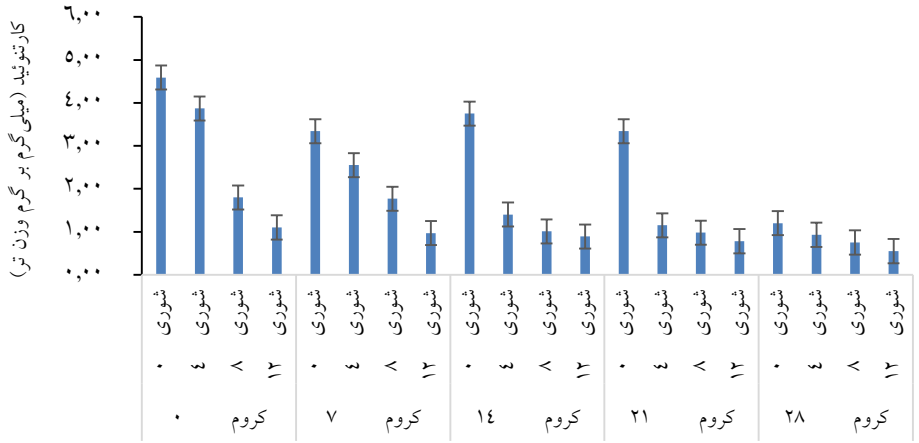


نمودار ۸: میانگین ضریب ثبات کلروفیل در تیمار شوری و کروم



نمودار ۹: میانگین مقادیر Fv/Fm در تیمار شوری و کروم

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که با افزایش سطوح مختلف کلریدسدیم و کروم مقدار مقادیر فاکتور Fv/Fm بطور معنی‌داری (P≤۰/۰۵) کاهش می‌یابد (جدول ۲). تغییرات کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) گیاه تحت تیمار شوری و کروم در نمودار ۷ نشان داده شد. بیشترین مقدار Fv/Fm در گیاهان با کلریدسدیم ٤ دسی‌زیمنس بر متر و کروم ۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (۰/۹۷) بود و کمترین مقادیر کارایی فتوسیستم II گیاهان متعلق به سطوح کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و کروم ۲۱ و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم به مقدار (۰/٤۹) بود که در مقایسه با شاهد ٤۹٪ کاهش داشت (جدول ۳). همچنین نتایج بدست آمده نشان داد در سطوح کروم ۱٤ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر گیاه اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت.



تیمار کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

شکل ۱۰: میانگین مقادیر کاروتنوئیدها در سطوح مختلف شوری و کروم

بر اساس نتایج تحقیق حاضر کمترین مقدار کارتنوئید در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌مقدار ۰/۵۵ میلی‌گرم برگرم وزن تر مشاهده گردید و نسبت به گیاهان شاهد کاهش ۹ برابری نشان داد. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد در سطوح کروم ۱٤ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بدون شوری گیاه تحمل بالایی به تنش کروم نشان داد.

بحث

نتایج تحقیقات حاضر نشان داد بیشترین مقدار سطح برگ متعلق به تیمار کروم ۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ٤ دسی‌زیمنس بر متر بمقدار ۲۰۵۷ میلی‌متر مربع مشاهده شد و کمترین سطح برگ بمقدار ٦۵۹ میلی‌متر مربع متعلق به تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاهشی حدود ٦۷٪ مشاهده گردید. همچنین مشخص گردید که بیشترین مقدار وزن تر برگ متعلق به تیمار کروم ۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ٤ دسی‌زیمنس بر متر بمقدار ۰/۱۷ گرم بود و کمترین وزن تر برگ ۰/۰٦۰ گرم متعلق به تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاهشی حدود ٦۵٪ بود. طبق نتایج میانگین اثر تغییرات کروم و کلرید سدیم بر وزن خشک برگ مشخص گردید که بیشترین مقدار وزن خشک برگ متعلق به تیمار کروم ۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ٤ دسی‌زیمنس بر متر بمقدار ۵/٦ میلی‌گرم بود و کمترین وزن تر برگ ۳/۰ میلی‌گرم متعلق به تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و حدود ٤٦٪ کاهش یافت. نتایج یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات سایر محققان مطابقت دارد. بر اساس نتایج تحقیقات Karimi و همکاران (2012) سطح برگ گیاه کنگرفرنگی با افزایش تیمارهای مختلف فلزات سنگین، کاهش معنی‌داری نشان داد. نتایج یافته‌های Joshi و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که کروم در تمام غلظت‌ها، بر روی پارامترهای رشد گیاه تأثیر منفی دارد. نتایج مطالعات Rjlbpcs و همکاران (۲۰۱۸) نشان داده است، سمیت کروم در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ ppm در گیاهچه ماش اثر کاهشی قابل توجهی بر رشد و عملکرد دارد. نتایج

