

برهمکنش کروم و شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

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

گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷ تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۳

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی برهمکنش کلرید سدیم با کروم بر صفات رویشی، فیزیولوژیکی و جذب و تجمع سدیم و کروم در ریشه و اندام‌های هوایی خرفه می‌باشد. بمنظور بررسی آن، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۴ سطح شوری (۰، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) با استفاده از کلرید سدیم هر ۴ روز از طریق آبیاری و ۵ سطح کروم (۰، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک خاک) در شرایط گلدانی آزمایش انجام شد و قبل از کشت بذر در خاک با افزایش دی کرومات پتاسیم به خاک سطوح مختلف تیمار کروم تهیه شد. سدیم ریشه و بخش‌های هوایی، طول ریشه و ساقه، قطر و سطح ریشه، شاخص سبزی‌نگی، فاکتور انتقال و تجمع زیستی پس از ۶۰ روز از کشت آنها اندازه‌گیری و سنجش شدند. نتایج نشان داد افزایش سطوح مختلف شوری با افزایش معنی‌داری محتوای سدیم و کروم ریشه، بخش‌های هوایی و فاکتور تجمع زیستی همراه بود. بیشترین میزان کروم، سدیم و فاکتور تجمع زیستی در سطوح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و کروم ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. برهمکنش شوری و کروم معنی‌دار بود. با افزایش شوری میزان فاکتور انتقال ریشه گیاه روند افزایشی نشان داد و با افزایش کروم فاکتور انتقال کاهش یافت. طول، قطر و سطح ریشه و طول ساقه و شاخص سبزی‌نگی کاهش معنی‌داری در گیاهان تحت تیمار کروم و شوری نشان داد. تنش ترکیبی سطح بالای کروم و شوری، باعث کاهش بیشتر غلظت و تجمع مواد معدنی نسبت به دو تنش به تنهایی شد. اگرچه شوری و کروم سبب کاهش رشد گیاه خرفه شد اما بنظر می‌رسد با انباشتگی مقادیر قابل توجه سدیم و کروم در ریشه از انتقال بیش از حد آنها به اندام هوایی و کاهش بیشتر رشد جلوگیری می‌شود

واژه‌های کلیدی: تجمع زیستی، خرفه، سدیم، شوری، کروم، *Portulaca oleracea*

مقدمه

Portulacaceae, *Portulaca* و *oleracea* می‌باشد. گیاه *Portulaca oleracea* گیاه دارویی و بومی هند و ایران می‌باشد که در سرتاسر نواحی معتدل و گرمسیر دنیا انتشار یافته است (Holm et al., 1977) این گیاه غنی از اسیدهای چرب، پروتئین و ویتامین C، A و E می‌باشد که حدود ۷۰٪ اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده روغن آن غیراشباع بوده و تنها حدود ۵۰٪ آن را اسیدچرب امگا ۳ تشکیل می‌دهد (Masoodi et al., 2011).

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) از گیاهان ساکولنت یکساله متعلق به خانواده پروتولاکاسه و یک علف هرز عمومی که بعنوان سبزیجات مصرف می‌شود. نام محلی آن *kurfa*، *purslane* یا *hog weed* می‌باشد. این گیاه متعلق به شاخه مگنولوفیتها، رده مگنولوپسیدا زیررده کاریوفیلیده و راسته کاریوفیلالسل می‌باشد و خانواده، جنس و گونه آن بترتیب

*نویسنده مسئول: ra_rahbarian@yahoo.com

تنش‌های محیطی، به‌ویژه شوری معمولاً به‌دلیل کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، اثرات یونی خاص، عدم تعادل تغذیه‌ای گیاه و یا ترکیبی از این عوامل، به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدود کننده رشد و توسعه گیاه در دنیا است. از مجموع ۶۵/۱۵ میلیون هکتار زمین‌های کشاورزی سالیانه و دائمی کشور، حدود ۳۳/۷ میلیون هکتار شور می‌باشد که این معادل ۵۰٪ از زمین‌های تحت کشت کشور است و متأسفانه به علت عدم مدیریت صحیح، سالیانه بر شدت اثرات سوء آن افزوده می‌شود (Qureshi et al., 2007). شوری 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 et al., 2011). شوری خاک یکی از تنش‌های غیرزیستی عمده است که با تأثیر فیزیولوژیکی و اثر بر روابط آبی گیاه در سطح سلولی و یا کل گیاه، منجر به خشکی فیزیولوژیکی یا تنش اسمزی (Rady, 2011) و تنش اکسیداتیو (Jiang et al., 2017) می‌گردد و نقش مهمی در کاهش تولیدات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان دارد (Leyva et al., 2011). بررسی برخی پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بادرشبویه شوری یکی از عوامل مهم کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی و باغی، بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است (Rafiei, 2018). واکنش معمول گیاهان به افزایش غلظت نمک در محیط ریشه تنش اسمزی، سمیت یونی و کمبود عناصر غذایی است. شوری همچنین منجر به ایجاد تغییراتی در متابولیسم گیاهان می‌شود (Rafiei, 2018). در این شرایط، فعالیت فتوسنتزی از یک طرف به علت دهیدراته شدن غشاء سلولی که نفوذپذیری CO_2 را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر به علت ورود

یون‌های Na^+ به سلول، که به غیرفعال شدن سیستم‌های انتقال الکترون در فتوسنتز منجر می‌شود و سبب کاهش فرایند فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد در گیاهان می‌گردد (Ghorbani, 2016). از آنجایی که این عناصر به تجزیه زیستی مقاوم بوده و ماندگاری بالایی در طبیعت دارند همچنین بخاطر پتانسیل تجمع‌ی بالایی که عناصر سنگین دارند، می‌توانند در قسمت‌های مختلف بدن تجمع پیدا کنند و حتی در غلظت‌های پایین این عناصر سلامتی انسان را تهدید می‌کند (Helal et al., 1999). کروم (Cr) به لحاظ وفور دومین عنصر آلاینده آبهای زیرزمینی و خاک می‌باشد که ناشی از بکارگیری آن در فعالیت‌های بشتری است (Shanker et al., 2005). کروم به شکل‌های ۳ ظرفیتی Cr (III) و ۶ ظرفیتی Cr (VI) می‌باشد Cr (VI) با سمیت بیشتر می‌باشد و اغلب به‌مراه اکسیژن بصورت کرومات CrO_4^{2-} یا دی‌کرومات $Cr_2O_7^{2-}$ اکسیژنه شده است (Shanker et al., 2005; Kulshrestha and Chandra, 2004). برخلاف آن Cr غیرمتحرک و با سمیت کمتر و برای سلامت انسان و حیوانات ضروری است (Babula et al., 2008) در گیاهان نیز Cr وارد گیاه می‌شود از طریق یون‌های حاصل ضروری مثل سولفات یا آهن و اثرات سمی را بر روی رشد (ریشه، ساقه و برگ‌ها) و توسعه از جمله تغییر جوانه‌زنی و فرایندهای فیزیولوژیکی (فتوسنتز، نسبت آب و مواد غذایی معدنی) گیاه دارد (Yadav, 2010; Hayat et al., 2012; Shanker et al., 2005). با توجه به اینکه دانش اندکی در مورد برهمکنش شوری و کروم بر رشد و نمو گیاه خرفه وجود دارد، هدف از این آزمایش بررسی اثر شوری و کروم بر برخی صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ریشه و بخش‌های هوایی گیاه خرفه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کشت خرفه: به منظور بررسی صفات مورفولوژیکی گیاه خرفه، بذور آن در گلدان‌های ۳ لیتری حاوی خاک مزرعه‌ای در ینگه‌قلعه بجنورد با خصوصیات فیزیکی شیمیایی جدول ۱ دو ماه قبل از کشت بذور خاک توسط دی کرومات پتاسیم آلوده به سطوح مختلف کروم (۰، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) درصد رطوبت خاک از طریق آبیاری با سطوح مختلف شوری (۰، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر

