



علوم و تحقیقات بذر ایران
سال سوم/ شماره دوم/ ۱۳۹۵ (۱۰۵ - ۹۵)



تأثیر غلظت‌های مختلف برخی فلزات سنگین بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)

فاطمه امینی^۱، حمیدرضا بلوچی^{۲*}، محسن موحدی دهنوی^۲، محمود عطارزاده^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۱۷

چکیده

فلزات سنگین بیوسفر از زمان شروع انقلاب صنعتی در حال افزایش است و سمیت فلزات سنگین سبب اختلال در فرایند جوانه‌زنی و رشد گیاهان می‌گردد. به‌منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین بر جوانه‌زنی لوبیا (رقم صدری) آزمایشی در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار شامل غلظت‌های مختلف نیترات کادمیوم، نیترات نیکل، نیترات سرب و سولفات مس در غلظت‌های مختلف ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و یک تیمار شاهد بود. صفات مورد بررسی شامل شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی)، طول و وزن گیاهچه و شاخص بنیه بذر بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر در تیمار شاهد و کم‌ترین آن‌ها در ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات سرب بود. با افزایش غلظت سرب، سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه روند نزولی را نشان داد. غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم سبب کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر لوبیا نسبت به شاهد گردید. افزایش غلظت کادمیوم سبب اختلال در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر لوبیا گردید. سمیت غلظت مس نسبت به نیکل اثر منفی بیش‌تری بر سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و بنیه گیاهچه داشت. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که کادمیوم و سرب ممکن است به گیاهان اجازه‌ی جوانه زدن را بدهد، اما افزایش غلظت آن‌ها سبب اختلال در برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر لوبیا چیتی گردید.

واژگان کلیدی: آلودگی محیط زیست، سرب، کادمیوم، قدرت جوانه‌زنی، لوبیا

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

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۳- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

* نویسنده مسئول: balouchi@yu.ac.ir

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین با توجه به اثرات آن در به خطر افتادن سلامتی انسان، اختلال در فرایندهای رشد و نمو گیاهان و اثرات طولانی مدت آن بر کیفیت و حاصلخیزی خاک، تبدیل به یک نگرانی جهانی شده است (Gisbert *et al.*, 2003). میزان سمیت هر عنصر در گیاهان مختلف متفاوت بوده و بستگی به گونه گیاهی، نوع عنصر، غلظت آن، اسیدیته خاک و نوع ترکیبات خاک دارد (Kafi *et al.*, 2012). سطح فلزات سنگین بیوسفر به طور فزاینده‌ای از زمان شروع انقلاب صنعتی در حال افزایش است و سمیت فلزات سنگین و آلودگی‌های محیطی ناشی از آن‌ها شامل تخریب زمین‌های زراعی و اختلال در فرایندهای جوانه‌زنی و رشد گیاهان می‌گردد (Zengin and Munzuroglu, 2005). مطابق تعریف فلزات سنگین عناصری هستند که از وزن مولکولی آن‌ها از عنصر آهن سنگین‌تر و وزن مخصوص آن‌ها بیش‌تر از ۴/۵ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. فلزات سنگینی مانند مس، نیکل و کبالت میل ترکیبی شدید با گروه‌های آهن سولفیدریل (SH) دارند و آنزیم‌ها را متلاشی کرده و قدرت آنزیمی آن‌ها را از بین می‌برند. این فلزات قابلیت تجمع در بافت حیوانی و گیاهی را دارند. فلزات سنگین شامل عناصر نیکل (وزن مولکولی ۵۸/۶۹)، سرب (وزن مولکولی ۲۰۷/۲)، جیوه (وزن مولکولی ۲۰۰/۵۹)، مس (وزن مولکولی ۶۳/۵۵)، کروم (وزن مولکولی ۵۱/۹۹) و کادمیوم (وزن مولکولی ۱۱۲/۴۱) هستند (Holum, 1983). منابع طبیعی و انسانی بسیاری وجود دارند که می‌توانند باعث تجمع غلظت‌های بالایی از فلزات شوند، که می‌توان آن‌ها را به منابع طبیعی، کشاورزی، صنعتی، شهری و حمل و نقل تقسیم کرد (Kafi *et al.*, 2012).

در تحقیقی بهار دواج و همکاران (Bhardwaj *et al.*, 2009) چنین گزارش دادند که در گیاه لوبیا درصد جوانه‌زنی در غلظت کم کادمیوم در مقایسه با شاهد تحت تأثیر قرار نگرفت، اما در غلظت بالاتر کادمیوم یعنی غلظت ۳ گرم بر کیلوگرم خاک سبب ممانعت از جوانه‌زنی گردید. براساس نتایج تحقیق پراتا و همکاران (Peralta *et al.*, 2001) با افزایش غلظت فلز کادمیوم در محیط کشت یونجه (*Medicago sativa* L.)، صفات جوانه‌زنی بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافتند. در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، جوانه‌زنی بذر هم‌اندازه شاهد

