مجله اکوفیزیولوژی بذر

جلد دوم، شماره اول، نیمه اول ۹۶

۶۲-۴۷

بررسی اثر نانو ذرات نقره بر خصوصیات جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های جو زراعی

فرزانه قاسمی سراب بادیه [۱]، آرش فاضلی [۲]، علی آرمینیان [۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، ایران

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۱

چکیده

فنآوری نانو قابلیت عمده‌ای در بهبود کیفیت زندگی انسانی در بسیاری از زمینه‌ها همانند کشاورزی و صنعت دارد. در این تحقیق، اثر نانو ذرات نقره بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های ۱۰ ژنوتیپ گیاه جو در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی در دانشگاه ایلام مورد بررسی قرار گرفت. عوامل بررسی شده شامل غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره (صفر، یک و پنج درصد)، و تعداد شش واریته و چهار لاین جو زراعی بود. ویژگی‌هایی ازجمله درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شدت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی، قوه نامیه، طول ریشه، طول شاخساره و طول گیاهچه‌ها بررسی گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین غلظت‌های مختلف نانو نقره در سطح یک درصد برای صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شدت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و قوه نامیه اختلاف معنی‌دار بود. همچنین بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت معنی‌دار در تمامی صفات مشاهده شد که نشان‌دهنده‌ی تنوع ژنتیکی در جامعه‌ی مذکور می‌باشد. اثر متقابل ژنوتیپ‌ها با تیمار نانو بین سطوح مختلف نانونقره برای صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، شدت جوانه‌زنی و قوه نامیه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های نصرت، ایزه، ده‌سراسری و mb-88-2 نیز دارای بالاترین میزان خصوصیات جوانه‌زنی بودند. همچنین، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی جهت ارزیابی تنوع بین سطوح مختلف نانوذرات نشان‌داد که دو مؤلفه بیش از یک به دست آمده که بترتیب ۷۴/۷۳ و ۲۵/۲۷ درصد از کل تنوع را بیان نمودند. نتایج PCA جهت بررسی تنوع صفات بین سطوح مختلف ذرات نانو با کاربرد نانو ذرات نشان داد که بیشترین مقادیر صفات در سطوح یک و پنج درصد نانوذرات در مقایسه با شاهد به دست آمد. نتایج نشان داد که ذرات نانو منجر به بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی از قبیل درصد جوانه‌زنی، شاخص و انرژی جوانه‌زنی شده، اما تأثیر چندانی بر طول شاخساره نداشت. نتایج این تحقیق می‌تواند تأثیرات ذاتی و کاربردی نانوذرات نقره را در بیولوژی بذر نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مؤلفه‌های اصلی، جو، نانو نقره، ویژگی‌های جوانه‌زنی.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: a.arminian@ilam.ac.ir

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) از اولین گیاهانی است که توسط انسان اهلی گردیده و از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Nasirzadeh et al., 2005). جو از مهمترین غلات ایران به شمار می‌رود و سطح زیر کشت آن معادل ۱/۵ میلیون هکتار است و از این نظر بعد از گندم در رتبه دوم قرار دارد (Abdolrahmani et al., 2011). کیفیت بذر به عنوان اندام تکثیر گیاهان و مهم‌ترین نهاده‌ی تولید محصولات زراعی از اهمیت ویژه‌ای در رشد و عملکرد مطلوب گیاهان زراعی برخوردار است که تحت تاثیر عوامل مختلفی مثل خصوصیات ژنتیکی، قوه‌نامیه یا قابلیت جوانه‌زنی، بنیه، میزان رطوبت، کیفیت انبارداری، قابلیت ماندگاری و سلامت بذر قرار گرفته، هرچند مهم‌ترین این ویژگی‌ها، میزان جوانه‌زنی و قدرت بذر می‌باشد (Akbari et al., 2004). جوانه‌زنی شامل یکسری وقایع است که با جذب آب بوسیله‌ی بذر شروع شده و با طویل شدن محور جنینی خاتمه می‌یابد (Bewly, 1997). علی‌رغم پیشرفت‌های حاصل شده در تکنولوژی و مدیریت زراعی، همچنان جوانه‌زنی و اسقرار مطلوب گیاهچه‌های حاصل از بذرهای با کیفیت مناسب دارای اهمیت کلیدی است، به طوری‌که موفقیت یا عدم موفقیت کشت، به جوانه‌زدن کامل و سریع بذر و تولید گیاهچه‌های قوی وابسته است. یکی از عوامل دستیابی به عملکرد بالا در واحد سطح، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها و اسقرار گیاهچه‌های حاصل از بذور کشت شده است (Foit et al., 2002). به طور طبیعی هرچه سرعت جوانه‌زنی و درصد بذور جوانه‌زده در مزرعه بیشتر باشد، استفاده از منابع رشد نظیر نور، آب و عناصر غذایی بهتر خواهد بود (Foit et al., 2002).

واژه نانوتکنولوژی براساس پسوند نانو بوده که در یونانی به معنی ریز می‌باشد. به طور دقیق‌تر نانو به معنای یک میلیاردم یک متر ($۱۰^{-۹}$) است. واژه نانوتکنولوژی به طور کلی برای موادی به کار برده می‌شود که اندازه آن‌ها بین یک تا صد نانومتر باشد. این مواد باید به دلیل اندازه کوچک خود خواص متفاوتی نسبت به مواد بزرگتر از خودشان داشته باشند. این تفاوت‌ها شامل نیروی فیزیکی، واکنش‌پذیری شیمیایی، رسانایی الکتریکی، اثر مغناطیسی و نوری می‌باشند (Huang et al., 2007). فناوری نانو شامل ساخت و بهره‌برداری از مواد و سیستم‌ها از طریق کنترل ویژگی‌ها و ساختار ماده در مقیاس نانو می‌باشد (Biswal et al., 2012). فناوری نانو با استفاده از دانش علمی و فنی، دارای پتانسیل بالایی در بهبود کیفیت زندگی بشر در زمینه‌های متنوع از جمله در کشاورزی و تولید محصولات می‌باشد. این فناوری با بکارگیری نانوذرات و نانوحسگرهای زیستی، در شناسایی سریع عوامل بیماری‌زا و بهبود تولید گیاهان، مقابله با آفات، افزایش توانایی گیاهان در جذب مواد مغذی، کاهش مصرف سموم و آفت‌کش‌ها و همچنین با نظارت بر شرایط خاک، رشد گیاه در تنش‌های غیرزیستی می‌تواند با بهره‌برداری حداکثری از نهاده‌هایی مانند کودها، آفت‌کش‌ها، آبیاری و حتی شرایط محیطی همچون درجه حرارت، تابش خورشیدی و رطوبت باعث افزایش تولید محصولات و تامین مواد غذایی شود.

