بررسی اثر شوری بر گیاه پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم توسط گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

Effect of salinity on phytoremediation of contaminated soils (Cadmium) by Sunflower (*Helianthus annuus* L.)

احمد بوربور حسین بیگی[۱]، محمدرضا ممیزی[۲]، مجید آقامحسنی فشمی[۳]

۱- مرکز تحقیقات فنآوری‌های نوین تولید غذای سالم، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین- تهران- ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: momayeziir@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر شوری بر گیاه پالایی خاک آلوده به کادمیوم توسط گیاه آفتابگردان، آزمایشی در گلخانه آموزشی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: آلودگی خاک با کادمیوم در چهار سطح: صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و تیمار شوری از منبع کلرید سدیم در چهار سطح: صفر، دو، چهار و شش دسی زیمنس بر متر بودند. نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان کادمیوم برگ و ساقه در تیمار (۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و شش دسی زیمنس بر متر) با میانگین ۶/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و کم‌ترین مربوط به تیمار (۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و شاهد) با ۱۳/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و بیش‌ترین ضریب جذب کادمیوم در شوری (شش دسی زیمنس بر متر+ ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک) با ۰/۱۹۹ و کم‌ترین مربوط به تیمار (شاهد+ ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ۰/۰۹۵)، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد پروتئین در تیمار شاهد و تیمار ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب با میانگین ۳۲ و ۲۳ درصد به‌دست آمد. بیش‌ترین درصد پروتئین در تیمار شش (دسی‌زیمنس بر متر) با میانگین ۳۸ درصد حاصل شد. کم‌ترین درصد پروتئین نیز مربوط به تیمار شاهد (شوری صفر) بود. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل a از تیمار شاهد و شوری شش دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱/۰۹۶ و ۰/۷۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ حاصل شد. بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی پرولین در تیمار ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و شاهد به‌ترتیب با میانگین ۶۲۱ و ۵۲۳ میکرومول در وزن تر برگ به‌دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی نسبی آب در تیمار شاهد و تیمار ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب با میانگین ۷۶ و ۶۰ درصد مشاهده شد. بیش‌ترین محتوی نسبی آب در تیمار شاهد (شوری صفر) با میانگین ۷۴ درصد و کم‌ترین آن نیز مربوط به تیمار شش دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که شوری و کادمیوم بر محتوی نسبی آب، محتوی پرولین، محتوی کادمیوم برگ و ساقه، ضریب جذب کادمیوم، درصد پروتئین، محتوی کلروفیلa تأثیر معنی‌داری داشتند اما تأثیر شوری بر درصد روغن معنی‌دار نبود. اثر متقابل کادمیوم و شوری نیز بر محتوی کادمیوم برگ و ساقه، ضریب جذب کادمیوم، محتوی کلروفیل a معنی‌دار بود. شوری سبب افزایش فراهمی و جذب کادمیوم توسط گیاه شد به‌طوری‌که با افزایش شوری محتوی کادمیوم گیاه نیز افزایش یافت.

واژگان کلیدی: آفتابگردان، کادمیوم، شوری، گیاه پالایی، فلزات سنگین

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، افزایش تقاضا برای مواد غذایی و دیگر مایحتاج، توسعه نفت، گسترش پدیده شهرنشینی و تشدید آلودگی‌های زیست- محیطی، پایداری‌تولیدات‌کشاورزی و امنیت‌غذایی افراد جامعه را با خطر جدی مواجه نمود. یکی از آلاینده‌های مهم زیست- محیطی فلزات سنگین هستند و در بین فلزات سنگین، کادمیوم به‌دلیل اثرات سوء زیست- محیطی و تحرک نسبی بالا در سیستم خاک و گیاه، توجه زیادی را به‌خود جلب کرد (Sharifi *et al.*, 2010).

تجمع این عنصر در خاک علاوه بر اثرات زیان‌باری که بر جانداران و گیاهان خاک دارد، می‌تواند از طریق تولیدات گیاهی و موادغذایی مصرفی وارد بدن انسان شود (Mauskar, 2007).

این عنصر معمولا توسط ریشه گیاه جذب و با کندی خاصی وارد ساقه و برگ‌ها می‌شود و انتقال آن از برگ‌ها به میوه بسیار ناچیز است (Klaassen *et al.*, 2009). حداکثر مقدار مجاز کادمیوم در محصولات کشاورزی ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد و در هیچ‌یک از محصولات کشاورزی نباید این مقدار بیش‌تر از حد مجاز باشد (Jiang *et al.*, 2003).

کادمیوم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر سنگین موجود در خاک‌های کشورهای درحال توسعه و توسعه یافته، یکی از عناصر اثرگذار در کاهش توسعه گیاهی است، این عنصر به‌عنوان یک عنصر سمی رشد گیاهان را تهدید می‌کند. این عنصر با نفوذ در سلول و اثر مستقیم در تنفس سلولی و پتانسیل اسمزی گیاهان، رشد آن‌ها را دچار اختلال و در نهایت مسمومیت و مرگ گیاهان را به‌دنبال دارد (Liu *et al.*, 2009).

