تاثیر فلزات سنگین بر شاخص‌های جوانه‌زنی و قدرت بذر ذرت تحت شرایط آزمایشگاهی

قاسم پرمون*[۱]، علی عبادی[۲]، معصومه قهرمانی[۳]، سیدامیر موسوی[۴]

[۱] دانشجوی دکتری گروه زراعت دانشگاه محقق اردبیلی

[۲] دانشیار، گروه زراعت دانشگاه محقق اردبیلی

[۳] کارشناس‌ارشد گروه زراعت دانشگاه محقق اردبیلی

[۴] دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۱۳

چکیده

به‌منظور مطالعه تأثیر فلزات سنگین بر جوانه‌زنی ذرت آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل فلزات سنگین نیترات بیسموت (Bismuth)، نیترات کادمیوم (Cadmium) و نیترات سرب ($PbNO_3$) در غلظت‌های ۵۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. نتایج نشان داد، فلزات سنگین در سطح ۱ درصد بر جوانه‌زنی و قدرت بذر ذرت تأثیر معنی‌داری داشت. سطوح پایین فلزات موجب افزایش درصد جوانه‌زنی (از ۹۳٪ به ۹۸٪ در نیترات سرب و از ۹۳٪ به ۹۷٪ در نیترات بیسموت و از ۹٤٪ به ۹٦٪ در کادمیوم) و قدرت بذر (از ۱۲۰۰ به ۱٦۰٦ در نیترات بیسموت و از ۱٥٦۸ به ۱٥۹۲ در نیترات سرب) شده ولی سطوح بالا سبب کاهش مقدار آن‌ها شد. در بین شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی تنها ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) در سطح ۵ درصد و سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS) در سطح ۱ درصد و در بین شاخص‌های زمان جوانه‌زنی متوسط زمان جوانه-زنی (MTG)، در سطح ۵ درصد و متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه (MDG) و متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۹۰ درصد جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد تحت تأثیر فلزات سنگین قرار گرفت. با افزایش غلظت فلزات سنگین CVG، R50، MDG کاهش و DGS، MTG و D90 افزایش یافتند. یکنواختی جوانه‌زنی (CU) تنها صفتی است که در بین شاخص‌های کیفیت جوانه‌زنی تحت تأثیر فلزات سنگین قرار گرفت و با افزایش غلظت فلزات عدد یکنواختی افزایش یافته که این نشان‌دهنده کاهش یکنواختی است. معادلات رگرسیونی نیز نشان داد تغییرات DGS، MTG، D90 و CU با درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر معنی‌دار بود؛ و تغییرات DGS و MDG بیش‌ترین سهم را در پیش‌بینی قدرت و درصد جوانه‌زنی به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده نقش بهتر این صفات در تعیین و ارزیابی قدرت بذر ذرت است.

واژگان کلیدی: جوانه‌زنی، نیترات بیسموت، نیترات کادمیوم، ذرت.

*نویسنده مسئول: ghasem.parmoon@gmail.com

مقدمه

ذرت به‌دلیل ویژگی‌های بسیار زیاد و قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی مختلف در سرتاسر دنیا گسترش یافته و جایگاه سوم را از نظر سطح زیر کشت به خود اختصاص داده است، به‌طوری‌که در حال حاضر بیش از ۱۴۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا به کشت ذرت اختصاص داده می‌شود (Nor Mohamdi et al., 2001).

افزایش میزان فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مسائل محیط‌زیست و سلامت به شمار می‌آید. بسیاری از فلزات سنگین، مانند مس، روی، نیکل، کبالت و منگنز عناصر ضروری در گیاهان می‌باشند، که غلظت بیش از حد آن‌ها موجب مسمومیت در گیاه نیز می‌شود (Riffaldi and Levi-Minzi, 1989). سمیت فلزات سنگین باعث صدمه به گیاه و مرگ آن می‌شود. منابع مختلف شامل صنایع، فاضلاب شهری و مواد سوختی، غلظت این آلاینده‌ها را افزایش می‌دهند، همچنین استفاده از کودهای شیمیایی، مخصوصاً کودهای فسفات مقدار این عناصر را در خاک افزایش می‌دهند (Sanita et al., 1999). از جمله مهمترین فلزات سنگین می‌توان به نیترات سرب، کادمیوم و نیترات بیسموت اشاره کرد. نیترات سرب از دسته فلزات سنگین بوده که کاربرد وسیعی در صنعت دارد. نیترات کادمیوم یک فلز آلاینده محیطی است که در طبیعت منتشر می‌شود و برای رشد گیاه ضروری نمی‌باشد. نیترات کادمیوم به راحتی از طریق پوست ریشه جذب می‌شود و سپس از راه سیم‌پلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می‌شود (Sanita et al., 1999). نیترات کادمیوم اغلب در واکوئل سلول‌های گیاهان عالی تجمع می‌یابد، همچنین تجمع کادمیوم در دیواره سلول و تیغه میانی بین آندودرم و دایره محیطیه نیز گزارش شده است (Ramos et al., 2002). نیترات کادمیوم بر تقسیم و رشد سلول‌ها، رشد کلی گیاه، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد (Das et al., 1997). همچنین باعث اختلال در متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شود (Gouia et al., 2001). از اثرات سمیت نیترات کادمیوم می‌توان به تشکیل مالوندآلدئید که شاخص کلی پراکسیداسیون لیپید می‌باشد اشاره نمود (Vassilev et al., 2002).