بررسی‌های Shanker و همکاران (2005) نشان داد، کروم اثرات مختلفی از جمله تغییرات متابولیکی متعددی شامل تغییر رشد ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها دارد (Shanker et al., 2005). کروم در ریشه‌ها مانع تقسیم سلولی و طویل شدن ریشه‌ها می‌شود و باعث محدودیت شدید در جذب آب و مواد غذایی می‌گردد و این منجر به کاهش رشد بخش‌های هوایی می‌گردد (Shanker et al., 2005).

نتایج تحقیقات حاضر نشان داد بیشترین مقدار نسبت طول ساقه به طول ریشه متعلق به تیمار کروم ۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ٤ دسی‌زیمنس بر متر به‌مقدار ۲۰۵۷ مشاهده شد و طول ساقه به طول ریشه به‌مقدار ٦٥٩ متعلق به تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاهشی حدود ٦۷ درصد مشاهده گردید. نتایج یافته‌های Rjlbpcs و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که ریشه در مقایسه با طول بخش‌های هوایی بیشتر تحت تأثیر تمام غلظت تیمارهای کروم قرار گرفت. نتایج مربوط به طول ساقه نیز روند مشابه رشد ریشه داشت. نتایج مطالعه Anjum و همکاران (۲۰۱۱) بر روی سه واریته مختلف گیاه *Helianthus annuus* L. شامل (G-3، G-9 و G-59) با اعمال تیمارهای مختلف کروم نشان داد با افزایش سطوح کروم، طول ریشه و طول ساقه در این گیاهان کاهش یافت. نتایج مطالعات Khan و همکاران (2015) شان داد که زیاد شدن سطح کلرید سدیم در محیط ریشه، جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم و کلسیم را کاهش می‌دهد. در نتیجه آن، تعادل بین پتاسیم، کلسیم و منیزیم با سدیم در گیاه به هم می‌خورد. گیاهانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند میزان زیادی سدیم جذب می‌کنند و از میزان جذب پتاسیم آن‌ها کاسته می‌شود. همچنین گزارش شده است غلظت و جذب سدیم در ارقام نیوزیلندی و آبی اسفناج، در حضور شوری، افزایش معنی‌دار داشت (Ghorbani، 2016). کاهش طول ساقه و رشد بخش‌های هوایی در تنش شوری ممکن است به دلیل فشار کمتر تورگور در سطوح بالاتر شوری باشد (فشار تورگر باعث رشد سلول می‌شود). این فرایندها ممکن است باعث کوتاه شدن ساقه شود (Kafi and Rahimi, 2011). در نتیجه کاهش رشد ریشه، میزان جذب آب و یون‌های معدنی کاهش می‌یابد که نتیجه‌ی آن کاهش رشد عمومی گیاهان است (Barcelo and Poschenreider, 1990). افزایش شوری می‌تواند سنتز هورمون رشد گیاه مانند سیتوکینین‌ها را محدود کرده و تولید بازدارنده‌هایی مانند اسید آبسیزیک را افزایش دهد (Munns and Tester, 2008). براساس نتایج یافته‌های Bota و همکاران ۲۰۰٤ طول ریشه اصلی و کل ریشه خرفه با غلظت نمک کاهش یافت. همچنین با افزایش تنش شوری میزان افزایش طول ریشه گل آفتابگردان کاهش می‌یابد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد بیشترین مقدار آب نسبی متعلق به گیاهان شاهد بمقدر ۸۷/۲٦ درصد بود و کمترین متعلق به گیاهان تحت تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌مقدار ۷۳/۹٤ درصد با کاهشی حدود ۱۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد بود. یافته‌های (Amoaghaie, 2011) نشان داد با افزایش تنش شوری محتوای نسبی آب در کلزا کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش مقدار آب نسبی برگ در شوری با غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. شوری با کاهش پتانسیل آب محیط باعث کاهش جذب آب و تقسیم سلولی می‌گردد (Hasegawa, 2000). کاهش محتوای آب می‌تواند به دلیل کاهش دسترسی به آب در شرایط تنش باشد. سیستم‌های ریشه‌ای بدلیل کاهش سطح جذب قادر به جبران آب از دست رفته از طریق تعرق نمی‌باشند (Manchanda, 2008). بر اساس نتایج تحقیق

