

اثر تنش کادمیوم بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرهای تعدادی از گیاهان دارویی در شرایط آزمایشگاه

آرزو اسپنانی^۱ و سیفاله فلاح^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران، پست الکترونیک: falah1357@yahoo.com

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۴

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۴

چکیده

تاریخ کاشت بیشتر گیاهان دارویی یک‌ساله با رقابت شدید آبیاری محصولات پاییزه و بهاره همراه است. این رقابت حجم آب رودخانه را در پایین‌دست کاهش داده و در نتیجه آن غلظت فلزات سنگین ناشی از پساب‌های صنعتی و شهری در آب رودخانه نیز افزایش می‌یابد. از این رو، به‌منظور بررسی تحمل برخی گیاهان دارویی بهاره به تنش کادمیوم آب آبیاری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. تیمارها شامل شش گیاه دارویی (خرغه، سیاه‌دانه، شنبلیل، شوید، زنیان و ریحان) و شش غلظت کادمیوم (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم) به همراه شاهد (عدم کادمیوم) بودند. نتایج نشان داد اگرچه غلظت کم کادمیوم در برخی گیاهان باعث تحریک رشد گیاهچه شد ولی غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در تمامی گیاهان باعث کاهش طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر گردید. البته درصد و سرعت جوانه‌زنی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر کادمیوم قرار نگرفت. در این ارتباط گیاه شنبلیل، سیاه‌دانه و شوید بیشترین حساسیت را به سمیت کادمیوم نشان دادند. در گیاه شنبلیل و زنیان طول ساقه‌چه بیشتر از طول ریشه‌چه تحت تأثیر کادمیوم کاهش یافت و در این دو گیاه طول ساقه‌چه به‌عنوان شاخص حساسیت تعیین شد. در حالی‌که در گیاه شوید، ریحان، خرغه و سیاه‌دانه طول ریشه‌چه بیشتر از طول ساقه‌چه کاهش یافت و به‌عنوان شاخص حساسیت منظور گردید. به‌طور کلی از لحاظ طول ریشه‌چه شوید حساس‌ترین و ریحان متحمل‌ترین گونه به سمیت کادمیوم بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، گیاهچه، سمیت، تحمل.

(White & Brown, 2010).

مقدمه

ریشه گیاهان اولین مکان برخورد با کادمیوم است (Astolfi *et al.*, 2003) و قبل از هر اندامی آسیب حاصل از کادمیوم را تجربه می‌کند (Das *et al.*, 1997). واکنش بین این فلز و سلول ریشه منجر به تغییر فیزیولوژیکی خواص غشای پلاسمایی سلول می‌شود (Astolfi *et al.*, 2003). کادمیوم در محیط سلولی با غشاء و آنزیم اتصال پیدا می‌کند و در ثبات و

کادمیوم یکی از فلزات سنگین غیرضروری و آلاینده زیست محیطی است و از خطرناک‌ترین فلزات سنگین برای گیاهان محسوب می‌شود (Choudhury & Panda, 2004) که در غلظت‌های بسیار کم نیز برای بسیاری از گیاهان سمی است، در حالی‌که در غلظت‌های بالاتر از ۵ تا ۱۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک برگ می‌تواند منجر به مرگ گیاه شود

وظایف آنها اختلال ایجاد می‌کند (Karcz & Kurtyka, 2007). معمولاً غشاء قادر به تحمل سمیت نمی‌باشد، در نتیجه پاره می‌شود و محتویات آن به بیرون از سلول تراوش می‌کند (Sanchez-Chardi et al., 2009)، در نتیجه باعث کاهش مقدار محتویات و آب سلول می‌شود (Alvarenga et al., 2009) که مانع جوانه‌زنی و رشد گیاهچه (Curguz et al., 2012)، کاهش ارتفاع ساقه و طول ریشه، لعاب‌دار شدن و تغییر رنگ در ریشه اصلی از زرد به قهوه‌ای و کاهش شاخه و تجزیه ریشه جانبی می‌شود (Rascio & Navari-Izzo, 2011؛ Gaetke & Chow, 2003). البته علائم مستقیم و اولیه سمیت فلزات شامل کاهش تکثیر سلولی و مهار رشد سلولی است که اغلب به‌عنوان شاخص سمیت شناخته شده‌است (Ahmad et al., 2013).

جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه گیاهچه مراحل مهم رشد گیاه و حساس‌ترین مرحله گیاهان به تغییرات محیط اطراف آنهاست (Liu et al., 2011). کادمیوم با توجه به غلظت اعمال شده می‌تواند باعث ممانعت از جذب و حرکت آب در محور جنینی و در نتیجه کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی شود و از این طریق توسعه گیاهچه کاهش می‌یابد (Vijayaragavan et al., 2011). آلوده شدن اطراف بذر به کادمیوم باعث اختلال در متابولیسم جوانه‌زنی و تأخیر در آن می‌شود (Rahoui et al., 2010)، در حالی‌که Kalai و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاهش جوانه‌زنی به دلیل کاهش جذب آب نیست، بلکه به دلیل کاهش انتقال مواد اندوخته‌ای از اندوسپرم به جنین است.

ژنیان با نام علمی *Carum copticum* یک گیاه دارویی از خانواده Apiacaceae است که گیاهی یک‌ساله و برافراشته با ساقه شیاردار است و منشأ آن ایران و هند است (Wadikar & premavalli, 2012). بذرهای ژنیان به‌ویژه اسانس آن دارای خاصیت ضد‌درماتیسیم و ضدگرفتگی عضله است (Malhotra & Vashishta, 2005).

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* از خانواده Ranunculaceae بیشتر مختص مناطق سرد است و دارای خواص ضدانگل، ضدسرطان و ضد میکروبی است (Gali-Muhtasib et al., 2004).

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* از خانواده Lamiaceae، گیاهی یک‌ساله، علفی و از معروف‌ترین گیاهان دارویی می‌باشد، که برای درمان زگیل‌ها، انگل و رفع نواقصی در عملکرد کلیه از آن استفاده می‌شود. ترکیب‌های عطری عمده بدست آمده از عصاره فرار ریحان در حال حاضر خاصیت ضداکسیداتیو دارند (Sorani et al., 2009).

از آنجا که مرحله جوانه‌زنی از حساس‌ترین مراحل رشد گیاهان به فلزات سنگین است، افزایش بیش از حد مجاز این فلز در منابع آب و خاک ممکن است جوانه‌زنی و رشد گیاه را

شوید گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Anethum*

شوید گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Anethum*

شوید گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Anethum*

شوید گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Anethum*

شوید گیاهی یک‌ساله با نام علمی *Anethum*

جوانه‌زنی هر ۲۴ ساعت ثبت شد. طول دوره جوانه‌زنی برای خرفه، شنبلیله، شوید، سیاهدانه، زنیان و ریحان به ترتیب ۱۴، ۱۴، ۲۱، ۲۱، ۲۱ و ۱۴ روز بود (ISTA, 2009). مبنای جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر تعیین شد (ISTA, 2009). در پایان زمان‌های یادشده پارامترهای کیفی زیر محاسبه شد.

درصد جوانه‌زنی طبق رابطه ۱ محاسبه گردید (Iki et al., 2012):

$$GP = (GS / TS) \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه GP، GS و TS به ترتیب درصد جوانه‌زنی، تعداد کل بذر جوانه‌زده در انتهای آزمایش و تعداد کل بذر کشت شده در هر پتری‌دیش می‌باشند. سرعت جوانه‌زنی طبق رابطه ۲ محاسبه شد (Kotowski, 1926):

$$CVG = [N / nt] \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه CVG، N و n به ترتیب سرعت جوانه‌زنی، تعداد کل بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش و تعداد بذر جوانه‌زده در زمان (روز) tام (تعداد بذر جوانه زده در هر روز) می‌باشند.