مطالعات تأخیر در رشد گیاهان را از نشانه‌های سمیت با نیترات کادمیوم گزارش نموده‌اند (Schutzendubel et al., 2001; Metwally et al., 2003). همچنین گزارش شده است، نیترات کادمیوم در غلظت ۵ میکرومولار، سبب افزایش پراکسیداسیون لیپید و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان لوبیا می‌شود (Sanita et al., 1999; Schutzendubel and Polle, 2002). Peralta و همکاران (۲۰۰۰) کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهان تحت تأثیر کروم، کادمیوم در غلظت‌های ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، مس و نیکل در غلظت‌های ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت‌های بالاتر را گزارش نمودند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر اثر ترکیبات فلزات سنگین مس و منگنز، مس و سرب و کادمیوم و منگنز، کادمیوم و سرب بر روی رشد و جوانه‌زنی بادیان، زیره سیاه، رازیانه مورد بررسی قرار گرفت؛ که نتایج نشان داد، رشد اولیه ریشه‌ها بیشتر از جوانه‌زنی بذرها تحت تأثیر عناصر سنگین قرار گفت (Jeliazkova et al., 2003). Mahmood و همکاران (۲۰۰۵) نیز در مطالعه تأثیر سطوح مختلف مس و روی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت نشان دادند، جوانه‌زنی تحت تأثیر فلزات سنگین قرار نگرفته، این با وجودی است که رشد اولیه ذرت با افزایش غلظت سولفات روی کاهش شدید پیدا نمود. Sabri و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعه تأثیر غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر فلزات سنگین کادمیوم و سولفات مس بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های اتریپلکس نشان داد، کادمیوم بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و سولفات مس بر درصد جوانه‌زنی تأثیر معنی‌دار نداشتند، اما موجب کاهش رشد گیاهچه شدند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر فلزات سنگین بر جوانه‌زنی و قدرت بذر ذرت و همچنین تعیین بهترین شاخص در ارزیابی قدرت جوانه‌زنی در این شرایط می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه علوم و فناوری بذر دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۱ با سه تکرار اجرا گردید. تیمار آزمایش شامل فلزات سنگین نیترات بیسموت (Bismuth)، نیترات کادمیوم (Cadmium) و نیترات سرب ($PbNO_3$) در غلظت‌های ۵۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. در این آزمایش درصد جوانه‌زنی، قدرت بذر، شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی (سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS)، سرعت جوانه‌زنی (R50) و ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG))، شاخص‌های زمان جوانه‌زنی (متوسط زمان جوانه‌زنی (MTG)، متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه (MDG)، زمان لازم برای رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی (D_{10}, D_{50}, D_{90})) و شاخص‌های کیفیت جوانه‌زنی (یکنواختی جوانه‌زنی (CU)، شاخص میزان جوانه‌زنی (RI) و شاخص جوانه‌زنی (GI)) اندازه‌گیری و محاسبه شد.

برای محاسبه شاخص‌های جوانه‌زنی، بذور ذرت بعد از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۱٪ به‌مدت ۵ دقیقه، در درون ظرف‌های پتری ۹ سانتی‌متری حاوی ۲ لایه کاغذ صافی قرار داده و سپس به هر کدام ۱۰ میلی‌لیتر از محلول فلزات سنگین اضافه و به ژرميناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شد. شمارش جوانه‌زنی به صورت روزانه و بر اساس خروج ریشه‌چه ۲ میلی‌لیتری تا ۷ روز ادامه یافت و بعد از این مدت طول گیاهچه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی بذور از برنامه Germin استفاده شد، که در این برنامه D10 (مدت زمان که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰٪ حداکثر خود برسد)، D_{50} (یعنی مدت زمان لازم تا جوانه‌زنی ۵۰٪ حداکثر) و D_{90} (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰٪ حداکثر خود برسد) را محاسبه می‌کند. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در روز) از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Soltani et al., 2001). یکنواختی جوانه‌زنی به‌صورت تکمیل زمان برای رسیدن از ۱۰٪ حداکثر جوانه‌زنی به ۹۰٪ حداکثر جوانه‌زنی محاسبه گردید؛ که در این صفت هر چه عدد بدست آمده کمتر باشد، نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر جوانه‌زنی بذرها است (Soltani et al., 2001).

$R50=1/D_{50}$ $GU =D_{90} - D_{10}$

مدت زمان رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی نیز بر اساس فرمولی زیر محاسبه شد. در این رابطه N جوانه‌زنی نهایی وn_i و n_j نیز تعداد بذور جوانه‌زده در مدت زمان بین $t_j - t_i$ می‌باشد (Coolbear, 1984).

$D_{10, 50, 90} = t_i + [(N/2-n_i) (t_j -t_i)]/ (n_j-n_i)$

متوسط زمان جوانه‌زنی که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی بوده بر اساس روش Ellis and Roberts (۱۹۸۱) محاسبه شد. n تعداد بذور جوانه‌زده در مدت d روز، d تعداد روز و $\sum n$ تعداد بذور جوانه‌زده.

$MTG =\sum nd/ \sum n$

ضریب سرعت جوانه‌زنی یا سرعت و شتاب جوانه‌زنی از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Scott et al., 1984):

$CVG = G_1+G_2+\ldots+G_n/ (1\times G_1) + (2\times G_2) +\ldots+ (n\times G_n)$

متوسط جوانه‌زنی روزانه یکی دیگر از شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی روزانه بوده که به روش Hunter و همکاران (۱۹۸٤) به شرح زیر استفاده گردید.FGP درصد جوانه‌زنی نهایی و D تعداد روزها تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی.

$MDG= FGP/D$

سرعت جوانه‌زنی روزانه که عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه است طبق رابطه زیر محاسبه شد (Maguire, 1962):

$DGS= 1/MDG$

شاخص میزان جوانه‌زنی نیز با استفاده از روش Throneberry and Smith (1955) با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری و محاسبه شد. در این رابطه $\sum Ni$ مجموع کل بذور جوانه‌زده تا پایان آزمایش و $\sum Ti$ نیز مجموع زمان بر حسب روز از شروع آزمایش جوانه‌زنی است.