Yazichi و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است محتوی نسبی آب برگ خرفه با افزایش تیمار شوری تا حدی تا ۱۲۰ میلی‌متر شوری کاهش یافته و سپس بدون تغییر باقی مانده است (Kafi and Rahimi, 2011). در این تحقیق بیشترین مقدار نشت یونی متعلق به گیاهان تحت تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌مقدار ۶۹/۳۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر با افزایشی حدود ۵۲ درصد نسبت به گیاهان شاهد بود و کمترین متعلق به گیاهان شاهد به‌مقدار ۴۵/۷۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متربود. این نتایج با یافته‌های سایر محققان مطابقت داشت. در تحقیق Janmohammadi نشت یون به عنوان شاخص پایداری غشای برگ در گیاه *P. Oleracea* اندازه‌گیری شد (Janmohammadi et al., 2013).

نتایج تحقیقاتی نشان داد که بین فلزات سنگین و افزایش تنش اکسیداتیو در نتیجه افزایش سطح پراکسیداسیون لیپیدها و تولید پراکسید هیدروژن در ریشه و برگ گیاهان آلوده رابطه مستقیمی وجود دارد (Hao et al., 2006). با افزایش پراکسیداسیون لیپید شاخص آسیب اکسیداتیو افزایش یافته و عملکرد غشای پلاسما را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و سرانجام به مرگ سلول‌ها منجر می‌شود (Chatterjee et al., 2015).

در تحقیق حاضر بیشترین میزان شاخص سبزینگی متعلق به گیاهان شاهد ۱۲/۰۳ بود و کمترین میزان در گیاهان با کلریدسدیم $12dsm^{-1}$ و کروم ۲۸ppm به‌میزان ۳/۱۶ مشاهده گردید. کمترین مقدار کلروفیل a، b و کل در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب به‌مقدار ۲/۱، ۱/۳۷ و ۳/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. کلروفیل a، b و کل در مقایسه با شاهد ۶۰، ۸۶ و ۸۷ درصد کاهش داشت و کلروفیل a کاهش کمتری نشان داد. کمترین مقدار ضریب ثبات کلروفیل در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم بمقدار ۰/۲۵ بود که در مقایسه با شاهد ۷۵ درصد کاهش داشت. کمترین مقدار ضریب ثبات کلروفیل در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم بمقدار ۰/۲۵ بود که در مقایسه با شاهد ۷۵ درصد کاهش داشت. کاهش شاخص سبزینگی برگ ممکن است بدلیل بازدارندگی فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز کلروفیل و جایگزینی Mg^{2+} در جایگاه فعال روبیسکو با یون فلز کروم باشد که باعث کاهش میزان کلروفیل، تخریب گیرنده نور، کاهش پیگمان‌های فتوسنتزی گیاه و در نتیجه کاهش فعالیت فتوسنتز می‌شود و در بررسی حاضر کاهش شاخص سبزینگی سبب کاهش رشد گیاه خرفه گردید. در شرایط شور نیز بنظر می‌رسد بدلیل کاهش فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز از یک طرف و مصرف بیشتر گلوتامات توسط آنزیم فعال شده گلوتامین کیناز برای بیوسنتز پرولین از طرف دیگر تولید کلروفیل کاهش یابد. طبق نتایج Penda و Patra (2000) کروم رشد گیاهان را کاهش می‌دهد. کروم می‌تواند تغییرات زیادی را از طریق بازدارندگی فتوسیستمی در کلروپلاست ایجاد کند. چنین تغییری در کلروپلاست گیاهان دیگری مانند *Lemnaminury*، *Pistiasp*، *Taxitheliumnepalense* مشاهده شد (Bassi et al., 1990). کروم باعث تخریب δ آمینو لولینیک اسید دهیدراتاز (آنزیم مهمی در بیوسنتز کلروفیل است) می‌گردد (Vajpajee et al., 2000). کروم به شکل شش ظرفیتی می‌تواند جایگزین یون‌های Mg در جایگاه فعال بسیاری از آنزیم‌ها گردد و محتوای کلروفیل را خالی کند.