بود، هرچند که طول ساقه‌چه حدود ۱۷٪ کاهش یافت و طول ریشه حدود ۲۲٪ بیش‌تر از تیمار شاهد بود، اما در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر جوانه‌زنی بذر و طول گیاهچه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم منجر به مرگ اغلب گیاهچه‌های یونجه گردید. محققان تأخیر در ظهور گیاهچه را از نشانه‌های سمیت کادمیوم گزارش نموده‌اند (Schutzendubel *et al.*, 2001؛ Lee *et al.*, 2003). بررسی‌ها نشان داده است که کادمیوم بر تقسیم و رشد سلول‌های مریستمی و رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد (Benavides *et al.*, 2005). ایران‌بخش و همکاران (Iranbakhsh *et al.*, 2010) چنین گزارش دادند که پس از چهار روز در گیاه سویا درصد و سرعت جوانه‌زنی با بالا رفتن غلظت کلرید سرب افزایش یافت. طول ریشه و اندام هوایی در گیاهان تحت تیمار سرب کاهش نشان داد، که این کاهش تنها در غلظت‌های بالای سرب (۴/۵ و ۶/۵ میلی‌مول سرب) از نظر آماری معنی‌دار بود.

مارکوئزگارسیا و همکاران (Marquez-Garsia *et al.*, 2013) نیز بیان داشتند فلز نیکل جوانه‌زنی را در گیاه *Salicornia ramosissima* کاهش داد، اما سرعت جوانه‌زنی در هر دو گونه *S. ramosissima* و *Atriplex halimus* تحت تأثیر نیکل قرار نگرفت. طول ریشه‌چه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. اما فلز مس در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ میکرومولار طول ریشه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. با توجه به آلودگی ناشی از فلزات سنگین در بعضی خاک‌های زراعی و تأثیر آن بر جوانه‌زنی و فرایندهای مختلف رشد گیاه و از طرف دیگر اهمیت گیاه لوبیا به عنوان یک گیاه مهم زراعی، پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثرات غلظت‌های مختلف فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و مس بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر لوبیا رقم صدر انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین مختلف بر برخی مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لوبیا چیتی رقم صدری در سال ۱۳۹۲ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا گردید. این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام

GP = درصد جوانه‌زنی، NG = تعداد بذرهای جوانه‌زده و NT = تعداد کل بذرها بود.

$$D_i / RS = \sum_{i=1}^n (S_i) \quad \text{رابطه (۲)}$$

RS سرعت جوانه‌زنی بذر، S_i = تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، D_i = تعداد روز تا شمارش n ام بود.

همچنین شاخص بنیه بذر از طریق رابطه ۳ بدست آمد (Copeland and McDonald, 2001).

$$SVI = (MS + MR) \times \left(\frac{GP}{100}\right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

SVI = شاخص بنیه بذر، MS = میانگین طول ساقه‌چه، MR = میانگین طول ریشه‌چه و GP = درصد جوانه‌زنی بود.

داده‌های آزمایش پس از بررسی نرمال بودن و کشیدگی و چولگی آنها به صورت یک آزمایش با ۱۷ تیمار بر پایه طرح کاملا تصادفی با ۵ تکرار با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فلزات سنگین بر سرعت جوانه‌زنی بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین سرعت جوانه‌زنی بذر متعلق به تیمار شاهد با میانگین ۵/۶۶ بذر در روز بود، اما کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی بذر متعلق به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات سرب با میانگین ۳/۵۶ بذر در روز مشاهده گردید که در مقایسه با تیمار شاهد کاهشی حدود ۳۷/۱٪ را نشان داد (جدول ۲).

شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس هر کدام در چهار سطح (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و یک تیمار بدون فلزات سنگین به عنوان شاهد بود. ابتدا بذرهای سالم و درشت لوبیا چیتی از بذرهای چروکیده جدا گردید و با محلول هیپوکلریت سدیم دو درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شدند. سپس با آب مقطر سه مرتبه شستشو داده شدند، پس از آن درون هر پتری‌دیش بر روی کاغذ صافی بیست عدد بذر قرار داده شد و تیمارهای مختلف اعمال گردیدند. برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد و طی دوره‌ی رشد در صورت نیاز آبیاری واحدهای آزمایشی با تیمارهای مربوطه صورت گرفت. پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تاریکی به مدت ده روز گذاشته شدند (ISTA, 2010). پس از کشت بذور، روزانه تعداد بذور جوانه‌زده در هر واحد آزمایشی به‌منظور برآورد سرعت جوانه‌زنی شمارش شدند و صفات درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی اندازه‌گیری گردید. بذری که ریشه‌چه‌ی آن دو میلی‌متر از پوسته‌ی بذر خارج شده بود به عنوان بذور جوانه‌زده در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2001). در روز دهم بعد از شمارش تعداد بذرهای جوانه‌زده، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه با قرار دادن آن‌ها در آون با ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، تعیین گردید. درصد و سرعت جوانه‌زنی، با شمارش تعداد بذرها و با استفاده از رابطه ۱ و ۲ محاسبه شدند (Maguire, 1962; Nichols and Heydecker, 1986).