تحقیقات نشان داد گیاهان یک دامنه تحمل نسبت به دزهای مختلف در شرایط محیطی از خود نشان می‌دهندکه مطالعه بیش‌تر در این زمینه یکی از مهم‌ترین موارد مطالعاتی در زمینه گیاه پالایی است. این عنصر با نفوذ به دیواره غشایی سلول‌های گیاهی و تحت الشعاع قراردادن پتانسیل اسمزی درون سلول باعث افزایش میزان مواد سمی درون سلول می‌شود و نهایتا سلول پس از مدتی می‌میرد، این عنصر توسط ریشه‌های مویین جذب می‌شود و از طریق بافت آوندی گیاه به اندام‌های هوایی نظیر برگ‌ها می‌رود و برگ‌ها را ابتدا پژمرده، سپس زرد رنگ می‌کند و در نهایت ریزش برگ‌ها و مرگ گیاه را به‌دنبال دارد (Rangsayatorn *et al.*, 2006).

گیاه پالایی، یک تکنیک باصرفه اقتصادی، زیست محیطی و علمی بوده که برای کشورهای درحال توسعه مناسب است و تجارت با ارزشی به‌حساب می‌آید. متاسفانه علی‌رغم این پتانسیل، هنوز در برخی از کشورها مانند ایران به‌عنوان یک فن‌آوری استفاده تجاری ندارد (Mazloom *et al.*, 2011). گیاه پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط زیست نظیر فلزات‌سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به‌کار می‌رود. مهم‌ترین ترکیبات معدنی آلاینده، فلزات سنگین هستند و ریزسازواره‌های موجود در خاک قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی هستند، اما برای تجزیه میکروبی فلزات نیاز به آلی شدن یا تغییرات فلزی آن‌ها مورد نیاز است که امروزه از گیاهان برای این امر استفاده می‌شود. اگرچه دغدغه دیگر برای کارشناسان، نحوه استفاده ازگیاهانی است که بدین شکل آلوده می‌شوند، در روش ریزوفیلتراسیون، از گیاهان خاکی و آبی استفاده می‌شود که آلاینده‌های منابع آبی آلوده با غلظت کم‌تر در ریشه‌های‌شان تغلیظ یا رسوب می‌کنند که این روش به‌خصوص برای فاضلاب‌های صنعتی، روانآب کشاورزی و یا فاضلاب معادن اسیدی کاربرد دارد و برای فلزاتی مانند سرب، کادمیم، مس، نیکل، روی‌و کروم مناسب است. گیاهانی مانند خردل‌هندی، آفتابگردان، تنباکو، چاودار و ذرت دارای توانایی جذب سرب از فاضلاب هستند که در این میان، آفتابگردان بیش‌ترین قدرت جذب را دارد. در روش دیگر با استفاده از قدرت ریشه، محدودکردن تحرک و قابلیت دسترسی آلاینده‌ها در خاک صورت می‌گیرد. این روش معمولا برای کاهش آلودگی در خاک، رسوب و لجن استفاده می‌شود و از طریق جذب، رسوب، کمپلکس و یا

کاهش ظرفیت انجام می‌پذیرد. در روش تبخیر گیاهی، گیاهان، آلاینده‌ها را از خاک جذب و سپس به بخارتبدیل کرده و با عمل تعرق به اتمسفر انتقال می‌دهند. این روش در درختان در حال رشد برای جذب آلاینده‌های آلی و معدنی کاربرددارد. در روش دیگری که به‌نام کاهش گیاهی معروف است، گیاه با سوخت و ساز خود از طریق انتقال، تجزیه، تثبیت و تصعید ترکیبات آلاینده به برطرف کردن آلودگی از خاک وآب‌های زیرزمینی کمک می‌کند. در این روش، ترکیبات آلی به‌مولکول‌های ساده‌تر شکسته شده که می‌تواند به درون بافت گیاه وارد شوند. بررسی‌ها نشان داد که گیاهان دارای آنزیم‌هایی هستندکه می‌توانند پسماند حاصل از حلال‌های کلرینات مانند تری کلرواتیلن و حشره‌کش‌های دیگر را تجزیه کند (Padmavathiamma and Li, 2007)

آفتابگردان (*Helianthus annuus. L*) از تیره‌ی کاسنی (Asteraceae) گیاهی یک‌ساله است که در بهار مورد کشت و کار می‌شود. آفتابگردان به‌عنوان گیاهی سازگار به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک و هوایی خشک در طول دوره گل‌دهی، پر شدن و رسیدن دانه از یک سو (بی نام، ۱۳۹۲) و با داشتن ریشه‌های طویل و با توان جذب آب بالا از بخش‌های عمیق‌تر خاک از سوی دیگر، به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی نسبتاً متحمل به کمبود آب به حساب می‌آید (Yau, 2007).

این گیاه در خاک‌های شنی ـ رسی یا رسی ـ شنی با واکنش هفت، معمولاً بهترین محصول را می‌دهد و در برابر شوری خاک مقاومتی بسیار اندک دارد (Habibi *et al*., 2004).

قدرت سازش آفتابگردان با محیط زیاد است و به استثنای زمین‌های باتلاقی که قبل از کشت این گیاه حتماً باید زهکشی شوند، در اکثر خاک‌ها و آب و هوا مختلف رشد می‌کند (بی‌نام، ۱۳۹۲).