$R.I. = \sum Ni/\sum Ti$

همچنین شاخص جوانه‌زنی (GI) با استفاده از رابطه زیر محاسبه و پردازش شد (Walker-Simmons and Sesing 1990). در این رابطه n_1، n_2 و n_7 به‌ترتیب تعداد بذور جوانه‌زده در روز اول، دوم و هفتم N تعداد کل بذور موجود در هر پتری دیش (۲۵ عدد) می‌باشد.

$GI= (7n_1+6n_2+\ldots+1n_7)/ 7\times N$

قدرت بذر نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

طول گیاهچه (سانتی‌متر) × قوه نامیه (درصد) =VGI

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. رسم نمودارها با استفاده از Excel و تجزیه رگرسیونی ساده با استفاده از روش اینتر و تشخیص نوع معادلات رگرسیونی با Minitab صورت گرفت.

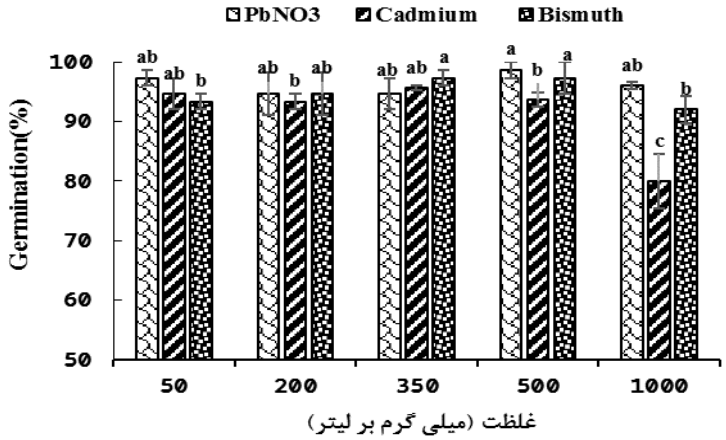
نتایج

مطابق نتایج تجزیه واریانس، جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد تحت تأثیر فلزات سنگین قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، سطوح پایین فلزات سنگین موجب افزایش جوانه‌زنی گردید، به‌طوری‌که درصد جوانه‌زنی در نیترات سرب از ۹۳٪ به ۹۸٪ و در نیترات بیسموت از ۹۳٪ به ۹۷٪ افزایش یافت. با شدت یافتن مقدار به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر درصد جوانه‌زنی کاهش نشان داد (۹۶٪ در نیترات سرب، ۹۲٪ در نیترات بیسموت). این درحالی است که غلظت‌های پایین کادمیوم بر درصد جوانه‌زنی تاثیر معنی‌داری نداشت و درصد جوانه‌زنی از غلظت ۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ثابت بوده و در ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش شدید پیدا کرد. در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر فلزات سنگین، بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۶٪) مربوط به نیترات سرب و کمترین مقدار (۸۰٪) از کادمیوم مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فلزات سنگین بر درصد جوانه‌زنی و شاخص قدرت بذر ذرت.

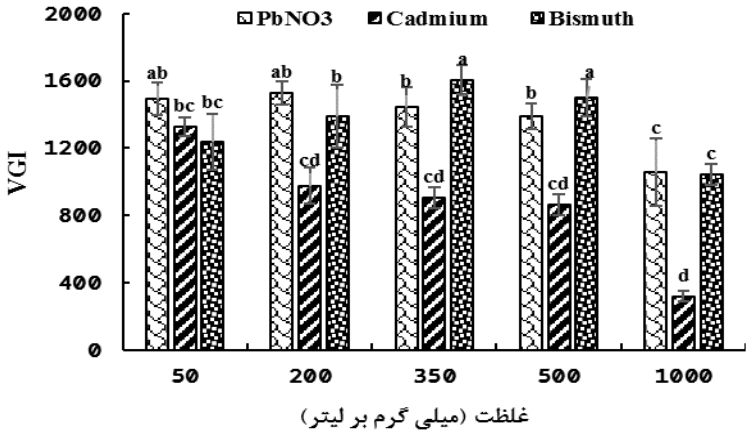
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		جوانه‌زنی	قدرت بذر
فلزات سنگین	۱٤	٥٦/٨٨**	٣٥٧٣١٧/١٣**
خطا	۳۰	١٦/٧١	٣٦٩٠٠/٨٥
ضریب تغییرات (٪)	-	٤/٣٤	١١/٦١

ns، **، * به‌ترتیب غیره معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد.



شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف فلزات سنگین بر جوانه‌زنی(Germination) ذرت.

قدرت بذر نیز تحت تأثیر فلزات سنگین قرار گرفت (۱٪=α، جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، با افزایش غلظت نیترات سرب قدرت بذر ثابت بوده و با رسیدن مقدار آن به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش معنی‌داری داشت. افزایش غلظت کادمیوم موجب کاهش شدید در قدرت بذر شد، ولی سطوح پایین نیترات بیسموت موجب افزایش قدرت بذر ذرت شد، به طوری که بالاترین قدرت بذر (۱۶۰۶/٤) از غلظت ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات بیسموت مشاهده شد. این در حالی است که در غلظت‌های پایین فلزات (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیش‌ترین قدرت مربوط به نیترات سرب (۱٤۹۳/٦) و کمترین قدرت (۱۲۳۸/۹) مربوط به نیترات بیسموت بود (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف فلزات سنگین بر قدرت بذر(VGI) ذرت.