$$GP = (NG/NT) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

Table 1. Analysis of variance (mean square) for studied traits

منابع تغییر	درجه آزادی	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه
S.O.V	df	Germination rate	Germination percentage	Radicle length	Plumule length
تیمار	16	1.76**	431.94**	3.58**	6.76**
خطا	68	0.36	75.58	1.11	2.41
ضرب تغییرات	-	12.68	11.07	32.72	37.76
C.V (%)					

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

**، * and ^{ns} is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر فلزات سنگین بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقچه و ریشه‌چه در گیاهچه لوبیا
 Table 2. compares the average effect of heavy metals on the percentage and rate of germination, length of root and shoot in seedling bean

تیمار Treatment	غلظت (میلی گرم در لیتر) Concentration (mg/l)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed per day)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقچه (سانتی‌متر) Plumule length (cm)
Control	0	5.66 ^a	97 ^a	4.71 ^a	4.61 ^{a-c}
Cd(NO ₃) ₂	25	5.06 ^{a-d}	82 ^{b-d}	2.95 ^{b-f}	3.62 ^{b-e}
Cd(NO ₃) ₂	50	4.54 ^{d-f}	71 ^{ef}	2.42 ^{e-g}	3 ^{c-e}
Cd(NO ₃) ₂	75	4.72 ^{b-f}	79 ^{b-e}	2.12 ^{fg}	2.57 ^{de}
Cd(NO ₃) ₂	100	4.25 ^{e-g}	67 ^{fg}	1.48 ^g	1.90 ^e
Pb(NO ₃) ₂	25	5.62 ^a	89 ^{ab}	2.61 ^{d-g}	2.97 ^{c-e}
Pb(NO ₃) ₂	50	4.32 ^{d-g}	76 ^{c-f}	3.16 ^{b-f}	4.34 ^{a-d}
Pb(NO ₃) ₂	75	4.02 ^{fg}	66 ^{fg}	3.68 ^{a-e}	5.38 ^{ab}
Pb(NO ₃) ₂	100	3.56 ^g	58 ^g	4.05 ^{ab}	5.63 ^a
Ni(NO ₃) ₂	25	5.42 ^{ab}	86 ^{bc}	3.82 ^{a-d}	5.41 ^{ab}
Ni(NO ₃) ₂	50	4.53 ^{d-f}	78 ^{c-e}	3.97 ^{a-c}	5.30 ^{ab}
Ni(NO ₃) ₂	75	4.47 ^{d-f}	75 ^{d-f}	4.52 ^a	5.83 ^a
Ni(NO ₃) ₂	100	5.38 ^{a-c}	80 ^{b-e}	3.40 ^{b-f}	4.26 ^{a-d}
CuSO ₄	25	4.74 ^{b-f}	80 ^{b-e}	2.68 ^{c-g}	3.11 ^{c-e}
CuSO ₄	50	4.62 ^{c-f}	84 ^{b-d}	2.95 ^{b-f}	3.62 ^{b-e}
CuSO ₄	75	5.49 ^{ab}	84 ^{b-d}	3.19 ^{b-f}	4.01 ^{a-d}
CuSO ₄	100	4.82 ^{b-e}	82 ^{b-d}	3.07 ^{b-f}	4.34 ^{a-d}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level

این یافته‌ها با نتایج تحقیقات سفاکسی باسیه و همکاران (Sfaki Bousbih *et al.*, 2010) در رابطه با تأثیر فلز کادمیوم بر گیاه لوبیا که بیان داشتند سرعت جوانه‌زنی بذر تحت تأثیر سمیت کادمیوم حدود ۴۲٪ کاهش یافت، مطابقت دارد. غلظت‌های پایین فلزات سنگین جوانه‌زنی بذر را اندکی تحریک می‌کنند، این را می‌توان به تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و نیتروژن (RNS) مانند نیتریک اکسید (NO) نسبت داد، در نتیجه تنش اکسیداتیو به آرامی افزایش می‌یابد که جوانه‌زنی بذر را تحریک می‌کند (Kranter and Colville, 2011).

نتایج حاصل از این تحقیق نیز مؤید این موضوع است. زیرا در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم، سرب و نیکل، سرعت جوانه‌زنی بذر در مقایسه با غلظت‌های بالاتر سرعت جوانه‌زنی بیش‌تر بود. فلزات سنگین اثر مهارکنندگی خود را بر جوانه‌زنی دانه‌ها به روش‌های گوناگون اعمال می‌کنند. برخی فلزات سنگین با مهار هیدرولیز نشاسته آندوسپرم سرعت جوانه‌زنی و رشد اولیه بذر جلوگیری می‌کنند و برخی دیگر با آسیب رساندن به رویان از جوانه‌زنی دانه جلوگیری می‌کنند (Mishra and Choudhuri, 1997).

با افزایش غلظت نیترات کادمیوم سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت، به طوری که تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم با تیمار شاهد از نظر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند؛ اما تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر این فلز با شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار بود. در فلز سرب نیز با افزایش غلظت روندی نزولی مشاهده شد، در این فلز، تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات سرب و شاهد در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند؛ اما تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر این فلز با شاهد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود. در فلز نیکل بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی بذر متعلق به تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات نیکل مشاهده شد و با شاهد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود؛ در حالی که با تیمارهای ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشت. در فلز مس بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی بذر متعلق به تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس بود و با شاهد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود اما کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی بذر در فلز مس مربوط به تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس بود و با شاهد از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۲).