نانو ذرات نقره در بین نانوذرات مختلف بیشترین مصرف را دارند، به‌طوری که ۳۰ درصد محصولات حاوی نانومواد دارای نانو ذرات نقره هستند (Wijnhoven et al., 2009). ویژگی‌های زیستی نانو ذرات نقره باعث شده که این ذرات در جنبه‌های مختلف زندگی کنونی انسان کاربردهای گوناگونی پیدا کنند (Chen et al., 2006). نانو ذرات نقره معمولاً کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر و شامل ۱۵۰۰۰-۲۰ اتم نقره هستند (Chen et al., 2008). نانو نقره به دلیل خواصی چون سمی نبودن، سازگاری با محیط‌زیست، مضر نبودن برای انسان و خواص ضد آفات آن امروزه کاربردهای وسیعی در صنایع غذایی، نساجی، کاغذ و چاپ، لوازم منزل، مواد شوینده و بهداشتی پیدا کرده است. همچنین استفاده از آن به همراه مواد معدنی موجب بهبود مقاومت حرارتی، پایداری شیمیایی، استحکام مکانیکی شده است (Wijnhoven et al, 2009).

صالحی و تمسکنی (Salehi et al., 2009) نشان دادند که تیمار نانو ذرات نقره، باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و در نهایت بهبود استقرار کلزا گردید. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2015) نیز در تحقیقی تأثیر نانو عنصر سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام مختلف بومی و اصلاح شده‌ی گندم تحت شرایط آزمایشگاهی را مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان داد عنصر سیلیکون باعث افزایش قدرت و همچنین سبز شدن یکنواخت‌تر گیاهچه‌ی گندم می‌شود. همچنین با بررسی اثرات و سمیت نانوذرات نقره با ابعاد یکصد نانومتر بر جوانه‌زنی گیاهان برنج، ماش و خردل مشخص گردید که غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره اثرات شدیدی بر جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه و اندام‌های فوقانی گیاه داشته که گیاهان مختلف به غلظت‌های مختلف پاسخ متفاوتی داشتند (Mazumdar, 2011). در تحقیق دیگری نیز در تایلند بررسی تأثیرات نانو ذرات روی بر روی خصوصیات ریشه برنج شامل درصد جوانه‌زنی بذر، تعداد و طول ریشه‌چه صورت گرفت و گزارش گردید که نانو ذرات روی اثرات شدید و مخربی بویژه بر دو صفت آخری داشتند (Boonyanitipong et al., 2011). چنین گزارشاتی در گیاهان دیگر نیز انجام شده است. نوع و ماهیت نانومواد و طرز تهیه و ابعاد نانومواد و عوامل دیگر همگی بر بافت و سیستم موجود تأثیر داشته و هنوز افزایش مثبت صفات، نسبت به تأثیرات مخرب آنها در دست مطالعه و بررسی است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر نانو ذرات نقره بر خصوصیات جوانه‌زنی گیاهچه‌های ژنوتیپ‌های جو در شرایط آزمایشگاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر نانوذرات نقره بر خصوصیات جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های جو زراعی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا گردید. عوامل آزمایش شامل غلظت‌های مختلف نانونقره در سه سطح (صفر، یک‌درصد و پنج‌درصد مولار) و شش رقم و چهار لاین گیاه جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) بود. بذور ژنوتیپ‌های مورد بررسی ابتدا ضدعفونی شده، سپس در پتری‌دیش‌هایی که توسط هیپوکلریت سدیم ۲/۵٪ ضدعفونی شده بودند و هرکدام حاوی یک عدد کاغذ صافی واتمن بودند به صورت ۲۰ تایی قرار داده شدند (Takallo et al., 2013). پس از اعمال تیمارهای نانوذره پتری‌دیش‌ها تحت شرایط آزمایشگاه برای جوانه‌زنی قرار گرفتند. جهت بررسی روند جوانه‌زنی روزی یکبار به مدت شش روز بذور جوانه‌زده شمارش شدند. بعد از اتمام دوره موردنظر از هر پتری‌دیش ۵ بذر بطور تصادفی انتخاب شد و صفات مورد نظر اندازه‌گیری گردید. صفات جوانه‌زنی مورد مطالعه و فرمول‌های مربوطه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. صفات جوانه‌زنی اندازه‌گیری شده در تحقیق.

Table 1. Germination traits measured in the experiment.

ردیف Row	صفات Characteristics		فرمول محاسباتی Computational formula	علامت اختصاری Symbol
1	Germination percentage (%)	درصد جوانه‌زنی (٪)	$GP = (N'/N)100$	GP
2	Germination index	شاخص جوانه‌زنی	$GI = \Sigma N_t * t/N$	GI
3	Germination rate (day^{-1})	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	$VG = \Sigma(N_t/t)$	VG
4	Germination energy	انرژی جوانه‌زنی	$GE = N''/N$	GE
5	Vigor index	شاخص بنیه	$VI = GP*PL$	VI
6	Root length (cm)	طول ریشه‌چه (سانتی متر)		RL
7	Shoot length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی متر)		SHL
8	Seedling length (cm)	طول گیاهچه (سانتی متر)		PL

N تعداد کل بذور کشت شده، N' تعداد کل بذور جوانه‌زده، Nt تعداد بذر جوانه‌زده در روز tام، t زمان جوانه‌زنی(روز)، N'' تعداد بذر جوانه‌زده در روز اول را نشان می‌دهند.

در این پژوهش از بذور چهار لاین و شش رقم مختلف جو شامل (Mb-88-2، M-80-9، Mb-87-14، M-82-14، نیمروز، نصرت، ایذه، ماهور، صحرا و ده سراسری)، که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه تهیه شدند استفاده گردید.

برای تهیه غلظت یک دهم مولار نانو نقره میزان ۵۰۰ میلی‌لیتر آب چندبار تقطیر شده را جوشانده تا اکسیژن آن گرفته شد، بطوری‌که ۴۰۰ میلی‌لیتر آن باقی مانده و سپس بلافاصله آب را به ظرف دیگری منتقل کرده، در آن را محکم بسته تا اکسیژن وارد نشود و به منظور سرد شدن در دمای یخچال گذاشته شد. سه ماده‌ی شیمیایی زیر به مقادیر: نیترات نقره ($AgNO_3 = 0.1698g$)، سدیم سیترات ($C_6H_5O_7Na_3 = 0.2499g$) و نیز سدیم تترا هیدرو بورات ($NaBH_4 = 0.0236g$) به طور جداگانه در بالون حجمی توسط آب دو بار تقطیر شده به حجم ده میلی‌لیتر رسانده شد و به ترتیب از هرکدام یک میلی‌لیتر به آب سرد شده اضافه گردید سپس به مدت ده دقیقه با استفاده از دستگاه استیرر حل شد تا یک سوسپانسیون زرد رنگ بدست آمد. به منظور بدست آوردن محلول‌های یک صدم و پنج صدم مولار، محلول یک دهم مولار با استفاده از فرمول زیر رقیق گردید.