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های تعیین سرعت جوانه‌زنی نشان داد، در بین این شاخص‌ها تنها ضریب سرعت جوانه‌زنی (در سطح ۵ درصد) و سرعت جوانه‌زنی روزانه (در سطح ۱ درصد) تحت تأثیر فلزات سنگین قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها افزایش سرعت جوانه‌زنی روزانه و کاهش ضریب سرعت جوانه‌زنی شد در اثر افزایش غلظت فلزات سنگین را نشان دادند. تغییرات شاخص‌های سرعت در سطوح پایین فلزات سنگین جزء بوده ولی با شدت یافتن مقدار آن‌ها تغییرات شدیدتر شد. در سطوح پایین فلزات سنگین (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیش‌ترین سرعت

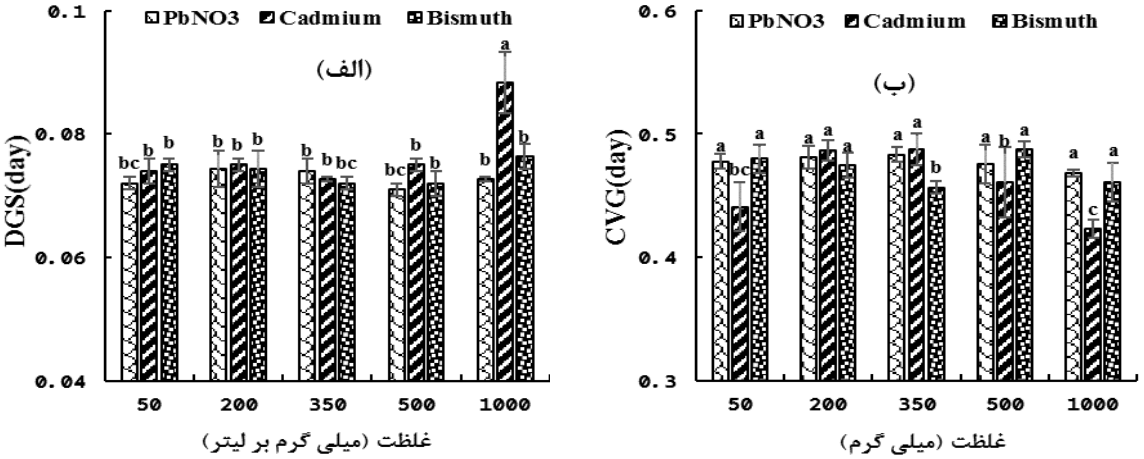
جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۷۵ جوانه در روز) و ضریب سرعت جوانه‌زنی (۰/٤۸ روز) از نیترات بیسموت مشاهده شد. ولی با شدت یافتن غلظت فلزات سنگین به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۸۸ جوانه در روز) و کمترین ضریب سرعت جوانه‌زنی (۰/٤۲۲روز) از نیترات کادمیوم به دست آمد (شکل ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فلزات سنگین بر شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی ذرت.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		R50	CVG	DGS
فلزات سنگین	۱٤	۰/۰۰۱۰^{ns}	۰/۰۰۱۰۲*	۰/۰۰۰۰۵**
خطا	۳۰	۰/۰۰۰٤۹	۰/۰۰۰٤۹	۰/۰۰۰۰۰۱۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/٤٦	٤/۷۱	٤/۷۹

ns، **، * به ترتیب غیره معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد.

سرعت جوانه‌زنی= R50، ضریب سرعت جوانه‌زنی=CVG، سرعت جوانه‌زنی روزانه=DGS



شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف فلزات سنگین بر شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی ذرت.

(الف= سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS)، ب= ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG)).

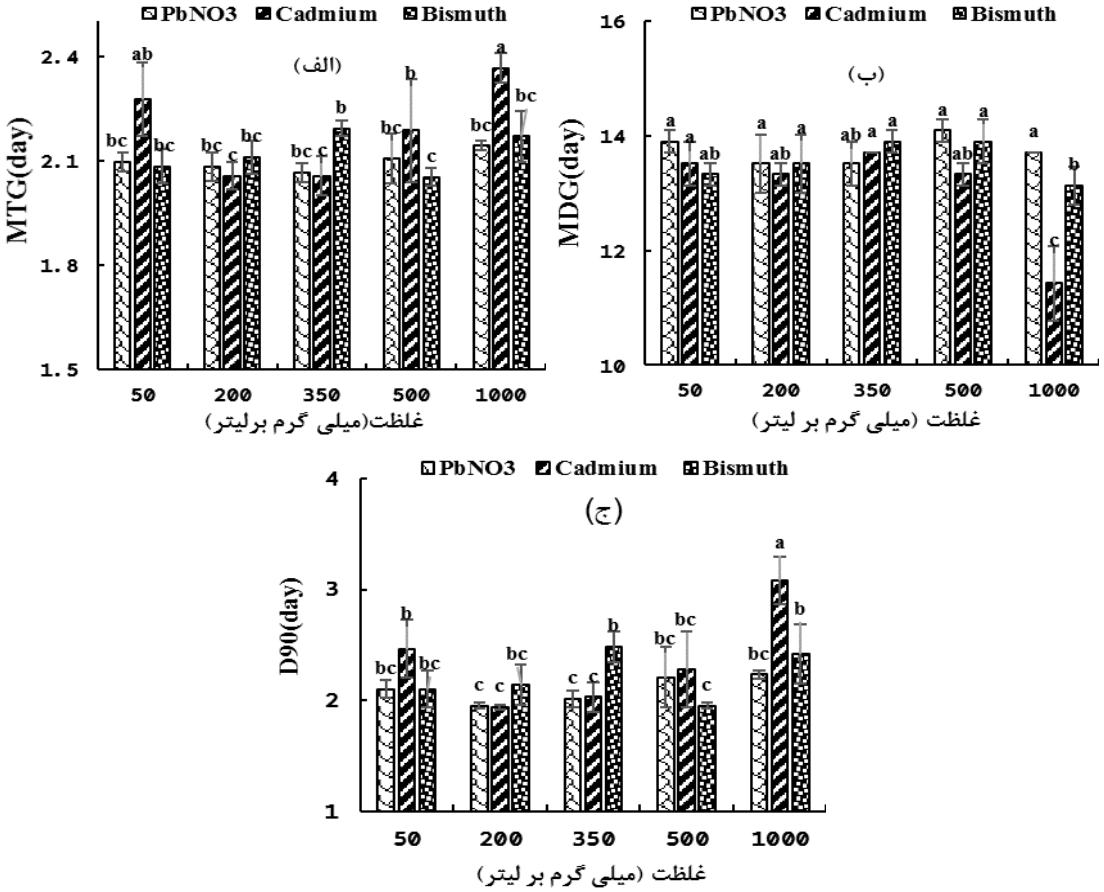
در بین شاخص‌های زمان جوانه‌زنی متوسط زمان جوانه‌زنی در سطح ۵ درصد و متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه و متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی در سطح ۱درصد تحت تأثیر فلزات سنگین قرار گرفتند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی و متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی و کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه در اثر افزایش غلظت فلزات سنگین نشان دادند. تغییرات شاخص‌های زمان جوانه‌زنی در سطوح پایین فلزات سنگین ملایم و با افزایش مقدار آن‌ها به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار شاخص‌های زمان جوانه‌زنی شدیداً تغییر یافت. بالاترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۲/۳٦ روز) و متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۹۰ درصد جوانه‌زنی (۳/۰۷۷ روز) و کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه (۱۱/٤۳ روز) مربوط به کادمیوم در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود (شکل ٤).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فلزات سنگین بر شاخص‌های زمان جوانه‌زنی ذرت.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		MTG	MDG	D_{10}	D_{50}	D_{90}
فلزات سنگین	١٤	٠/٠٢٤*	١/١٦٠**	٠/٠٠٠٢١^{ns}	٠/٠٠٥٣^{ns}	٠/٢٦٦**
خطا	٣٠	٠/٠١٢	٠/٣٤٣	٠/٠٠٠١٣	٠/٠٠٣٣	٠/٠٩٧
ضریب تغییرات (٪)	-	٥/٠٦	٤/٣٥	١/٠٣	٣/٦٨	١٢/٩٦