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر شوری بر گیاه پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم به‌وسیله گیاه آفتابگردان بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر شوری بر گیاه پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم با گیاه آفتابگردان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۲ در گلخانه آموزشی –پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا اجرا شد که شامل آلودگی خاک با کادمیوم در چهار سطح: عدم تیمار خاک با کادمیوم به‌عنوان شاهد، ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک مورد آزمایش از منبع سولفات کادمیوم، ۶۰ میلی‌گرم کادمیوم درکیلوگرم خاک مورد آزمایش از منبع سولفات کادمیوم،۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک مورد آزمایش از منبع سولفات کادمیوم. تنش شوری در چهار سطح عدم تیمار شوری خاک زراعی به‌عنوان شاهد، شوری خاک با غلظت دو دسی‌زیمنس بر متر، شوری خاک با غلظت چهار دسی‌زیمنس بر متر، شوری خاک با غلظت شش دسی‌زیمنس بر متر. اعمال تیمارهای کادمیوم قبل از کاشت و با توجه به‌این‌که از گلدان‌هایی به وزن ۱۰ کیلوگرم استفاده شد، برآن اساس برای هر تیمار مقدار سولفات کادمیوم محاسبه و به خاک گلدان مربوطه اضافه‌گردید. اعمال تیمارهای شوری به‌صورت محلول آب و نمک طعام در چهار سطح دسی زیمنس بر متر ($dS.m^{-1}$) شوری اعمال گردید. صفات به‌صورت ذیل اندازه‌گیری شد. پرولین: بدین منظور ۰/۵گرم نمونه از برگ‌های تازه (مرحله خمیری) وزن شد و سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک به آن اضافه و به‌طور کامل در هاون ساییده گردید تا به‌صورت هموژنیزه درآید. سپس به‌وسیله کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شد و در داخل لوله‌های آزمایش جمع‌آوری گشت. به ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره مذکور دو میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک غلیظ اضافه شد. سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت یک ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفت. بعد از آن به‌هر کدام از لوله‌های آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. محلول‌ها به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه توسط

شیکر مخلوط گردید و پس از آن قسمت رنگی حاوی تولوئن از قسمت مایع جدا گردید و جذب نوری آن در ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. معرف نین هیدرین با استفاده از ۱/۲۵ گرم نین هیدرین، ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک خالص و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفوریک شش مولار و با گرم کردن تدریجی روی شیکر مگنت‌دار حرارتی در ظروف دربسته ساخته شد. مقدار پرولین نمونه‌ها براساس روابط زیر به‌دست آمد (Gupta, 2000):

$$\frac{\text{گرم نمونه}}{5} \times \frac{\text{میلی لیتر تولوئن} \times \text{میکروگرم پرولین بر میلی لیتر}}{\frac{115}{12}\ \text{میلیگرم بر مول}} = \text{وزن تر برگ بر گرم پرولین میکرومول}$$

میزان ضریب جذب: عبارت است از میزان کادمیوم در ریشه بر میزان کادمیوم در خاک

میـزان رطـوبت نسبـی برگ RWC: وزن تـر (FW) برگ به‌وسیله ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شـد. بـــرای بـــه دســـت آوردن وزن خـــشک (DW)، نمونه‌ها به‌مـدت ۷۲ سـاعت در دمـای ۷۰ درجـه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و دوبـاره وزن گشت. با استفاده از فرمول زیر محتوی نـسبی آب برگ بر حسب درصد محاسبه گردید:

$$RWC(\%) = [(FW - DW) / (SW - DW)] \times 100$$

میزان پروتئین دانه: میزان پروتئین دانه را از طریـق روش کجلـدال در آزمایشـگاه اندازه‌گیری گردید.

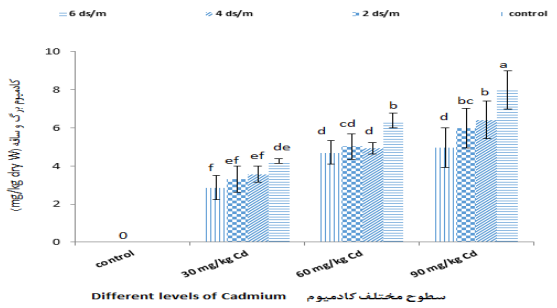
میـزان کلروفیـل a: کلروفیل را از روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon, 1976).

نتایج توسط نرم افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ با آزمون LSD انجام گردید. رسم نمودارها با نرم افزار Excel 2007 صورت گرفت.

بحث و نتایج

محتوای کادمیوم برگ و ساقه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل کادمیوم و شوری بر محتوی کادمیوم برگ و ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول یک). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل بیش‌ترین میزان کادمیوم برگ و ساقه در تیمار (۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و شش دسی‌زیمنس بر متر) با میانگین ۶/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و کم‌ترین مربوط به تیمار (۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و شاهد) با ۱۳/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم حاصل شد (شکل یک). افزایش شوری، بر فراهمی فلزات سنگین افزود و افزایش فراهمی فلزات سنگین به نوع فلز، مقدار کل فلز و نوع نمک ایجاد کننده شوری بستگی دارد (Acosta *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای نتایج مشابهی در رابطه با افزایش غلظت کادمیم در ساقه‌های گندم و برگ‌های چغندر و جذب آن با افزایش غلظت کلر در خاک به‌دست آمد (Weggler *et al.*, 2000). با افزایش شوری محتوی کادمیوم برگ و ساقه افزایش یافت کـه می‌تـوان گفت که شـوری سبب افزایش فراهمی کادمیوم شد که با نتایج به‌دست آمده در تحقیق مطابقت دارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل محتوای کادمیوم برگ و ساقه