متر) دوبار در هفته به اندازه ۷۵٪ ظرفیت زراعی تنظیم شد. به این ترتیب، ۴ تیمار تنش شوری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار مورد مقایسه قرار گرفتند. گلدان‌ها کشت شده در درجه حرارت محیط (۱۸ تا ۲۵°C) و در شرایط نور طبیعی انجام گرفت. مطالعات آزمایشگاهی در دانشگاه پیام نور بجنورد و پژوهشکده علوم گیاهی فردوسی مشهد و اداره کل حفاظت محیط‌زیست خراسان شمالی انجام شد.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش

Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cl (ppm)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	بافت خاک (%)			CaCO ₃ (%)	EC (ms/cm)	pH
											f	g	h			
۲۶/۹۹	۷۱	۲۵	۵۶۶	۶۰۴	۱۶	۰/۳۱	۶۶	۲۶۰	۸/۱	۰/۰۳۶	۶۰	۱۷	۲۳	۲۶/۲۵	۱/۶۹	۷/۷۳

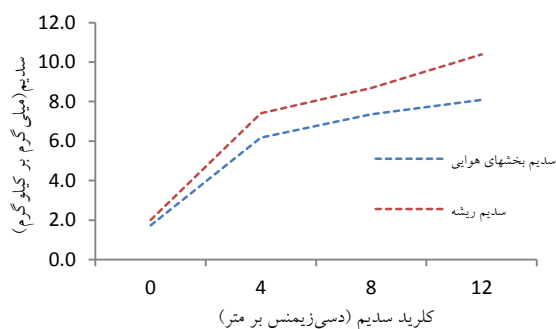
سنجش صفات مورفولوژیکی: به منظور بررسی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، گیاهان ۶۰ روز بعد از کشت در گلدان‌ها نمونه‌برداری انجام شده و صفاتی از قبیل شاخص سبزیگی، طول ساقه، طول، سطح و قطر ریشه، محتوای کروم ریشه و بخش‌های هوایی، میزان سدیم ریشه و بخش‌های هوایی، فاکتور انتقال کروم و فاکتور تجمع بیولوژیکی ریشه اندازه‌گیری شد. طول، قطر و سطح ریشه با دستگاه Root Analyzer تعیین گردید.

سنجش شاخص سبزیگی: اندازه‌گیری شاخص کلروفیل یا سبزیگی با استفاده از دستگاه اسپد انجام شد بدین منظور برگ از هر گلدان سه برگ بالایی انتخاب شد و شدت رنگ سبز آن خوانده شد.

سنجش سدیم و کروم: به منظور سنجش غلظت عناصر سدیم و کروم و توزیع آنها در ریشه و اندام‌های هوایی، خاکستر تر تهیه شد. بافت‌های تر اندام‌های ریشه و بخش‌های هوایی بمدت ۴۸ ساعت در ۷۰°C قرار داده شدند و از بافت خشک حاصله برای تهیه خاکستر تر استفاده شد. در این

روش ۰/۰۵ گرم بافت خشک ریشه و یا اندام هوایی گیاه در داخل ارلن ۲۵ میلی‌لیتر ریخته شد و سپس ۳ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ به آن اضافه گردید و با شیشه ساعت درب ارلن‌ها مسدود شد بعد از تکمیل هضم بافت گیاه (۴۸ تا ۷۲ ساعت) محلول را به آرامی حرارت داده تا اسید تبخیر شود و محلول شفاف بدست آید. در این محلول کلیه مواد معدنی گیاه بصورت محلول باقی می‌ماند و مواد آلی کربن‌دار به صورت CO₂ از محیط خارج شده است. بعد از سرد شدن محلول حاصله حجم آن در بالن ژوژه به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و از این محلول در سنجش عناصر در بافت گیاهی استفاده گردید (Azizi et al., 2016). میزان کروم توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد و میزان سدیم نیز توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای دارای فیلتر مخصوص سدیم اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا دستگاه توسط آب مقطر (بدون سدیم) محلول استاندارد ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سدیم تنظیم و محلول‌های استاندارد تهیه و منحنی استاندارد ترسیم شد. با استفاده از منحنی

تجربه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای سدیم بخش‌های هوایی و ریشه تحت تاثیر شوری و کروم قرار گرفتند (جدول ۲). اثر شوری و کروم بر میزان محتوای سدیم بخش‌های هوایی و ریشه معنی‌دار ($P \leq 0/05$) بوده است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر کروم و کلرید سدیم به تفکیک بر تغییرات محتوای سدیم ریشه و بخش‌های هوایی گیاه خرفه در جدول ۴ نشان داده شده است. مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری نشان داد با افزایش میزان شوری محتوای سدیم بخش‌های هوایی و ریشه افزایش یافت بطوریکه در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و بدون کروم بیشترین میزان سدیم ریشه ۱۲/۱۶۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و بخش‌های هوایی ۱۰/۶۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین مقدار در تیمار بدون شوری و کروم ۲۱ و ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در ریشه ۱/۸۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و بخش‌های هوایی ۱/۶۱۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در حالی که برهمکنش آنها بر این صفت معنی‌دار بود و محتوای سدیم در ریشه و بخش‌های هوایی تحت تاثیر غلظت کروم، کلرید سدیم و برهمکنش آنها قرار گرفت.



شکل ۲: اثر شوری بر میزان محتوای سدیم گیاه خرفه

تیمار کروم ۲۸ و ۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در ریشه و بخش‌های هوایی بمیزان ۲/۱۰۳۵۱ و ۱/۰۸۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. انباشت کروم در ریشه نسبت به بخش‌های هوایی گیاه ۵۰٪ افزایش داشت.

استاندارد غلظت عنصر در محلول بافت‌های گیاهی ریشه و اندامهای هوایی بدست آمد و سپس درصد سدیم محاسبه گردید (Black et al., 1965).

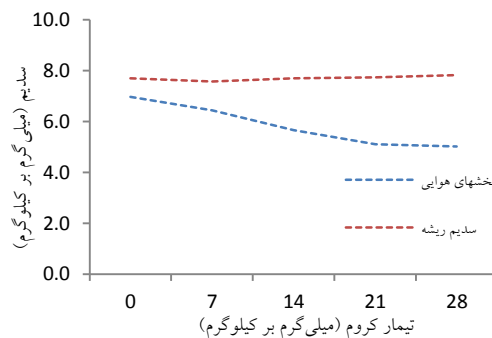
فاکتور تجمع بیولوژیکی: فاکتور تجمع بیولوژیکی (BAF) از محاسبه نسبت غلظت فلز در وزن خشک زیتوده (ریشه یا بخش‌های هوایی) به غلظت فلز در وزن خشک خاک بدست آمد (Gonzaga et al., 2006). فاکتور انتقال (TF) از نسبت غلظت فلز در وزن خشک اندام هوایی به غلظت فلز در وزن خشک ریشه محاسبه شد (Dong et al., 2007).

تجزیه و تحلیل آماری

پردازش داده‌ها بوسیله نرم‌افزارهای رایانه‌ای SPSS و رسم نمودارها بوسیله نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده توسط آزمون چنددامنه‌ای Duncan، با ضریب اطمینان ۹۹/۹۵ درصد ($P \leq 0/05$) انجام شد.