لیتر کاهش یافت، هرچند که این چهار غلظت با یکدیگر از نظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار بودند؛ اما هر چهار غلظت این عناصر با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۲).

نتایج آزمایشات پراتا و همکاران (Peralta et al., 2001) نیز بیانگر این موضوع بود که با افزایش غلظت عناصر کادمیوم و نیکل در محیط کشت یونجه (*Medicago sativa L.*)، جوانه‌زنی بذر کاهش یافت، که با این نتایج هم‌خوانی دارد. بهارداواج و همکاران (Bhardwaj et al., 2009) نیز گزارش دادند درصد جوانه‌زنی بذر گیاه لوبیا در غلظت کم سرب در مقایسه با شاهد تحت تأثیر قرار نگرفت. سیدیکویی (Siddiqui, 2012) نیز بیان داشت که سرب تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هیچ‌گونه تغییر معنی‌داری را در جوانه‌زنی بذر گیاه ماش سبز القا نکرد، اما در غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر جوانه‌زنی بذر را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. در نتیجه سرب می‌تواند پتانسیل جوانه‌زنی بذر را از طریق بازداری از تقسیم میتوزی و ایجاد خطاهای بزرگ سیتوژنتیکی در گیاهچه‌ها کاهش دهد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز نتایج کار پژوهشگران ذکر شده در بالا را تأیید کرد. رحمان‌خان و محمودخان (Rahman Khan and Mahmud Khan, 2010) کاهش جوانه‌زنی بذر را در حضور نیکل گزارش کردند که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقایسات گروهی داده‌ها نشان داد که اثر فلزات سنگین کادمیوم و سرب در مقابل گروه فلزات کم‌مصرفی هم‌چون مس و نیکل و همین‌طور مقایسه گروه تیماری کادمیوم در مقابل گروه تیماری سرب برای صفت درصد جوانه‌زنی نهایی بذر فاقد تفاوت معنی‌دار بود، اما تیمارهای نیکل در مقابل گروه تیمارهای مس در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری بودند (جدول ۳). تیمارهای نیترا نیکل اثر منفی بیش‌تری در مقابل تیمارهای سولفات مس بر درصد جوانه‌زنی نهایی بذر داشتند (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقایسات گروهی داده‌ها نشان داد که اثر فلزات سنگین کادمیوم و سرب در مقابل گروه فلزات کم‌مصرفی هم‌چون مس و نیکل و همین‌طور مقایسه گروه تیمارهای کادمیوم در مقابل گروه تیمارهای سرب برای صفت سرعت جوانه‌زنی بذر فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود، اما مقایسات گروهی تیمارهای نیکل در مقابل گروه تیمارهای مس در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). تیمارهای سولفات مس اثر منفی بیش‌تری در مقابل تیمارهای نیترا نیکل داشتند (جدول ۲).

درصد جوانه‌زنی بذر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فلزات سنگین بر درصد جوانه‌زنی بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی نهایی بذر متعلق به تیمار شاهد (۹۷٪) و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر متعلق به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترا نیکل (۵۸٪) بود که نسبت به شاهد ۳۹٪ کاهش نشان داد (جدول ۲). در تیمار نیترا کادمیوم بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر (۸۲٪) و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر در این فلز مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۶۷٪ جوانه‌زنی بود، این غلظت نسبت به شاهد ۳۰٪ کاهش نشان داد. در تیمار نیترا سرب با افزایش غلظت آن روندی نزولی مشاهده شد، در این تیمار غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر و شاهد در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود؛ اما تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر این تیمار با شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار بود. در تیمار نیترا نیکل بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر متعلق به تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نیترا نیکل (۸۶٪) بود و با شاهد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود؛ در حالی که با تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترا نیکل از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. در تیمار سولفات مس از غلظت ۲۵ تا ۷۵ میلی‌گرم در لیتر، درصد جوانه‌زنی نهایی بذر افزایش یافت، اما در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در

جدول ۳- تجزیه واریانس مقایسات گروهی برای صفات مورد بررسی

Table 3. Analysis of variance for comparison of group traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سرعت جوانه زنی Germination rate	درصد جوانه زنی Germination percentage	طول ریشه چه Radicle length	طول ساقه چه Plumule length
کادمیوم و سرب - نیکل و مس Cadmium and Pb - nickel and copper	1	0.083 n.s	45 n.s	6.96*	10.20*
کادمیوم - سرب Cadmium -Pb	1	0.006 n.s	2.50 n.s	0.04 n.s	0.01 n.s
نیکل - مس nickel - copper	1	3.130 **	1322.5**	4.23 *	1.26 n.s

ns و **، * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی دار.