$$M_1V_1 = M_2V_2 \qquad (1)$$

بعد از ثبت و اندازه‌گیری ویژگی‌های جوانه‌زنی در قالب طرح آزمایشی و تبدیل مناسب داده‌ها، تجزیه و تحلیل‌هایی شامل تجزیه واریانس، مقایسات میانگین، همبستگی و نیز تجزیه تحلیل‌های آماری چند متغیره شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ارقام و لاین‌های جو انجام گردید. از نرم افزارهای Excel، SAS، MINITAB و SPSS جهت انجام آنالیزها استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در همه‌ی صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود داشت. بنابراین ژنوتیپ‌ها دارای پتانسیل ژنتیکی متفاوتی برای صفات مورد بررسی در سطح جوانه‌زنی بودند (جدول ۲).

اثر غلظت‌های متفاوت نانونقره (صفر، یک‌درصد و پنج‌درصد) بر صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و شاخص بنیه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اما در صفات طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و طول گیاهچه اختلاف معنی‌داری دیده نشد (جدول ۲).

اثر متقابل سطوح متفاوت نانونقره در ژنوتیپ‌ها نیز برای صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود اما بر صفات انرژی جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه بی‌تأثیر بود. وجود اختلاف معنی‌دار برای اثر متقابل بیانگر روند واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در سطوح متفاوت نانوذره برای صفات مورد ارزیابی بوده است (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی با روش LSD در سطح پنج درصد نشان داد که گروه‌بندی متفاوتی بین ژنوتیپ‌ها برای صفات مورد بررسی وجود دارد (جدول ۳). برای صفات درصد جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشاهده شده رقم نصرت دارای بیشترین میزان بود که با توجه به آزمون LSD در سطح پنج درصد با لاین mb-88-2 اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر ژنوتیپ‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود. همچنین کمترین میزان برای این صفات در لاین‌های m-82-14 و m-80-9 مشاهده شد که فقط با رقم نیمروز اختلاف معنی‌دار نداشتند. رقم نصرت با توجه به میانگین‌های مشاهده شده دارای بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی بود که با توجه به روش LSD با سایر ژنوتیپ‌ها در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین میزان سرعت جوانه‌زنی مربوط به لاین m-82-14 بود که فقط با لاین m-80-9 اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی تحت تاثیر نانو ذرات نقره.

Table 2. Analysis of variance of germination traits under effect of silver nano particles.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات (Mean of squares) درصد جوانه‌زنی Germination percentage	شاخص جوانه‌زنی Germination index	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	انرژی جوانه‌زنی Germination energy	شاخص بنیه Vigor index	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Shoot length	طول گیاهچه Seedling length
ژنوتیپ Genotype	9	2643/09**	114.73**	500.12**	0.041**	223747.30**	5.51**	0.99**	7.40**
تیمار Treat	2	2987.78**	137.94**	817.21**	0.119**	142280.54**	2.45^{ns}	۰/۱۷^{ns}	1.99^{ns}
ژنوتیپ*تیمار Genotype× Treat	18	371.42**	14.81**	52.25**	0.008^{ns}	27228.45**	0.37^{ns}	0.23^{ns}	0.89^{ns}
خطا Residual	60	156.66	6	17.70	0.006	8537.30	0.46	0.14	0.71
ضریب تغییرات Coefficient of variation		17.58	17.43	17.43	9.14	18.18	15.95	12.74	11.76

ns غیرمعنی‌دار، *معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns, * and ** indicates non significant, significant at 5% and 1% probability levels.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی بین ژنوتیپ‌ها.

Table 3. Comparison Mean of Germination traits between genotypes.

ژنوتیپ Genotype	درصد جوانه‌زنی (٪) Germination percentage (%)	شاخص جوانه‌زنی Germination index	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (day^{-1})	انرژی جوانه‌زنی Germination energy	شاخص بنیه Vigor index	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)
نیمروز Nimrooz	53.89^{de}	10.71^{cd}	18.52^{cd}	0.85^{bc}	352.88^{de}	4.12^{b}	2.48^{d}	6.60^{c}
نصرت Nosrat	96.11^{a}	19.71^{a}	32.21^{a}	1^{a}	782.18^{a}	4.98^{a}	3.17^{ab}	8.14^{a}
صحرا Sahra	78.89^{b}	15.77^{b}	26.93^{b}	0.87^{b}	450.50^{c}	2.89^{c}	2.70^{cd}	5.59^{d}
ایذه Izeh	77.22^{b}	15.46^{b}	26.62^{b}	0.88^{b}	570.41^{b}	4.93^{a}	2.59^{d}	7.52^{ab}
ده سراسری Dah sarasari	74.44^{bc}	14.98^{b}	26.03^{b}	0.88^{b}	594.50^{b}	5.01^{a}	3.01^{bc}	8.02^{a}
ماهور Mahoor	78.89^{b}	15.77^{b}	26.10^{b}	0.84^{bc}	512.56^{bc}	3.84^{c}	3.09^{ab}	6.47^{c}
m-82-14	46.68^{e}	9.13^{d}	13.59^{e}	0.75^{d}	323.51^{e}	3.50^{c}	3.18^{ab}	6.47^{c}
mb-87-14	62.78^{dc}	15.52^{c}	20.37^{c}	0.80^{bcd}	423.82^{cd}	4.24^{b}	2.60^{d}	6.84^{bc}
m-80-9	45.56^{e}	9.07^{d}	14.78^{de}	0.78^{cd}	351.92^{de}	4.47^{ab}	3.44^{a}	7.90^{a}
mb-88-2	86.68^{ab}	17.43^{ab}	30.13^{b}	0.89^{b}	718.53^{a}	5.10^{a}	3.26^{ab}	8.36^{a}

در مورد صفت انرژی جوانه‌زنی با توجه به نتایج به‌دست آمده رقم نصرت بیشترین میزان را دارا بود که با سایر ژنوتیپ‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود. کمترین میانگین مشاهده شده برای این صفت مربوط به لاین m-82-14 بود که با لاین‌های m-80-9 و mb-87-14 اختلاف معنی‌داری نداشت. از لحاظ شاخص بنیه رقم نصرت و لاین mb-88-2 دارای بیشترین میزان بدست آمده بودند که با توجه به نتایج با سایر ژنوتیپ‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بودند. کمترین میزان برای این صفت مربوط به لاین m-82-14 بود که البته با رقم نیمروز و لاین m-80-9 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