شاخص بنیه بذر از حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی استاندارد و طول ریشه‌چه بدست می‌آید که نشان‌دهنده قدرت رشد بذر و طولی شدن گیاهچه در شرایط تنش‌زا می‌باشد. شاخص بنیه بذر طبق رابطه زیر محاسبه گردید (Kalsa & Abebie, 2012):

$$VI = GP(\%) \times RL \text{ (cm)} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$VI = \text{شاخص بنیه}$$

$$SG = \text{درصد جوانه‌زنی استاندارد}$$

$$RL = \text{طول ریشه‌چه (cm)}$$

مهاریت رشد که بیانگر جلوگیری از رشد گیاهچه تحت سمیت کادمیوم نسبت به رشد تیمار شاهد می‌باشد از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Wang & Zhou, 2005).

$$\text{رابطه ۴} \quad 100 \times \frac{\text{مقدار تیمار شده} - \text{مقدار شاهد}}{\text{مقدار شاهد}} = \text{میزان مهار رشد}$$

با مشکل مواجه کند. این مسئله در مورد گیاهان دارویی که شناخت بسیار محدودی از پاسخ آنها به شرایط تنش سمیت کادمیوم وجود دارد و از طرفی گرایش به تولید آنها زیاد شده است، می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد. بنابراین در این آزمایش حساسیت شش گیاه دارویی به سمیت کادمیوم در مرحله جوانه‌زنی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی حساسیت گیاهان دارویی، این پژوهش در محیط ژرمیناتور (اتاقک رشد) به صورت کشت در پتری‌دیش در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. ابتدا ضدعفونی سطحی بذر با آب معمولی و آب مقطر انجام گردید، سپس آنها را به مدت ۱۰ ثانیه در اتانول ۷۰٪ قرار داده و پس از شست و شو با آب مقطر، به مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۴۰٪ تجاری قرار گرفتند و در نهایت چندین مرتبه با آب مقطر شستشو شدند. در این آزمایش بذر شش گیاه دارویی (خرفه، شنبلیله، شوید، سیاهدانه، زنیان و ریحان) و شش سطح مختلف کادمیوم (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) به همراه شاهد (بدون کادمیوم) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور تعیین قوه نامیه تعداد ۱۰۰ عدد بذر پس از آزمون خلوص به طور تصادفی انتخاب شد و در ۴ تکرار ۲۵ تایی برای هر شش گیاه به صورت جداگانه کشت گردید و در دمای بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و شرایط تاریکی در ژرمیناتور قرار گرفتند (ISTA, 2009). پس از تعیین قوه نامیه بذر برای مراحل بعدی آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور اجرای آزمایش، از هر تیمار ۵۰ عدد بذر روی کاغذ صافی در پتری‌دیش‌های استریل به قطر ۹ سانتی‌متر قرار داده و به هر پتری‌دیش ۴، ۵، ۵، ۴ و ۴ میلی‌لیتر از محلول‌های کادمیوم کلرید مورد نظر تهیه شده، به ترتیب برای خرفه، شنبلیله، شوید، سیاهدانه، زنیان و ریحان اضافه شد و در نهایت پتری‌دیش‌ها به ژرمیناتور تحت شرایط تاریکی و در دمای بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند.

نتایج

درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس برای صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه در جدول ۱ نشان می‌دهد که بین شش گونه دارویی و سطوح مختلف کادمیوم و همچنین اثرات متقابل سطوح کادمیوم با نوع گونه در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱).

وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ پس از خشک شدن در آن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت بدست آمد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS آنالیز و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام شد. برای تعیین اثرات متقابل از روش برش‌دهی استفاده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات تنش کادمیوم بر سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه شش گونه گیاه دارویی

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	سرعت جوانه‌زنی		
۱۶/۹ **	۲۶/۸ **	۱۶۳۴۶ **	۵	گیاه دارویی
۱۸/۶ **	۸/۸ **	۴۰۷/۵ **	۶	غلظت کادمیوم
۲/۷۵ **	۱/۰۱ **	۱۶۹/۶ **	۳۰	گیاه دارویی × کادمیوم
۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۴۸/۶	۱۲۶	خطا
۱/۶۷	۲/۴۸	۱۵/۴۳	۱/۶۶	ضریب تغییرات (%)

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

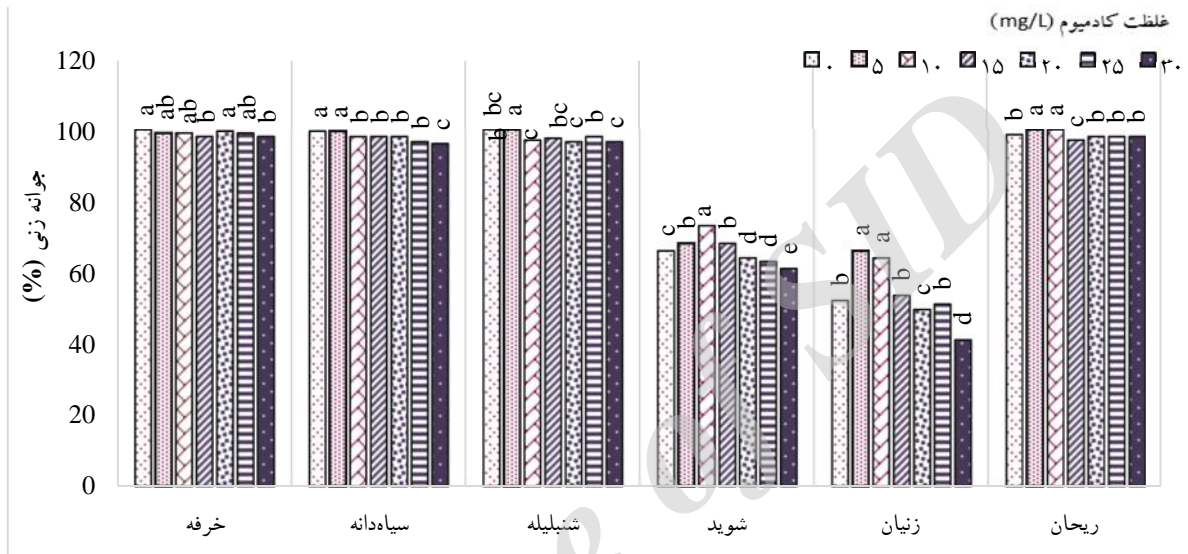
است. در گیاه شنبليله این پارامتر روند ثابتی را دنبال نکرد، اما کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود. در گیاه شوید بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود و کمترین آن همانند سایر گیاهان مربوط به ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود، البته به‌استثنای ریحان که کمترین آن در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد.

در گیاه شوید، سطوح پایین‌تر کادمیوم (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) سبب افزایش میزان جوانه‌زنی شد، در حالی‌که در سطوح بالاتر (۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) روند جوانه‌زنی با کاهش همراه گردید. از لحاظ درصد جوانه‌زنی، در این تحقیق حساس‌ترین گونه به کادمیوم زنیان و مقاوم‌ترین آنها ریحان بود، زیرا اختلاف بدست‌آمده بین شاهد (بدون کادمیوم) و بالاترین غلظت کادمیوم

با توجه به شکل ۱ مشخص شد که شش گونه گیاه دارویی پاسخ‌های متفاوتی به سمیت کادمیوم نشان دادند، به‌گونه‌ای که سیاه‌دانه و خرفه بیشترین درصد جوانه‌زنی را در تیمار شاهد (بدون کادمیوم) داشتند، در صورتی‌که شنبليله، زنیان و ریحان بیشترین درصد جوانه‌زنی را در تیمار ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم به خود اختصاص دادند. اگرچه در گیاه ریحان بین غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، اما در گیاه خرفه با افزایش غلظت از میزان جوانه‌زنی آن کاسته شد که این کاهش به‌استثنای غلظت ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. در گیاه سیاه‌دانه نیز بجز تیمار ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم که همانند شاهد است، روند کاهشی در درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده است ولی این کاهش فقط در غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم معنی‌دار

و از لحاظ آماری بدون اختلاف با تیمار شاهد بود و فقط در مقایسه با شاهد غلظت ۳۰ میلی‌گرم در قیاس با سایر گیاهان تأثیر کاهشی داشت. با این حال، به دلیل اختلاف بالاتر بین شاهد و غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، گیاه زنیان از لحاظ درصد جوانه‌زنی نسبت به سایر گیاهان، حساس‌تر بود.

(۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) در گیاه زنیان نسبت به سایر گونه‌ها بیشتر بود که این مقدار برابر با ۲۱٪ بود و در ریحان برابر با ۵٪/۰ تعیین شد (شکل ۱). همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد پس از غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، روند کاهشی در درصد جوانه‌زنی زنیان ایجاد شد، اما غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم تأثیر مثبت بر این پارامتر داشت

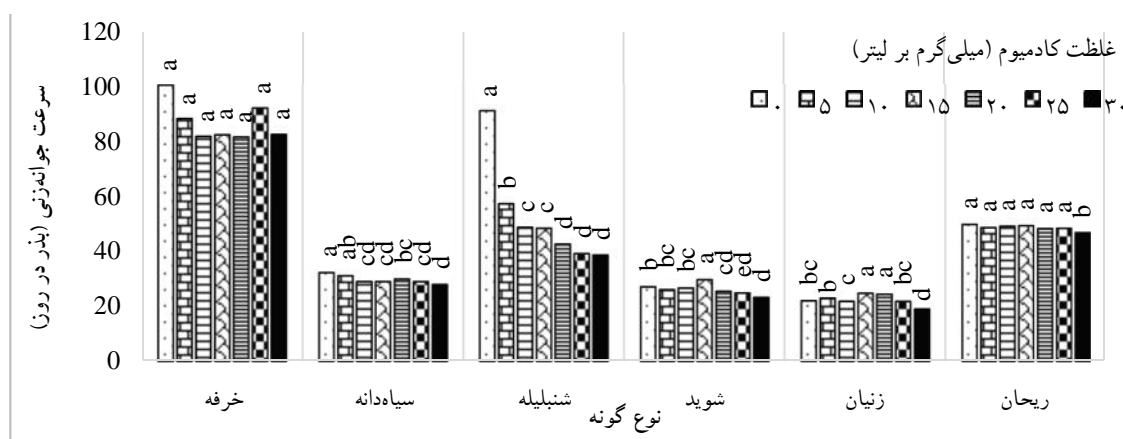


شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر درصد جوانه‌زنی بذر شش گونه گیاه دارویی

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

اختلاف معنی‌دار در برخی غلظت‌ها مشاهده شد. بیشترین سرعت جوانه‌زنی در شنبليله مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود که با سطوح ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز در یک سطح آماری قرار داشت. در دو گونه شوید و زنیان بیشترین سرعت جوانه‌زنی در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بود که البته در زنیان، در سطح مصرف ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم همانند ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بود. کمترین میزان این پارامتر، در سطح مصرف ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در شوید و در زنیان در سطح مصرف ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود.

از لحاظ سرعت جوانه‌زنی به‌طور کلی سه گیاه خرفه، سیاه‌دانه و شوید در غلظت‌های مختلف کادمیوم اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نداشتند، اما بیشترین سرعت جوانه‌زنی در سیاه‌دانه مربوط به تیمار شاهد بود که البته با سطح ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم هم‌سطح بود و کمترین آن در غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که با سطوح ۱۰، ۱۵ و ۲۵ میلی‌گرم کادمیوم اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). در گیاه ریحان کمترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود و سایر غلظت‌ها بدون اختلاف معنی‌دار دارای بیشترین سرعت جوانه‌زنی بودند. در صورتی‌که در سه گونه شنبليله، زنیان و ریحان



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر سرعت جوانه‌زنی بذر شش گونه گیاه دارویی

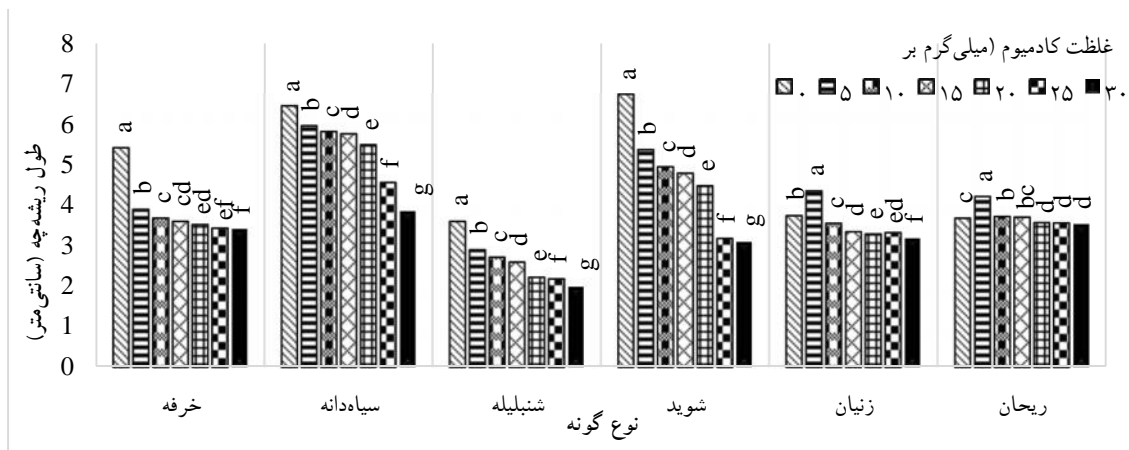
میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

تیمار شاهد بود، اما در دو گیاه زنیان و ریحان غلظت کم کادمیوم باعث افزایش طول ریشه‌چه آنها شد، به طوری که هر دو در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین طول ریشه‌چه را داشتند.

در گونه‌های سیاه‌دانه، شنبلیله و شوید با افزایش غلظت کادمیوم طول ریشه‌چه به طور معنی‌دار کاهش یافت. در گیاه زنیان همان‌طور که بیان شد بیشترین طول ریشه‌چه را در ۵ میلی‌گرم بر لیتر داشت و بعد از آن تیمار شاهد بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد، البته بعد از غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر طول ریشه‌چه نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت، اما اختلاف معنی‌دار بین غلظت‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده نشد. در گیاه ریحان طول ریشه‌چه در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به طور معنی‌دار بهتر از شاهد و سطح مصرف ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر هم‌سطح با شاهد بود، در حالی‌که از میزان طول ریشه‌چه در غلظت‌های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد کاسته شد. در گیاه سیاه‌دانه، شنبلیله و شوید با افزایش غلظت کادمیوم طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نسبت به سه گونه خرفه، ریحان و زنیان به مقدار قابل توجهی کاهش یافت. البته افزایش در سطوح کادمیوم، بیشترین تأثیر منفی را بر شاخص‌های جوانه‌زنی ابتدا بر کاهش طول ریشه‌چه و بعد کاهش طول ساقه‌چه گیاهان نام برده شده داشت.

طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود اثر نوع گونه، غلظت کادمیوم و اثر متقابل این دو عامل بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. نتایج اختلاف بدست آمده بین کمترین غلظت (شاهد) و بیشترین غلظت کادمیوم (۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) برای گونه‌های مورد مطالعه حکایت از این دارد که گیاه شوید، شنبلیله، سیاه‌دانه، خرفه، زنیان و ریحان به ترتیب دارای بیشترین اختلاف بودند. به عبارت دیگر، هر چه میزان اختلاف بین سطح شاهد و سطح ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بیشتر باشد نشان می‌دهد که به میزان بیشتری از پارامتر مربوطه تحت سمیت کادمیوم کاسته شده است. به طوری که گیاه شوید بیشترین حساسیت را به کادمیوم نشان داد، زیرا اختلاف در آن دارای بیشترین مقدار بود و گیاه ریحان با کمترین مقدار اختلاف (۴۹/۳۹٪) بیشترین مقاومت به کادمیوم را حتی در غلظت‌های بالا نشان داد. مقدار اختلاف در شنبلیله، سیاه‌دانه، خرفه و زنیان به ترتیب برابر با ۴۸/۸۸، ۴۶/۵۴، ۳۷/۱۰ و ۱۵/۰۳٪ بود، که طبق این نتایج می‌توان بیان کرد که رشد ریشه‌چه در شوید، شنبلیله و سیاه‌دانه به ترتیب دارای بیشترین میزان حساسیت بودند.