Fig. 1. compares the average cadmium content of leaf and stem interaction

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات آفتابگردان در تیمارهای کادمیوم و شوری

Table 1. Analysis of variance Sunflower characteristics in cadmium and salinity stress

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کادمیوم برگ و ساقه Dry W	ضریب جذب کادمیوم cd root/cd soil	درصد پروتئین protien
Cadmium(A)	کادمیوم	3	92.26**	0.089**	177**
Salinity(B)	شوری	3	3.26**	0.0066**	25.83**
A*B	اثر متقابل	9	1.42**	0.0011**	1.75 ns
Error	اشتباه	32	0.39	0.0002	3.02
CV (%)	ضریب تغیرات		16.59	13.75	6.33

Ns *و** به ترتیب غیر معنی دار، درسطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی‌دار

ns * and ** non-significant at 5% and 1% significant

ادامه جدول یک

Continued Table 1

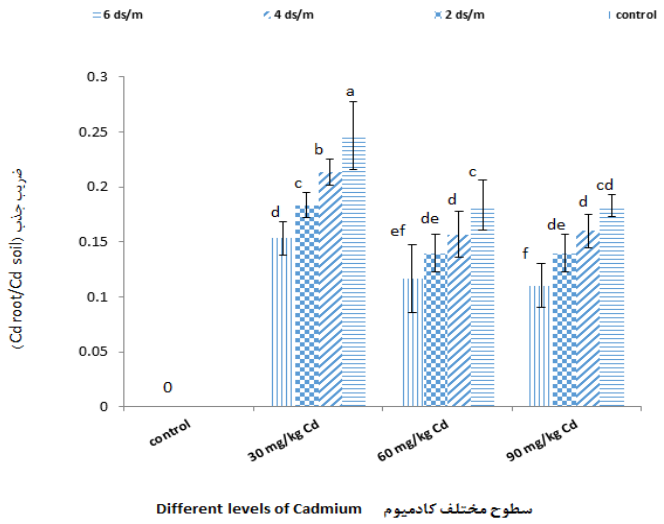
SOV	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کلروفیل a Chl a	محتوی نسبی آب RWC	محتوی پرولین PC
Cadmium(A)	کادمیوم	3	0.391**	570**	23864**
Salinity(B)	شوری	3	0.290**	337**	149965**
A*B	اثر متقابل	9	0.011**	5.49 ns	1653 ns
Error	اشتباه	32	0.003	3.85	1009
CV (%)	ضریب تغیرات		5.99	8.85	5.54

ns*و** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، درسطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی‌دار

ns * and ** non-significant at 5% and 1% significant

ضریب جذب کادمیوم

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کادمیوم و شوری بر محتوی کادمیوم ضریب جذب کادمیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول یک). میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین ضریب جذب کادمیوم در شوری (شش دسی‌زیمنس بر متر+ ۳۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک) با ۰/۱۹۹ و کم‌ترین مربوط به تیمار شاهد + ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، ۰/۰۹۵ مشاهده شد (شکل دو). ریشه گیاه، کادمیوم را عمدتاً به‌صورت یون فلزی cd^{2+} از محلول خاک جذب می‌کند. جذب فلزات سنگین از جمله کادمیوم به دو صورت جذب فعال و غیرفعال می‌باشد و مقادیر فلزات سنگین جذب شده توسط گیاهان با غلظت و گونه‌های شیمیایی این فلزات در محلول خاک، انتقال فلزات از محلول خاک به سطح ریشه و از سطح ریشه به داخل سلول‌های ریشه و انتقال فلزات جذب شده از ریشه به اندام هوایی کنترل می‌گردد و گونه‌ها و ارقام گیاهی از نظر توانایی در جذب، تجمع و مقاومت به فلزات سنگین متفاوت می‌باشند (Bingham *et al*., 1984).

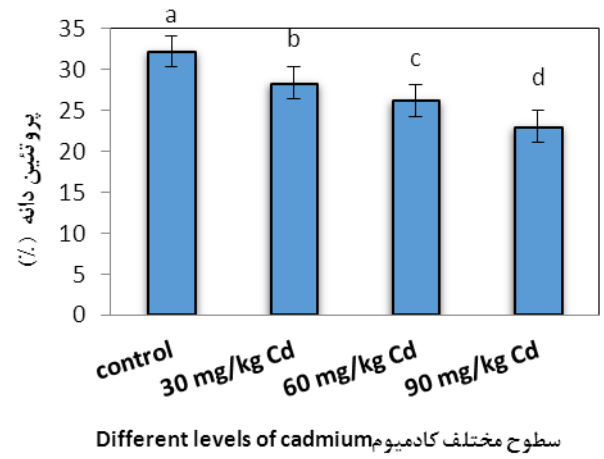


شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل کادمیوم و شوری بر ضریب جذب کادمیوم