نتایج

تغییرات محتوای سدیم ریشه و بخش‌های هوایی در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از



شکل ۱: اثر کروم بر میزان محتوای سدیم گیاه خرفه

تغییرات محتوای کروم در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. کمترین میزان کروم ریشه و بخش‌های هوایی متعلق به گیاهان شاهد (بدون کروم و بدون شوری) به ترتیب بمیزان ۰/۳۸۳۳ و ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و بیشترین مقدار متعلق به

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

بخش های Na	بخش های Cr	TF	بخش های Cr	ریشه Baf	قطر ریشه	طول ریشه	سطح ریشه	طول ساقه	شاخص سبزیگی	درجه آزادی	منابع تغییرات
۲۲/۱۴۶	۳۳/۲۲۱	۰/۰۳۶	۰/۸۸۳	۷۰/۶۹۹	۰/۰۷۵	۱۴۳۳/۶۹	۶۴۱۲/۶۸	۱۱۵۲/۹۱	۲۰/۱۸۱	۱۹	مدل تصحیح شده
۸/۶۳۳*	۵/۵۹۳*	۰/۱۳۱*	۳/۳۶۳*	۲۷۰/۶۹۸*	۰/۲۳۱*	۵۰۱۲/۴۰*	۱۴۷۳۵/۹*	۳۹۹۶/۲۹*	۷۴/۴۵۵*	۴	کروم
۱۲۲/۰۰*	۱۶۹/۹۹*	۰/۰۴۳*	۰/۵۲۴*	۷۷/۲۸۶*	۰/۰۶۷*	۱۸۳۶/۴۸*	۱۶۶۹۸/۸*	۱۸۹۰/۸۴*	۲۴/۵۵۷*	۳	شوری
۱/۶۸۶*	۱/۴۸۷ ^{NS}	۰/۰۰۳*	۰/۰۲۳*	۲/۳۸۵*	۰/۰۲۵ ^{NS}	۵۷/۵۹۱ ^{NS}	۱۰۶۶۷ ^{NS}	۲۰/۶۳۷ ^{NS}	۰/۹۹۵*	۱۲	کروم+شوری
۲/۱۰۸	۲/۳۱۹	۰/۰۱۶	۰/۰۸۴	۱۲/۹۷۸	۰/۰۴۵	۶۳۵/۵۹۵	۳۵۵۳/۴۴	۲۴۴/۷۷۹	۳/۷۶۳	۴۰	خطا

علامت * و NS برترتیب معنی دار در سطح ۵/۰ و عدم معنی دار. TF: مخفف فاکتور انتقال و BAF: مخفف فاکتور تجمع بیولوژیکی

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر کروم و کلرید سدیم بر گیاه خرفه

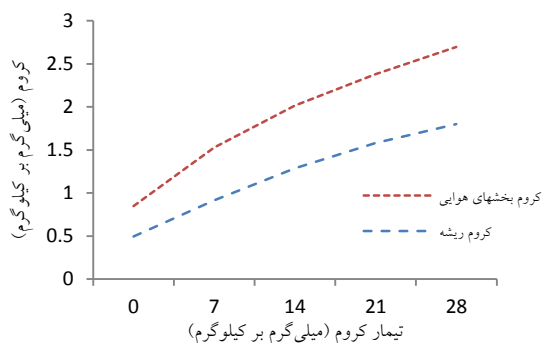
محتوای موثره (میلی گرم بر کلرید کروم)	Na رشد (میلی گرم بر کلرید کروم)	TF	رشد (میلی گرم Cr بر کلرید کروم)	محتوای موثره Cr (میلی گرم بر کلرید کروم)	رشد BAF (میلی متر)	ظرف رشد (میلی متر)	طول ریشه (میلی متر)	طول ریشه (میلی متر)	سطح ریشه (میلی متر مربع)	طول ساقه (میلی متر)	شخص سبزیگی (میلی گرم بر کلرید کروم)	شوری	کروم
۱/۸۷۳۱ ^a	۲/۲۵۱۷ ^a	۰/۶۱۸۳ ^{abdef}	۰/۳۸۳۳ ^{ab}	۰/۳۳ ^{ab}	۵/۸۰۸۰ ^a	۱/۰۰۱۳ ^{bc}	۱۳۳/۵۹۱ ^{de}	۲۴۴/۴۴ ^{cd}	۱۵۰/۰ ^f	۱۲۰/۳۳ ^{ab}	۱۲/۰۳۳ ^{ab}	*	*
۲/۴۹۷۸ ^{bc}	۷/۸۳۳۳ ^b	۰/۶۷۶۷ ^{bcdef}	۰/۴۶۶۶ ^{ab}	۰/۳۱۳ ^{abc}	۷/۰۷۰۷ ^{ab}	۱/۰۰۵۷ ^{bc}	۱۳۴/۳۹۳ ^c	۲۵۴/۹۳ ^{cd}	۱۴۵/۶ ^f	۱۱/۴۰۰ ^a	۱۱/۴۰۰ ^a	۴	*
۸/۶۱۶۶ ^{def}	۹/۵۳۳۳ ^{bcde}	۰/۷۴۰۰ ^{cd}	۰/۵۰۲۳ ^{abc}	۰/۳۷ ^{abc}	۷/۵۷۵ ^{abc}	۰/۷۵۸۹ ^{abc}	۱۱۴/۴۴ ^{abcde}	۱۷۴/۳۴ ^{abcd}	۱۳۶/۸ ^{def}	۱۰/۳۳۳ ^{abc}	۱۰/۳۳۳ ^{abc}	۸	*
۱۰/۶۱۶۷ ^f	۱۲/۱۶۶۷ ^c	۰/۸۶۱۷ ^f	۰/۶۳۳۳ ^{ab}	۰/۴۹ ^{abcd}	۹/۰۵۹۶ ^{abcd}	۰/۶۸۸۳ ^{abc}	۹۸/۶۳۱ ^{abcde}	۱۶۴/۱۶ ^{abcd}	۱۳۶/۶ ^{def}	۸/۵۳۳ ^{defghi}	۸/۵۳۳ ^{defghi}	۱۲	*
۱/۳۳۳۳ ^a	۲/۰۱۵۸ ^a	۰/۵۹۰۷ ^{abdef}	۰/۷۱۶۶ ^{abc}	۰/۴ ^{abcd}	۹/۸۱ ^{abcde}	۰/۷۹۱۸ ^{abc}	۱۱۳/۴۰ ^{abcde}	۱۹۵/۰۷ ^{abcd}	۱۳۶/۸ ^{def}	۱۰/۴۳۳ ^{ab}	۱۰/۴۳۳ ^{ab}	*	*