در بررسی Goues (2021) در گیاه *Beta vulgaris* در معرض 10^{-1}، 10^{-2}، 10^{-4}و10^{-6} میلی‌گرم

بر کیلوگرم از $CrCl_3/6H_2O$ مشاهده شد که در غلظت کمتر (Cr(III)، میزان رنگدانه‌ها در برگ‌ها افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات Rahbarian (2019) نشان داد که با افزایش غلظت کروم در خاک از سطح صفر به ۱۰۰ پی‌پی‌ام میزان کلروفیل a و محتوای کاروتنوئیدی گیاهان مورد بررسی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P\leq$۰/۰۱). به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a و کاروتنوئیدها به ترتیب مربوط به شرایط بدون کروم و تحت تنش ۱۰۰ پی‌پی‌ام بود، کاهش میزان کلروفیل کل و b نیز در گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد معنی‌دار بود. نتایج مطالعات Oliveira (2012) نشان داد سطح کاروتنوئید در گیاهان پیاز و فلفل دلمه‌ای که تحت پساب‌های صنعتی حاوی کروم قرار دارند، افزایش یافته است. نتایج مطالعات Rai و همکاران (2014) نشان داد کاروتنوئیدها، تیول غیرپروتئینی (NP-SH) و سطح سیستئین در گیاهان تحت Cr کاهش یافتند (Rai et al., 2014). نتایج Kale نشان داد خرفه در شرایط تنش فلزات سنگین Cu،Hg ،Zn ،Pb ،Se و Al با کاهش کارتنوئید همراه است (Kale, 2015). گیاهان در آبیاری با غلظت‌های خیلی بالای Cr(III) کاهش کلروفیل a وbو کل را نشان می‌دهند (Zeid, 2001).

اگر چه کاروتنوئیدها آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی است، که با جایگزینی پراکسیدها و مهار واکنش‌های فتودینامیکی، در محافظت از کلروفیل‌ها در برابر شرایط تنش کمک می‌کند (Marwa et al., 2012) و به‌عنوان مکانیزم دفاعی گیاهان فلفل دلمه‌ای برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند (Oliveira et al., 2012). آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی دیگری مانند سیستئین، پرولین، غیرپروتئین تیول و غیره نیز ممکن است در تعدیل مقاومت در برابر سمیت Cr کمک کرده و از ماکرومولکول‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد تولید شده در طی انفجار اکسیداتیو محافظت کنند (Hayat et al., 2012). کاهش محتوای کاروتنوئید ظاهراً به دلیل اکسید شدن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آنها است (Bruceet al., 2002; Wang et al., 2010).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد بیشترین مقدار کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) در گیاهان با کلریدسدیم ٤ دسی‌زیمنس بر متر و کروم ۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۰/۹۷ بود و کمترین مقدار در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی‌گرم بر کیلوگرم بمقدار ۰/٤۹ بود که در مقایسه با شاهد ٤۹٪ کاهش داشت/ نتایج بررسی Rahbarian (2019) نشان داد که با افزایش غلظت کروم در خاک، میزان کارایی فتوسیستم II گیاه خرفه به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P<$۰/۰۱) به‌طوری که گیاهان در شرایط بدون کروم حداکثر میزان کارایی فتوسیستم II (۰/۹۳) و در خاک با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام کروم، کمترین میزان کارایی فتوسیستم II (۰/٦۲) را به خود اختصاص دادند. گیاهان در شرایط غلظت ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام کروم از نظر میزان کارایی فتوسیستم II با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. سایر سطوح کروم تفاوت معنی‌داری از نظر میزان انتقال الکترون فتوسنتزی نشان ندادند، در تحقیق انجام شده (Maxwell & Johnson, 2000). نتایج اینگونه تفسیر شده است، کروم به طور معنی‌داری میزان کارایی فتوسیستم II را کاهش داد. با توجه به افزایش میزان انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی و کاهش کارایی فتوسنتزی با افزایش میزان کروم در خاک، می‌توان نتایج را اینگونه تفسیر نمود که به دلیل تخریب کلروفیل‌های a و b در فتوسیستم‌ها تحت تنش کروم، انتقال الکترون در مسیر نوری فتوسنتز افزایش یافته است، ولی قسمتی از انرژی حاصل از مسیر انتقال الکترون به‌صورت فلوئورسانس هدر رفته که باعث کاهش کارایی فتوسنتزی شده است و

