تاثیر سطوح مختلف فلزهای سنگین بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه لولیوم پرنه (*Lolium perenne* L.)

حسن بیات*[۱]، حسین حمامی[۲]، محمدحسین امینی‌فرد[۳]

[۱]استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

[۲]استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

[۳]استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف فلزهای سنگین بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌های لولیوم پرنه (*Lolium perenne* L.)، آزمایشی بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹٤ به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل فلزهای سنگین سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ٤۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج نشان داد که تأثیر فلزهای سنگین بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لولیوم پرنه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. درصد جوانه‌زنی با افزایش غلظت کادمیوم به ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر به صفر تقلیل یافت و در کبالت با افزایش غلظت به ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، درصد جوانه‌زنی از ۹۸/٦٦ درصد در بذور شاهد به ۳۰/٦٦ درصد کاهش یافت. در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سرعت جوانه‌زنی برای فلزهای سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت به ترتیب ۱۰/۸۰، ۱۱/٦۱، صفر و ۱/۳٦ بذر در روز بود. صفات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل با افزایش غلظت فلزهای سنگین بطور نزولی کاهش یافتند. طول ریشه‌چه در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر فلزهای سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت به‌ترتیب ۷۰، ۷٤، ۱۰۰ و ۹۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که اثرات مخرب فلزهای کادمیوم و کبالت بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های لولیوم در مقایسه با نیکل و سرب بیشتر بود

واژه‌های کلیدی: سرب، سمیت، کادمیوم، کبالت، نیکل

*نویسنده مسئول: hassanbayat@birjand.ac.ir

مقدمه

امروزه فعالیت‌های مختلف انسان‌ها منجر به ایجاد آلودگی‌های مختلف در محیط زیست شده است. تجمع فلزهای سنگین از طریق رهاسازی پس آب‌های صنعتی در محیط و کاربرد کودهای آلوده به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش روی انسان‌ها مطرح است. آلودگی‌های مختلف محیطی ناشی از فعالیت‌های انسان نه تنها باعث اثرات سمی بر جانوران و گیاهان می‌شود بلکه با ورود به زنجیره غذایی، برای انسان‌ها نیز دارای اثرات سمی فوق‌العاده خطرناکی می‌باشند. مفهوم تنش فلزهای سنگین را حساسیت به غلظت‌های بالای فلزات که باعث صدمه به گیاه یا مرگ آن می شود تعریف می‌کنند. زمانی که یون‌های این فلزها در سطوح بالا در محیط وجود داشته باشند، منجر به صدمات متابولیسمی و کاهش رشد گیاهان می‌شوند (Ghosh and Singh, 2005).

فلزهای سنگین آلاینده رایج شامل کادمیوم، سرب، نیکل، جیوه، مس و کروم هستند (Kranner and Colville, 2011). در بین این فلزها، کادمیوم یکی از سمی‌ترین عناصر برای اندام‌های زنده است که نقش زیستی ندارد. این عنصر برای گیاه غیرضروری بوده و دوام بیولوژیکی بالایی دارد و سب لوله‌ای شدن برگ‌ها، کلروز و کاهش رشد ریشه و ساقه می‌شود و فرآیند جوانه‌زنی، رشد و توسعه گیاهچه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mishra et al., 2006). فلز سنگین دیگر کروم است که هفتمین عنصر فراوان بر روی کره زمین است و به‌عنوان یکی از آلاینده‌های محیطی محسوب می‌شود. علائم سمیت کروم در گیاه شامل کاهش رشد، زردی برگ‌های جوان، کاهش محتوای رنگیزه‌ای، تغییر عملکرد آنزیمی و آسیب به سلول‌های ریشه است (Panda and Choudhury, 2005; Shanker et al., 2005). نیکل نیز به عنوان فلز سنگین، نقش مهمی را در گیاهان ایفا می‌کند. این عنصر در غلظت‌های پایین اثر سمی بر گیاه ندارد ولی در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی است (Baycu et al., 2006). اما خطرناک‌ترین فلز سنگین، سرب است که باعث کاهش درصد جوانه‌زنی گیاه گشته و اثرات مضری بر رشد و متابولیسم گیاه بر جای می‌گذارد و مانع طویل شدن ریشه می‌گردد (Kopyra and Gwzdz, 2003).

جوانه‌زنی اولین مرحله از زندگی گیاه و یکی از حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی می باشد که بوسیله فاکتورهای هورمونی و محیطی (تنش‌های زیستی و غیرزیستی) تحت تأثیر قرار می‌گیرد. فلزهای سنگین از دو طریق جوانه‌زنی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، اول از طریق سمیت عمومی و دوم بوسیله ممانعت از جذب آب. تحقیقات متعددی مبنی بر اثرات مخرب فلزهای سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها گزارش شده است (Wang and Zhou, 2005; Ahsan et al., 2007; Liu et al., 2007; Yang et al., 2010; Talebi et al., 2014). پرالتا و همکاران (Peralta et al., 2000) گزارش کردند که جوانه‌زنی و رشد گیاه یونجه تحت تأثیر فلزهای کروم، کادمیوم، مس و نیکل کاهش می‌یابد. همچنین صابری و همکاران (Sabri et al., 2010) اظهار داشتند غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم بر درصد و سرعت جوانه‌زنی گیاهچه‌های آترپلکس تأثیر معنی‌دار نداشت ولی موجب کاهش معنی‌دار رشد گیاهچه‌ها شد. جلیازکوا و همکاران (Jeliazkova et al., 2003) تأثیر فلزهای سنگین مس، روی، نیکل و کبالت را بر رشد و جوانه‌زنی گیاهان بادیان[1]، رازیانه[2] و زیره سیاه[3] مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که رشد اولیه ریشه‌ها بیشتر از جوانه‌زنی بذرها تحت تأثیر فلزهای سنگین قرار گرفت. بهمنی و همکاران (Bahmani et al., 2014) گزارش