۲/۴۹۷۸ ^{bc}	۷/۵۰۵۸ ^b	۰/۵۹۶۱	۰/۹۳۳۳ ^{abcd}	۰/۶۲ ^{abcd}	۱۲/۸ ^{bcdef}	۰/۸۵۰ ^{abc}	۱۳۰/۸۱ ^{cd}	۲۵۳/۰ ^d	۱۳۳/۵ ^{def}	۹/۳۶۶ ^{efghi}	۹/۳۶۶ ^{efghi}	۴	۷
۸/۳۱۶۷ ^{bcdef}	۹/۱۵۶۵ ^{bcd}	۰/۷۰۷۳ ^{cd}	۰/۹۷۶۶ ^{abcd}	۰/۶۸ ^{abcde}	۱۳/۴ ^{bcdefghi}	۰/۶۹۹۸ ^{abc}	۱۰۵/۷۸۶ ^{bcde}	۱۸۴/۶۵ ^{abcd}	۱۱۰/۰ ^{bcde}	۸/۸۳۳ ^{defghi}	۸/۸۳۳ ^{defghi}	۸	۷
۹/۳۳۳۳ ^{def}	۱۱/۶۱۳۲ ^{cd}	۰/۶۹۵۷ ^{cd}	۱/۰۳۳۳ ^{bcde}	۰/۷۳۳۳	۱۴/۳ ^{defghi}	۰/۶۴۹۳ ^{abc}	۹۴/۹۳ ^{abcde}	۱۴۱/۱ ^{abcd}	۱۰۸ ^{bcde}	۸/۵۰ ^{defghi}	۸/۵۰ ^{defghi}	۱۲	*
۱/۷۹۹۱ ^a	۱/۹۵۷۸ ^a	۰/۵۶۰۹ ^{abdef}	۰/۹۱۳۳ ^{abcd}	۰/۵۱ ^{abcd}	۱۱/۸ ^{abcdef}	۰/۵۴۴ ^a	۱۰۳/۵۵ ^{bcde}	۱۵۰/۴۴ ^{abcd}	۱۳۳/۳ ^{def}	۱۰/۳۳۳ ^{ab}	۱۰/۳۳۳ ^{ab}	*	*
۲/۳۹۴۵ ^{bc}	۷/۳۵۱۸ ^b	۰/۵۹۶۸ ^{abdef}	۱/۳۳۳ ^{def}	۰/۷۱ ^{abcde}	۱۵/۴ ^{defghi}	۰/۸۳۴ ^{abc}	۱۰۴/۴۷ ^{bcde}	۲۱۸/۷۹ ^{bcd}	۱۱۰/۰ ^{bcde}	۹/۸۰۰ ^{ab}	۹/۸۰۰ ^{ab}	۴	۱۴
۷/۲۴۴۵ ^{bc}	۸/۶۳۵۱ ^{bc}	۰/۶۰۴۸ ^{abdef}	۱/۴۳۳ ^{def}	۰/۷۷ ^{abcd}	۱۷/۹۲ ^{efghi}	۰/۶۸۰ ^{abc}	۹۶/۶۳ ^{abcde}	۱۶۶/۳۰ ^{abcd}	۱۰۳ ^{bcde}	۸/۸۳۳ ^{defghi}	۸/۸۳۳ ^{defghi}	۸	۱۴
۷/۱۹۲۵ ^{bc}	۱۰/۸۳۴۸ ^{cd}	۰/۶۶۹۳ ^{bcdef}	۱/۵۶۶ ^{ef}	۰/۹۳ ^{def}	۱۹/۵۸۳ ^{ghi}	۰/۶۰۳۲ ^{ab}	۸۰/۳۳ ^{abcd}	۱۳۱/۱۷ ^{abc}	۹۵/۶۶ ^{bcd}	۶/۱۱۳ ^{bcdef}	۶/۱۱۳ ^{bcdef}	۱۲	*
۱/۶۳۱۰ ^a	۱/۸۹۷۷ ^a	۰/۴۱۹۷ ^a	۰/۶۸ ^{bcdef}	۰/۵۴ ^{abcd}	۱۴/۷ ^{defghi}	۰/۵۶۵۰ ^a	۸۸/۷۰ ^{abcde}	۱۶۵/۵۴ ^{abcd}	۱۱۰/۰ ^{bcde}	۸/۶۳۳ ^{defghi}	۸/۶۳۳ ^{defghi}	*	*
۵/۶۴۷۸ ^{bc}	۷/۳۰۰۴ ^b	۰/۴۸۰ ^{abdef}	۱/۶۰۸۶ ^{ef}	۰/۸۶ ^{abcd}	۱۸/۳۹ ^{efghi}	۰/۵۲۳۷ ^a	۸۴/۸۹ ^{abcde}	۱۸۰/۳۹ ^{abcd}	۱۰۰/۰ ^{bcd}	۷/۱۶۶ ^{bcdefghi}	۷/۱۶۶ ^{bcdefghi}	۴	۲۱
۲/۲۶۰۰ ^{bc}	۸/۶۸۷ ^{bc}	۰/۵۰۸۷ ^{abdef}	۱/۶۶۶ ^{ef}	۰/۸۲۰ ^{bcdef}	۱۹/۱۵۷ ^{ghi}	۰/۶۴۲۵ ^{abc}	۸۱/۵۶ ^{abcd}	۱۵۱/۴ ^{abcd}	۹۰/۰ ^{abc}	۵/۷۶۶ ^{abcdef}	۵/۷۶۶ ^{abcdef}	۸	۲۱
۲/۸۹۷۲ ^{bc}	۹/۱۵۶۶ ^{bcd}	۰/۵۵۳ ^{bcdef}	۱/۸۶۶ ^{ef}	۱/۰۸۰ ^f	۲۰/۳۰ ^{ghi}	۰/۵۶۹۰ ^a	۷۳/۲۴ ^{abc}	۱۱۶/۶۵۰ ^{ab}	۸۶/۶۶ ^{ab}	۵/۳۳۳ ^{bcde}	۵/۳۳۳ ^{bcde}	۱۲	*
۱/۶۱۶۷ ^a	۱/۹۱۶۷ ^a	۰/۳۸۸۳ ^a	۱/۵۶۶ ^{ef}	۰/۶۱ ^{abcd}	۱۶/۶ ^{efghi}	۰/۴۸۱ ^a	۷۹/۳۹ ^{abcd}	۱۳۱/۷۷ ^{abc}	۱۰۳ ^{bcde}	۴/۹۶۶ ^{bcdef}	۴/۹۶۶ ^{bcdef}	*	*
۵/۵۵۹۱ ^b	۷/۰۵۲۵ ^b	۰/۴۳۱۷ ^{ab}	۱/۸۳۳ ^{def}	۰/۷۵ ^{abcd}	۱۸/۴۴ ^{efghi}	۰/۶۳۵ ^{abc}	۷۱/۹۶ ^{abc}	۱۳۲/۳ ^{bcde}	۹۶/۸ ^{abcde}	۴/۸۶۶ ^{bcdef}	۴/۸۶۶ ^{bcdef}	۴	۲۸
۲/۳۹۱۳ ^{bc}	۷/۸۱۶۷ ^b	۰/۵۳۹۴ ^{bcdef}	۱/۸۰۶۴ ^{ef}	۰/۹۵ ^{def}	۱۹/۱۴۸ ^{ghi}	۵/۵۱ ^a	۶۲/۰۷ ^{abc}	۱۱۶/۵۰ ^{ab}	۸۶/۶۶ ^{ab}	۳/۸۳۳ ^{abc}	۳/۸۳۳ ^{abc}	۸	۲۸
۲/۵۲۰۲ ^{bc}	۸/۲۰۷ ^{bc}	۰/۵۵۱۶ ^{bcde}	۲/۱۰۳۵ ^{gh}	۰/۹۴ ^{def}	۲۲/۳۴ ^h	۴/۶۲ ^a	۴۹/۶۴ ^{abc}	۹۸/۷۵ ^{abc}	۸۳/۳۳ ^{abc}	۳/۱۶۶ ^{abc}	۳/۱۶۶ ^{abc}	۱۲	*