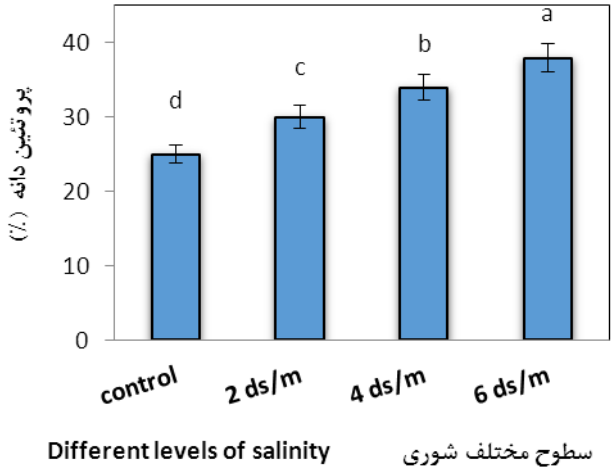
Fig. 2. Comparison of the absorption coefficient of interaction effects of salinity on cadmium and cadmium

درصد پروتئین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده کادمیوم و شوری تاثیر معنی‌داری ($P< ۰/۰۱$) بر درصد پروتئین آفتابگردان داشت، اما اثر متقابل آن‌ها بر درصد پروتئین معنی‌دار نبود (جدول یک). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که کادمیوم سبب کاهش درصد پروتئین شد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد پروتئین در تیمار شاهد و تیمار ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب با میانگین ۳۲ و ۲۳ درصد به‌دست آمد (شکل سه). فلزات سنگین با بازدارندگی بیوسنتز پروتئین‌های کمپلکس در سطح رونویسی تشکیل این کمپلکس را مختل می‌نمایند کادمیوم با اختلال در سوخت و ساز نیتروژن از طریق مهار فعالیت آنزیم‌هایی مانند گلوتامین سینتاز، گلوتامات سینتاز و نیترات ردوکتاز، و فرآیند احیای نیترات سبب کاهش تولید پروتئین می‌شود و رشد را متوقف می‌کند (Wang *et al*., 2008). کاهش پروتئین با افزایش سطوح کادمیوم در سایر تحقیقات نیز مشاهده گردید (Gouia *et al*., 2000). نتایج نشان داد شوری سبب افزایش درصد پروتئین شد. بیش‌ترین درصد پروتئین در تیمار شش دسی زیمنس بر متر با میانگین ۳۸ درصد و کم‌ترین درصد پروتئین در تیمار شاهد (شوری صفر) مشاهده شد (شکل چهار). در پاسخ به تنش شوری ممکن است پروتئین‌ها جدید ساخته شوند و یا این‌که به‌طور نهادی در غلظت‌های پائین وجود داشته و هنگامی‌که گیاهان در معرض شوری قرار می‌گیرند، غلظت آنها افزایش یابد. از طرفی گیاهان در شرایط تنش پاسخ‌های مولکولی پیچیده شامل تولید پروتئین‌های تنش و اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین می‌دهند که در ارقام مقاوم به نمک نسبت به ارقام حساس به نمک این مواد بیش‌تر است که در جو، آفتابگردان و برنج مشاهده شد (Ashraf and Harris 2004). افزایش درصد پروتئین در شرایط تنش با نتایج برخی از پژوهشگران از جمله جلیلیان و همکاران (Jaliliyan *et al*., 2008)) مطابقت دارد.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر درصد پروتئین
Fig. 3. different levels of cadmium in form of protein



شکل ۴- اثر سطوح مختلف شوری بر درصد پروتئین
Fig. 4. Effect of salinity on protein percentage

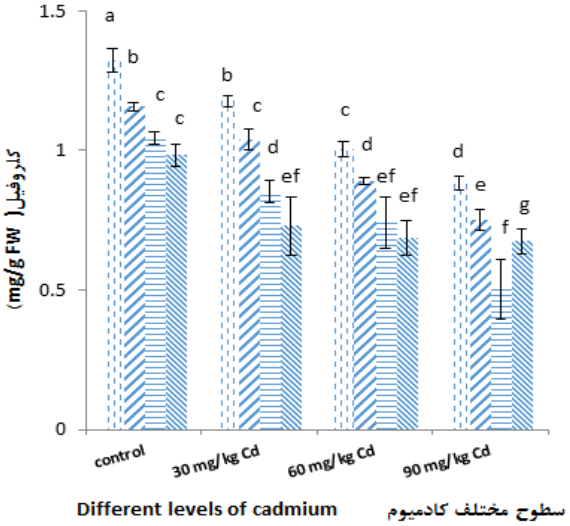
کلروفیل a

بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر کادمیوم و شوری بر محتوی کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول یک).

مقایسه میانگین سطوح مختلف کادمیوم نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a از تیمار شاهد با میانگین ۱/۱۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد. در بین تیمارهای شوری بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار شاهد و شوری شش دسی زیمنس بر متر با میانگین ۱/۰۹۶ و ۰/۷۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود. اما تیمارهای چهار و شش دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری تفاوتی نداشتند. اثر متقابل کادمیوم و شوری نیز بر محتوی کلروفیل a از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد و مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین محتوی کلروفیل a در تیمار شوری صفر و عدم کاربرد کادمیوم به‌دست آمد (شکل پنج).