1. Pimpinella anisum
2. Foeniculum vulgare
3. Carum carvi

کردند که کادمیوم بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های لوبیا اثر منفی داشت و پاسخ‌های رشدی ژنوتیپ‌های مورد بررسی با یکدیگر متفاوت بود.

لولیوم پرنه (*Lolium perenne* L.) گراس فصل سرد و چند ساله بوده که متعلق به خانواده Poaceae است. از این گراس به‌طور وسیعی برای تولید علوفه و چمن در سراسر جهان استفاده می‌شود (Bidar et al., 2007). تحقیقات نشان می‌دهد که این گراس قادر است فلزهای سنگین را به خوبی تجمع دهد و ماده خشک زیادی را تولید کند (Smith and Bradshaw, 1979; Bidar et al., 2007; Jankaite and Vasarevicius, 2007). آرینزو و همکاران (Arienzo et al., 2004) و بیدار و همکاران (Bidar et al., 2007) گزارش کردند که گراس لولیوم پرنه قادر است در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین کادمیوم، سرب و روی، پوشش سبز و سالمی را ایجاد کند. با این وجود تحقیق جامعی که تأثیر عناصر سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و کادمیوم را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های لولیوم پرنه نشان دهد، وجود ندارد. از این رو تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف فلزهای سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و کروم بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های لولیوم پرنه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹٤ به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل فلزهای سنگین سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ٤۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. در ابتدا بذور لولیوم پرنه (*Lolium perenne* L. cv. 'Double') رقم دابل در هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی، و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. تعداد ۲۵ عدد از بذور در داخل پتری دیش‌های ۹ سانتی‌متری پلاستیکی حاوی ۲ لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک که قبلا به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد استریل شده بودند، قرار داده شد و سپس میزان ۱۰ میلی‌لیتر از تیمارهای مورد نظر و یا آب مقطر (به عنوان شاهد) به آن‌ها اضافه شد. برای تهیه تیمارهای عناصر کادمیوم، سرب، نیکل و کروم به ترتیب از ترکیبات کلرید کادمیوم ($Cdcl_2$)، اکسید سرب (Pbo)، اکسید نیکل (Nio) و اکسید کروم ($Cocl_2$) استفاده شد. پتری دیش‌ها در داخل اتاقک رشد با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی و رطوبت نسبی ٦۵ درصد قرار داده شدند.

۲٤ ساعت پس از قرار دادن پتری دیش‌ها در داخل اتاقک رشد، شمارش بذور جوانه زده آغاز شد و این عمل تا روز یازدهم ادامه یافت (Shen et al., 2008). بذرهایی که حداقل دارای ۲ میلی‌متر ریشه‌چه بودند به‌عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و نسبت آن‌ها (R/P) در پایان آزمایش اندازه‌گیری و محاسبه شد، به طوری که ٦ گیاهچه بطور تصادفی از داخل هر پتری دیش انتخاب و با استفاده از خط‌کش با دقت ۰/۰۰۱ طول آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس ریشه‌چه و ساقه‌چه در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت قرار داده شدند تا وزن خشک آن‌ها محاسبه شود. در در پایان آزمایش درصد جوانه‌زنی بذور محاسبه شد. سرعت جوانه‌زنی نیز از رابطه (۱) محاسبه شد (Bajji et al., 2002):

$$GR= \sum Ni / Di \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه GR سرعت جوانه‌زنی، Ni تعداد بذر جوانه زده در هر روز و Di روز شمارش بذر می‌باشد. میانگین زمان جوانه‌زنی نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Ruan, 2002):

$$MGT= \Sigma(D\times N)/ \Sigma N$$ رابطه (۲)

که در این رابطه MGT میانگین زمان جوانه‌زنی، N تعداد بذرهایی که در روز D ام جوانه زدند و D تعداد روزهایی که از آغاز زمان جوانه‌زنی گذشته است. شاخص بنیه بذر نیز از حاصل ضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در طول گیاهچه محاسبه شد (Elias and Copeland, 2001).

تجزیه داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار JMP 8 و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