ns، **، * به ترتیب غیره معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ١ و ٥ درصد.

متوسط زمان جوانه‌زنی=MTG، متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه=MDG، زمان لازم برای رسیدن به ١٠، ٥٠ و ٩٠٪ جوانه‌زنی= D10,D50 &D90.



شکل ٤- تأثیر غلظت‌های مختلف فلزات سنگین بر شاخص‌های زمان جوانه‌زنی ذرت.
(الف= متوسط زمان جوانه‌زنی (MTG)، ب= متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه (MDG) و ج= متوسط زمان لازم برای رسیدن به ٩٠٪ جوانه‌زنی (D90)).

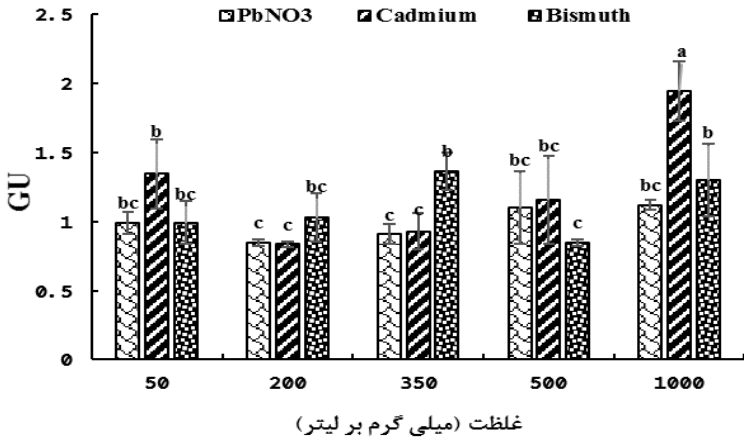
نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های کیفیت جوانه‌زنی نشان داد، تنها یکنواختی جوانه‌زنی در سطح ١ درصد تحت تأثیر فلزات سنگین قرار گفت (جدول ٤). افزایش غلظت فلزات سنگین کاهش یکنواختی جوانه‌زنی (افزایش عدد یکنواختی) را به همراه دارد. بالاترین یکنواختی جوانه‌زنی در غلظت ١٠٠٠ میلی‌گرم بر لیتر فلزات سنگین، از نیترات سرب (١/١١) و کمترین یکنواختی جوانه‌زنی (١/٩٤) نیز از نیترات کادمیوم به‌دست آمد (شکل ٥).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فلزات سنگین بر شاخص‌های کیفیت جوانه‌زنی ذرت.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		GU	RI	GI
فلزات سنگین	١٤	۰/۲۵۲**	۱/۵۵ns	۰/۰۰۲ns
خطا	۳۰	۰/۰۹۱	۱/٦۷	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۷/۰٦	٦/۵۵	۵/۹٤

ns، **، * به‌ترتیب غیره معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد.

یکنواختی جوانه‌زنی=GU، شاخص میزان جوانه‌زنی=RI، شاخص جوانه‌زنی=GI.



شکل ۵- تأثیر غلظت‌های مختلف فلزات سنگین بر شاخص‌های کیفیت جوانه‌زنی(GU) ذرت.

نتایج معادلات رگرسیونی نشان داد، در بین شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی تنها سرعت جوانه‌زنی روزانه (در سطح ۱ درصد) و در بین شاخص‌های متوسط زمان جوانه‌زنی تنها متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه (در سطح ۱ درصد) و متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی (در سطح ۵ درصد) با درصد جوانه‌زنی دارای تغییرات معنی‌دار می‌باشد. همچنین در بین شاخص‌های کیفیت، تنها یکنواختی جوانه‌زنی (در سطح ۵ درصد) با درصد جوانه‌زنی رابطه معنی‌دار داشت. تغییرات سرعت جوانه‌زنی روزانه، متوسط زمان جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی با درصد جوانه‌زنی برخلاف جهت یکدیگر بوده و افزایش درصد جوانه‌زنی موجب کاهش در سرعت جوانه‌زنی روزانه، متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی (افزایش یکنواختی) می‌شود، این در حالی است که افزایش درصد جوانه‌زنی موجب افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه را در پی داشت. در بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه بالاترین سهم (R^2=۱/۰۰) را در پیش‌بینی جوانه‌زنی به خود اختصاص داد (جدول ۵).