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود بیشترین طول ریشه‌چه در گیاه خرفه، سیاه‌دانه، شنبلیله و شوید مربوط به



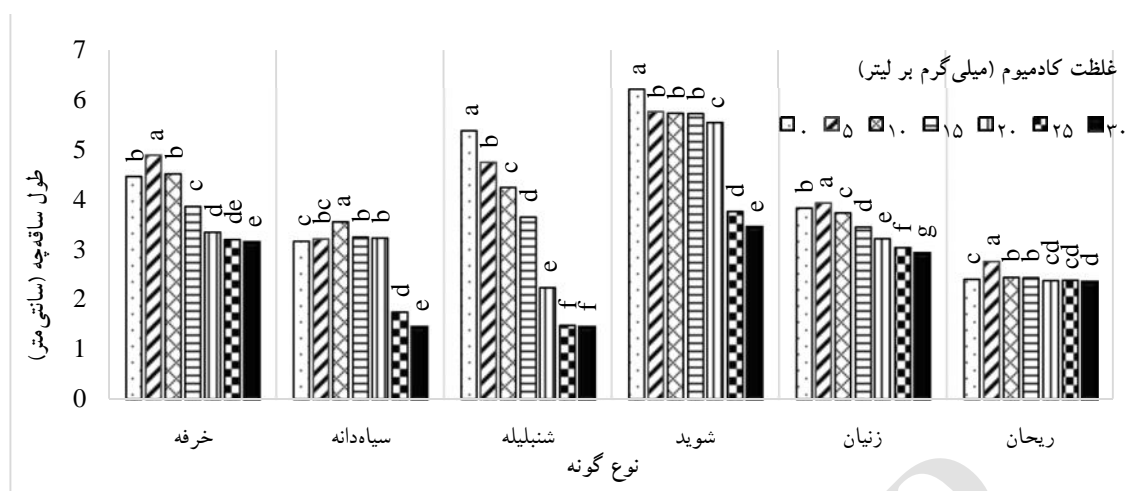
شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر طول ریشه‌چه شش گونه گیاه دارویی

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

شکل ۴ گویای این امر است که گیاه شنبليله حساس‌ترین گونه به کادمیوم از لحاظ طول ساقه‌چه بود، زیرا اختلاف بین بیشترین غلظت کادمیوم (۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم) با شاهد (بدون کادمیوم) بالاترین مقدار (۷۲/۶۲٪) را در مقایسه با سایر گیاهان داشت و بعد از شنبليله، سیاه‌دانه با اختلاف ۵۴/۲۸٪ حساس‌ترین بود و مقاوم‌ترین آنها نیز ریحان با اختلاف ۲/۰۹٪ تعیین شد.

با توجه به نتایج حاصل از شکل ۳ و ۴ و همچنین اختلاف بدست آمده از گیاهان استنباط می‌شود که در گیاه خرفه، سیاه‌دانه، شویید و ریحان طول ریشه‌چه بیشتر از طول ساقه‌چه تحت تأثیر سمیت کادمیوم قرار گرفته، زیرا اختلاف بین غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و شاهد برای طول ریشه‌چه چهار گیاه مذکور به ترتیب برابر با ۳۷/۱۰، ۵۱/۵۴، ۴۹/۳۹ و ۴/۰۹٪ بود، در حالی که مقدار این اختلاف برای طول ساقه‌چه گیاهان نام برده به ترتیب برابر با ۲۹/۵، ۵۰/۲۸، ۴۱/۰۹ و ۲/۰۹٪ بود. در شنبليله و زنیان طول ساقه‌چه بیشتر از طول ریشه‌چه تحت تأثیر سمیت کادمیوم قرار گرفت، به طوری که اختلاف برای طول ساقه‌چه این ۲ گیاه به ترتیب برابر با ۷۲/۶۲ و ۲۳/۶۲٪ بود و مقادیر برای طول ریشه‌چه این ۲ گیاه به ترتیب برابر با ۴۸/۸۸ و ۱۵/۰۵٪ بود که برای این دو گیاه آسیب‌پذیری بالاتر ساقه‌چه آنها نسبت به کادمیوم را نشان می‌دهد.

در شکل ۴ پاسخ طول ساقه‌چه گونه‌های مختلف به غلظت کادمیوم نشان داده شده است. در گیاه شویید و شنبليله بیشترین طول ساقه‌چه در تیمار شاهد مشاهده شد و در گیاه زنیان، ریحان و خرفه بیشترین طول ساقه‌چه مربوط به غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر و در سیاه‌دانه در ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم مشاهده شد. در گیاه شنبليله با افزایش غلظت، طول ساقه‌چه به طور معنی‌داری کاهش یافت که البته در غلظت ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری دیده نشد. همچنین طول ساقه‌چه در گیاه خرفه، در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت و پس از غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، از میزان این پارامتر کاسته شد؛ هر چند که در سطوح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دارای اختلاف معنی‌دار نبود. در ریحان نیز پس از غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر، طول ساقه‌چه کاهش یافت، اگرچه سطوح ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، نسبت به شاهد، وضعیت بهتری را نشان دادند (در سطح بالاتری نسبت به شاهد قرار داشتند). برای این گیاه بین سطوح ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر با شاهد و سطوح ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر با هم و غلظت‌های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در گیاه شویید نیز بین سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما به طور کلی با افزایش غلظت کادمیوم، از طول ساقه‌چه شویید در کلیه غلظت‌ها کاسته شد که این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار بود.



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر طول ساقه‌چه شش گونه گیاه دارویی

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات تنش سمیت کادمیوم بر وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر شش گونه گیاه دارویی

میانگین مربعات				درجه	منبع تغییرات
شاخص بنیه بذر	ضریب آلومتري	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	آزادی	
۳۹۶۷۹۰ **	۱/۹۲ **	۰/۰۰۹ **	۰/۰۰۳ **	۵	گیاه دارویی
۶۷۸۷۹ **	۰/۱۹ **	۰/۰۰۶ **	۰/۰۰۱ **	۶	غلظت کادمیوم
۸۲۲۲ **	۰/۱۲ **	۰/۰۰۵ **	۰/۰۰۰۵ **	۳۰	گیاه دارویی × کادمیوم
۱۱۹/۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۸	۱۲۶	خطا
۳/۲۶	۲/۰۱	۶/۴۶	۱۲/۰۳		ضریب تغییرات (%)

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

در برابر سمیت کادمیوم هستند. در گیاه خرفه، سیاه‌دانه، شوید و ریحان افزایش ضریب آلومتري تا سطوح مشخصی مشاهده شد، به گونه‌ای که ضریب آلومتري در گیاه خرفه و سیاه‌دانه تا سطح ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، در گیاه شوید تا سطح ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر و در گیاه ریحان تا سطح ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش نشان داد. افزایش ضریب آلومتري بر اثر کاهش در طول ریشه‌چه یا افزایش در طول ساقه‌چه حاصل می‌شود. در گیاه خرفه علت افزایش این پارامتر، کاهش بیشتر طول ریشه‌چه بود، زیرا همزمان با کاهش طول ریشه‌چه از طول ساقه‌چه نیز کاسته شد، اما این کاهش به قدری نبود که بر کاهش