برای صفت طول ریشه‌چه، ارقام نصرت، ایذه، ده سراسری و لاین mb-88-2 دارای بیشترین میزان طول ریشه‌چه بودند و فقط با لاین m-80-9 اختلاف معنی‌دار نداشتند. ارقام صحرا، ماهور و لاین m-82-14 کمترین میزان را نشان دادند و با توجه به آزمون LSD در سطح ۵٪ با سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار داشتند. براساس نتایج بدست آمده لاین m-80-9 بیشترین میانگین را برای صفت طول ساقه‌چه به خود اختصاص داد و با ارقام نصرت، ماهور و لاین‌های m-82-14 و mb-88-2 اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین ارقام نیمروز، ایذه و لاین mb-87-14 برای صفت فوق، کمترین میانگین را به خود اختصاص دادند که فقط با رقم صحرا اختلاف معنی‌داری نداشتند. در نهایت برای صفت طول گیاهچه، ارقام نصرت و ده سراسری و لاین‌های m-80-9 و mb-88-2 دارای بیشترین میزان طول گیاهچه بودند که فقط با رقم ایذه اختلاف معنی‌دار نشان ندادند. از طرفی رقم صحرا کمترین میانگین را داشت با سایر ژنوتیپ‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی با روش LSD در سطح ۵٪ برای غلظت‌های متفاوت نانونقره اعمال شده در جدول ۴ ارائه شده است. همچنانکه ملاحظه می‌گردد برای صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و شاخص بنیه روند یکسانی وجود داشت. به طوری‌که با اعمال تیمار نانونقره میزان این صفات نسبت به سطح شاهد افزایش یافت. کمترین میزان برای این صفات در سطح شاهد مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان برای این صفات در سطوح ۱٪ و ۵٪ نانونقره مشاهده شد و اینکه بین سطوح نانونقره با همدیگر اختلاف معنی‌دار دیده نشد، اما با سطح شاهد دارای اختلاف معنی دار بودند (جدول۴).

برای صفت طول ساقه‌چه بین سطوح تیمار اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید و همه‌ی سطوح در یک گروه قرار گرفتند. همچنین برای صفات طول ریشه‌چه و گیاهچه اختلافات بین سطوح مختلف تیمار با همدیگر از نظر آماری معنی‌دار نبود. از طرفی بیشترین میزان برای این ویژگی، در سطح ۱٪ نانونقره مشاهده شد که با سطح شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت و همچنین کمترین میزان در سطح ۵٪ نانونقره مشاهده گردید که با سطح شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۴).

نتایج همبستگی بین پارامترهای جوانه‌زنی در جدول ۵ ارائه شده است. بیشترین همبستگی بین صفات درصد جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی به میزان ۱ و کمترین همبستگی بین درصد جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه به میزان ۰/۷ درصد یا ۰/۰۰۷ مشاهده گردید. بین صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و شاخص بنیه با همدیگر و همچنین طول ریشه‌چه و طول گیاهچه با همدیگر همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱٪ وجود داشت.

جدول ۴: مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی بین سطوح متفاوت نانوذرات نقره.

Table 4. Comparison Mean of Germination traits between different levels of nano particles.

تیمار نانو (صدم مولار) Nano treatment	درصد جوانه‌زنی (٪) Germination percentage (%)	شاخص جوانه‌زنی Germination index	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (day^{-1})	انرژی جوانه‌زنی Germination energy	شاخص بنیه Vigor index	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)
0	58.68^{b}	11.59^{b}	18.11^{b}	0.78^{b}	429.37^{b}	4.31^{ab}	2.86^{a}	7.17^{ab}
1	74.68^{a}	15.05^{a}	26.79^{a}	0.89^{a}	557.24^{a}	4.51^{a}	2.98^{a}	7.49^{a}
5	77^{a}	15.52^{a}	27.48^{a}	0.89^{a}	537.63^{a}	3.97^{b}	3.01^{a}	6.98^{b}

جدول ۵. همبستگی بین صفات جوانه‌زنی.

Table 5. The correlation between germination traits.

	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	شاخص جوانه‌زنی Germination index	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	انرژی جوانه‌زنی Germination energy	شاخص بنیه Vigor index	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Shoot length
شاخص جوانه‌زنی Germination index	1^{**}						
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	0.982^{**}	0.987^{**}					
انرژی جوانه‌زنی Germination energy	0.877^{**}	0.889^{**}	0.946^{**}				
شاخص بنیه Vigor index	0.915^{**}	0.922^{**}	0.934^{**}	0.874^{**}			
طول ریشه‌چه Root length	0.298	0.313	0.373	0.464	0.617		
طول ساقه‌چه Shoot length	0.007	0.017	0.031	-0.047	0.226	0.189	
طول گیاهچه Seedling length	0.261	0.278	0.335	0.384	0.618	0.934^{**}	0.527

** همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

** indicates significant correlation at 1% probability level.

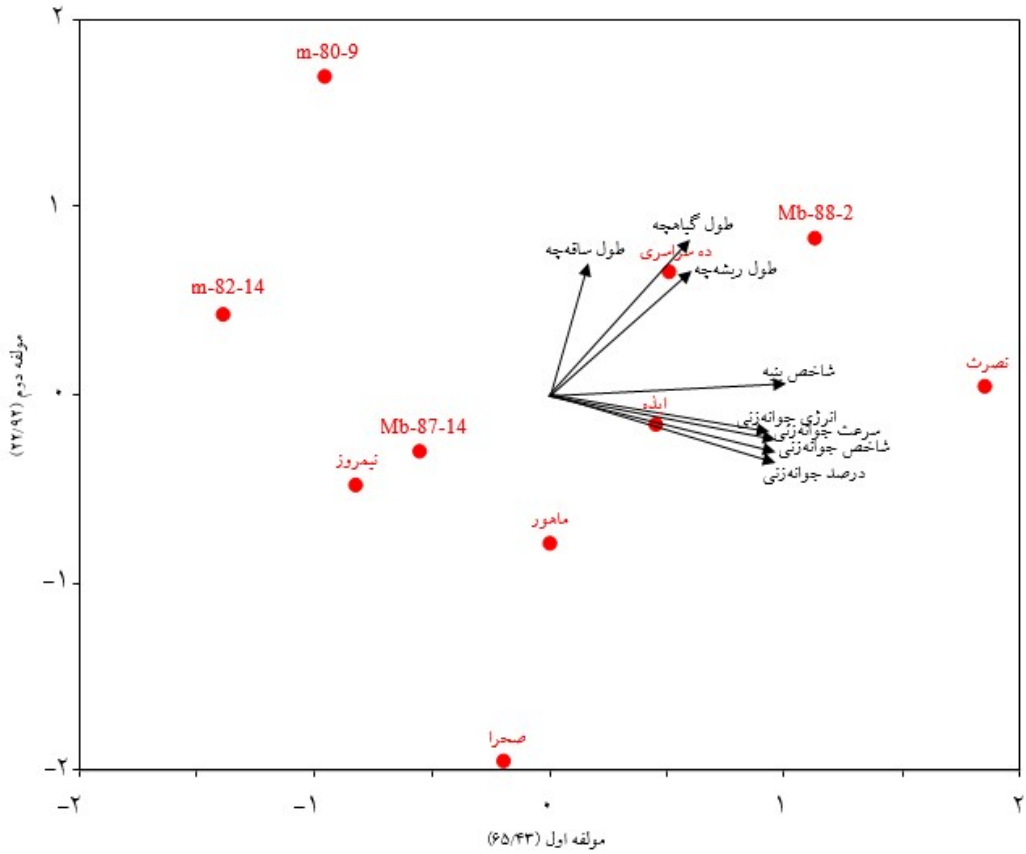
نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای بررسی تنوع صفات مورد ارزیابی در بین ژنوتیپ‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است. دو مؤلفه با مقادیر ویژه‌ی بالای یک استخراج شد که به ترتیب ۶۵/۴۳ و ۲۲/۹۲ درصد از واریانس با این دو مؤلفه بیان شد که در مجموع ۸۸/۳۵ درصد واریانس بین داده‌ها را توجیه کردند. مؤلفه‌ی اول همبستگی مثبت و بالایی با صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و شاخص بنیه داشت. بنابراین مؤلفه‌ی اول به عنوان مؤلفه‌ی مرتبط با پارامترهای جوانه‌زنی نامگذاری گردید. همچنین مؤلفه‌ی دوم همبستگی مثبت و بالایی با صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه داشت و مؤلفه دوم تحت عنوان مؤلفه‌ی رشد رویشی نامگذاری شد.