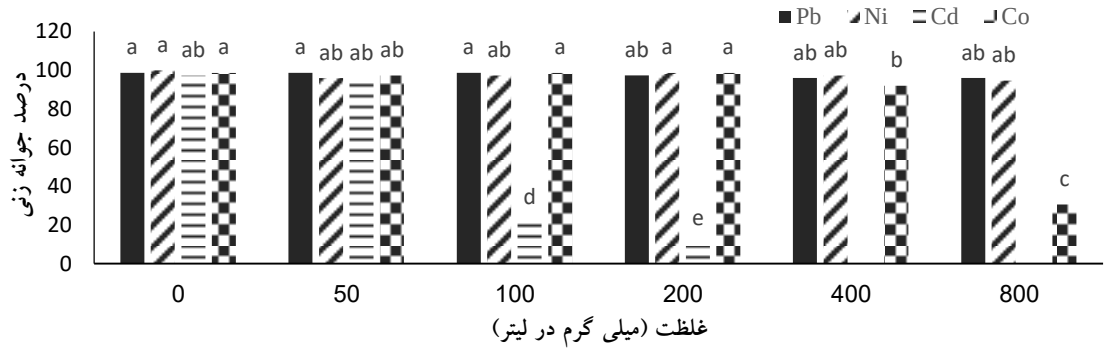
نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر فلزهای سنگین بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش غلظت فلزهای سنگین تا سطح ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، کاهش درصد جوانه‌زنی در بذور تیمار شده با سرب و نیکل معنی‌دار نبود ولی درصد جوانه‌زنی در بذور تیمار شده با کادمیوم و کبالت به شدت کاهش یافت به طوری که درصد جوانه‌زنی با افزایش غلظت کادمیوم به ٤٠٠ میلی‌گرم در لیتر به صفر تقلیل یافت و در کبالت با افزایش غلظت به ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، درصد جوانه‌زنی از ۹۸/٦٦ درصد در بذور شاهد به ۳۰/٦٦ درصد کاهش یافت (شکل ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس تأثیر فلزهای سنگین بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر لولیوم پرنه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر
فلزهای سنگین	۲۳	۳۸۰۲/۷٤ **	۷۸/۷۵ **	٤/٦٦ **	۹۵/۱۰ **
خطا	٤٨	۱۲/۸۹	۰/٦۰	۰/۰٤	۰/٦۷
ضریب تغییرات (٪)		۵/۹٤	۱۲/٤۹	٦/۲۵	۱٦/۵٦

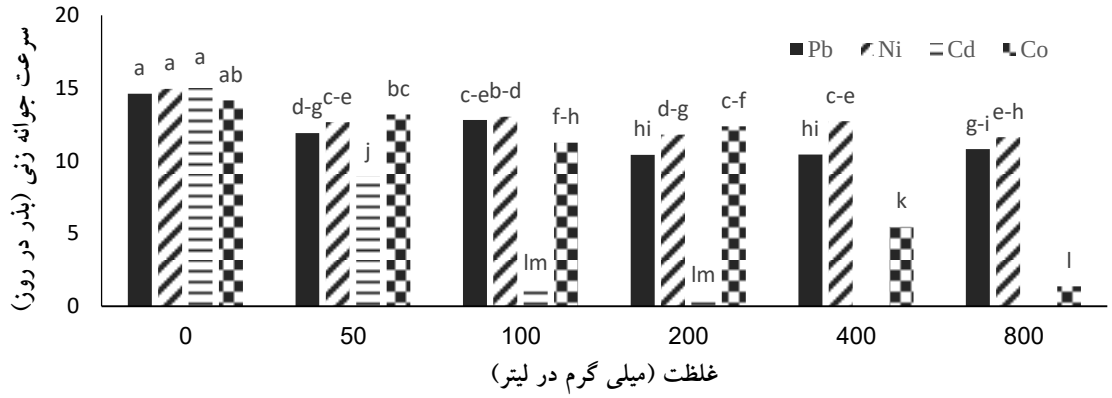
** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.



شکل ۱: تأثیر فلزهای سنگین بر میانگین درصد جوانه‌زنی بذر لولیوم پرنه

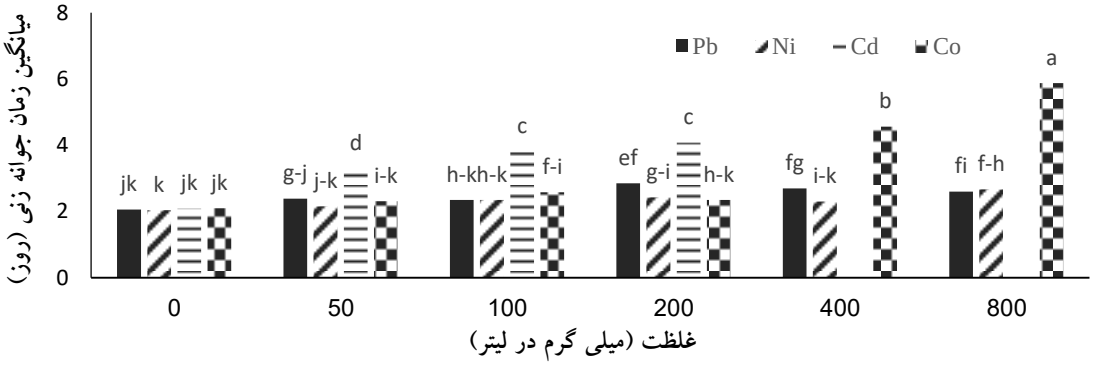
سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر معنی‌دار فلزهای سنگین قرار گرفت (جدول ۱) و روندی مشابه با درصد جوانه‌زنی داشت (شکل ۲). با افزایش غلظت فلزهای سنگین، میزان سرعت جوانه‌زنی بطور نزولی کاهش یافت ولی میزان شدت کاهش در بذور تیمار شده با کادمیوم و کبالت در مقایسه با نیکل و سرب بسیار بیشتر بود. در مورد کبالت، کمترین

(۱/۳٦ بذر در روز) و بیشترین (۱٤/۱٦ بذر در روز) سرعت جوانه‌زنی به ترتیب از بذور تیمار شده با غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد بدست آمد (شکل ۲). همچنین در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سرعت جوانه‌زنی برای فلزهای سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت به‌ترتیب ۱۰/۸۰، ۱۱/٦۱، ۰/۰۰ و ۱/۳٦ بذر در روز بود.