ns, * and ** is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

طول گیاهچه (ریشه چه و ساقه چه)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فلزات سنگین بر صفت طول گیاهچه (ریشه چه و ساقه چه) در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). در میان تمام تیمارها، بیشترین طول ساقه چه در تیمار ۷۵ میلی گرم در لیتر نیترات نیکل با میانگین ۵/۸۳ سانتی متر و کمترین آن در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم با میانگین ۱/۹ سانتی متر بود. بیشترین طول ریشه چه در تیمار شاهد با میانگین ۴/۷۱ سانتی متر و کمترین در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم با میانگین ۱/۴۸ سانتی متر بود که نسبت به تیمار شاهد ۶۸/۶۳٪ کاهش نشان داد (جدول ۲). با افزایش غلظت نیترات کادمیوم، طول ساقه چه و طول ریشه چه نیز به طور معنی داری کاهش یافت، این کاهش در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نیترات کادمیوم با شاهد دارای اختلاف معنی دار بود. برای صفت طول ریشه چه، تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نیترات سرب از نظر آماری با شاهد اختلاف آماری معنی دار داشتند، اما در مورد طول ساقه چه هیچ کدام از تیمارهای فوق با شاهد تفاوت معنی داری نداشتند. در رابطه با تأثیر فلز نیکل بر طول ریشه چه، تنها تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نیترات نیکل از نظر آماری با شاهد اختلاف معنی دار داشت، در حالی که بین سایر تیمارهای نیترات نیکل با شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد. در رابطه با تأثیر عنصر مس بر طول ساقه چه نیز تمام تیمارها با شاهد فاقد اختلاف معنی دار بودند، اما بر صفت طول ریشه چه در مقایسه با شاهد دارای تفاوت معنی دار بودند (جدول ۲). رشد یکی از بهترین شاخصها برای ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی می‌باشد،

نتایج این تحقیق در رابطه با کاهش طول ساقه چه و ریشه چه با نتایج آزمایشات پرالتا و همکاران (Peralta et al., 2001) مبنی بر تأثیر کاهنده‌ی عناصر کادمیوم و نیکل بر طول ریشه چه و ساقه چه یونجه همخوانی دارد. یکی از دلایل کاهش طول ساقه چه در شرایط تنش کادمیوم، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین است. علاوه بر آن کاهش جذب آب توسط بذر در شرایط تنش باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه (ریشه چه و ساقه چه) می‌شود (Chaoui and El Ferjani, 2005). عناصری مثل کادمیوم از طریق تأثیر بر پمپ‌های پروتونی و اختلال در آن‌ها سبب کاهش رشد ناشی از کاهش تقسیم سلولی و طولی شدن سلول می‌شوند (Liu et al., 2004). مسمومیت‌های فلزی ممکن است از طریق نمک‌های مختلف که موجب پاسخ‌های مختلف اندامک‌ها می‌شوند ایجاد شوند (Montvydiene et al., 2008).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقایسات گروهی داده‌ها نشان داد که فلزات سنگین کادمیوم و سرب در مقابل گروه فلزات کم‌مصرف مس و نیکل از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی داری نشان داد. تیمارهای فلزات سنگین کادمیوم و سرب اثر منفی بیش-تری در مقابل تیمارهای فلزات کم مصرف مس و نیکل داشتند، اما مقایسه گروه تیمارهای کادمیوم در مقابل گروه تیمارهای سرب برای صفت طول گیاهچه (ریشه چه و ساقه چه) فاقد تفاوت معنی دار بود. تیمارهای نیکل در مقابل گروه تیمارهای مس برای صفت طول ساقه چه تفاوت معنی داری نداشت، ولی برای صفت طول ریشه چه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی داری را نشان داد

شاهد (به ترتیب ۲۲/۷۳ میلی‌گرم و ۴۸/۱۷ میلی‌گرم) بدست آمد. در میان فلزات سنگین مورد استفاده در این پژوهش، کم‌ترین وزن خشک ریشه‌چه مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم با ۷۱/۸۴ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد و کم‌ترین وزن خشک ساقه‌چه نیز متعلق به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم با ۷۱/۵۷ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد بود (جدول ۵).

(جدول ۳). تیمارهای سولفات مس اثر منفی بیش‌تری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در مقابل تیمارهای نیترات نیکل داشتند (جدول ۲).

وزن خشک گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فلزات سنگین بر صفت وزن خشک گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در تیمار

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

Table 4. Analysis of variance (mean square) for studied traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
تیمار Treatment	16	92.53**	388.9**	14.04**
خطا error	68	29.80	138.52	5.37
ضریب تغییرات C.V (%)	-	37.96	37.11	14.76

*, ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

*, * and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

آماری با تیمار شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بودند، درحالی که در فلز نیکل، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ساقه‌چه به ترتیب در تیمار ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۵).

کادمیوم با اختلال در تنفس و متابولیسم بذرهای منجر به کاهش رشد گیاهچه می‌شود که به دنبال آن وزن خشک اندام هوایی و ریشه نیز کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شده است که علت کاهش وزن در ریشه و اندام هوایی گیاه لوبیا به دلیل اختلال در جذب آب و عناصر غذایی می‌باشد (Goui et al., 2001). با افزایش غلظت نیترات کادمیوم و سرب وزن خشک ریشه‌چه و با افزایش غلظت نیترات کادمیوم، سرب و مس، وزن خشک ساقه‌چه نیز کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که فلز مس ممکن است به گیاهان اجازه‌ی جوانه زدن را بدهد؛ اما بر نمو گیاهچه، توقف رشد ریشه با مداخله در تقسیم میتوزی (Yilddiz et al., 2009) یا از طریق کمبود عناصر غذایی جنین به علت کاهش حرکت ذخایر غذایی از لپه شود (Sfaxi Bousbih et al., 2010).