جدول ۶. مقادیر ویژه و درصد واریانس تجمعی در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات جوانه‌زنی بین ژنوتیپ‌ها.

Table 6. Special values and cumulative percent of variance in principle components analysis for germination traits between genotypes.

صفات Characteristics	مولفه اول First component	مولفه دوم Second component
درصد جوانه‌زنی Germination percentage	0.93	-0.32
شاخص جوانه‌زنی Germination index	0.94	-0.31
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	0.96	-0.26
انرژی جوانه‌زنی Germination energy	0.93	-0.21
شاخص بنیه Vigor index	0.99	0.07
طول ریشه‌چه Root length	0.6	0.65
طول ساقه‌چه Shoot length	0.16	0.67
طول گیاهچه Seedling length	0.57	0.81
مقادیر ویژه Special values	5.23	1.83
درصد از واریانس Percentage Of the variance	65.43	22.92
واریانس تجمعی Cumulative variance	65.43	88.35

بر همین اساس با توجه به مؤلفه‌های اول و دوم بای پلات حاصل از تجزیه به شرح شکل ۱ به دست آمد. پراکنش ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات بیانگر تنوع ژنتیکی بالا در بین آن‌ها می‌باشد. ژنوتیپ‌های نصرت، ایذه، ده‌سراسری و mb-88-2 با توجه به بای پلات حاصل دارای بیشترین مقدار برای مؤلفه‌ی اول (پارامترهای جوانه‌زنی) و مؤلفه‌ی دوم (رشد رویشی) بودند. ژنوتیپ‌های m-82-14 و m-80-9 دارای مقدار کم برای مؤلفه‌ی اول و مقدار زیاد برای مؤلفه‌ی دوم بودند و در ناحیه‌ی سمت چپ قسمت بالا قرار گرفتند به این معنی که رشد رویشی زیاد و درصد و سرعت و انرژی کمی برای جوانه‌زنی داشتند. همچنین براساس مقدار کم برای دو مؤلفه، ژنوتیپ‌های نیمروز، صحرا، ماهور و mb-87-14 در قسمت پایین سمت چپ بای‌پلات قرار گرفتند که دارای کمترین میزان برای اکثر خصوصیات جوانه‌زنی بودند.



شکل ۱. بای‌پلات حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس صفات جوانه‌زنی برای ژنوتیپ‌های جو.

Figure 1. Bi-plot of principal components analysis based on germination traits for barley genotypes.

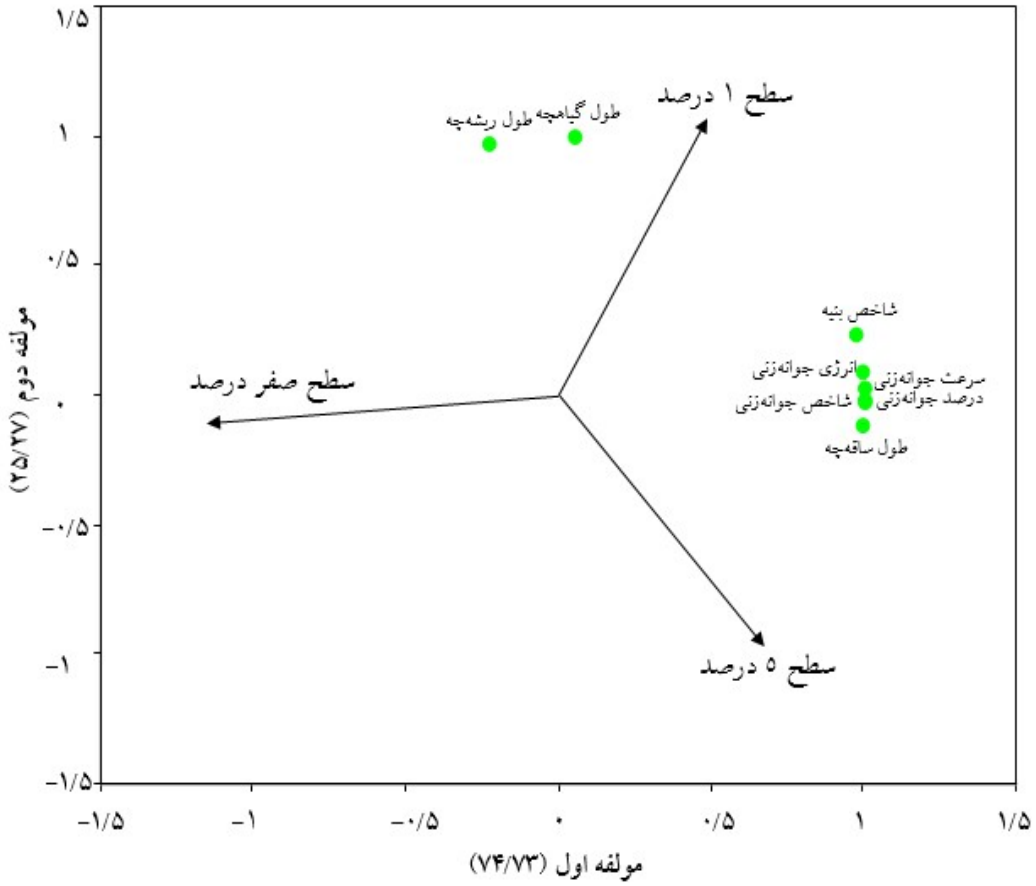
بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات جوانه‌زنی در غلظت‌های متفاوت نانوذره در جدول ۷، دو مؤلفه با مقادیر ویژه‌ی بالای یک استخراج گردید که به ترتیب ۷۴/۷۳ و ۲۵/۲۷ درصد از واریانس را توجیه نموده که در مجموع این دو مؤلفه ۱۰۰ درصد واریانس کل را توجیه کردند. همه‌ی صفات به استثناء طول ریشه‌چه و گیاهچه دارای همبستگی مثبت و بالایی با مؤلفه‌ی اول بودند و طول ریشه‌چه و گیاهچه دارای همبستگی مثبت و بالایی با مؤلفه‌ی دوم بودند. بنابراین مؤلفه اول به عنوان مؤلفه‌ی پارامترهای جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه و مؤلفه دوم به عنوان مؤلفه طول ریشه‌چه و گیاهچه نامگذاری شدند.