شکل ۲: تاثیر فلزهای سنگین بر میانگین سرعت جوانه‌زنی بذر لولیوم پرنه.

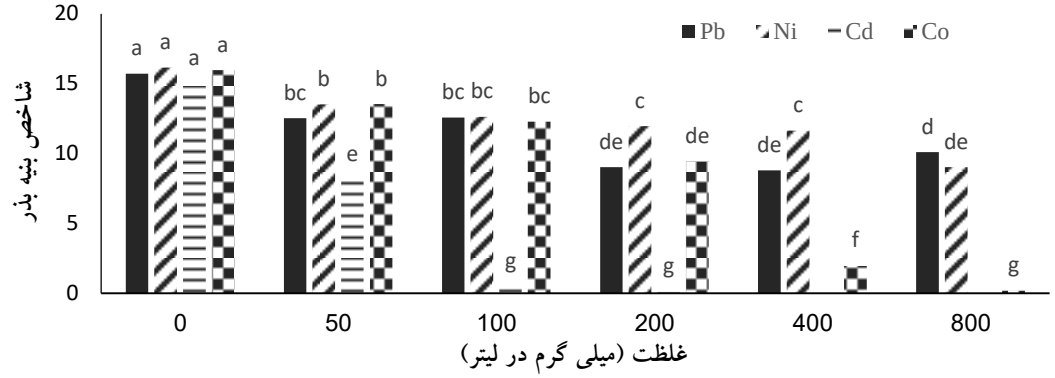
نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تأثیر فلزهای سنگین بر میانگین زمان جوانه‌زنی بذور لولیوم پرنه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش غلظت فلزهای سنگین، میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش پیدا کرد با این تفاوت که میانگین زمان جوانه‌زنی در بذور تیمار شده با نیکل و سرب در مقایسه با کادمیوم و کبالت به‌طور معنی‌داری کمتر بود. در مورد فلز کبالت، بیشترین (۵/۸۷ روز) و کمترین (۲/۱۰ روز) میانگین زمان جوانه‌زنی به‌ترتیب از تیمار شاهد و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میانگین زمان جوانه‌زنی برای فلزهای سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت به‌ترتیب ۲/۸۵، ۲/٤۳، ٤/۰۸ و ۲/۳۵ روز بود. در مورد فلز کادمیوم به‌دلیل عدم جوانه‌زنی بذور، میانگین زمان جوانه‌زنی برای غلظت‌های ٤۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر محاسبه نشد.



شکل ۳: تأثیر فلزهای سنگین بر میانگین زمان جوانه‌زنی بذر لولیوم پرنه.

فلزهای سنگین بر شاخص بنیه بذر تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۱) به طوری که با افزایش غلظت آن‌ها، میزان شاخص بنیه بذر کاهش یافت (شکل ۱). تأثیر فلزهای سنگین بر میزان شاخص بنیه بذر متفاوت بود به‌طوری‌که بیشترین شدت کاهش در فلز کادمیوم مشاهده شد و به دنبال آن فلزهای کبالت، نیکل و سرب در رتبه‌های بعدی قرار

گرفتند. در سطح ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان شاخص بنیه بذر در فلزهای سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت به ترتیب ۱۰/۱۰، ۹/۰۲، ۰/۰۰ و ۰/۱۷ بود.