هنگامی‌که فلزات سنگین درون بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابند اغلب به دو صورت باعث سمیت می‌شوند: ۱) به‌صورت غیرمستقیم از طریق قرارگیری به‌جای سایر عناصرغذایی ضروری در رنگدانه‌ها یا آنزیم‌ها و اختلال در عملکرد آن‌ها. کوپر, Kupper, Hg, Pb, Cd, (2000) مشاهده کرد که جایگزینی

Cu, Ni, Zn در کلروفیل به‌جای Mg منجر به شکست در فتوسنتز می‌گردد. ۲) به‌صورت مستقیم با تخریب ساختار سلول: حضور فلزات سنگین باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌گردد. گونه‌های فعال اکسیژن در جریان فعالیت‌های انتقال الکترون عمدتا در کلروپلاست و میتوکندری تولید می‌شوند و به‌نوبه خود باعث ایجاد اثرات سمی مختلف در گیاهان نظیر کاهش رشد، کاهش محتویات کلروفیل و فتوسنتز، مهار فعالیت‌هتای آنزیمی، آسیب به مولکول‌های زیستی نظیر لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک به‌خصوص DNA، پراکسیداسیون غشای سلولی که از دست دادن یون‌ها و آسیب به اندامک‌های مهم سلولی نظیر کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها را به دنبال دارد، می‌شوند (Chaoui and Ferjani, 2005, Mishra *et al*., 2006) که با نتایج تحقیق مطابقت دارد.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کادمیوم و شوری بر کلروفیل a

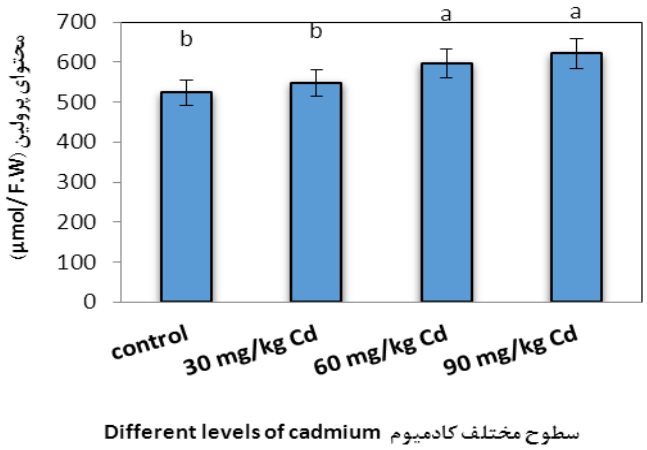
Fig. 5. comparison form of interaction effects of cadmium and salinity on chlorophyll a

محتوای پرولین

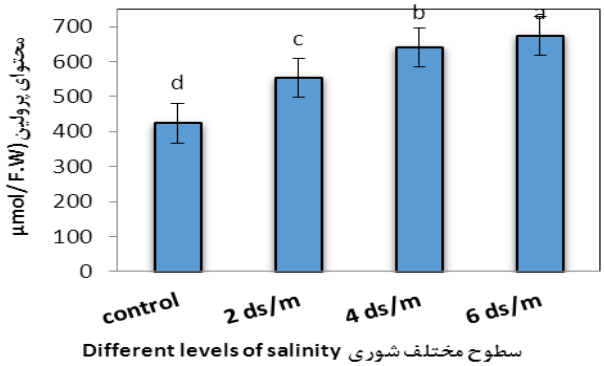
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کادمیوم و شوری اثر معنی‌داری (P< ۰/۰۱) بر محتوی پرولین آفتابگردان داشتند، اما اثر متقابل آن‌ها بر محتوی پرولین معنی‌دار نبود (جدول یک). مقایسه میانگین نشان داد که کادمیوم سبب تجمع پرولین در گیاه شد. بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی پرولین در تیمار ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و شاهد به ترتیب با میانگین‌های ۶۲۱ و ۵۲۳ میکرومول در وزن تر برگ به‌دست آمد (شکل شش).

در اثر افزایش غلظت کادمیوم، میزان پرولین نیز افزایش یافت (شکل شش). در حقیقت سازوکار متابولیکی جهت مقابله با تنش کادمیوم منجر به افزایش میزان این آمینواسید شد. در آرابیدوپسیس افزایش غلظت پرولین و گلوتانیون در اثر افزایش غلظت کادمیوم گزارش گردید (Xu *et al*., 2010). نتایج تحقیق Ewaise (1997) نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم باعث افزایش میزان پروتئین و آنزیم در چند گونه علف هرز گردید. در تحقیق دیگری که روی *Brassica junceae* انجام گرفت نشان داد که غلظت‌های کم کادمیوم باعث افزایش پرولین، ولی غلظت‌های بالاتر سبب کاهش پرولین گردید. چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در حین تنش پیشنهاد شد که عبارتند از:

الف) تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک ب) کاهش صادرات آن از طریق آوند آبکش ج) جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش د) تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین (Llamas *et al*., 2000) به‌نظر می‌رسد در این تحقیق علت اصلی افزایش پرولین تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین باشد. بیش‌ترین محتوی پرولین در تیمار شش دسی زیمنس بر متر با میانگین ۶۷۳ میکرومول در وزن تر برگ و کم‌ترین آن از تیمار شاهد (شوری صفر) به دست آمد (شکل هفت). تجمع پرولین در شرایط تنش شوری در سایر تحقیقات نیز مشاهده شد (Nasir Khan *et al*., 2007; Poustini *et al*., 2007). که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.