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (P>0.05): TF: مخفف فاکتور انتقال و BAF: مخفف فاکتور تجمع یون‌زایی

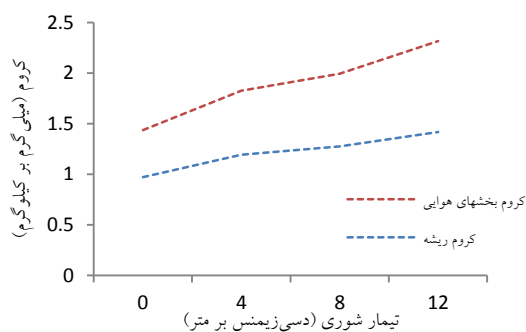
جدول ۱: مقایسه میانگین اثر کروم و کلرید سدیم به تفکیک بر گیاه خرفه

شماره	غلظت	شاخص سبزنگی (میلی گرم بر گرم وزن تر)	طول ساقه (میلی متر)	سطح ریشه (میلی متر مربع)	طول ریشه (میلی متر)	قطر ریشه (میلی متر)	ریشه BAF (میلی گرم بر کیلوگرم)	بخشهای هوایی Cr (میلی گرم بر کیلوگرم)	ریشه Na (میلی گرم بر کیلوگرم)	TF	ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)	Cr (میلی گرم بر کیلوگرم)	Cr (میلی گرم بر کیلوگرم)
۰	۰	۱۰/۵۷۵ ^d	۱۳۷/۵ ^d	۲۰۹/۴۴۳ ^c	۱۱۸/۰۱۷ ^c	۰/۸۱۲۸ ^c	۷/۵۱۳۶ ^b	۰/۳۵۱۷ ^b	۰/۴۹۵۸۳ ^b	۰/۶۹۹۳ ^c	۷/۸۱۳۳ ^b	۰/۴۹۵۸۳ ^b	۰/۴۹۵۸۳ ^b
۷	۷	۹/۳۸۳۳ ^{cd}	۱۱۹/۶ ^c	۱۹۳/۴۶ ^{bc}	۱۰۸/۷۴۴ ^c	۰/۷۴۸ ^{bc}	۱۲/۵۳۴ ^b	۰/۶۱۴۳ ^b	۰/۹۱۵ ^b	۰/۶۴۷۴ ^c	۷/۵۷۶۸ ^{ab}	۰/۶۱۴۳ ^b	۰/۶۱۴۳ ^b
۱۴	۱۴	۸/۷۲۵ ^c	۱۰۰/۸ ^{abc}	۱۶۴/۶۰۱ ^{abc}	۹۷/۱۷۳ ^{bc}	۰/۶۴۰۸ ^{ab}	۱۶/۱۷۳ ^b	۰/۷۳۰۸ ^c	۱/۲۸۱۳۳ ^c	۰/۶۰۷۹ ^b	۷/۱۹۴۹ ^{ab}	۰/۷۳۰۸ ^c	۰/۷۳۰۸ ^c
۲۱	۲۱	۶/۷ ^b	۹۷/۶۶ ^{ab}	۱۵۳/۵۰۳ ^{ab}	۸۲/۱۰۰ ^{ab}	۰/۵۷۴۸ ^{ab}	۱۸/۱۵۱ ^c	۰/۸۰۲۵ ^c	۱/۵۷۹۱۶ ^d	۰/۴۹۰۶ ^b	۶/۶۶۰۴ ^{ab}	۰/۸۰۲۵ ^c	۰/۸۰۲۵ ^c
۲۸	۲۸	۴/۲۰۸ ^{ab}	۹۲/۵۴ ^a	۱۱۹/۸۱۵ ^d	۶۵/۶۷ ^a	۰/۵۳۱۷ ^a	۱۹/۱۴۸ ^c	۰/۸۱۵ ^c	۱/۸۰۳۵۸ ^d	۰/۴۵۲۷ ^a	۶/۲۴۸۳ ^a	۰/۸۱۵ ^c	۰/۸۱۵ ^c
۰	۰	۹/۳۶ ^a	۱۲۴/۶ ^c	۱۱۷/۴۳۵ ^c	۱۰۱/۹۳ ^c	۰/۶۷۳۸ ^a	۱۱/۷۶۶ ^c	۰/۴۶۶ ^a	۰/۹۷۶۶۶ ^d	۰/۵۱۵۶ ^a	۲/۰۰۷۹ ^a	۰/۴۶۶ ^a	۰/۴۶۶ ^a
۴	۴	۸/۵۳ ^{ab}	۱۱۵/۴ ^{bc}	۲۰۷/۹۰۶ ^{bc}	۱۰۳/۳۰۷ ^b	۰/۷۵۷۸ ^a	۱۴/۴۳۳ ^{ab}	۰/۶۳۳۳ ^a	۱/۱۹۳۳۳ ^c	۰/۵۵۶۳ ^{ab}	۷/۴۰۸۸ ^b	۰/۶۳۳۳ ^a	۰/۶۳۳۳ ^a
۸	۸	۷/۵ ^{ab}	۱۰۳/۳ ^{ab}	۱۵۸/۶۲۴ ^{ab}	۹۲/۰۲۵ ^{ab}	۰/۷۱۸۳ ^a	۱۵/۴۳۵ ^{ab}	۰/۷۱۹ ^{bc}	۱/۲۷۵۳۳ ^{bc}	۰/۶۲۰ ^b	۸/۶۸۵۸ ^c	۰/۷۱۸۳ ^a	۰/۷۱۸۳ ^a
۱۲	۱۲	۶/۳۱۳ ^{ab}	۹۵/۵۳۳ ^{ab}	۱۲۸/۳۷۳ ^d	۷۹/۳۷۴ ^d	۰/۵۴۲۴ ^a	۱۷/۱۹۶ ^b	۰/۸۷۳ ^a	۱/۴۲۱۲۵ ^c	۰/۳۳۵۸ ^b	۱۰/۳۹۵۷ ^d	۰/۸۷۳ ^a	۰/۸۷۳ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری با هم ندارند (P < 0.05). TF: مخفف فاکتور انتقال و BAF: مخفف فاکتور تجمع بیولوژیکی



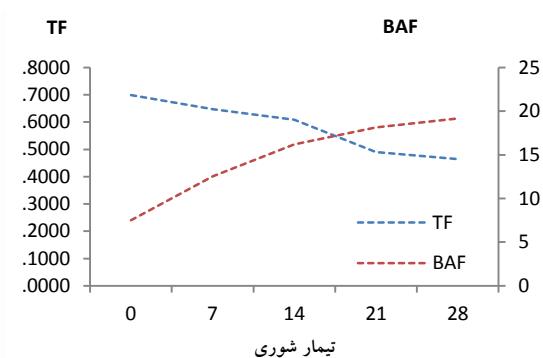
شکل ۴: اثر کروم بر میزان انباشت کروم در گیاه خرفه



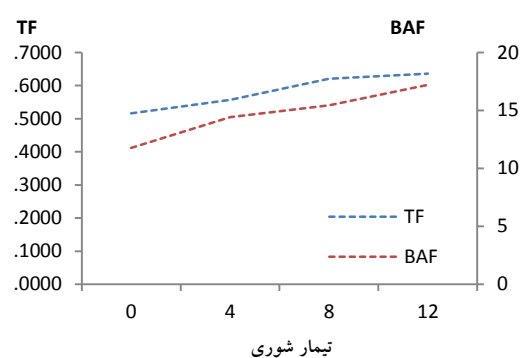
شکل ۳: اثر شوری بر انباشت کروم گیاه خرفه

داشت و میزان BAF به طور معنی داری با افزایش کروم و کلرید سدیم در ریشه گیاه افزایش یافت. بطوریکه کمترین میزان آن متعلق به گیاهان شاهد بمیزان ۵/۸۰۸ و بیشترین میزان در گیاهان خرفه تحت تیمار کروم ۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم و کلرید سدیم ۱۲ دسی زیمنس بر متر به میزان ۲۲/۳۴ بود ($P \leq 0/05$).

تجزیه واریانس فاکتورهای انتقال و تجمع بیولوژیکی در سطوح مختلف کروم و شوری در جدول ۲ نشان داده شده است. تغییرات فاکتورهای انتقال و تجمع بیولوژیکی ریشه در شکل ۵ و ۶ نشان داده شد. داده‌های مربوط به تجمع بیولوژیکی (BAF) کروم در ریشه گیاه خرفه در جدول ۱ نشان داد گیاه خرفه ظرفیت بالایی برای تجمع فلز سنگین کروم در ریشه



شکل ۶: اثر کروم بر فاکتور انتقال (TF) و تجمع زیستی (BAF)



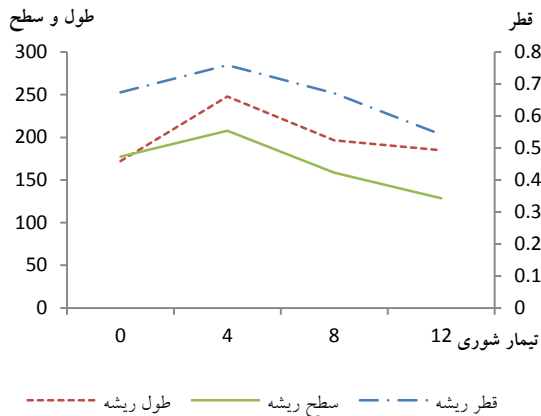
شکل ۵: اثر شوری بر فاکتور انتقال (TF) و تجمع زیستی (BAF)

تغییرات طول ریشه، قطر ریشه و سطح ریشه در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش تیمار کلرید سدیم و کروم با کاهش طول ریشه، قطر ریشه و سطح ریشه همراه بود و این تغییرات معنی داری بود. اما اثر افزایش شوری بر کاهش قطر ریشه معنی دار نبود. در تیمار شوری ۴ دسی زیمنس بر متر میزان طول، قطر و سطح ریشه افزایش یافت و در سایر

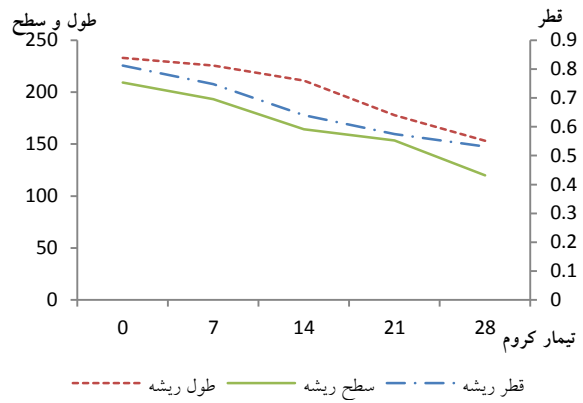
همچنین نتایج نشان داد که اثر کروم بر میزان فاکتور انتقال کروم با روند کاهشی داشته و کلرید سدیم با افزایش فاکتور انتقال کروم همراه بوده و هر دو تغییر معنی دار بوده است. کمترین مقدار (۰/۳۸۸۲) مربوط به تیمار کروم ۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم و بدون کلرید سدیم و بیشترین میزان (۰/۷۶۱۷) متعلق به گیاهان بدون کروم و کلرید سدیم ۱۲ دسی زیمنس بر متر بوده است.