همچنین مشاهده شد، سرعت جوانه‌زنی روزانه با قدرت بذر دارای تغییرات معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد. با توجه به شیب و خط و عرض از مبدا، افزایش در سرعت جوانه‌زنی روزانه کاهش در قدرت بذر را به همراه دارد. متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه و متوسط زمان رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی نیز بر قدرت بذر دارای تأثیر معنی‌دار بودند. به‌طوری‌که افزایش در متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه موجب افزایش قدرت بذر و افزایش در متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی موجب کاهش قدرت بذر ذرت گردید. در بین شاخص‌های کیفیت نیز تنها یکنواختی جوانه‌زنی با قدرت دارای تغییرات معنی‌داری بود و افزایش در یکنواختی جوانه‌زنی (کاهش عدد یکنواختی) موجب افزایش در قدرت بذر شد (جدول ٦).

جدول ۵- نتایج تجزیه رگرسیون برای جوانه‌زنی در طی شاخص‌های جوانه‌زنی. ضرایب a و b برای رگرسیون ساده خطی، ضرایب تبیین (R^2) و سطح معنی‌دار بودن (Pr> t) نشان داده شده است.

	شاخص‌ها	a	b	R^2	Pr> t
	R50	٦٠/٥٢	٠/٢٧٣	٠/٠٧٤	٠/٠٧٠
شاخص‌های سرعت	CVG	٤٨/١١	٠/٢٢٨	٠/٠٥٢	٠/١٣٢
	DGS	-١٠٩٠/٦	-٠/٩٩٣	٠/٩٨٧	٠/٠٠٠
	MTG	-١٠/١٢	-٠/٢٣٤	٠/٠٥٥	٠/١٢٣
	MDG	٦/٩٩	١/٠٠	١/٠٠	٠/٠٠٠
شاخص‌های زمان	D_{10}	-١٢١/٢٧	-٠/٢٨٠	٠/٠٧٨	٠/٠٦٢
	D_{50}	-٢٤/٥٧	-٠/٢٨٥	٠/٠٨٢	٠/٠٥٧
	D_{90}	-٤/٢٦	-٠/٣٠٥	٠/٠٩٣	٠/٠٤٢
	GU	-٤/٣٨	-٠/٣٠٤	٠/٠٩٣	٠/٠٤٢
شاخص‌های کیفیت	RI	-٠/٩٢٨	-٠/٢١٩	٠/٠٤٨	٠/١٤٩
	GI	-١٧/٦٧	٠/١٥٨	٠/٠٢٥	٠/٣٠٠

جدول ٦- نتایج تجزیه رگرسیون برای قدرت بذر در طی شاخص‌های جوانه‌زنی. ضرایب a و b برای رگرسیون ساده خطی، ضرایب تبیین (R^2) و سطح معنی‌دار بودن (Pr> t) نشان داده شده است.

	شاخص‌ها	a	b	R^2	Pr> t
	R50	٤٠٥٦/٠	٠/٢٦٥	٠/٠٧٠	٠/٠٧٨
شاخص‌های سرعت	CVG	٣٨٤٨/٣	٠/٢٦٦	٠/٠٧١	٠/٠٧٨
	DGS	-٤٥٧٦٣/٦	-٠/٦٠٧	٠/٣٦٩	٠/٠٠٠
	MTG	-٨١٢/٩	-٠/٢٧٣	٠/٠٧٥	٠/٠٦٩
	MDG	٢٨٩/٤٣	٠/٦٠٣	٠/٣٦٤	٠/٠٠٠
شاخص‌های زمان	D_{10}	-٧٩٥١/٧	-٠/٢٦٨	٠/٠٧٢	٠/٠٧٦
	D_{50}	-١٦١٧/٧	-٠/٢٧٤	٠/٠٧٥	٠/٠٦٩
	D_{90}	-٣١١/٥	-٠/٣٢٤	٠/١٠٥	٠/٠٣٠
	GU	-٣٢٠/٨	-٠/٣٢٥	٠/١٠٥	٠/٠٣٠
شاخص‌های کیفیت	RI	-٣٢/٥٣	-٠/١١٢	٠/٠١٢	٠/٠٤٠
	GI	-٦٧/٣٨	-٠/٠٠٩	٠/٠٠٠	٠/٢٠٨

سرعت جوانه‌زنی= R50، ضریب سرعت جوانه‌زنی=CVG، سرعت جوانه‌زنی روزانه=DGS، متوسط زمان جوانه‌زنی=MTG، متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه=MDG، زمان لازم برای رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰٪ جوانه‌زنی=D10, D50 &D90، یکنواختی جوانه‌زنی=GU، شاخص میزان جوانه‌زنی=RI، شاخص جوانه‌زنی=GI.

تغییرات سرعت جوانه‌زنی در طی فلزات سنگین با درصد جوانه‌زنی از معادله درجه دوم تبعیت می‌کند. این در حالی است که تغییرات قدرت بذر و سرعت جوانه‌زنی روزانه به صورت خطی بود. تغییرات سرعت جوانه‌زنی روزانه و درصد جوانه‌زنی در تمام فلزات سنگین مورد استفاده به یک اندازه نقش داشت، ولی کادمیوم نقش بیشتری در پیش‌بینی قدرت بذر در طی تغییرات سرعت جوانه‌زنی را نشان داد. همچنین تغییرات متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه،

زمان لازم برای رسیدن به ۹۰٪ جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی با درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر به صورت خطی بود. تغییرات متوسط زمان جوانه‌زنی با قدرت بذر در طی فلزات سنگین به یک اندازه بوده ولی تغییرات D_{90} و GU با درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر در فلز کادمیوم بیش‌ترین همبستگی را داشت (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج معادلات رگرسیونی پیش‌بینی جوانه‌زنی و قدرت بذر طی تیمار فلزات سنگین.