در تیمار نیترات کادمیوم با افزایش غلظت از ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، وزن خشک ریشه‌چه یک روند نزولی را نشان داد. هر چهار غلظت نیترات کادمیوم با تیمار شاهد از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار بودند. در تیمار نیترات سرب نیز با افزایش غلظت از ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در وزن خشک ریشه‌چه یک روند نزولی مشاهده شد و فقط تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تیمار شاهد در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند. در تیمار نیترات نیکل و سولفات مس روند خاصی مشاهده نشد و هر چهار تیمار ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس با شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بودند. در تیمار نیترات نیکل تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۵). افزایش غلظت نیترات کادمیوم، نیترات سرب و سولفات مس سبب کاهش صفت وزن خشک ساقه‌چه گردید که هر چهار تیمار ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم و سولفات مس با شاهد تفاوت معنی‌دار داشتند. نیترات سرب تنها در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از لحاظ

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر فلزات سنگین بر وزن خشک ریشه چه، ساقه چه و بنیه گیاهچه لوبیا

Table 5. compares the average effect of heavy metals on root dry weight, shoot and seedling vigor bean

تیمار	غلظت (میلی گرم در لیتر)	وزن خشک ریشه چه (میلی گرم)	وزن خشک ساقه چه (میلی گرم)	شاخص بنیه گیاهچه
Treatment	Concentration (mg/l)	Radicle dry weight (mg)	Plumule dry weight (mg)	Seedling vigor index
Control	0	22.73 ^a	48.17 ^a	9.03 ^a
Cd(NO ₃) ₂	25	12.30 ^{cd}	32.75 ^{b-d}	5.41 ^{b-e}
Cd(NO ₃) ₂	50	10.32 ^{cd}	23.80 ^{de}	3.90 ^{ef}
Cd(NO ₃) ₂	75	10.38 ^{cd}	23.75 ^{de}	3.68 ^{ef}
Cd(NO ₃) ₂	100	6.40 ^d	13.69 ^e	2.27 ^f
Pb(NO ₃) ₂	25	22.77 ^a	40.89 ^{a-c}	4.99 ^{c-f}
Pb(NO ₃) ₂	50	20.01 ^{ab}	39.75 ^{a-c}	5.71 ^{b-e}
Pb(NO ₃) ₂	75	14.14 ^{bc}	32.40 ^{b-d}	5.98 ^{b-e}
Pb(NO ₃) ₂	100	11.83 ^{cd}	23.10 ^{de}	5.61 ^{b-e}
Ni(NO ₃) ₂	25	13.82 ^{bc}	35.67 ^{a-d}	8.11 ^{ab}
Ni(NO ₃) ₂	50	15.31 ^{bc}	37.30 ^{a-d}	7.23 ^{a-d}
Ni(NO ₃) ₂	75	16.90 ^{a-c}	43.83 ^{ab}	7.87 ^{a-c}
Ni(NO ₃) ₂	100	14.39 ^{bc}	34.64 ^{a-d}	6.17 ^{a-e}
CuSO ₄	25	12.56 ^{cd}	30.44 ^{b-d}	4.73 ^{d-f}
CuSO ₄	50	13.21 ^{b-d}	28.89 ^{c-d}	5.68 ^{b-e}
CuSO ₄	75	15.09 ^{bc}	27.56 ^{c-e}	5.99 ^{b-e}
CuSO ₄	100	12.22 ^{cd}	23.33 ^{de}	6.04 ^{b-e}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level

مقابل گروه تیمارهای مس در سطح احتمال یک درصد برای هر دو صفت فوق تفاوت آماری معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). غلظت‌های مختلف سولفات مس، اثر منفی بیش‌تری در مقابل تیمارهای نیترات نیکل برای صفات وزن خشک ریشه چه و ساقه چه از خود نشان دادند (جدول ۵).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقایسات گروهی داده‌ها نشان داد که فلزات سنگین کادمیوم و سرب در مقابل گروه فلزات کم‌مصرفی هم‌چون مس و نیکل و همین‌طور مقایسه گروه تیمارهای کادمیوم در مقابل گروه تیمارهای سرب برای صفت وزن خشک گیاهچه (ریشه چه و ساقه چه) فاقد تفاوت معنی‌دار بود. مقایسات گروهی تیمارهای نیکل در

جدول ۶- تجزیه واریانس مقایسات گروهی برای صفات مورد بررسی

Table 6. Analysis of variance for comparison of group traits

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ریشه چه	وزن خشک ساقه چه	شاخص بنیه گیاهچه
S.O.V	df	Radicle dry weight	Plumule dry weight	Seedling vigor index
کادمیوم و سرب - نیکل و مس	1	44.04 ^{n.s}	191.3 ^{n.s}	27.12*
Cadmium and Pb - nickel and copper				
کادمیوم - سرب	1	20.73 ^{n.s}	104.49 ^{n.s}	0.72 ^{n.s}
Cadmium -Pb				
نیکل - مس	1	698.7**	3460.3**	31.39*
nickel - copper				