و مینیمم آن بترتیب ۰/۴۶۲، ۴۹/۶۴۳۳ و ۹۸/۷۵۶ در تیمار کروم ۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم و شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر بود.

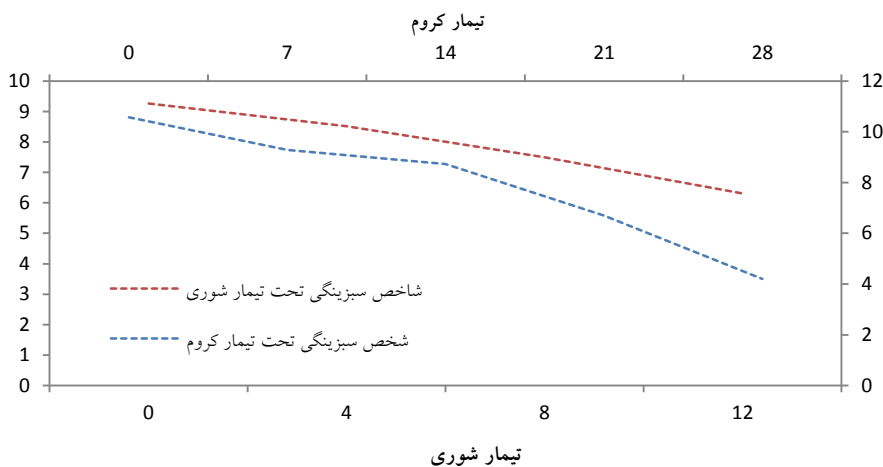
تیمارهای کلریدسدیم با کاهش همراه بود. ماکزیمم قطر ریشه، طول ریشه و سطح ریشه به ترتیب ۱/۰۵۰۷ میلی متر، ۱۳۴/۳۹۶ میلی متر و ۲۵۴/۹۱۶ میلی متر مربع در تیمار بدون کروم و شوری ۴ دسی زیمنس بر متر بود



شکل ۸: اثر تیمار شوری بر طول، قطر و سطح ریشه گیاه خرفه



شکل ۷: اثر تیمار کروم بر طول، قطر و سطح ریشه گیاه خرفه



شکل ۹: اثر شوری و کروم بر شاخص سبزیگی گیاه خرفه

کروم و بدون کلریدسدیم ۱۲/۰۳۳ بود و کمترین میزان در گیاهان با کلریدسدیم ۱۲ دسی زیمنس بر متر و ۲۸ کروم میلی گرم بر کیلوگرم بمیزان ۳/۱۶۶ مشاهده گردید (جدول ۳). نتیجه مطالعات انجام شده نشان داد افزایش شوری، سطح ریشه و قطر ریشه گیاه کاهش می دهد، اما این کاهش معنی دار نبود. کمترین

تغییرات شاخص سبزیگی گیاه تحت تیمار شوری و کروم در شکل ۹ نشان داده شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که با افزایش تیمار کلریدسدیم و کروم میزان شاخص سبزیگی به طور معنی داری کاهش می یابد ($P \leq 0/05$). به طوری که بیشترین میزان شاخص سبزیگی در شرایط بدون

شوری بالا فعالیت دارد و مدام سدیم و نیز کادمیوم، کروم و نیکل را دفع می‌کند. در مطالعه‌ای بر روی چندین گونه گیاهی ماکروفیت (*Alternanthera philoxeroides*, *Borreria scablosoides*, *Polygonum ferrugineum*, *Eichhornia crassipes*) که در معرض ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر از $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ قرار داشتند. انباشت کروم در ریشه‌ها در مقایسه با ساقه بیشتر بود بجز گونه *E. crassipes* (۹/۰۲ میلی‌گرم کروم در یک کیلوگرم وزن خشک بود). تقریباً مقدار ناچیزی از کروم نیز در برگ‌ها مشاهده شد (۰/۱۵ میلی‌گرم *A. philoxeroides*) و (۰/۱۳ میلی‌گرم در *B. scablosoides*) و (۰/۰۴ میلی‌گرم در *P. ferrugineum*) (Mangabeira et al., 2011). در بررسی میکروسکوپی توسط Mangabeira و همکاران (۲۰۱۱) میزان زیادی از کروم در داخل واکنش در ریشه‌ها و برگ‌های گونه گیاهی *E. crassipes* مشاهده شد که ۳۰ روز در معرض ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم قرار داشتند. اساساً کروم علاوه بر پارانشیم ریشه‌ها در دیواره سلول‌های ریشه نیز قرار می‌گیرد. به علاوه سایر محققین پیشنهاد کردند که سلولهای پارانشیمی ریشه‌ها در انتقال کروم به بخش‌های هوایی دخالت دارند. اساساً بعد از جذب کروم، انتقال آن از طریق آوند چوب انجام می‌شود (Hayat et al., 2012). هنگام عبور آن از میان آندودرم ریشه (توسط سیمپلاست) Cr^{6+} به Cr^{3+} احیا می‌شود. احیا به Cr^{3+} همچنین می‌تواند در بخش‌های هوایی گیاه رخ دهد (Cerrantes et al., 2001). با توجه به بررسیهای بعمل آمده در گیاه *Gynura pseudochina*، Cr^{6+} به Cr^{5+} احیا می‌شود که آن هم به Cr^{3+} احیا می‌شود که سمیت کمتری دارند Cr^{3+} از طریق آوند چوب و توسط مسیر سیمپلاست منتقل می‌شود و در سیتوپلاسم سلولهای پوستی تدریجاً منتشر می‌شود (Monghhonsin et al., 2011). بر اساس مطالعه

مقدار سطح (۹۸/۷۵۶۷) و بیشترین مقدار سطح (۲۵۴/۹۱۶) در تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و بدون کروم بود کمترین مقدار قطر ریشه (۰/۴۵۴۳) تیمار کروم ۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بدون شوری بود و بیشترین مقدار آن (۱/۰۵۰۷) در تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و بدون کروم بود.

بحث

در بررسی اثرات شوری و کروم و برهمکنش این دو بر رشد و نمو خرفه، افزایش تیمارهای شوری و کروم با افزایش تجمع بیولوژیکی کروم و کاهش شاخص‌های رشد گیاه خرفه همراه بود. طی بررسی Zurayk (۲۰۰۷) اثر شوری NaCl (۹/۰ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) و فلزات سنگین کادمیوم (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کروم (۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نیکل (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بدون فلز سنگین (۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بر رشد، محتوای سدیم و فلزات سنگین در چهار گونه مقاوم به شوری گیاهان *Hordeum oleracea* L., *Portulaca oleracea* L., *Plantago crithmoides* L. و *Inula vulgare* L. گزارش نمودند. کادمیوم و نیکل کاهش معنی‌داری بر وزن خشک *Portulaca oleracea* L. داشتند اما در سایر گونه‌ها معنی‌دار نبود. انباشت سدیم در *P. coronopus* و *I. crithmoides* بیشترین مقدار بود که ویژگی هالوفیت بودن آنها را نشان می‌دهد. حضور فلز سنگین انباشت سدیم را در *H. vulgare* و *P. oleracea* کاهش می‌دهد. اما روی می‌دهد برهمکنش Na و فلز سنگین در گیاه اختصاصی است. انباشت فلز سنگین در ۴ گونه گیاه تحت تیمار ۹ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت اما در تیمار ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر این گونه نبود و این موضوع به وجود مکانیسم دفع یون اشاره دارد که در سطوح