شاخص‌ها	فلزات سنگین	جوانه‌زنی		قدرت بذر	
		R^2	Model	R^2	Model
DGS	$PbNO_3$	0.999	$Y = 283.3 - 3817 X + 17125 X^2$	0.007	$Y = 854 + 7264 X$
	Cadmium	0.999	$Y = 257.4 - 3135 X + 12635 X^2$	0.529	$Y = 3681 - 36378 X$
	Bismuth	0.999	$Y = 282.1 - 3786 X + 16913 X^2$	0.307	$Y = 4897 - 47943 X$
MDG	$PbNO_3$	1.000	$Y = 0.000000 + 7.000 X$	0.004	$Y = 1825 - 32.1 X$
	Cadmium	1.000	$Y = 0.000000 + 7.000 X$	0.519	$Y = - 2386 + 249.9 X$
	Bismuth	1.000	$Y = 0.000000 + 7.000 X$	0.306	$Y = - 2218 + 263.5 X$
D90	$PbNO_3$	0.181	$Y = 82.14 + 6.719 X$	0.006	$Y = 1572 - 90.0 X$
	Cadmium	0.281	$Y = 108.2 - 7.074 X$	0.144	$Y = 1473 - 251.7 X$
	Bismuth	0.048	$Y = 88.77 + 2.776 X$	0.000	$Y = 1383 - 12.3 X$
GU	$PbNO_3$	0.178	$Y = 89.50 + 6.809 X$	0.006	$Y = 1471 - 89.6 X$
	Cadmium	0.282	$Y = 100.5 - 7.306 X$	0.148	$Y = 1206 - 262.7 X$
	Bismuth	0.049	$Y = 91.77 + 2.854 X$	0.000	$Y = 1368 - 11.5 X$

سرعت جوانه‌زنی روزانه=DGS، متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه=MDG، زمان لازم برای رسیدن ۹۰٪ جوانه‌زنی=D90، یکنواختی جوانه‌زنی=GU

بحث

با توجه با یافته‌های این پژوهش، غلظت‌های پایین فلزات سنگین بر جوانه‌زنی، قدرت بذر و شاخص‌های ارزیابی قدرت بذر تأثیر نداشته ولی با شدت یافتن غلظت فلزات سنگین تغییرات بیشتر شد، کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات سرب، نیترات بیسموت و کادمیوم سبب کاهش شدید درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر شد. کاهش جوانه‌زنی و قدرت بذر در اثر استعمال فلزات سنگین توسط دیگر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Peralta et al., 2000). Jeliazkova و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه خود نشان دادند که فلزات مس، منگنز، سرب و کادمیوم بر رشد اولیه ریشه‌های رازیانه، زیره سیاه و بادیان بیشتر از جوانه‌زنی تأثیر داشت. Mahmoud و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان نمودند سطوح مختلف مس بر جوانه‌زنی ذرت تأثیر معنی‌داری نداشته ولی موجب کاهش رشد اولیه ذرت شد. چنین نتایجی توسط Sabri و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش شده است. افزایش غلظت فلزات سنگین موجب افزایش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، افزایش پراکسیداسیون لیپدها و تشکیل مالوندالدهید می‌شود. در واقع فلزات سنگین موجب ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (Gouia et al., 2001؛ Schutzendubel and Polle, 2002). تولید رادیکال‌های فعال و پراکسیداسیون لیپیدها در اثر تنش‌های اکسیداتیو موجب اختلال در کارکرد غشا سلولی و از بین رفتن خاصیت نفوذپذیری انتخاب آن می‌شود، که این امر افزایش نشت مواد ذخیره‌ی بذر شده و کاهش جوانه‌زنی و قدرت بذر را در پی دارد. همچنین در اثر تنش‌های اکسیداتیو فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تغییر پیدا می‌کند (Hussain et al., 2011). تحقیقات نشان داد کاهش جوانه‌زنی در اثر فلزات سنگین به ویژه کادمیوم می‌تواند به علت تجمع آن‌ها در سلول و در نتیجه تمایل ترکیبی آن با گروه سولفیدریل پروتئین‌ها بوده که این می‌تواند باعث کاهش در سنتز و تولید پروتئین‌های ساختمانی و مورد نیاز در فرآیندهای رشد و تقسیم سلولی و جوانه‌زنی شود (Siddhu and Ali Khan., 2012). همچنین مشاهده شد نیترات کادمیوم در مقایسه با نیترات سرب و بیسموت اثرات سمیت بیشتری بر جوانه‌زنی و

قدرت بذر داشته است. با توجه به اینکه کادمیوم در واکوئل سلولی تجمع می‌یابد و از طریق مسیر سیم‌پلاستی و یا آپوپلاستی به خوبی منتقل می‌شود (Sanita et al., 1999). بر تقسیم و رشد سلول‌ها و تقسیم سلولی منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد و باعث اختلال در متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شود به همین خاطر در مقایسه با دیگر فلزات سنگین موجب کاهش بیشتر جوانه‌زنی و قدرت بذر شد (Gouia et al., 2001; Das et al., 1997).

با توجه به نتایج مشاهده شد سرعت جوانه‌زنی روزانه و متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه بیش‌ترین سهم را در پیش‌بینی جوانه‌زنی و قدرت بذر به خود اختصاص داد (جدول ٦). تغییرات درصد جوانه‌زنی با سرعت جوانه‌زنی روزانه در طی فلزات سنگین از نوع معادله درجه دوم بود و در سطوح کادمیوم بیش‌ترین ارتباط بین سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی مشاهده شد. این در حالی است که تغییرات قدرت بذر طی سرعت جوانه‌زنی روزانه و متوسط زمان جوانه‌زنی همواره از نوع خطی بود و همانند درصد جوانه‌زنی بیش‌ترین ارتباط در غلظت‌های کادمیوم به دست آمد (جدول ۷).