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

**، * and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

تیمار شاهد با میانگین ۹/۰۳ و کم‌ترین میزان این شاخص متعلق به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات کادمیوم با میانگین ۲/۲۷ بود، که نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۵). تمام تیمارهای نیترات کادمیوم بر شاخص بنیه طولی گیاهچه در مقایسه با شاهد دارای

شاخص بنیه گیاهچه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فلزات سنگین بر شاخص بنیه طولی گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در میان تمام تیمارهای فلزی، بیش‌ترین میزان شاخص بنیه طولی در

طولی گیاهچه از خود نشان دادند، اما مقایسه گروه تیمارهای کادمیوم در مقابل گروه تیمارهای سرب برای صفت فوق فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود. تیمارهای نیکل در مقابل گروه تیمارهای مس برای صفت فوق در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). تیمارهای سولفات مس اثر منفی بیش‌تری در مقابل تیمارهای نیترا نیکل برای صفت بنیه طولی گیاهچه از خود نشان دادند (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که نیترا نیکل و کادمیوم و نیترا نیکل سرب ممکن است به گیاهان اجازه‌ی جوانه زدن را بدهد، اما با افزایش غلظت کادمیوم سبب اختلال در نمو گیاهچه، که منجر به توقف رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر لوبیا می‌گردد. همچنین سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر لوبیا و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز با افزایش غلظت سرب روند نزولی را نشان داد. اما در نیترا نیکل و سولفات مس روند خاصی مشاهده نشد. غلظت‌های مختلف سولفات مس، اثر منفی بیش‌تری نسبت به نیترا نیکل برای صفات سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و بنیه طولی گیاهچه از خود نشان دادند.

تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد بودند. همچنین این شاخص با افزایش غلظت نیترا نیکل کاهش یافت. غلظت‌های مختلف نیترا نیکل سرب، شاخص بنیه طولی گیاهچه را نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌دار نشان دادند. در میان غلظت‌های مختلف فلز نیکل هیچ‌کدام از آن‌ها بر بنیه طولی گیاهچه تأثیر معنی‌داری نداشت، اختلاف تمام تیمارهای فلز مس با تیمار شاهد برای شاخص بنیه طولی گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۵). وجود فلزات سنگین در محیط جوانه‌زنی به دلیل نفوذ سریع به داخل بذر همراه با آب از طریق تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی مهم از جمله تنفس و ممانعت از تقسیم سلول‌ها، سبب اختلال در رشد گیاهچه می‌شود (Marquez Garsia *et al.*, 2013؛ 2011, 2003). شاخص بنیه بذر و انرژی لازم برای جوانه‌زنی معیاری از قدرت بذر هستند که بالاتر بودن آن‌ها نشانه توانایی بیش‌تر بذر برای جوانه‌زنی است (Abdul Baki and Anderson, 1973).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقایسات گروهی داده‌ها نشان داد که فلزات سنگین کادمیوم و سرب در مقابل گروه فلزات کم‌مصرفی هم‌چون مس و نیکل بر صفت بنیه طولی گیاهچه از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. تیمارهای فلزات سنگین کادمیوم و سرب اثر منفی بیش‌تری در مقابل تیمارهای فلزات کم‌مصرف مس و نیکل برای صفت بنیه

منابع

- Abdul Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Journal of Crop Science*, 13: 630-633. **(Journal)**
- Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Plant Physiology*, 17(1): 21-34. **(Journal)**
- Bhardwaj, P., Chaturvedi, A.K. and Prasad, P. 2009. Effect of Enhanced Lead and Cadmium in soil on Physiological and Biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L. *Nature and Science*, 7(8): 63-66. **(Journal)**
- Chaoui, A. and El Ferjani, M.H. 2005. Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedling. *Comptes Rendus Biologies*, 328: 23-31. **(Journal)**
- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 2001. Seed vigor and vigor tests, 121-144 p. In: Copeland LO, McDonald MB (Eds.). *Principles of Seed Science and Technology*. 4th Edition. Kluwer Academic Publishing Group. **(Book)**
- Gisbert, G., Ros, R., Haro, A.D., Walker, D.J., Bernal, M.P., Serrano, R. and Navarro-Avino, J. 2003. A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation. *Biochemical Biophysics Commun*, 303: 440-445. **(Journal)**
- Goui, H., Ghorbal, M.H. and Meyer, C. 2001. Effect of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology*, 38: 629-638. **(Journal)**