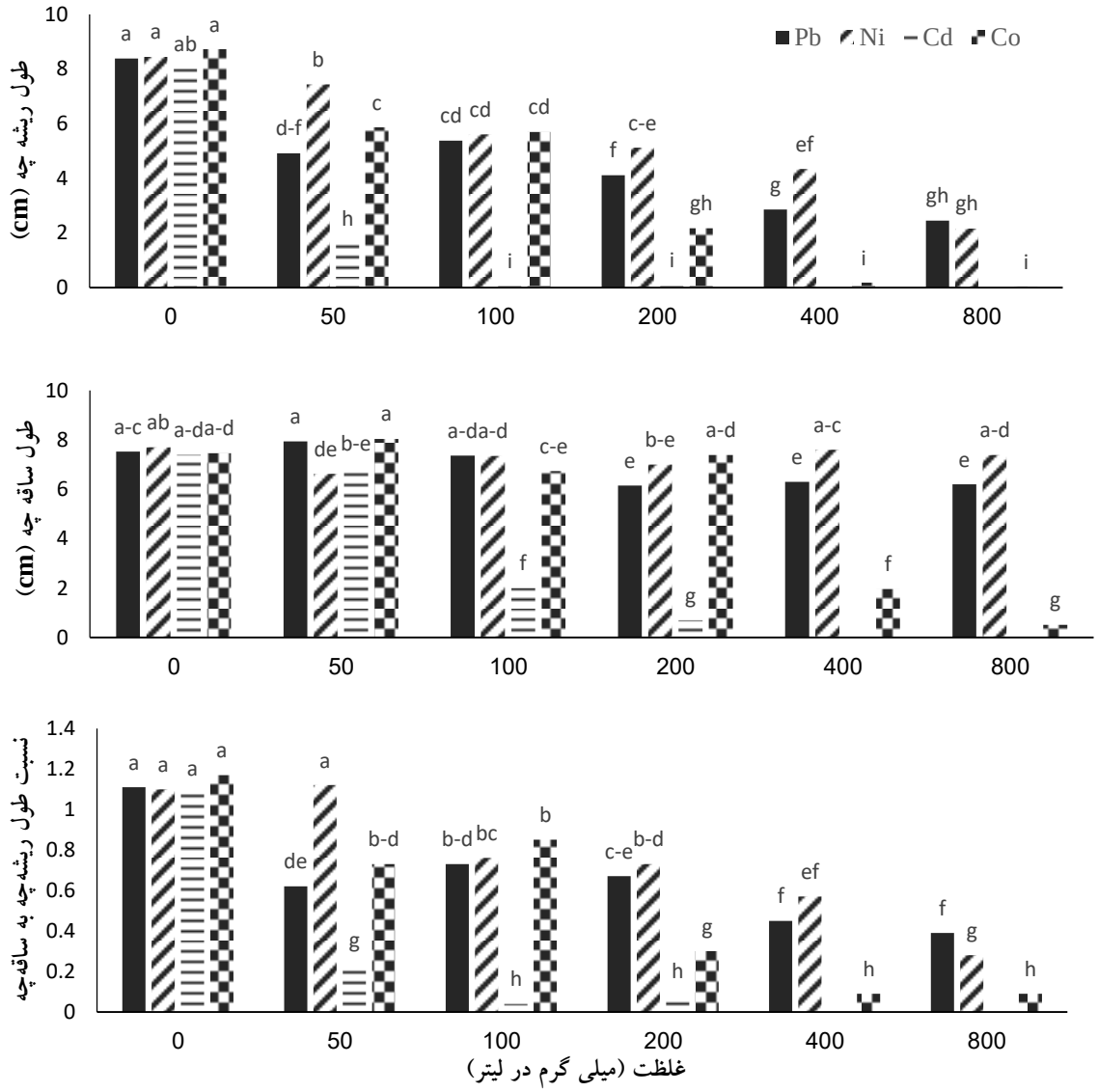
شکل ٤: تأثیر فلزهای سنگین بر میانگین شاخص بنیه بذر لولیوم پرنه

طول ریشه‌چه تحت تأثیر معنی‌دار فلزهای سنگین قرار گرفت (جدول ۲) و با افزایش غلظت فلزهای سنگین، طول ریشه‌چه به طور نزولی کاهش پیدا کرد به طوری که کمترین مقدار آن از غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر فلزهای سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت به‌ترتیب طول ریشه‌چه را ۷۰، ٧٤، ۱۰۰ و ۹۹ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۵). طول ساقه‌چه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فلزهای سنگین قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش غلظت فلزهای سنگین سرب، کادمیوم و کبالت طول ساقه‌چه بطور نزولی کاهش پیدا کرد ولی تأثیر فلز نیکل بر طول ساقه‌چه معنی‌دار نبود. بیشترین طول ساقه‌چه (۸/۰٤ سانتی‌متر) از تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کبالت بدست آمد. علاوه بر این، مقایسه بین فلزها در غلظت‌های یکسان نشان می‌دهد که فلز کادمیوم بیشترین تأثیر را در کاهش طول ساقه‌چه داشت (شکل ۵). تأثیر فلزهای سنگین بر نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه (R/P) نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). نسبت R/P با افزایش غلظت فلزهای سنگین، روند نزولی داشت به طوری که مقدار آن در بالاترین غلظت (۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به پایین‌ترین حد رسید. در غلظت مشخص، مقادیر R/P در بذور تیمار شده با فلزهای کادمیوم و کبالت در مقایسه با فلزهای نیکل و سرب بسیار کمتر بود (شکل ۵).