سرعت جوانه‌زنی از شاخص‌های ارزیابی قدرت هستند وجود رابطه خطی بین آن‌ها و قدرت بذر به همین خاطر می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه کادمیوم دارای بیش‌ترین اثر سمیت در مقایسه با دو فلز دیگر بود و موجب تغییرات شدید در درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر شد. به همین دلیل نقش بیشتر آن در پیش‌بینی جوانه‌زنی و قدرت بذر دارد. در مطالعه دیگری که توسط این محقق صورت گرفته است سرعت جوانه‌زنی روزانه رابطه مثبت معنی‌داری با درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر بابونه در شرایط شور داشت (Parmoon et al., 2013). در محاسبه سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه از جوانه‌زنی نهایی استفاده می‌شود (Hunter et al., 1984)، وجود همبستگی بالای آن‌ها با قدرت بذر و درصد جوانه‌زنی به همین خاطر می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه فلزات سنگین بر سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه تأثیر معنی‌داری داشت، که این نشان دهنده حساسیت بالای این دو پارامتر در طی تغییرات محیطی در ذرت جهت ارزیابی شاخص‌ها قدرت می‌باشد.

نتیجه‌گیری نهایی

یافته‌های این پژوهش نشان داد، فلزات به‌کاربرده شده در سطوح پایین بر درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر ذرت تأثیر نداشتی و در برخی موارد، مانند غلظت ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات بیسموت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات سرب افزایش جوانه‌زنی را در پی داشتند اما غلظت‌های بالای این فلزات موجب کاهش شدید جوانه‌زنی و قدرت بذر شد. علت افزایش جوانه‌زنی در غلظت‌های پایین برخی فلزات را تأمین برخی از عناصر مورد نیاز در جوانه‌زنی و یا تنظیم بهتر فشار تورگر مورد نیاز جوانه‌زنی در این غلظت‌های نسبت داد. همچنین مشاهده شد، در بین شاخص‌های ارزیابی شده، سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه با توجه به حساسیت بالای آن‌ها نسبت به تغییرات محیطی، شاخص‌های مناسبی جهت ارزیابی قدرت بذر ذرت می‌باشند که می‌توانند پیش‌بینی مناسبی از رشد گیاهچه در مراحل بعدی نشان دهد.

References

Abdul-Baki, A.A., and Anderson, J.D. 1973. Vigour determination in soybean by multiple criteria. Crop Sci. 13: 630-633.

Coolbear, P. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. J. Experim. Botany. 35:1609-1617.

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

Ellis, R.H., and Roberts, E.H. 1981. The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Seed Sci. Technol. 9: 373-409.

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 Physiol. 38:629-638.

Hunter, E.A., Glasbey, C.A., and Naylor, R.E.L. 1984. The analysis of data from germination tests. J. Agric. Sci. Cambridge. 102: 207-213.

Hussain, S.S., Ali, M., Ahmad, M., and Siddique, K.H.M. 2011. Polyamines: natural and engineered abiotic and biotic stress tolerance in plants. Biotechnol. Advances. 29(3): 300-311.

Jeliazkova, E.A., Craker, L.E., and Xing, B. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. J. Herbs, Spices and Medicinal Plants. 10(3): 83-93.

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Sci. 2: 176-177.

Mahmood, S., Hussain, A., Zaeed, Z., and Athar, M. 2005. Germination and seedling growth of corn (*Zea mays* L.) under varying levels of copper and zin. International J. Environ. Sci. Technol. 2(3):269-274.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M., and Dietz, K.J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedling. Plant Physiol. 133:272-281.

Nor Mohamdi, G.H. Siadat, S.A., and Kaskani, A. 2001. Agriculture Grain. Martyr Chamran University Press. Pp: 446.

Parmoon, Gh., Ebadi, A., Ghaviazm A., and Miri M. 2013. Effect of seed priming on germination and seedling growth of Chamomile under salinity. EJCP. 6 (3):145-164. (In Persian).

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 sative*) grown in soild media. Roceedings of the 2000 Conference on Hazardous Wast Research, pp:135-140.

Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J. and Garate, A. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of Lactuca sp. Cd-Mn interaction. Plant Sci. 162:761-767.

Riffaldi, R., and Levi-Minzi, R. 1989. I control lode gliinquinamen inagricoltura: Gliinquinan inorganici. In: P .Sequi (Ed.), Chimica del suolo, Patron Editore, Bologna.

Sabri, M., Tavily, A., Jafari, M., and Hidary, M. 2010. Effect level different heavy elements in germination and growth seedling Atriplex (*Atriplex lentiformis*) J. Range. 1:112-120.

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

Schutzendubel, A., and Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stress: heavy metal induced oxidative stress and protection by mycorhization. Exprim. Botany. 53:1351-1365.

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 Physiol. 127:887-898.

Scott, S.J., Jones, R.A., and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Sci. 24: 1192-1199.

Siddhu, G., and Ali Khan, M.A. 2012. Effects of cadmium on growth and metabolism of Phaseolus mungo. J. Environ. Biol. 33: 173-179

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 Sci. Technol. 29: 653-662. (In Farsi).

Throneberry, G.O., and Smith, F.G. 1955. Relation of respiratory enzymatic activity to corn seed viability. Plant Physol. 30:337-343.

Vassilev, A., Vangronsveld, J., and Yordanov, I. 2002. Cadmium phytoextration; present state, biological backgrounds and research needs review. Plant Physiol. 28:68-95.

Walker-Simmons, M.K., and Sesing, J. 1990. Temperature effects on embryonic abscisic acid levels during development of wheat grain dormancy. Plant Growth Regulation. 9: 51-56.