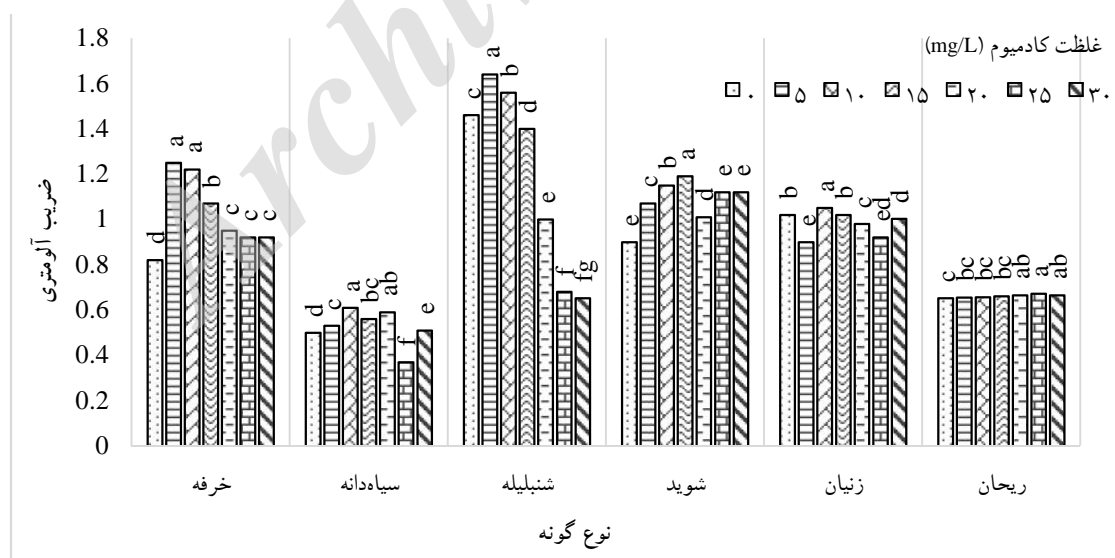
نتایج تجزیه واریانس برای صفات ضریب آلومتري، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر در جدول ۲ نشان می‌دهد که بین شش گونه دارویی و سطوح کادمیوم و همچنین اثرات متقابل سطوح کادمیوم با نوع گونه در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲).

ضریب آلومتري

ضریب آلومتري نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه را بیان می‌کند. شکل‌های ۴-۶ گویای این است که ضریب آلومتري گیاهان دارویی مختلف دارای پاسخ‌های متفاوت

۲۰ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر از طول ریشه چه و ساقه چه کاسته شد و کاهش بیشتر در طول ریشه چه باعث افزایش در ضریب آلومتری شد. در گیاه سیاه دانه نیز پس از سطح ۱۵ میلی گرم بر لیتر، تغییرات به طور ثابت و مشخص نبود. به طوری که در گیاه خرفه، شوید، ریحان و سیاه دانه در سطح ۳۰ میلی گرم بر لیتر در مقایسه با شاهد افزایش در ضریب آلومتری اتفاق افتاد که دلیل آن کاهش بیشتر در طول ریشه چه نسبت به کاهش ساقه چه بود که حساسیت بیشتر ریشه چه با سمیت کادمیوم را نشان می داد. در حالی که در گیاه شنبلیله و زنیان کاهش ضریب آلومتری در سطح ۳۰ میلی گرم بر لیتر مشاهده شد که بر اثر برتری کاهش طول ساقه چه نسبت به کاهش طول ریشه چه بود. بنابراین به عنوان نتیجه گیری می توان بیان کرد که گیاهان خرفه، شوید، سیاه دانه و ریحان در برابر سمیت کادمیوم حساسیت بیشتری در قبال کاهش طول ریشه چه در مقایسه با کاهش طول ساقه چه داشتند، در حالی که گیاه شنبلیله و ریحان این حساسیت را در کاهش طول ساقه چه نشان دادند.

ضریب آلومتری اثر بگذارد، در حالی که در سیاه دانه علاوه بر اینکه از طول ریشه چه در تمام سطوح کادمیوم کاسته شد، همزمان تا غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر طول ساقه چه نیز افزایش یافت. با این حال کاهش طول ریشه چه به عنوان صفت برتر برای افزایش تا سطح ۱۰ میلی گرم بر لیتر در سیاه دانه انتخاب شد. در گیاه شوید نیز علت بهبود این پارامتر، کاهش شدید در طول ریشه چه نسبت به افزایش اندک در طول ساقه چه بود که مشخص می کند افزایش در شوید نیز بیشتر تحت تأثیر کاهش طول ریشه چه بوده است. در گیاه خرفه، سیاه دانه و شوید مشاهده شد که طول ریشه چه بیشتر از طول ساقه چه تحت سمیت کادمیوم قرار گرفت و با کاهش شدید در طول ریشه چه از کاهش طول ساقه چه جلوگیری شد که شاید بتوان نتیجه گرفت که سوق دهی بیشتر انرژی بذر به سمت جلوگیری از کاهش طول ساقه چه بوده است. در گیاه ریحان، تا غلظت ۱۵ میلی گرم بر لیتر طول ریشه چه و ساقه چه هر دو در حال افزایش بودند، اما میزان تغییرات بسیار اندک بود و طول ساقه چه نیز بیشتر از طول ریشه چه افزایش یافت، در حالی که در سطح



شکل ۵- اثر غلظت های مختلف کادمیوم بر ضریب آلومتری شش گونه گیاه دارویی

میانگین های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و کمترین وزن خشک مربوط به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که همانند غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم است. در گیاه زنیان سطوح مصرف ۱۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم نسبت به شاهد وزن خشک بیشتری را نشان دادند، در حالی‌که سطوح ۱۵، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند و در گیاه شوید نیز با افزایش غلظت کادمیوم از وزن خشک با اختلاف معنی‌دار نسبت به شاهد کاسته شد، اما بین سطوح ۵ و ۱۰ با هم و سطوح ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. به‌طور کلی، در کلیه گیاهان نام برده وزن خشک ریشه‌چه با افزایش غلظت کادمیوم کاهش یافت.



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر وزن خشک ریشه شش گونه گیاه دارویی

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

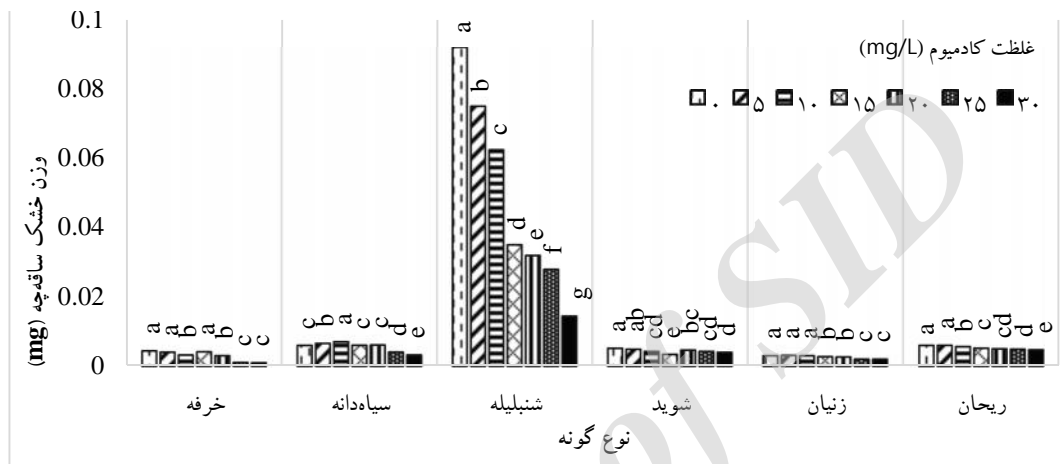
اما این دو سطح (۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بودند. در گیاه سیاه‌دانه نیز بالاترین وزن خشک ساقه‌چه مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود. این در حالی بود که تیمار شاهد با سطوح ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم نیز اختلاف معنی‌دار نداشت، اما کمترین میزان وزن خشک ساقه‌چه سیاه‌دانه در سطح ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم مشاهده شد. در گیاه شوید، زنیان و ریحان نیز کمترین وزن خشک ساقه در غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم دیده شد، که در گیاه شوید این کاهش در