جدول ۲: تجزیه واریانس تأثیر فلزهای سنگین بر شاخص‌های رشد گیاهچه‌های لولیوم پرنه

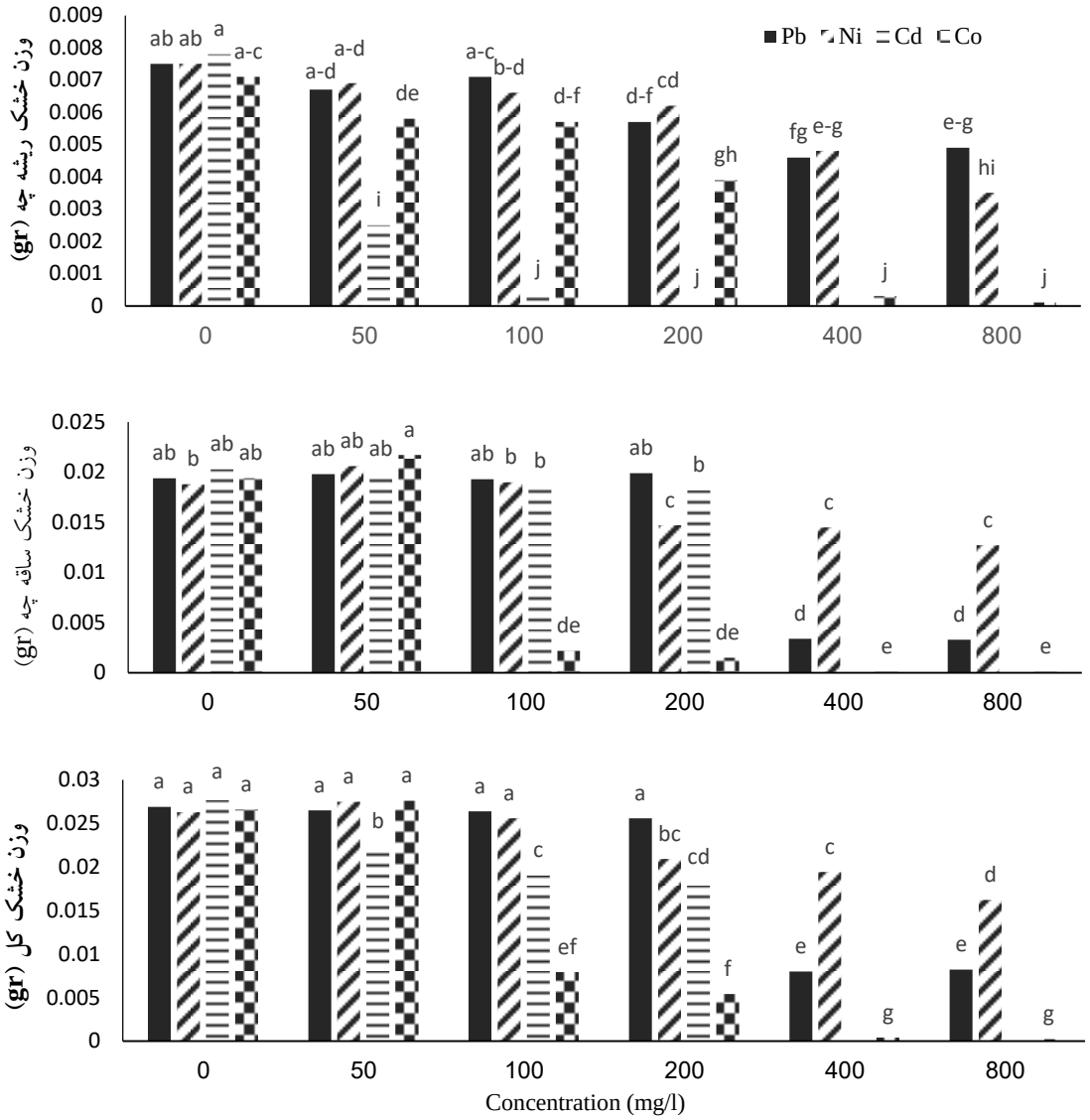
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	نسبت R/P	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک کل
فلزهای سنگین	۲۳	۲۷/٥٤**	۲٥/۳۱**	۰/٤۷**	۰/۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۲۳**	۰/۰۰۰۳۲**
خطا	٤۸	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۰۰٦	۰/۰۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۸
ضریب تغییرات(درصد)		۱۹/٦۰	۱۳/٥۸	۱۹/۹۸	۲۱/۳۸	۱٤/۲۲	۱۰/٤۳

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.



شکل ۵: تأثیر فلزهای سنگین بر میانگین طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و نسبت R/P لولیوم پرنه

مطابق جدول تجزیه واریانس، اثر فلزهای سنگین بر وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت فلزهای سنگین، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل کاهش یافت ولی میزان کاهش ناشی از فلزهای کادمیوم و کبالت بیشتر بود. مقایسه بین فلزها در غلظت‌های یکسان نشان می‌دهد که فلز کادمیوم بیشترین تأثیر را در کاهش وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل داشت (شکل ٦). در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، کمترین (۰/۰۰۰۱ گرم) و بیشترین (۰/۰۰٦۲ گرم) وزن خشک ریشه‌چه به ترتیب از فلزهای کادمیوم و نیکل بدست آمد (شکل ٦). همچنین غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر فلزهای سرب، نیکل، کادمیوم و کبالت به ترتیب طول ریشه‌چه را ۷۰، ۷٤، ۱۰۰ و ۹۹ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ٦).



شکل ٦: تأثیر فلزهای سنگین بر میانگین وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل لولیوم پرنه

بحث

تحمل گیاه نسبت به فلزهای سنگین در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به‌عنوان کلید استقرار گیاهان تحت شرایط محدودکننده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که فلزهای سنگین شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه مانند درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر را کاهش دادند که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Jeliazkova et al., 2003; Wang and Zhou, 2005; Ahsan et al., 2007; Liu et al., 2007; Yang et al., 2010; Talebi et al., 2014). گزارش شده است که فلزهای سنگین به‌صورت فیزیولوژیکی مانع جذب آب توسط بذر و گیاه می‌شوند و از این طریق مانع جوانه‌زنی بذر می‌شوند. همچنین کرانر و کولویل (Kranner and Colville, 2011) اظهار داشتند که غلظت‌های بالای فلزهای سنگین باعث صدمه به جنین و یا حتی مرگ آن می‌شود. علاوه بر این کاهش جوانه‌زنی در اثر فلزهای سنگین به ویژه کادمیوم می‌تواند به علت تجمع آن‌ها در سلول و در نتیجه تمایل ترکیبی آن با گروه سولفیدریل پروتئین‌ها بوده که باعث کاهش سنتز و تولید پروتئین‌های ساختمانی و مورد نیاز در فرآیندهای رشد و تقسیم سلولی و جوانه‌زنی شود (Siddhu and Ali Khan, 2012). طالبی و همکاران (Talebi et

al., 2014) گزارش کردند که تأثیر فلز کادمیوم در مقایسه با سرب بر کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی تریتیکاله (Triticoseale wittmack) بیشتر بود که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابق داشت. با توجه به اینکه کادمیوم در واکوئل سلول تجمع می‌یابد و از طریق مسیر سیم‌پلاستی و آپوپلاستی به خوبی منتقل می‌شود (Sanita et al., 1999) و بر تقسیم و طویل شدن سلول‌ها و تنظیم رشد و نمو گیاه اثر می‌گذارد و باعث اختلال در متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شود، باعث کاهش بیشتر جوانه‌زنی و قدرت بذر در مقایسه با سایر فلزهای سنگین می‌شود (Das et al., 1997; Gouia et al., 2001).