تعدادی از الکترون‌ها به مولکول‌های اکسیژن انتقال یافته‌اند که سبب تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال و ایجاد استرس اکسیداتیو شده‌اند. Fv/Fm حداکثر کارایی عملکرد فتوسیستم II است. کاهش Fv/Fm بیانگر اثر اکسیداتیو یا بازدارندگی نوری عوامل تنش‌زای محیطی از قبیل عناصرسنگین، روی فتوسیستم II می‌باشد (Maxwell and Johnson, 2000). کاهش Fv/Fm در پاسخ به افزایش کروم خاک با گزارش‌های سایر محققین (Dias et al., 2013) در تیمار کادمیوم مطابقت داشت. نتایج تحقیق Rafiei (2016) نشان داد باعث کاهش آسیمیلاسیون کربن و میزان کلروفیلa و در شرایط تنش فلوئورسانس کلروفیل افزایش می‌یابد که منجر به کاهش کارایی فتوسیستم II می‌شود. یکی از دلایل کاهش بازدهی فتوسنتز توسط Cr(VI) می‌تواند به هم‌ریختگی کلروپلاست‌ها می‌باشد (Assche and Clijsters, 1983). ممانعت از مراحل انتقال الکترون به دلیل انحراف الکترون‌ها از سمت دهنده الکترون به PSI است. احتمال دارد که تولید الکترون‌ها توسط فرآیند فتوشیمیایی برای مصادره کربن استفاده نشود که به دلیل بازدهی کم فتوسنتز در گیاهان در معرض Cr(VI) می‌باشد. بنابراین فرض بر اینست که بخشی از الکترون‌ها ممکن است برای مولکول‌های اکسیژن به کار برود که در تنش اکسیداسیون به دلیل Cr(VI) به دنبال دارد (Shanker et al., 2005).

نتیجه‌گیری نهایی

افزایش تنش کلرید سدیم و کروم، فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه را تحت تاثیر قرار داد و رشد و نمو گیاه را کاهش یافت. با افزایش غلظت شوری و کروم، کاهش Fv/Fm می‌تواند نشان دهنده آسیب به غشا تیلاکوئیدها بوده باشد و از انتقال الکترون از جایگاه فعال فتوسیستم II به فتوسیستم I ممانعت کند و این امر موجب کاهش سرعت انتقال الکترون و افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش عملکرد فتوسیستم II شد. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش کروم می‌تواند بدلیل بازدارندگی فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز کلروفیل و جایگزینی Mg^{2+} در جایگاه فعال روبیسکو با یون فلز کروم باشد که باعث، تخریب گیرنده نور، کاهش پیگمان‌های فتوسنتزی گیاه و در نتیجه کاهش فعالیت فتوسنتز شد. کاهش عملکرد فتوسیستم II و کاهش مقدار کلروفیل باعث کاهش رشد گیاه و کاهش تولید کربوهیدرات‌های نامحلول گردید. از آنجایی که گیاه خرفه تحمل بالایی به تنش کروم و شوری نشان داد، این گیاه بعنوان کاندیدای مقاوم به شوری و کروم معرفی می‌گردد.

References

Ali, F., Zeng, S., Cai, B., Qiu, G. and Zhang, Z. (2011). The interaction of salinity and chromium in the influenceof barley growth and oxidative stress. Plant Soil Environment., 57(4): 153–159.

Bassi, M., Corradi, MG. and Realini, M. (1990). Effects of chromium (VI) on two freshwater plants. Lemna minor and Pistia stratiotes, 1, Morphological observations. Cytobios. 62: 27–38.

Chatterjee, J., Kumar, P., Nand, P., Kumar, R. and Tewari, T. (2015). Chromium toxicity induces oxidative stress in turnip. Indian Journal of Plant Physiology. 20: 220–226.

Clijsters, H. and Van Assche, F. (1983). Inhibition of photosynthesis by heavy metals. Plant sciences. 7: 31–40.

Dias, M.C., Monteiro, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Goncalves, B. and Santos, C. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. Acta Physiologiae Plantarum. 35: 1281–1289.

Ghorbani, H. (2016). Effect of different salinity levels and heavy elements of lead and cadmium on growth/

photosynthetic pigments and sodium and potassium levels in spinach. Science and Technology of Greenhouse Cultures in the Seventh Year. 25: 15-24.