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه گونه‌های مختلف تحت تأثیر سمیت در غلظت‌های مختلف کادمیوم قرار گرفت (شکل ۶). به‌طوری‌که در گیاه خرفه و شنبلیله با افزایش غلظت کادمیوم به‌طور معنی‌دار از وزن خشک ریشه‌چه کاسته شد. در سیاه‌دانه، زنیان و ریحان بیشترین وزن خشک ریشه در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بود که البته در ریحان با شاهد و در سیاه‌دانه با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم اختلافی نداشت، اما با افزایش غلظت از وزن خشک ریشه‌چه با اختلاف معنی‌دار کاسته شد. در ریحان نیز افزایش غلظت باعث کاهش وزن خشک به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد گردید، اما بین سطوح ۱۰، ۱۵ و ۲۰

مطابق شکل ۷، تنها در گیاه شنبلیله با افزایش غلظت کادمیوم، از وزن خشک ساقه‌چه به‌طور معنی‌دار کاسته شد. در گیاه خرفه بیشترین وزن خشک ساقه‌چه در تیمار شاهد بدست آمد که البته با غلظت ۵ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم اختلاف معنی‌داری نداشت، در حالی‌که در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم در مقایسه با شاهد، از وزن خشک ساقه‌چه با اختلاف معنی‌دار کاسته شد. کمترین وزن خشک در غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که با غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم در یک سطح آماری قرار داشت،

گونه بود (شکل ۷). در گیاه ریحان غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بدون اختلاف معنی‌دار با شاهد بیشترین وزن خشک را نشان داد و از این پس با افزایش سمیت کادمیوم، وزن خشک کاهش یافت که این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار بود، اما سطوح ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند.

غلظت‌های مختلف قابل ملاحظه نبود. در گیاه زنیان غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم مانند شاهد بیشترین وزن خشک ساقه‌چه را نشان دادند و غلظت‌های ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند، در حالی‌که با هم بدون اختلاف معنی‌دار بودند. در سطوح ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم نیز وضعیت همین



شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر وزن خشک ساقه‌چه شش گونه گیاه دارویی

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر شاخص بنیه بذر شش گونه گیاه دارویی

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

یافت، به گونه‌ای که بیشترین شاخص بنیه در تیمار شاهد و کمترین آن در تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم مشاهده شد. اما در گیاه زنیان و ریحان بیشترین شاخص بنیه بذر در

شاخص بنیه بذر مطابق شکل ۸ در گیاه خرفه، سیاه‌دانه، شنبليله و شوید شاخص بنیه بذر به ترتیب با افزایش غلظت کادمیوم کاهش

منجر به کاهش جوانه‌زنی گردید. در مطالعه Hatata و Abdel-Aal (۲۰۰۸) بر روی گیاه آفتابگردان دیده شد در غلظت ۱۰ میکرومولار کادمیوم افزایش اندکی در طول ریشه‌چه و ساقه‌چه مشاهده شد که چنین نتیجه‌ای در این آزمایش برای ریحان و زنیان بدست آمد. اثرات مشابه این نتایج توسط Liu و همکاران (۲۰۱۱؛ ۲۰۱۳) به ثبت رسیده است که این، اثرات محرک بر رشد و نمو در سطوح کم کادمیوم و اثرات سمّی و ممانعت‌کننده از رشد در سطوح بالای کادمیوم را نشان می‌دهد (Liu et al., 2013). Groppa و همکاران (۲۰۰۸) نیز این پدیده را در آفتابگردان بیان کردند که رشد ریشه آفتابگردان در غلظت بالای کادمیوم متوقف شد، اما در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار آن همچنان رشد داشته است. کادمیوم باعث تغییر رنگ به قهوه‌ای و له‌شدگی ریشه در ریحان، شنبليله و خرفه شد که با نتایج Groppa و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت داشت. از آنجایی که ریشه گیاهان در تماس مستقیم با کادمیوم در محیط است، جلوگیری از طویل شدن طول ریشه به راحتی قابل مشاهده است (Zhou, 2003). در ریحان نیز بعد از غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر، طول ساقه‌چه کاهش یافت، البته غلظت ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم نسبت به شاهد طول ساقه‌چه بهتری را نشان دادند. این موضوع می‌تواند مقاومت بیشتر ریحان به سمّیت کادمیوم و جذب مواد مغذی از محیط را در طی رشد بیان کند (Cheng & Zhou, 2002). محققان بیان کردند که ترکیب‌های فنلی منجر به افزایش استقامت در دیواره سلولی و تثبیت غشاء آن شده و موجب ایجاد موانع فیزیکی در برابر تماس با فلزات سنگین و ورود رادیکال آزاد می‌شود (Rajesh et al., 2008). البته ممانعت از افزایش طول ریشه‌چه برای بسیاری از گیاهان دیگر نیز مشاهده شد (Wang & Zhou, 2005) که این ممکن است به دلیل کاهش تأمین آدنوزین تری‌فسفات (ATP)، نفوذپذیری غشاء و ATPase که مانع از جذب پتاسیم توسط ریشه‌چه می‌گردد، باشد (Pavlovkin et al., 2006). در گیاه شنبليله و زنیان طول ساقه‌چه حساسیت بیشتری را نشان داد. اثرات مشابه در مطالعه Aycicek و

غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم مشاهده شد و کمترین آن مانند سایر گیاهان مربوط به غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. در شوید در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، در سیاه‌دانه در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر، در شنبليله ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، اما با افزایش غلظت به ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، شاخص بنیه بذر کاهش یافت. در زنیان و ریحان شاخص بنیه در تیمار ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر از شاهد بود، در حالی‌که بعد از غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر با افزایش سطح کادمیوم شاخص بنیه کاهش یافت. در گیاه خرفه بعد از تیمار شاهد به موازات افزایش غلظت کادمیوم کاهش تدریجی در بنیه بذر مشاهده شد.

بحث

در گیاه زنیان و ریحان در سطوح اولیه کادمیوم افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه مشاهده شد که این یافته با مطالعه Liu و همکاران (۲۰۱۳) بر روی چچم ایتالیایی که در آن افزایش درصد جوانه‌زنی در سطوح ۱۰ و حتی ۵۰ میکرومولار کادمیوم مشاهده شد، مطابقت دارد. از آنجایی که درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی ریحان و زنیان تحت غلظت‌های اولیه کادمیوم نسبت به شاهد برتری نشان داد، پس می‌توان انتظار داشت که افزایش در سرعت جوانه‌زنی منجر به افزایش رشد اولیه و طویل شدن ریشه‌چه و ساقه‌چه شده است، زیرا این امر باعث شده است تا بذرهایی که سریع‌تر جوانه زده‌اند از فرصت دوره جوانه‌زنی استفاده بیشتری کرده و طول بیشتری یابند و در نهایت از بنیه بذر بهتری برخوردار شوند. البته در بسیاری از گیاهان کادمیوم از جوانه‌زنی بذر ممانعت نمی‌کند (Groppa et al., 2008). در غلظت‌های بین (صفر تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) کادمیوم، جوانه‌زنی تحت تأثیر قرار نگرفت، حتی در برخی گیاهان تحریک‌کننده جوانه‌زنی بود، اما در سطوح بالاتر اثرات منفی بر جوانه‌زنی داشت. یافته‌های مشابهی توسط Ahmad و همکاران (۲۰۱۳) بیان شد که افزایش جوانه‌زنی را در سطوح کم کادمیوم نشان داد، در حالیکه سطوح بالاتر