جدول ۷. مقادیر ویژه و درصد واریانس تجمعی در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات جوانه‌زنی بین سطوح متفاوت نانوذره.

Table 7. Special values and cumulative percent of variance in principal components analysis for germination traits between different levels of nano particles.

صفات Characteristics	مولفه اول First component	مولفه دوم Second component
درصد جوانه‌زنی Germination percentage	1	-0.03
شاخص جوانه‌زنی Germination index	1	-0.02
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	1	0.02
انرژی جوانه‌زنی Germination energy	1	0.09
شاخص بنیه Vigor index	0.97	0.23
طول ریشه‌چه Root length	-0.23	0.97
طول ساقه‌چه Shoot length	0.99	-0.12
طول گیاهچه Seedling length	0.05	1
مقادیر ویژه Special values	5.98	2.02
درصد از واریانس Percentage Of the variance	74.73	25.27
واریانس تجمعی Cumulative variance	74.73	100

بر همین اساس بای پلات حاصل از مؤلفه‌ها در شکل ۲ ارائه گردید. همان طور که مشاهده می‌گردد، برای صفات جوانه‌زنی سطح یک‌درصد بیشترین میزان برای مؤلفه‌ی اول و مؤلفه‌ی دوم را نشان داد که بیانگر این مطلب است که همه‌ی صفات جوانه‌زنی در سطح یک درصد بیشترین میزان را داشتند. سطح پنج درصد با توجه به مقدار زیاد مؤلفه‌ی اول (پارامترهای جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه) و مقدار کم مؤلفه‌ی دوم (طول ریشه‌چه و طول گیاهچه) در قسمت پایین سمت راست بای‌پلات قرار گرفت. بنابراین ملاحظه می‌گردد که همه‌ی صفات بجز طول ریشه‌چه و طول گیاهچه در سطوح ۱و ۵ درصد دارای مقادیر نسبتاً یکسانی بودند. صفات طول ریشه‌چه و طول گیاهچه در سطح ۱ درصد و سطح شاهد دارای بیشترین میزان بودند و در سطح پنج‌درصد کاهش نشان داده بودند که از نظر آماری این کاهش معنی‌دار نبود. از طرفی سطح شاهد برای هر دو مؤلفه کمترین مقادیر را نشان داد. بنابراین می‌توان بیان داشت که بیشترین میزان برای صفات، در سطوح یک و پنج درصد نانوذره نسبت به سطح شاهد ملاحظه شد و از طرفی سطوح یک و پنج درصد نانوذره نسبت به همدیگر تفاوت چندانی در صفات مختلف ایجاد نکردند. این مشاهدات نتایج مقایسات میانگین را هم تأیید کردند.



شکل ۲. بای‌پلات حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس صفات جوانه‌زنی برای سطوح نانوذره.

Figure 2. bi-plot of principal components analysis based on germination traits for different levels of nano particle.

در این تحقیق اثر نانوذرات نقره بر خصوصیات جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و شاخص بنیه معنی‌دار شد اما بر طول ساقه‌چه تأثیری نداشت، همچنین طول ریشه‌چه و گیاهچه با اعمال نانوذره در غلظت پایین افزایش یافت که اختلاف آن‌ها با شاهد معنی‌دار نبود و در غلظت بالای نانوذره کاهش یافتند که باز هم با شاهد معنی‌دار نبود بنابراین نانوذره بر این صفت تأثیر چندانی نداشت. کوماری و همکاران (Kumari et al., 2011) تأیید کردند که نانونقره می‌تواند از طریق بذر جذب شود که می‌تواند به نوبه‌ی خود بر درصد جوانه‌زنی، طول ریشه و تمرکز پروتئین تأثیر بگذارد.

با توجه به مطالعات صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2011)، تمام فعالیت‌های متابولیکی قبل از جوانه‌زنی در طول پرایمینگ بذر با نانونقره، بذر را برای جوانه‌زنی بلافاصله بعد از کاشت آماده می‌کند. افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور تیمار شده با نانونقره ممکن است به دلیل افزایش سرعت تقسیم سلولی در سلول‌های مریستم ریشه‌چه‌ی بذور از همان ابتدای شروع تیمار با نانوذرات باشد که مطالعات فاروق و همکاران (Farooq et al., 2005) بر روی گوجه‌فرنگی این مطلب را تأیید کرد. همچنین افزایش درصد جوانه‌زنی در تحقیق حاضر این مطلب را تأیید می‌کند. صالحی و تمسکنی (Salehi et al., 2009) نشان دادند که تیمار نانو ذرات نقره (۵۰ میلی گرم در لیتر) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه،

طول ریشه‌چه و در نهایت بهبود استقرار گندم گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

نتایج تحقیقات نانوذره Tio2 بر ماده ژنتیکی موجودات زنده تقریباً مشابه بوده و اغلب انحرافات کروموزومی در مواد ژنتیکی دیده شده ولی در مورد اثر نانوذره Tio2 بر صفات ماکروسکوپی نتایج متفاوتی گزارش شده است. برای مثال نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم جوانه‌زنی و رشد بذور اسفناج را تسریع کرد (Mingyu et al., 2007)، که با نتیجه‌ی این تحقیق مطابقت داشت اما در گیاه جو و باقلا بی‌تاثیر بود (Foltete et al., 2011؛ Takallu, 2013) و در گندم جوانه‌زنی بذور در غلظت‌های مناسب نانوذره Tio2 نسبت به حالت توده‌ای افزایش داشت ولی در غلظت‌های بالا بازدارنده یا غیر موثر بود که برخلاف نتایج این تحقیق بود.