در این تحقیق طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل تحت تأثیر فلزهای سنگین کاهش پیدا کرد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین در گیاهان گل کلم (Chatterjee and Chatterjee, 2000)، لوبیا (Bhardwaj et al., 2009)، گندم (Veselov et al., 2003)، ترتیکاله (Talebi et al., 2014) و ماش (Nair and Rajani, 2015) گزارش شده است. فلزهای سنگین با مهار تقسیم میتوزی و جلوگیری از طویل شدن سلول‌ها سبب کاهش رشد ریشه و ساقه می‌شوند (Shulan et al., 2010). همچنین در گیاه جو مشاهده شده است که فلز سنگین مس باعث افزایش فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز می‌شود که کاهش رشد را به همراه دارد (Coombes et al., 1976). علاوه بر این، فلزهای سنگین در غلظت‌های بالا مانع ساخت RNA های ریبوزمی در سلول‌های مریستمی شده و سبب کاهش رشد می‌گردند (Serida et al., 2008). در این تحقیق تأثیر فلزهای سنگین بر کاهش طول ریشه‌چه نسبت به طول ساقه‌چه بیشتر بود که باعث کاهش نسبت R/S نیز شد. گزارش شده است که میزان حساسیت رشد ریشه در مقایسه با ساقه نسبت به فلزهای سنگین بیشتر است (Araujo and Monteiro, 2005; Fuentes et al., 2007; Talebi et al., 2014). علاوه‌براین، بیدار و همکاران (2006) با بررسی بر روی گیاه لولیوم پرنه گزارش کردند که انتقال فلزهای سنگین کادمیوم و سرب از ریشه به اندام هوایی با محدودیت همراه است و این فلزها در بافت‌های ریشه تجمع می‌یابند که این امر باعث ایجاد سمیت بیشتر در ریشه می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که تأثیر کادمیوم در کاهش شاخص‌های رشدی از سایر فلزهای سنگین بیشتر بود که با نتایج طالبی و همکاران (Talebi et al., 2014) مطابقت داشت. کاهش تولید زیست توده در اثر فلزهای سنگین می‌تواند به دلیل کاهش رشد ریشه و اندام هوایی، اختلال در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس، و متابولیسم نیتروژن باشد (Balestrasse et al., 2001; Sundramoorthy et al., 2010).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سطوح مختلف فلزهای سنگین باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی) و رشد گیاهچه (طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و کل) لولیوم پرنه شد و این کاهش با افزایش غلظت فلزهای سنگین، بیشتر شد. در بین فلزهای مورد بررسی میزان سمیت فلز کادمیوم (درصد جوانه‌زنی در غلظت ٤٠٠ میلی‌گرم در لیتر به صفر رسید) در مقایسه با سایر فلزها بیشتر بود و بعد از آن فلز کبالت در رتبه بعدی قرار گرفت. اثرات منفی فلزهای نیکل و سرب بر صفات مورد بررسی در مقایسه با دو فلز دیگر بسیار کمتر بود.

References

Ahsan, N., Lee, D.G., Lee, S.H., Kang, K.Y., Lee, J.J., Kim, P.J., Yoon, H.S., Kim, J.S. and Lee, B.H. 2007. Excess copper induced physiological and proteomic changes in germinating rice seeds. Chemosphere, 67: 1182-1193.

Arienzo, M., Adamo, P. and Cozzolino, V. 2004. The potential of *Lolium perenne* for revegetation of contaminated soil from a metallurgical site. The Science of the Total Environment, 319: 13-25.

Araujo, A.S.F. and Monteiro, R.T.R. 2005. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. Scientia Agricola, 62: 286-290.

Bahmani, R., Habibi, D. and Bihamta, M.R. 2014. Evaluation of common bean genotypes tolerance in response to cadmium stress at germination stage. Electronic Journal of Crop Production, 7 (4): 61-80. (In Persian).

Bajji, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2002. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). Canadian Journal of Botany, 80: 297-304.

Balestrasse, K.B., Gardey, L., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2001. Response of antioxidant defense system in soybean nodules and roots subjected to cadmium stress. Australian Journal of Plant Physiology, 28: 497-504.

Baycu, G., Doganay, T., Hakan, O. and Sureyya, G. 2006. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. Environmental Pollution, 143: 545-554.

Bhardwaj, P., Chaturvedi, A.K. and Prasad, P. 2009. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of *Phaselous vulgaris*. Nature and Science, 7: 63-75.

Bidar, G., Garc, G., Pruvot, C., Dewaele, D., Cazier, F., Douay, F. and Shirali P. 2007. Behavior of *Trifolium repens* and *Lolium perenne* growing in a heavy metal contaminated field: Plant metal concentration and phytotoxicity. Environmental Pollution, 147: 546-553.