Hayat, Gh., Irfan, M., ShafiWani, A., Nath Tripathi, B. and Ahmad, A. (2012). Physiological changes induced by chromium stress in plants: an overview. Protoplasma. 249(3): 599-611.

Holm, L.G., Plucknett, D.L., Pancho, J.V. and Herberger, J.P., (1977). The world's worst weeds: distribution and biology. East-West Center and University Press of Hawaii. Honolulu, pages:609-617.

Janmohammadi, M., Bihamta, BM. and Ghasemzadeh, F. (2013). Influence of Rhizobacteria Inoculation and Lead Stress on the Physiological and Biochemical Attributes of Wheat Genotypes. Cercetariagronomice in moldova (Agronomic research in moldavia). 46(1): 49-67.

Joshi1, N., Menon, P. and Joshi, A. (2019). Effect of chromium on germination in some crops of India. Journal of Agricultural Science and Botany. 3(1): 1-5.

Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A. and Mohammadinejad, Q. (2015). Physiological evaluation of drought tolerance of two cumin green ecotypes under greenhouse conditions. Science and Technology of Greenhouse Crops. 6(23): 175-184.

Kumamoto, J., Scora, R.W., Clerx, A., Matsumura, A., Layfield, D. and Grieve, M. (1990) Purslane: A potential new vegetable croprich in omega-3 fatty acid with a controllable sodium chloridecontent. Proceedings of the First International Conference on New Industrial Crops and Products. pages: 229–233.

Masoodi, M., Ahmad, B., Mir, Sh. and Zarger, B. (2011). *Portulaca oleraceae* L. A Review. Journal of Pharmacy Research. 4(30): 44-3048.

Maxwell, K. and Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence - a practical guide. J Exp Bot. 51: 659-668.

Murtaza1, S., Zafar Iqbal1, M., Shafiq, M., Kabir, M. and Farooqi, Z. (2018). Effects of Chromium on seed germination and seedling growth of Mung bean *Vigna radiate* (L.) R. wilczek (Fabaceae). Life Science Informatics Publications. 4(6): 357-364.

Okafor, I., Ayalokunrin, A. and Lovina Abu, O. (2014). International Journal of Biomedical ResearchISSN: 0976-9633(Online) Journal Portulacaoleracea (Purslane) plant Its nature and biomedical benefits. International Journal of Biomedical Research. 05(02): 75-80.

Rafiei, M., Madah Hosseini, Sh., Hamidpour M. and Mohammadi Mirik, A. (2018). Interaction of sodium and cadmium chloride on some physiological traits and sodium and cadmium content of *Portulaca oleracea* root and shoots. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 8 (4): 43-60.

Rahbarian, R., Azizi, A., Behdad, A. and Mirblok, A. (1398). *Portulaca oleracea* L/ tolerance to chromium stress based on growth/ photosynthetic indices and antioxidant enzyme activity Al-Zahra University Journal of Applied Biology, Applied Biology. 32(1): 161-172.

Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam S. (2005). Chromium toxicity in plants. Environment Internation. 31: 739-753.

Shobeiri, S. F., Sharei, S., Heidari, A. and Kianbakht, S. (2009). *Portulaca oleracea* L. in the treatment of patients with abnormal uterine bleeding: a Pilot clinical trial / Phytotherapy. 23(10): 1411-1414.

Talebzadeh Z., Rahbarian R., Nadaf M., Sobhanian H. (2021) The interaction effect of sodium chloride and chromium on some physiological characteristics of purslane (Portulaca oleracea L.). Plant Environmental Physiology. 16(61): 17-26.

Uddin, M.K., Juraimi, A.S., Anwar, F., Hossain, M.A. and Alam, M.A. (2012). Effect of salinity on proximate mineral composition of purslane (*Portulca*

oleracea L.). Australian Journal of Crop Science. 6:1732-1736.

Vajpayee, P., Tripathi, R.D., Rai, U.N., Ali, M.B. and Singh, S.N. (2000). Chromium (VI) accumulation reduces chlorophyll biosynthesis/ nitrate reductase activity and protein content in *Nymphaea alba* L. Chemosphere. 41(7): 1075-82.

Wang, Y., Illingworth, R., Connor, S. and Connor, W. (2010). Competitive inhibition of carotenoid transport and tissue concentrations by high dose supplements of lutein, zeaxanthin and beta-carotene. European Journal of Nutrition. 49(6): 327-36.