دیمیتریوس و همکاران (Dimitrioss et al., 2009) اثرات ۵ نانو ذره (نانو تیوپ کربن چند جداره، نقره، مس، دی‌اکسید روی، سیلسیوم) را بر جوانه‌زنی، طول ریشه و ماده خشک کدو ارزیابی کردند و مشاهده نمودند نانوذرات مس سبب کاهش طول ریشه نسبت به شاهد شد و بیوماس گیاه تحت تأثیر نانوذرات مس، نقره و نانو تیوپ کربن کاهش یافت. همچنین لین و همکاران (Lin et al., 2007) سمیت گیاهی نانو ذرات روی، اکسید روی، آلومینیوم، آلومینا و نانو لوله‌های کربنی چند جداره را در سطوح جوانه‌زنی و رشد ریشه در شش گونه گیاه آلی (تربچه، کلزا، چچم، کاهو، ذرت و کدو) بررسی کردند. نتایج نشان داد نانوذرات تأثیری در جوانه‌زنی ندارند فقط نانوذرات روی در گیاه چچم و نانوذرات اکسیدروی در ذرت تأثیر داشتند. بازدارندگی رشد ریشه عموما بین نانوذرات و گیاهان نتایج متفاوتی داشت و تحت تأثیر غلظت نانوذرات واقع شد. همانطور که مشاهده گردید در این پژوهش نانونقره سبب کاهش طول ریشه‌چه شد اما این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دارنبود و از طرفی سبب افزایش پارامترهای مخصوص جوانه‌زنی گردید.

هنان و همکاران (Hanan et al., 2014) در بررسی تاثیر نانونقره بر جوانه‌زنی گندم و جو تایید کردند که در هر دو گیاه گندم و جو اعمال نانونقره باعث افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به سطح شاهد می‌گردد، از طرفی اعمال نانو نقره باعث افزایش طول ساقه‌چه و وزن تر و خشک ساقه‌چه و موجب کاهش پارامترهای مربوطه در ریشه‌چه نسبت به سطح شاهد می‌گردد. در پژوهش حاضر اعمال نانو نقره باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی گردید اما بر صفات طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه تاثیر معنی‌داری نداشت. در تحقیق دیگری به منظور بررسی تاثیر نانو ذره‌ی Tio2 بر صفات جوانه‌زنی گیاه جو مشاهده گردید که اختلاف میانگین صفات سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد طولی ریشه‌چه و ساقه‌چه در تیمارهای مختلف نانو ذره Tio2 و شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود (Takallo et al, 2013). اما همانطور که گفته شد در این پژوهش نانو ذره موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی گردید.

نتیجه‌گیری

در بررسی اثر نانوذرات نقره بر خصوصیات جوانه‌زنی، اعمال نانو ذره باعث افزایش پارامترهای جوانه‌زنی از قبیل درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و شاخص بنیه نسبت به سطح شاهد گردید اما بر طول ساقه‌چه و طول ریشه‌چه و گیاهچه تاثیر معنی‌داری نداشت. بیشترین همبستگی بین صفات درصد جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی به میزان ۱ و کمترین همبستگی بین درصد جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه به میزان ۰/۰۰۷ مشاهده گردید. تجزیه به مولفه‌های اصلی برای بررسی تنوع صفات جوانه‌زنی در بین ژنوتیپ‌ها دو مولفه با مقادیر بالا استخراج شد که در مجموع ۸۸/۳۵ درصد واریانس بین داده‌ها را توجیه کردند. که ژنوتیپ‌های نصرت، ایذه، ده‌سراسری و mb-88-2 بیشترین میزان برای دو مولفه یا به عبارتی برای خصوصیات جوانه‌زنی نشان دادند. همچنین تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات جوانه‌زنی در غلظت‌های متفاوت نانوذره نشان داد که دو مؤلفه در مجموع ۱۰۰ درصد واریانس را توجیه کردند، که

بیشترین میزان برای صفات در سطوح یک و پنج درصد نانوذره نسبت به سطح شاهد ملاحظه شد و همچنین غلظت‌های یک و پنج درصد نانوذره نسبت به همدیگر تفاوت چندانی در صفات مختلف ایجاد نکردند.

منابع

Abdolrahmani, B.K., Ghasemi Golazani, M., Valizadeh, V., Feizi Asl, Tavakoli, A., 2011. Priming effect on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) Abidar varieties in rainfed conditions. Journal of Crops Seed. 27, 111-129.

Akbari, G.A., Ghasemi Pirbalouti, M., Najaf Abadi Farahani, M., Shahveri, M., 2004. Effect of harvesting time on soybean seed germination and vigor. Journal of Agriculture. 6, 9-18. [In Persian with English summary]

Bewely, D.J., 1997. Seed germination and dormancy. Plant Cell. 9, 1055-1060.

Biswal, S.K., Nayak, A.K., Parida, U.K., Nayak, P.L., 2012. Applications of nanotechnology in agriculture and food science. International Journal of Science Innovations and Discoveries. 2 (1), 21.

Boonyanitipong, P., Kumar, P., Kositsup, B., Baruah, S., Dutta, J., 2011. Effects of zinc oxide nanoparticles on roots of rice *oryza sativa* L. Environment and Bioscience IPCBEE. 21, 172-176.

Chen, W., Liu, Y., Courtney, H. S., Bettenga, M., Agrawal, C. M., Bumgardner, J.D., 2006. In vitro antibacterial and biological properties of magnetron co-sputtered silver-containing hydroxyapatite coating. Biomaterials. 27 (32), 5512-5517.

Chen, X., Schluesener, H. J., 2008. Nanosilver: a nanoproduct in medical application. Toxicology Letters. 176 (1), 1-12.

Dimitrioss, T., Saionk, S., Jason C.W., 2009. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. Environmental Science and Technology. 43 (24), 9473-9479.

Farooq, M., Basra, S.A.M., Hafeez, K., Ahmad, N., 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. Journal of Integrative Plant Biology. 47 (2), 187–193.

Foltete, A.S., Masfaraud, J.F., Bigorgne, E., Nahmani, J., Chaurand, P., Botta, C., Labille, J., Rose, J., Ferard, J.F., Cotelle, S., 2011. Environmental impact of sunscreen nano materials, Ecotoxicity and genotoxicity of altered TiO_2 nanocomposites on *Vicia faba*. Environmental pollution. 159 (10), 2515-2522.

Foti, S., Cosentino, S.L., Patane, C., Agosta, G.M.D., 2002. Effect of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* L., Moench) under low temperatures. Seed Science and Technology. 30, 521-533.