شکل ۶- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر محتوای پرولین
Fig. 6. different levels of cadmium lifetime of proline content



شکل ۷- اثر سطوح مختلف شوری بر محتوای پرولین
Fig. 7. effects of salinity levels on the content of proline

محتوی نسبی آب برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس، کادمیوم و شوری اثر معنی‌داری درسطح یک درصد بر محتوی نسبی آب برگ آفتابگردان داشت، اما اثر متقابل تیمارها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول یک). در بین تیمارهای کادمیوم بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی نسبی آب برگ از تیمار شاهد و تیمار ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب با میانگین‌های ۷۶ و ۶۰ درصد مشاهده شد (شکل هشت).

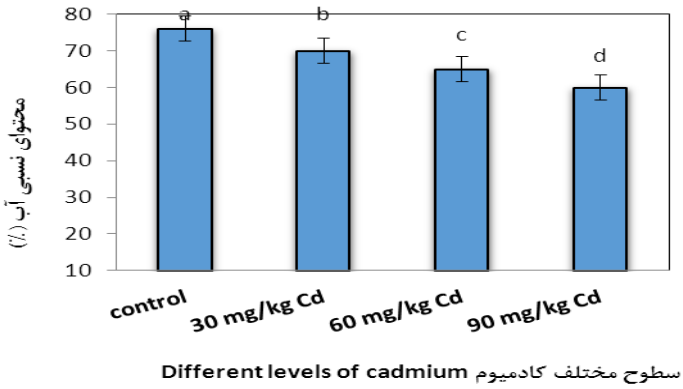
ارزانی (Erzani *et al*., 2008) اظهار داشت که محتوی نسبی آب برگ از شاخص‌های مرتبط با فتوسنتز در گیاهان زراعی است که با فتوسنتز و عملکرد بالا ارتباط قوی دارد. در آزمایشی که اثر

کادمیوم بر فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و غیره و مسیر جذب نیترات توسط لوبیا انجام گرفت، گزارش شد که افزودن کادمیوم جذب آب و نیترات را در تیمارها نسبت به شاهد کاهش داد، کادمیوم منجر به تغییرات سریع و طولانی مدت در کاهش جذب آب و عناصر غذایی می‌شود (Gouia *et al*., 2000).

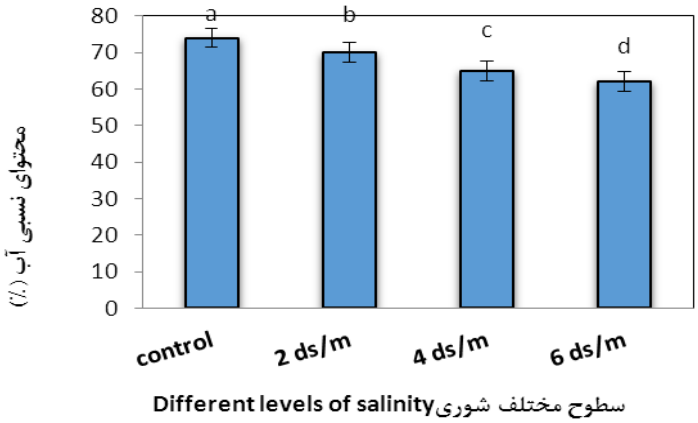
کادمیوم انتقال آب را در گیاه کاهش می‌دهد، در نتیجه غلظت این عنصر در سلول‌ها افزایش می‌یابد و کاهش آب در سلول‌ها سبب افزایش غلظت قندهای محلول در اندام‌های هوایی و ریشه گردید تا از این طریق گیاه بتواند با حفظ شرایط اسمزی حداکثر توان خود را جهت حفظ مقادیر آبی گیاه انجام دهد. از طرف دیگر افزایش میزان قند در گیاه نشان‌دهنده کاهش میزان آب در سلول‌ها است که عاملی مهم در کاهش رشد گیاه می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شوری سبب کاهش محتوی نسبی آب برگ شد. بیش‌ترین محتوی نسبی آب برگ در تیمار شاهد (شوری صفر) با میانگین ۷۴ درصد حاصل شد. کم‌ترین آن نیز مربوط به تیمار شش دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل نه).

بررسی‌ها نشان داد در شرایط تنش، محتوی نسبی آب برگ با هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبت دارد و کاهش مقدار آن در شریط تنش، منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب دی‌اکسیدکربن م و در نهایت سبب افت فتوسنتز می‌گردد (Mailer *et al*., 2002). که با نتایج این تحقیق تطبیق می‌کند



شکل ۸- اثر سطوح مختلف کادمیوم بر محتوای نسبی آب
Fig. 8. the effects of cadmium on RWC



شکل ۹- اثر سطوح مختلف شوری بر محتوای نسبی آب
Fig. 9. the effect different salinity levels on RWC