شده است و در آوندهای چوبی ساقه‌ها و برگ‌ها، مقادیر خیلی کمی کروم در سلولهای پارانشیم چوب نگهداری می‌شود که به کورتکس یا اپیدرم ساقه یا بافت پارانشیم اسفنجی برگ‌ها منتقل نمی‌شود (Mangabeira et al., 2004). کروم در بافت‌های آوندی احتمالاً با اسیدهای آلی ترکیب می‌شود (Juneja and Prakash, 2005). همراهی یون‌های کروم با گروه‌های هیدروکسیل دیواره سلولی امکان دارد و می‌تواند دلیل عدم انتقال بیرون از بافت‌های واسکولار باشد (Mangabeira et al., 2004). مطالعات زیادی روی گیاهان زراعی و سایر گیاهان انجام شده و نشان داد که بسیاری از آنها قادر به انباشت کروم بصورت $Cr_2O_4^{2-}$ و کمتر Cr^{3+} غالباً در ریشه‌ها و با کمترین انتقال به بخش‌های هوایی می‌باشد که بدلیل ورود اندک به بافت‌های وسل می‌باشد (Zayed et al., 1989). همچنین مشخص شده در گیاهی مثل اسفناج با انباشتگری بالای Fe، کروم به میزان بیشتری به بخش‌های هوایی در مقایسه با سایر گیاهان منتقل می‌شود (Cary et al., 1997). اثر محرک کروم در غلظت‌های خیلی کم بر روی رشد گیاهان مشاهده شده است (Barceló et al., 1993). استعمال آن در خاک، با تثبیت نیتروژن در برخی از گیاهان لگومینه، سرعت رشد گیاه را افزایش داد (Hewitt et al., 1953). Dong و همکاران (۲۰۰۷) بیان کرده‌اند که مقادیر بالاتر از ۱ برای BAF نشان‌دهنده گیاه تجمع‌دهنده می‌باشد و بنابراین خرفه بعنوان گیاه بیش تجمع‌دهنده کروم بشمار می‌رود. البته اثرات مهم کروم بر رشد و تکامل گیاهان کاملاً آشکار است و با تحقیقات بیشتر افزایش می‌یابد از جمله تغییرات متابولیکی کروم شامل تغییر فرآیند جوانه‌زنی و رشد ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها (Shanker et al., 2005). همچنین اثرات مفیدی روی فرایندهای فیزیولوژیک مثل فتوسنتز، آب‌نسیبی و مواد غذایی

Valentina Kholodova و همکاران (۲۰۰۹) برهمکنش فلزات سنگین و کلرید خاک فاکتور کلیدی جذب فلزات سنگین توسط گیاهان گروه‌های مختلف زراعی، هالوفیتهای مرداب نمکی، بیابانی و ماکروفیتهای آبی است. براساس نتایج مطالعات Rahbarian و همکاران (۲۰۱۹) روی اثر کروم بر گیاه *Portulaca oleracea* L. با افزایش غلظت کروم محیط کشت، غلظت Cr (VI) بخش‌های هوایی و ریشه افزایش یافت ($P \leq 0/01$) و این افزایش کروم برای ریشه معنی‌دار بود. میزان کروم در ریشه در ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار بود و حدود ۵ برابر بخش‌های هوایی بود. آنالیز واریانس پارامترهای رشد ریشه و بخش‌های هوایی نشان داد که وزن خشک و طول بخش‌های هوایی گیاهان تیمار شده بطور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت ($P \leq 0/05$). بیشترین و کمترین طول بخش‌های هوایی و ریشه بترتیب در گیاهان شاهد و تیمار کروم ۷۵ مشاهده شد. کاهش تغییرات وزن خشک هم مشابه طول گیاه بود. 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). محققین زیادی گزارش کردند که Cr (III) با تشکیل کمپلکس با مولکولهای آلی مثل پروتئینها (گلو‌تاتینون)، کربوهیدراتها (خصوصاً پنتوزها)، $FADH_2$ ، $NAD(P)H$ و احتمالاً با اسیدهای آلی و در واکنش‌های ریشه و یا در آپوپلاست دیواره‌های سلولی بصورت معلق می‌باشد که این دلیل محدودیت حرکت کروم بداخل گیاه است (Mangabeira et al., 2004). انتقال کروم احتمالاً فقط به بافت‌های آوند چوبی محدود می‌شود. مطالعات گیاهان گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* از Solanaceae) به آوندهای چوبی (بویژه چوب ثانویه) ریشه محدود

بیوستز پرولین از طرف دیگر تولید کلروفیل کاهش یابد. در این پژوهش مشخص گردید کروم بطور معنی داری توسط ریشه جذب می‌گردد. محتوای کروم ریشه و اندام هوایی نیز در واکنش به افزایش شوری و کروم افزایش یافتند. با این حال شیب افزایش در مورد ریشه بیشتر بود و بطور کلی محتوای کروم ریشه نیز بسیار بیشتر از محتوای کروم اندام هوایی بود. اما انتقال به سایر بخش‌های گیاه کند بود. انباشت بالای کروم در ریشه‌های گیاه و غیرمتحرک شدن این فلز در واکوئل‌های سلول‌های ریشه گیاهان به نظر می‌رسد دلیل اصلی این تجمع زیستی کروم در ریشه‌های خرفه باشد. تنش ترکیبی کروم و شوری، باعث کاهش بیشتر غلظت مواد معدنی نسبت به دو تنش به تنهایی شد. از نتایج فوق استنباط می‌گردد اگر چه کلرید سدیم و آلودگی به کروم سبب کاهش رشد گیاه خرفه شد اما به نظر می‌رسد در این گیاه با انباشتگی مقادیر قابل توجه سدیم و کروم در ریشه از انتقال بیش از حد آنها به اندام هوایی و کاهش بیشتر رشد گیاه جلوگیری می‌شود.

References

- Akhondi, M., Niakan, M., Mahmoodzade A., Hashti, M. (2020).** Investigating the effect of zinc oxide nanoparticles on growth, photosynthetic pigments and salvia leifolia Beneth solution under salinity stress. *Plant Environmental Physiology*. 14 (56): 93-74.
- Angelica, M., AnnHauser D.R., Satika S. and PierreVitória, A. (2017).** Plant chromium uptake and transport, physiological effects and recent advances in molecular investigations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 140: 55-64.
- Asadi R., Aghdasi A.M., Fatemi, S.M. (2019).** The effect of saline treatment on the growth of some biochemical parameters of *Echinacea purpurea* L. *Plant Environmental Physiology*. 53: 1-15.

دارد (Shanker et al., 2005; Noguoyoti et al., 2010). در مطالعه Fozia 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 (۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) نتایج نشان داد با افزایش سطوح کروم جوانه‌زنی، طول ریشه و طول ساقه در این گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافتند.

نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش شاخص‌های رشد گیاه خرفه با افزایش محتوای کروم و شوری و برهمکنش آنها کاهش معنی‌داری نشان دادند. کاهش شاخص سبزیگی برگ ممکن است بدلیل بازدارندگی فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوستز کلروفیل و جایگزینی Mg^{2+} در جایگاه فعال رویسکو با یون فلز کروم باشد. 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

- Azizi A., Rahbarian, R. and Mirblook, A. (2016).** Six-potency chromium in contaminated soils using portulaca oleracea. *Soil Research (Soil and Water Sciences)*. 30 (2): 162-172.
- Babula P., Adam, V., Opatrilova, R., Zehnalek, J., Havel, L. and Kizek, R. (2008).** Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity. *Environmental chemistry*. 6: 189-213.
- Barbosa, R.M.T, Almeida, A.A.F., Mielke, M.S., Loguercio, L.L., Mangabeira, P. A.O. and Gomes, F.P. (2007).** A physiological analysis of *Genipa Americana* L: a potential phytoremediator tree for chromium polluted watersheds. *Environmental. Experimental Botany*. 61: 264-271.
- Black, C.A., Evans, D. and Dinauer, R. (1965).** Methods of soil analysis.