به عنوان نتیجه گیری کلی می توان بیان کرد که ترکیب های فنلی منجر به افزایش استقامت دیواره سلولی و تثبیت غشاء شده و باعث ایجاد موانع فیزیکی در برابر تماس با فلزات سنگین و ایجاد رادیکال آزاد می شوند. در تمامی گیاهان غلظت بالای کادمیوم (۳۰ میلی گرم بر لیتر) به طور معنی داری باعث کاهش پارامترهای جوانه زنی شد. در این میان، گیاه شنبلیله، سیاه دانه و شوید از حساس ترین گیاهان بودند. حساس ترین گیاهان به سمیت کادمیوم از لحاظ طول ریشه چه به ترتیب شوید < شنبلیله < سیاه دانه < خرفه < زنیان < ریحان است و حساس ترین گیاهان به سمیت کادمیوم از لحاظ طول ساقه چه به ترتیب شنبلیله < سیاه دانه < شوید < خرفه < زنیان < ریحان است. بیشترین تأثیر منفی حاصل از افزایش غلظت کادمیوم بر رشد گیاهچه ابتدا بر روی طول ریشه چه و بعد طول ساقه چه و شاخص بنیه بذر مشاهده شد. اما وزن خشک ریشه چه و ساقه چه نیز تحت تأثیر قرار گرفت، این در حالی بود که درصد و سرعت جوانه زنی گیاهان در غلظت های مختلف اختلاف معنی دار قابل ملاحظه ای نداشتند و در بسیاری از غلظت ها فاقد اختلاف معنی دار بودند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مساعدت مسئولان محترم دانشگاه شهرکرد برای انجام این پژوهش قدردانی می گردد.

منابع مورد استفاده

- Ahmad, I., Akhtar, M.J., Asghar, H.N. and Zahir, Z.A., 2013. Comparative efficacy of growth media in causing cadmium toxicity to wheat at seed germination stage. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15(3): 517-522.
- Alvarenga, P., Goncalves, A.P., Fernandes, R.M., de Varennes, A., Vallini, G., Duarte, E. and Cunha-Queda, A.C., 2009. Organic residues as immobilizing agents in aided phyto-stabilization: (I) effect on soil chemical characteristics. *Chemosphere*, 74(10): 1292-1300.
- Astolfi, S., Zuchi, S., Chiani, C. and Passera, C., 2003. In vivo and in vitro effects of cadmium on H⁺ATPase activity of plasma membrane vesicles from oat (*Avena sativa* L.) roots. *Journal of Plant*

همکاران (۲۰۰۸) نیز دیده شد که اثرات متنوع کادمیوم بر ریشه چه را گزارش کردند، در حالیکه بیان کردند طول ساقه چه به سمیت کادمیوم بسیار حساس است.

در تمامی گیاهان نام برده وزن خشک گیاهچه با افزایش غلظت کادمیوم کاهش یافت. در این ارتباط نتایج مشابهی توسط Ahmad و همکاران (۲۰۱۳)، Perveen و همکاران (۲۰۱۱) و Aycicek و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شده است. Gadallah (۱۹۹۵) نشان داد که گیاهان تیمار شده با کادمیوم تولید ماده خشک کمتری نسبت به شاهد داشتند و این موضوع نیز برای هر شش گیاه این آزمایش در غلظت بالای کادمیوم (۳۰ میلی گرم بر لیتر) مورد تأیید قرار گرفت. البته کاهش وزن خشک در حضور کادمیوم ناشی از کاهش جذب آب و کاهش جذب عناصر ضروری توسط بذر یا گیاه (Faizan et al., 2011)، کاهش انتقال غذایی به اندام هوایی و کاهش بیشتر وزن خشک اندام هوایی نسبت به ریشه می باشد (Gouia et al., 2000).

ترکیب های فنلی به دلیل خاصیت ضد آنتی اکسیدانی اهمیت فراوانی در رشد و تحمل سمیت در گیاه ایفا می کنند (Heim et al., 2002)، به گونه ای که تولید رادیکال های آزاد را متوقف می کنند (Gülçin et al., 2011). البته افزایش تولید این ترکیب ها تحت شرایط استرسی یا عوامل محیطی مختلف اتفاق می افتد (Sakihama & Yamasaki, 2002). Mirzaee و همکاران (۲۰۱۱) طی تحقیقات خود بیان کردند که فعالیت آنتی اکسیدانی در زنیان بیشتر از شنبلیله بود که می توان دریافت گیاه زنیان نسبت به شنبلیله در برابر سمیت مقاوم تر است. در سیاه دانه دیده شد که طول ساقه چه، وزن خشک ریشه چه و وزن خشک ساقه چه در غلظت های پایین کادمیوم (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی گرم بر لیتر) نسبت به شاهد اختلاف معنی داری نداشته یا حتی بیشتر از شاهد بوده است که شاید دلیل آن ترکیب های آنتی اکسیدانی در سیاه دانه باشد. بذرهای سیاه دانه ترکیب های نسبتاً بالایی را از فیتوسترول دارند که باعث حفاظت بالا در برابر تنش اکسیداتیو می شوند (Cheikh-Rouhoua et al., 2007).

- Groppa, M.D., Zawoznik, M.S., Tomaro, M.L. and Benavides, M.P., 2008. Inhibition of root growth and polyamine metabolism in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings under cadmium and copper stress. *Biological Trace Element Research*, 126(1-3): 246-256.
- Gülçin, I., Topal, F., Çakmakçı, R., Bilsel, M., Gören, A.C. and Erdogan, U., 2011. Pomological features, nutritional quality, polyphenol content analysis and antioxidant properties of domesticated and three wild ecotype forms of raspberries (*Rubus idaeus* L.). *Journal of Food Science*, 76(4): C585-C593.
- Hatata, M.M. and Abdel-Aal, E.A., 2008. Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in response to cadmium treatments. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 4(6): 655-669.
- Heim, K.E., Tagliaferro, A.R. and Bobilya, D.J., 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure- activity relationships. *The journal of nutritional Biochemistry*, 13: 572-585.
- Ikić, I., Marićević, M., Tomasović, S., Gunjaca, J., Satović, Z. and Sarčević, H., 2012. The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheat. *Euphytica*, 188(1): 25-34.
- ISTA (International Seed Testing Association), 2009. *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Kalai, T., Khamassi, K., Teixeira da Silva, J.A., Gouia, H. and Ben-Kaab, L.B., 2014. Cadmium and copper stress affect seedling growth and enzymatic activities in germinating barley seeds. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(6): 765-783.
- Kalsa, K.K. and Abebie, B., 2012. Influence of seed priming on seed germination and vigor traits of *Vicia villosa* ssp. *dasycarpa* (Ten.). *African Journal of Agricultural Research*, 7(21): 3202-3208.
- Karcz, W. and Kurtyka, R., 2007. Effect of cadmium on growth, proton extrusion and membrane potential in maize coleoptile segments. *Biologia Plantarum*, 51: 713-719.
- Kotowski, F., 1926. Temperature relation to germination of vegetable seed. *Proceeding of the American Society Horticulture Science*, 23: 179-184.
- Liu, T.T., Wu, P., Wang, L.H. and Zhou, Q., 2011. Response of soybean seed germination to cadmium and acid rain. *Biological Trace Element Research*, 144(1-3): 1186-1196.
- Liu, Z., He, X., Chen, W. and Zhao, M., 2013. Ecotoxicological responses of three ornamental herb species to cadmium. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(8): 1746-1751.
- Physiology, 160(4): 387-393.
- Aycicek, M., Kaplan, O. and Yaman, M., 2008. Effect of cadmium on germination, seedling growth and metal contents of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Asian Journal of Chemistry*, 20(4): 2663-2672.
- Cheikh-Rouhoua, S., Besbes, S., Lognayb, G., Blecker, C., Deroanne, C. and Attia, H., 2007. Chemical composition and lipid fraction characteristics of aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) seed cultivated in Tunisia. *Food Science and Technology International*, 15(5): 407-416.
- Cheng, Y. and Zhou, Q.X., 2002. Ecological toxicity of reactive X-3B red dye and cadmium acting on wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Environmental Sciences*, 14(1): 136-140.
- Choudhury, S. and Panda, S.K., 2004. Role of salicylic acid in regulating cadmium induced oxidative stress in (*Oryza Sativa* L.) roots. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30(3-4): 95-110.
- Curguz, V.G., Raicevic, V., Veselinovic, M., Tabakovic-Tosic, M. and Vilotic, D., 2012. Influence of heavy metals on seed germination and growth of *Picea abies* L. Karst. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(2): 355-361.
- Das, P., Samantaray, S. and Rout, G.R., 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental Pollution*, 98(1): 29-36.
- Duke, J.A., 2001. *Hand Book of Medicinal Herbs*. CRC press, 896p.
- Faizan, S., Kausar S. and Perveen, R., 2011. Varietal differences for cadmium-induced seedling mortality, foliar toxicity symptoms, plant growth, proline and nitrate reductase activity in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Biology and Medicine*, 3(2): 196-206.
- Gadallah, M.A.A., 1995. Effects of cadmium and kinetin on chlorophyll content, saccharides and dry matter accumulation in sunflower plants. *Biologia Plantarum*, 37(2): 233-240.
- Gaetke, L.M. and Chow, C.K., 2003. Copper toxicity, oxidative stress and antioxidant nutrients. *Toxicology*, 189: 147-163.
- Gali-Muhtasib, H., Diab-Assaf, M., Boltze, C., Al-Hmaira, J., Hartig, R., Roessner, A. and Schneider-Stock, R., 2004. Thymoquinone extracted from black seed triggers apoptotic cell death in human colorectal cancer cells via a p53-dependent mechanism. *International Journal of Oncology*, 25(4): 857-866.
- 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. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38: 629-638.