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به‌نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، می‌توان گفت کادمیوم سبب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش شدید فتوسنتز و انتقال تولیدات فتوسنتزی و کاهش تقسیم سلولی می‌شود و رشد گیاه را کاهش می‌دهد که به‌دلیل اثرات سمی آن بر گیاه است. شوری اثرات منفی بر رشد گیاه داشت که این کاهش می‌تواند به‌علت اثر شوری بر کاهش آب جذب شده و اختلال در تغذیه و برهم خوردن تعادل عناصرغذایی باشد. همچنین نتایج نشان داد که شوری اثرات مثبتی بر افزایش جذب کادمیوم داشت. شوری سبب افزایش فراهمی و جذب کادمیوم توسط آفتابگردان شد با افزایش شوری محتوی کادمیوم گیاه افزایش داشت که می‌توان گفت به‌دلیل تمایل زیاد کادمیوم به تشکیل کمپلکس با کلر و افزایش فراهمی آن بود. به‌دلیل این‌که کادمیوم تحرک زیادی در گیاه دارد، قسمتی از کادمیوم جذب شده به بخش‌های دیگر گیاه منتقل گردید.

منابع References

اداویر، ظ.، ظهراب، ۲۰۱۰. گیاه پالایی خاک‌های آلوده به ضایعات نفتی توسط ارقام چمن برموداگراس. فصلنامه علوم و مهندسی محیط زیست، ۱۳-۱۹.

بی‌نام. ۱۳۹۲. آمار نامه کشاورزی. وزارت کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و بودجه. ۳۲۱ صفحه.

مظلوم‌خراسانی،ب.، فتوت، د. ۲۰۱۱. اصلاح خصوصیات شیمیایی خاک شور-سدیمی، با استفاده از روش‌های شیمیایی و گیاه-پالایی, دوازدهمین کنگره علوم خاک.

Acosta, J.A., Jansen, B., Kalbitz, K., Faz, A., and Martinez, S. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. Chemosphere, 85: 1318-1324.

Ashraf, M., and Harris. P.J.C. 2004. Poteritial biochemical indicator of salinity tolerance in plants plant science. 166: 3- 76

Bingham F., Sposito, F., and Strong, G. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. J.Environ. Qual.,13:71-74

Ewaise, E.A. 1997. Effects of cadmium, nickel and lead on growth, chlorophyll content and proteins of weed. Biologica Plantarum, 39(3):403-410.

Gouia, H., Ghorbal, M.H., and Meyer, C. 2000. Effects of Cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean, J. Plant Physiology and Biochemistry, 38(7-8): 629-638.

Gupta, P.K., and Varshney, R.K. 2000. The development and use of microsatellite markers for genetic analysis and plant breeding with emphasis on bread wheat. Euphytica 113: 163–185.

Habibi, D., Boojar, M.M.A., Mahmoudi, A. 2004. Ant oxidative enzymes in sunflower subjected to drought stress. (4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia).

Jiang, X., Luo, Y., Zhao, Q., Baker, A., Christie, P., Wong, M. 2003. Soil Cd availability to Indian mustard and environmental risk following EDTA addition to Cd-contaminated soil. Chemosphere 50, 813-818.

Karam, F.R., Lahoud, R., Massaad, R., Kabalan, M., Breidi, J; Chalita, C; Raouphael, Y. 2007. Evaporation. Seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. J. Agricultural water management. 34 (3), 213-223.

Klaassen, C.D., Liu, J., Diwan, B.A. 2009. Metallothionein protection of cadmium toxicity. Toxicology and applied pharmacology 238, 215-220.

Liu, L., Chen, H., Cai, P., Liang, W., Huang, Q. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. Journal of hazardous materials 163, 563-567.

Llamas, A., Ullrich, C.I., and Sanz, A. 2000. Cadmium effects on trans membranes electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. Plant and Soil 219 : 21-28.

Mauskar, J.M. 2007. Cadmium –An Environment Toxicant, Central Pollution Control Board, Ministry of Environment and Forests, Govt of India, Parivesh Bhawan, East Arjun Nagar,Delhi-110032.

Nasir Khan, M., Siddiqui, M.H., Mohammad, F., Masroor, M., Khan, A., and Naeem, M. 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. World J. Agric. Sci. 3: 685-695

Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y. 2007. Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants. Water, Air, and Soil Pollution 184, 105-126.

Rangsayatorn, N., Upatham, E., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Lanza, G. 2002. Phytoremediation potential of Spirulina (Arthrospira) platensis: biosorption and toxicity studies of cadmium. Environmental Pollution 119, 45-53.

Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A. 2010. "Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa", *Journal of Residuals Sciences and Technology*, 7, 219-225.

Wang, L., Zhou, Q., Ding, L., Sun, Y. 2008.Effect of cadmium toxicity on nitrogen metabolism in leaves of Solanum nigrum L. J. Hazard. Mater. 154:818-825.

Weggler-Beaton K., McLaughlin M.J., and Graham R.D. 2000. Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with bios lids. Australian Journal of Soil Research 38:37-45.

Xu, J., Yin, H., Liu, X., Li, X. 2010. Salt affects plant Cd-stress responses by modulating growth and Cd accumulation. Planta, 231:449–459.

Yau, S.K. 2007. Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid: high-elevation Mediterranean environment. Eur. J. Agron. 26,249–256.

Zhang, Y.Y., and Sun, J. 2007. A study on the bio-safety for nano-silver as anti-bacterial materials. 31: 1. 36-38.