Hanan, M., 2014. Physiological and Cytogenetic responses of Wheat and Barley to Silver Nano priming treatment. International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology. 5 (3), 265-278.

Haycs, P. M., 1992. Economic trait loci (quantitative trait loci-QTL) analysis progress report. North American Barley Genome Mapping Project (NABGMP), Barley Genetics Newsletter, from http://wheat.pw.usda.gov/ggpages/bgn/21/a21-05.html.

Heydari, M., Shahpesandy, S., Mosavi nik, M., Bijani, M., 2015. Effect of Nano-silicon on the germination and seeding growth of native and bread cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Seed Ecophysiology. 1, 1-16. [In Persian with English summary]

Huang, J., Li, Q. Sun, D., Lu, Y., Su, Y., Yang, X., Wang, H., Wang, Y., Shao, W., He, N., Hong, J., Chen, C., 2007. Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphora* leaf. Nanotechnology. 18, 105-115.

Kumari, M., Sudheer Khan, S., Pakrashi, S., Mukherjee, A., Chandrasekharan, N., 2011. Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa* L. Journal of Hazardous Materials. 190 (1), 613-621.

Lin, D., Xing, B., 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination

and root growth. Environmental Pollution. 150(2), 243-250.

Makouee, H., 1984. Barley cultivation. Cereal Res. Dep., SPII, Karaj, [In Persian with English summary]

Mazumdar, H., Ahmed, G.U., 2011. Synthesis of silver nanoparticles and its adverse effect on seed germinations in *oryza sativa*, *vigna radiata* and *brassica campestris*. International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2 (4), 404-413.

Mingyu, S., Hong, F., Liu, C., Wu, X., Liu, X., Chen, L., Gao, F., Yang, F., Li, Z., 2007. Effects of nanoanatase TiO2 on absorption, distribution of light and photo reduction activities of chloroplast membrane of Spinach. Biological Trace Element Research. 118 (2), 120-130.

Nasirzadeh, A., Mirzaei Nadooshan, H., 2005. Cytological and morphological variation and species of barley (*Hordeum vulgare*) in Fars province. Agricultural Producers. 67, 87-94. [In Persian with English summary]

Salehi, M., Tamassokni, F., Ehsani, M., Arefi, M., 2009. The effect of priming on germination and growth of rapeseed seedlings compared with nano silver under salinity stress. Journal of Plant Sciences Research. 16 (4), 52-57. [In Persian with English summary]

Takallo, S., Davoodi, D., Omidi, M., Ebrahimi, M.A., Rouzbeh, F., Rasoulniia, A., 2013. The effect of Tio2 nanoparticles on cytogenetic index and germination characteristics of barley. Agricultural Biotechnology. 5 (1), 13-26 [In Persian with English summary]

Wijnhoven, S.W.P., Peijnenburg, W.J.G.M., Herberts, C.A., Hagens, W.I., Oomen, A.G., Heugens, E.H.W., 2009. Nano-silver: A review of available data and knowledge gaps in human and enviromental risk assessment. Nanotoxicol, 3 (2), 109. from www.nanosilverco.com

Journal of Seed Ecophysiology

Vol 2, No 1, 2017

47 - 62

University of Birjand

The effects of silver nanoparticles on germination characteristics of Barley genotypes

Farzaneh Ghasemi Sarab Badieh [1] , Arash Fazeli[2], Ali Arminian[*2]

1. M.Sc., students, plant breeding, faculty of agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
2. Assistant Professor of plant breeding, faculty of agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

Received 11 July 2016; Accepted 8 September 2016

Abstract

Introduction: Nanotechnology involves the construction and exploitation of materials and systems through control of the matter at the nanoscale. Nanotechnology is the use of scientific and technical knowledge, which has great potential for improving the quality of human life in various fields such as agriculture and manufacturing. The technology using nanoparticles and biological nanosensors can improve the rapid identification of pathogens and plants, against pests, increase the ability of plants to absorb nutrients, reducing the use of pesticides and also by monitoring soil conditions, plant growth on abiotic can maximize the utilization of inputs conventionally such as fertilizers, pesticides, irrigation and environmental conditions such as temperature, solar radiation and humidity, causing increased food production and food supply.

Materials and methods: : In this study, the effect of nanosilver particles was evaluated on germination and seedling growth of ten barely plant genotypes in a factorial experiment based on completely randomized block design with three replications, under laboratory conditions at 2015 y in Ilam university. In the experiment, examined factors included different concentrations of silver (0, 1% and 5%) and 6 varieties and 4 lines of cultivated barley. Traits such as germination percentage, germination index, germination rate, germination energy, vigor index, root length, shoot length and seedling length were measured.

Results and discussion: Analysis of variance showed that the different concentrations of nanosilver (0, 1% and 5%) were significantly different at 1%. for germination percentage, germination index, germination rate, germination energy and vigor index. In other word, different silver nanoparticles had different effects on traits such as germination percentage, germination index, and germination energy and so on. Also significant differences at 1% were observed among genotypes for all traits studied indicating genotypic diversity in the population studied. Genotype and nanosilver interaction had significant difference (P>0.01) for germination percentage, germination index, and germination rate and vigor index but for energy germination, root length, shoot length and seedling length were not significant. This means that different barley genotypes had various responses to varied silver nanoparticles treatments. According to correlation results, the germination percentage and germination index had the highest correlation (1) and the lowest correlation was observed between germination percentage and length of Plumule (0.007). According to principal component analysis investigating the diversity of traits among genotypes, two components were extracted with eigenvalues more than one. Where, 65.43 and 22.92 percent of the variance were explained by these two components, respectively

*Correspondent author Email: a.arminian@ilam.ac.ir

overall 88.35% of the total variance. The first component was assigned as a component indicating germination parameters (such as: germination percentage, germination index, germination energy) . The second component, assigned as a component indicating growth. Nosrat, Izeh, Ten sarasary and mb-88-2 genotypes had the highest amount of germination characteristics. Also the principal components analysis to examine variability between different levels of nanoparticles showed that two components with eigenvalues over than one were extracted which explained 74.73 and 25.27 percent of the variance, respectively, all amount of variance was explained. The first component nominated as the germination parameters and shoot length and the second component as root and seedling length. Moreover, according to PCA results for examining the diversity of traits between different levels of nanoparticles, the highest amounts of traits were observed ($P>0.01$) of nanoparticles in comparison with control. On the other hand, 1 and 5% levels of nanoparticles did not make much difference with each other, for different traits. These observations also confirmed the results of mean comparisons. In conclusion, results showed that the silver nanoparticles increase the germination parameters such as germination percentage, germination index, germination rate, germination energy and vigor index though did not affect shoot length. The results could indicate intrinsic and practical effects and impacts of silver nanoparticles on biology.

Keywords: **Germination characteristics, Nanosilver, Principal components analysis.**