- American Society of Agronomy Madison. pages: 653-708.
- Chandra, P. and Kulshreshtha, K. (2004).** Chromium Accumulation and Toxicity in Aquatic Vascular Plants. *The Botanical Review*. 70 (3): 313-327.
- Dakily, M., and Khamis M. (2002).** Selective adsorption of chromium VI in industrial wastewater using low cost abundantly available adsorbents. *Advanced weed species. Applied Ecology and Environmental Research*. 3 (2): 67-69.
- Dong, J.F., Huang Wu, R. and Zang, G.A. (2007).** Chromium-Tolerant Plant Growing in the Cr-Contaminated Land. *International Journal of Phytoremediation*. 9: 167-179.
- Dowling, V.A. and Sheehan, D. (2006).** Proteomics as a route to identification of toxicity targets in ecotoxicology. *Proteomics*. 6: 5597-5604.
- Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F. and Xie, Y. (2015).** Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *Science world* 14: 255-272.
- Fozia A., Muhammad, A.Z., Muhammad, A. and Khalid, Z. M. (2018).** Effect of Chromium on Growth Attributes in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Survival and Sustainability. *Environmental Science (China)*. 20 (12): 1475-80.
- Furini, A. (2012).** Plants and heavy metals department of biotechnology university of verona Italy ISBN: 978-94-007-4441-7(ebook) www.spring.com.
- Ghorbani H., Heidari, M. and Ghafari, M. (2016).** The effect of different salinity levels and heavy elements of lead and cadmium on growth, photosynthetic pigments and amounts of sodium and potassium in spinach. *Greenhouse Cultivation Science and Technology*. 25 (16): 15-24.
- Gonzaga M.I.S., Santos A. and Ma, L. (2006).** Arsenic phytoextraction and hyperaccumulation by fern species (arsenic and fern species). *Science Agriculture (Piracicaba, Braz)*. 63: 90-101.
- Hayat S., Khalique G., Irfan M., Wani A., Tripathi B. and Ahmad A. (2012).** Physiological changes induced by chromium stress in plants, an overview. *Protoplasma*. 249 (3): 599-611
- Helal, H.M., Upenov, A. and Issa, G.J. (1999).** Growth and uptake of Cd and Zn by *Leucaena leucacephala* in reclaimed soils as affected by NaCl salinity. *Plant Nutrition Soil Science*. 162: 589-592.
- Hossain, Z. and Komatsu, S. (2013).** Contribution of proteomic studies towards understanding plant Heavy metal stress response. *Frontiers Plant Science*. 3: 310-322.
- Hossain, M.A., Piyatida, P., Teixeira da Silva, J.A. and Fujita, M. (2012).** Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. *Botany*. 2012: 1-37.
- Iranbakhsh, A., Saadatmand, S., Zaji B. and Khavari Nejad, R.A. (2020).** Investigating some morphological and physiological responses of *Dracocephalum Moldavica* L. to selenium under salinity stress. *Plant Environmental Physiology*. 56: 13-27.
- Jithesh M.N., Prashanth, S.R., Sivaprakash, K.R. and Parida, A.K. (2006).** Antioxidantive response mechanisms in halophytes: their role in stress defence. *Genetics*. 85 (3): 237-254.
- Kholodova, V. and Kuznetsov, V. (2009).** Plants Under Heavy Metal Stress in Saline Environments *Soil. Heavy Metals*. 19: 163-183.
- Kranner, I. and Colville, L. (2011).** Metals and Seeds: Biochemical and Molecular Implications and Their Significance for Seed Germination. *Environmental and experimental Botany*. 1:72-93.
- Kumar, S. and Pandey, A.K. (2013).** Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *Scientific World*. 2013: 1- 16.
- Masoodi, M., Ahmad, B., Mir, S.R. and Zarger, B. (2011).** *Portulaca oleracea* L. A Review. *Pharmacy Research*. 4(9): 3044-3048.

- Nagajyot, P.C., Lee, K.D. and Tvm, S. (2010).** Heavy metal, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 8: 199-216.
- Qureshi, A.S. (2007).** A review of management strategies for salt-prone land and Water resources in Iran. International water management institute. 30p.
- Rafiei, M., Hoseini, M.sh., Hamidpor, M., and Mohamadi Mimirak, A.A. (2018).** Interaction of sodium chloride and cadmium on some physiological traits and sodium content and cadmium root and aerial parts *Portulaca oleracea*. *Journal of Soil Duration and Sustainable Production*. Soil Weather and Sustainable Production. 8 (4): 43-60.
- Rahbarian, R., Azizi E., Behdad, A. and Mirbolook, A. (2019).** Effects of Chromium on Enzymatic/ Nonenzymatic Antioxidants and Oxidant Levels of *Portulaca oleracea* L. Medicinal Plants and By-products. 1: 21-31.
- RohitA, K., Lokhande, V. and Avinash B. Ade (2015).** Investigation of chromium phytoremediation and tolerance capacity of a weed, *Portulaca oleracea* L. in a hydroponic system. *Water and Environment*. 29: 228-235.
- Shanker, A., Cervantes, C., Loza-Taverac, H. and Avudainayagamd, S. (2005)** Chromium toxicity in plants. *Environmental Interactions*. 31(5):739-753.
- Singh, V.P., Vijay, P., Yadav, Shalini, Yadava and Narayan, R. (2018).** Water quality management, water science and technology. Page:79
- Sundaramoorthy, P. and Sankar Ganesh, K. (2010).** Chromium stress in paddy: (i) nutrient status of paddy under chromium stress, (ii) phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. *Comptes rendus boilogies*. 333: 597-607.
- Timothy, J. (2008).** Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*. 179: 945-963.
- Uddin, K., Juraimi, A. S., Anwar, F. and Hossain, M.A. (2012).** Effect Of salinity on proximate mineral composition of pursalme (*Portulaca oleracea* L.) Austr. *Crop Science*. 6: 1732-1736.
- Wali, M., Gunsè, B., Llugany, M., Corrales, I., Abdelly, C., Poschenrieder, C. and Ghnaya, T. (2016).** NaCl alleviates Cd toxicity in Sesvium portulacastrum by maintaining plant water status and redox balance, protecting chloroplasts structure and inducing some potential Cd²⁺ chelators as GSH and proline. *Planta*. 244: 333-346.
- Walipur M., Karimian Eghbal, M., Malakoti, M.J. and Khoshgoftarmanesh, A.H. (2008).** The process of salinity development and destruction of agricultural lands in Shams Abad region of Qom province Lom and agricultural techniques and natural resources. *Water and Soil Sciences*. 46 (b): 683-691.
- Yadav, S.K. (2010).** Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*. 76: 167-179.
- Zurayk, R.A., Houry, Talhouk, N.S. and Baalbaki, T. (2007).** Salinity-Heavy Metal interactions in four salt-tolerant plant species. *Plant Nutrition*. 24: 1773-1786.

The interaction effect of sodium chloride and chromium on some physiological characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.)

Talebzadeh, Z., Rahbarian, R.*, Nadaf, M., Sobhanian, H.

Department of Biology, Payame Noor University, PO BOX 19395-3697 Tehran, Iran

Received date: 2020/06/16 Accepted date: 2020/08/24

Abstract

The aim of this study was to investigate interaction of sodium chloride with chromium on vegetative, and physiological traits, uptake, and accumulation of sodium and chromium in roots and shoots of *portulaca oleracea*. In a completely randomized design with 3 replications, 4 salinity levels (0, 4, 8, 12 dsm^{-1}) using sodium chloride every 4 days through irrigation water and five levels of chromium (0, 7, 14, 21, 28 mgkg^{-1} of dry soil weight) were applied in a pot experiment. Different levels of chromium treatment were prepared before sowing the seeds by adding potassium dichromate to the soil. The amounts of root chromium and shoots were measured by the atomic absorption spectrometry. Sodium contents of roots and shoots, root and stem length, root diameter and surface, greenness index, transfer factor, and bioaccumulation were measured after 60 days of cultivation. Results showed that an increase in different salinity level was associated with a significant increase in sodium and chromium content of roots, shoots and bioaccumulation factor. The highest amount of chromium, sodium, and bioaccumulation factor were observed at salinity levels of 12 dsm^{-1} and 28 mgkg^{-1} . The interaction between salinity and chromium was significant. With an increase in the salinity level, the amount of plant root transfer factor showed an increasing trend and with increasing chromium, the transfer factor decreased. Root length, diameter, and surface as well as stem length and greenery index showed a significant decrease in plants treated with chromium and salinity. The combined effect of high levels of chromium and salinity led to a further reduction in the concentration and accumulation of minerals compared to each stress alone. Although salinity and chromium reduced the growth of *portulaca oleracea*, it seems that accumulation of significant amounts of sodium and chromium in the roots, prevents their excessive transfer to the shoots and further reduction in plant growth.

Keywords: Bioaccumulation, Chromium, *Portulaca oleracea*, Salt, Sodium.

*Corresponding author; Ra_rahbarian@yahoo.com