Chatterjee, J. and Chatterjee, C. 2000. Phtotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. Environmental Pollution, 109: 69-74.

Coombes, A.J., Lepp, N.W. and Phipps, D.A. 1976. The effect of copper on IAA-oxidase activity in root tissue of barley (*Hordeum vulgare* cv. Zephyr). Zeitschrift fur Pflanzenphysiologie, 80: 236–242.

Das, P., Samantaray, S. and Rout, G.R. 1997. Studies of cadmium toxicity in plants-review. Environmental Pollution, 98 (1): 20-36

Elias, S.G. and Copeland, L.O. 2001. Physiological and harvest maturity of canola in relation to seed quality. Agronomy Journal, 93: 1054-1058.

Fuentes, D., Disante, K.B., Valdecantos, A., Cortina, J. and Vallejo, V.R. 2007. Sensitivity of Mediterranean woody seedlings to copper, nickel and zinc. Chemosphere, 66: 412-420.

Ghosh, M. and Singh, S.P. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. Asian Journal on Energy & Environment, 6: 214–231.

Gouia, H., Ghorbal, M.H. and Meyer, C. 2001. Effect of cadmium on activity of nitrat reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. Plant Physiology, 38: 629-638.

Jankaite, A. and Vasarevicius, S. 2007. Use of Poaceae f. species to decontaminate soil from heavy metals. Ekologija, 53: 84–89.

Jeliazkova, E.A., Craker, L.E. and Xing, B. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, 10: 83-93.

Kopyra, M. and Gwzdz, E.A. 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. Plant Physiology and Biochemistry, 41: 1011-1017.

Kranner, I. and Colville, L. 2011. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. Environmental and Experimental Botany, 72: 93–105.

Liu, X., Zhang, S., Shan, X.Q. and Christie, P. 2007. Combined toxicity of cadmium and arsenate to wheat seedlings and plant uptake and antioxidative enzyme responses to cadmium and arsenate co-contamination. Ecotoxicology and Environmental Safety, 68: 305-313.

Mishra, S., Srivastava, S. and Tripathi, P.D. 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in Baccopamonnieril. Plant Physiology and Biochemistry, 44: 25-37.

Nair, S.R. and Rajani, V. 2015. Effects of heavy metals on seed germination and protein content of *Vigna radiata* (l.) Wilczek. International Journal of Advanced Research, 3: 1306-1317.

Panda, S.K. and Choudhury, S. 2005. Chromium stress in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology, 17: 95-192.

Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L. and Tiemann, K.J. 2000. Study of the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) grown in soild media. Proceedings of the 2000 Conference on Hazardous Wast Research, pp: 135-140.

Ruan, S. 2002. The influence of priming on germination of rice seeds and seedling emergence and performance in flooded soil. Seed Science Technology, 30: 61-67.

Sabri, M., Tavily, A., Jafari, M. and Hidary, M. 2010. Effect of different levels of heavy metals on germination and growth seedling of atriplex (*Atriplex lentiformis*). Journal of Range, 1: 112-120. (In Persian).

Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants- review. Environmental and Experimental Botany, 41: 105-130.

Serida, K., Mohammad, B.A., Eun, J.H. and Kee, Y.P. 2008. Copper toxicity in *Withania somnifera*: Growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants. Environmental and Experimental Botany, 64: 279–285.

Shanker, K.A., Cervantes, C., Loza-Taversa, H. and Avudainayagam, S. 2005. Chromium toxicity in plants. Environment International, 31: 739-753.

Shen, J.B., Xu, L. Y., Jin, X.Q., Chen, J.H. and Lu, H.F. 2008. Effect of temperature regime on germination of seed of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). Grass and Forage Science, 63: 249–256.

Shulan, Z., Qing L., Yanting, Q. and Lian, D. 2010. Responses of root growth and protective enzymes to copper stress in turf grass. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 52: 7–11.

Siddhu, G. and Ali Khan, M.A. 2012. Effects of cadmium on growth and metabolism of *Phaseolus mungo*. Journal of Environmental Biology, 33: 173-179.

Smith, R.A.H. and Bradshaw, A.D. 1979. The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes. Journal of Applied Ecology, 16: 595-612.

Sundaramoorthy, P., Alagappan, C., Kaliyaperumal, S.G., Pachikkaran, U. and Logalashmanan, B. 2010. Chromium stress in paddy: (i) Nutrient status of paddy under chromium stress; (ii) Phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. Comptes Rendus Biologies, 333: 597-607.

Talebi, S., Nabavi Kalat, S.M. and Sohani Darban, A.L. 2014. The study effects of heavy metals on germination characteristics and proline content of triticale (*Triticoseale Wittmack*). International Journal of Farm & Allied Science, 3 (10): 1080-1087.

Veselov, D., Kudoyarova, G., Symonyan, M. and Veselov, S. 2003. Effect of cadmium on ion uptake transpiration and cytokinin content in wheat seedlings. Bulgarian Journal of plant physiology, Special issue pp: 353-359.

Wang, X.F. and Zhou, Q.X. 2005. Ecotoxicological effects of cadmium on three ornamental plants. Chemosphere, 60: 16-21.

Yang, Y., Wei, X., Lu, J., You, J., Wang, W. and Shi, R. 2010. Lead–induced phytotoxicity mechanism involved in seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Ecotoxicology and environmental safety, 73: 1982-1987.