- Holum, J.R. 1983. Elements of General and Biological Chemistry, 6th Edition, John Wiley and Sons, N.Y. 469pp. **(Book)**
- International Seed Testing Association. 2010. International Rules for seed testing. 356 Pp. **(Handbook)**
- Iranbakhsh, A.R., Majd, A. and Naghavi, F. 2010. The Study of the effects of lead and Zinc on seed germination and seedling growth of soybean (*Glycine max* L.). Journal on Plant Science Research, 5(4): 63-73. (In Persian)**(Journal)**
- Kafi, M., Borzouei, M., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. 2012. Physiology of plants to environmental stresses. University of Mashhad Press. 502 pages. (In Persian)**(Journal)**
- 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. **(Journal)**
- Lee, J., Bae, H., Jeong, J., Lee, J.Y., Yang, Y.Y. and Hwang, I. 2003. Functional expression of abacterial Heavy metal transporter in Arabidopsis enhances resistance and decrease uptake of heavy metals. Plant Physiology, 133: 589-59. **(Journal)**
- Liu, D., Jiang, W. and Gao, X. 2004. Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tips of garlic. Biologia Plantarum, 47: 79-83. **(Journal)**
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science, 2: 176-177. **(Journal)**
- Marquez Garsia, B., Marquez, C., Sanjose, I., Nieva, F.J.J., Rodriguez Rubio, P. and Munoz-Rodriguez, A.F. 2013. The effects of heavy metals on germination and seedling characteristics in two halophyte species in Mediterranean marshes. Marine Pollution Bulletin, 70: 119-124. **(Journal)**
- Mishra, A. and Choudhuri, M.A. 1997. Differential effect of Pb²⁺ and Hg²⁺ on inhibition of germination of seed of two rice cultivars. Indian Journal of Plant Physiology, 291: 41-44. **(Journal)**
- Montvydiene, D., Marciulioniene, D., Kazlauskene, N., Ratkelyte, E., Luksiene, B., Tautkus, S. and Padaruskas, A. 2008. Toxic impact of different salts of metals on organisms, 7th International Conference on Environmental Engineering. pp: 231-238. **(Conference)**
- Nichols, M.A. and Heydecker, W. 1986. Two approaches to the study of germination date. Proc. International. Seed Test, 33: 531-540. **(Journal)**
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E. and Parsons, J.G. 2001. Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant Growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 66: 727-734. **(Journal)**
- Rahman Khan, M. and Mahmud Khan, M. 2010. Effect of varying concentration of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chickpea. Australian Journal Basic and Application Science, 4 (6): 1036-1046. **(Journal)**
- Schutzendubel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld, R., Douglas, L. and Polle, A. 2001. Cadmium-induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in Scots pine roots. Plant Physiology, 127: 887-898. **(Journal)**
- Sfaxi Bousbih, A., Chaoui, A. and El Ferjani, E. 2010. Cadmium impairs mineral and carbohydrate mobilization during the germination of bean seeds. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 1123-1129. **(Journal)**
- Siddiqui, S. 2012. Lead induced genotoxicity in *Vigna mungo* var. HD-94. Saudi Society of Agricultural Sciences, 11 (1): 107-112. **(Journal)**
- Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S. and Latifi, N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea Coast of Iran. Seed Science and Technology, 29: 653- 662. **(Journal)**
- Yilddiz, M., Cigerci, I.H., Konuk, M., Fidan, A.F. and Terzi, H. 2009. Determination of genotoxic effects of copper sulphate and cobalt chloride in *Allium cepa* rootcells by chromosome aberration and comet assays. Chemosphere, 75: 934-938. **(Journal)**
- Zengin, F.K. and Munzuroglu, O. 2005. Effects of some heavy metals on chlorophyll, proline and some antioxidant and chemicals in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 47(2): 157-164. **(Journal)**

Effects of different concentrations of heavy metals application on germination indices and seed vigor of Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Fatemeh Amini¹, Hamidreza Balouchi^{2*}, Mohsen Movahhedi Dehnavi², Mahmood Attarzadeh³

Received: November 8, 2015

Accepted: November 22, 2015

Abstract

Heavy metals of biosphere rise since the beginning industrial revolution and the toxicity of heavy metals cause to impair in the process of germination and growth of plants. In order to evaluate the effects of heavy metals on the germination of pinto bean (cv. Sadri) an experiment was conducted at Seed Technology Laboratory of Yasouj University in 2013. The experiment was conducted as CRD in five replications include different concentration of Cd(NO₃)₂, Pb(NO₃)₂, Ni(NO₃)₂ and CuSO₄ (25, 50, 75 and 100 mg/l) and a control treatment. Germination characteristics include the rate and percentage of germination, seedling weight and length and seed vigor index were studied. Results showed that the highest rate and percentage of germination was belonged to control, and least in the 100 mg/l of Pb(NO₃)₂. With the increase in concentrations of Pb, percentage and rate of germination and root and shoot dry weight showed a downward trend. 100 mg/l concentration of Cadmium nitrate decreased the rate germination of pinto bean seeds in compare with control. Increasing the concentration of cadmium impairs the growth of seedling root; shoot and vigor index of bean. Toxic concentration of copper compared to nickel had more negative effect on germination, root and shoot length, root and shoot dry weight and seedling vigor. In general, the results of this study showed that cadmium and Pb may give to plants allows germination, but increased in their concentration impaired the some seed germination indices of pinto been seed.

Key words: Cadmium; Environmental pollution; Germination power; Lead; *Phaseolus vulgaris*

1. M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, Yasouj University
- 2- Associate Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, Yasouj University
3. Ph.D. Student of Agronomy, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, Yasouj University

*Corresponding author: balouchi@yu.ac.ir