- of *Camellia sinensis*, *Ficus bengalensis* and *Ficus racemosa*. Food Chemistry, 107:1000-1007.
- Rascio, N. and Navari-Izzo, F., 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? Plant Science, 180(2): 169-181.
 - Sakihama, Y. and Yamasaki, H., 2002. Lipid peroxidation induces by phenolics in conjunction with aluminium ions. Biologia Plantarum, 45(2): 249-254.
 - Sanchez-Chardi, A., Ribeiro, C.A.O. and Nadal, J., 2009. Metals in liver and kidneys and the effects of chronic exposure to pyrite mine pollution in the shrew *Crocidura russula* inhabiting the protected wetland of Donana. Chemosphere, 76(3): 387-394.
 - Simopoulos, A.P., Norman, H.A. Gillaspay, J.E. and Duke, J.A., 1992. Common purslane: A source of omega-3 fatty acids and antioxidants. Journal of the American College of Nutrition, 11(4):374-382.
 - Soran, M.L., Cobzac Codruta, S., Varodi, C., Lung, I., Surducun, E. and Surducun, V., 2009. The extraction and chromatographic determination of the essentials oils from *Ocimum basilicum* L. by different techniques. Journal of Physics Conference Series, 182(1): 012-016.
 - Vijayaragavan, M., Prabhakar, C., Sureshkumar, J., Natarajan, A., Vijayarangan, P. and Sharavanan, S., 2011. Toxic effect of cadmium on seed germination, growth and biochemical contents of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plants. International Multidisciplinary Research Journal, 1(5): 01-06.
 - Wadikar, D.D. and Premavalli, K.S., 2012. Ajowan (*Trachyspermum ammi*) munch: A shelf stable ready-to-eat appetizer, its development and storage. International Food Research Journal, 19(1): 321-325.
 - Wang, M.E. and Zhou, Q.X., 2005. Single and joint toxicity of chlorimuronethyl, cadmium, and copper acting on wheat *Triticum aestivum*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(2):169-175.
 - White, P.J. and Brown, P.H., 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. Annals of Botany, 105(7): 1073-1080.
 - Zhou, Q.X., 2003. Interaction between heavy metals and nitrogen fertilizers applied in soil-vegetable systems. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 71(2): 338-344.
 - Malhotra, S.K. and Vashishtha, B.B., 2005. Effect of seed rate and row spacing on growth, yield and essential oil of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) genotype. Indian Journal of Arecanut, Spices and Medicinal Plants, 7(1): 18-20.
 - Mandegary, A., Pournamdari, M., Sharififar, F., Pournourmohammadi, S.H., Fardiar, R. and Shooli, S., 2012. Alkaloid and flavonoid rich fractions of fenugreek seeds (*trigonella foenum-graecum* L.) with nitinociceptive and anti-inflammatory effects. Journal Food and Chemical Toxicology, 50: 2503-2507.
 - Mirzaee, A., Mohammadi, G. Mirzaee, N. and Mirzaee, M., 2011. Evaluation of the antioxidant and total polyphenol extract hydroalcol of *Sisymbrium sophia*, *Plantago major* L., *Carum copticum*, *Coriandrum sativum* and *Trigonella foenum*. Fasa University of the Medical Sciences, 3: 104.
 - Moreau, A.G. and Savage, G.P., 2009. Oxalate content of purslane leaves and the effect of combining them with yoghurt or coconut products. Journal of Food Composition and Analysis, 22: 303-306.
 - Mousavi, Gh.R., Seghat Alislami, M.J. and Puyan, M., 2012. The effect of planting date and plant density on yield and its components Fleawort (*Plantago psyllium* L.) plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27(4): 681-699.
 - Mudipalli, A., 2008. Metals (micro nutrients or toxicants) and global health. Indian Journal of Medical Research, 128: 331-334.
 - Pavlovkin, J., Luxová, M., Mistríková, I. and Mistrík, I., 2006. Short-and longterm effects of cadmium on transmembrane electric potential (Em) in maize roots. Biologia, 61(1): 109-114.
 - Perveen, A., Wahid, A. and Javed, F., 2011. Varietal differences in spring and autumn sown maize (*Zea mays*) for tolerance against cadmium toxicity. International Journal of Agriculture and Biology, 13(6): 909-915.
 - Rahoui, S., Chaoui, A. and El Ferjani, E., 2010. Membrane damage and solute leakage from germinating pea seed under cadmium stress. Journal of Hazardous Materials, 178(1): 1128-1131.
 - Rajesh, M., Nagarajan, A., Perumal S. and Sellamuthu, M., 2008. The antioxidant activity and free radical scavenging potential of two different solvent extracts

The effect of cadmium stress on seeds germination characteristics of some medicinal plants under in vitro conditions

A. Spanany¹ and S. Fallah^{2*}

1- M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

E-mail: falah1357@yahoo.com

Received: May 2015

Revised: August 2015

Accepted: August 2015

Abstract

Planting date of most annual medicinal species is associated with severe irrigation competition of winter and spring crops. This competition reduces the volume of river water in downstream and consequently the concentration of heavy metals caused by industrial and municipal wastewater is increased in the river. Therefore, in order to investigate the tolerance of some spring medicinal plants to the cadmium stress of irrigation water, a factorial experiment was performed in a completely randomized design with four replications. Treatments consisted of six medicinal plants (*Portulaca oleracea* L., *Nigella sativa*, *Trigonella foenum*, *Anethum graveolens*, *Carum copticum* and *Ocimum basilicum*) and cadmium at six levels (5, 10, 15, 20, 25 and 30 mg) plus control (no cadmium). The results showed that although low concentrations of cadmium in some plants stimulated the growth of seedlings, a concentration of 30 milligrams per liter in all plants reduced the radicle and plumule length and radicle and plumule weight as well as seed vigor index. Germination percentage and rate were not substantially affected by cadmium. In this regard, fenugreek, black cumin, and dill showed the most sensitivity to cadmium toxicity. In fenugreek and ajowan plants, the plumule length was more affected by cadmium and plumule length was determined as a sensitivity index. However, for dill, purslane, basil, and black cumin plants, the radicle length was more affected and it was determined as a sensitivity index. Overall, in terms of root length, dill and basil were identified as the most sensitive and the most tolerant species to the cadmium toxicity, respectively.

Keywords: Pollution, seedling, toxicity, tolerance.