بررسی تأثیر سطوح سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد اولیه جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تنش شوری

هادی زارع خورمیزی[1*]، حمید سودایی‌زاده[2]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد مرتعداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، ایران

[2]دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۱

چکیده

تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر شوری آب و خاک می‌باشد.در سال-های اخیر به‌کارگیری روش‌هایی که موجب افزایش تحمل گیاه به تنش شوری گردد مورد توجه محققین قرار گرفته است. این مطالعه به منظور بررسی اثر سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد اولیه جو تحت سطوح مختلف تنش شوری انجام پذیرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ٤ تکرار در آزمایشگاه گیاهشناسی دانشگاه یزد انجام گرفت. فاکتور اول سیلیکون با چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و فاکتور دوم تنش شوری در پنج سطح (۰، ۸، ١٦، ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) کاهش یافتند. به‌طوری‌که شاخص‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در تنش شوری ٢٤ دسی زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ٦٦، ٧٥، ٨٥، ٤٥ و ۷۰ درصد کاهش یافت. کاربرد سیلیکون با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار باعث کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری بخصوص در سطوح تنش ١٦، ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر شد. مصرف سیلیکون با غلظت ۱ میلی‌مولار توانست درصد و سرعت جوانه‌زنی را در تنش شوری ٢٤ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب ۲۰ و ۲۸ درصد افزایش دهد. با این‌حال پیشنهاد می‌گردد که مطالعات تکمیلی در این زمینه در شرایط گلخانه و مزرعه صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: سیلیکون، سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر.

*نویسنده مسئول: hadi.zarekh@gmail.com

مقدمه

شوری یکی از عوامل کاهش قابلیت اراضی برای تولید محصولات کشاورزی می‌باشد و در بسیاری از نقاط کره زمین از عوامل محدودکننده تولید کشاورزی به شمار می‌آید (Munns, 2005). بیشترین اثرات شوری مربوط به مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و گزارش شده بیش از ٦ درصد اراضی جهان تحت تأثیر شوری قرار دارد (Atlasii et al ., 2009). کشور ایران نیز به جز نوار باریکی از سواحل دریای خزر در منطقه کاملاً خشک و نیمه خشک واقع شده و بیش از ۹۰ درصد اراضی قابل استفاده کشاورزی آن با خطر افزایش شوری مواجه است (Jafari and Tavili, 2013). خاک‌های شور سطحی معادل ۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشور را پوشش می‌دهند (Mosleh-Arany et al., 2011). به طور کلی تحمل به شوری در تمام مراحل زندگی گیاه اهمیت دارد و بدیهی است که اولین مرحله، مرحله جوانه‌زنی است. از آنجا که عملکرد از نظر کمی و کیفی به میزان و درصد سبز شدن و هم چنین یکنواختی آن وابسته می‌باشد، بنابراین مرحله جوانه‌زنی گیاه، مرحله حساس و مهمی است که می‌تواند با استقرار مطلوب گیاهچه‌ها در فرآیند تولید نقش مهمی ایفا نماید (Khalesrou and Agha Alikhani, 2008). تنش‌های محیطی از قبیل تنش شوری باعث کاهش جوانه‌زنی، ضعف گیاهچه، غیر یکنواختی پوشش مزرعه و در نتیجه موجب افت عملکرد می‌گردند (Khalesrou and Agha Alikhani, 2008). خسارت شوری در گیاهان از طریق اثر اسمزی و کاهش جذب آب، اثر سمیت ویژه یون‌ها و اختلال در جذب عناصر غذایی می‌باشد (Jafari and Tavili, 2013). اثر شوری بر عدم توسعه جوانه‌زنی به‌طور عمده در نتیجه اثر اسمزی کلرید سدیم و کاهش جذب آب توسط بذر می‌باشد. املاح خاک موجب کاهش پتانسیل آب در محیط رشد ریشه شده و جذب آب توسط ریشه را محدود می‌کند (Mauromicale and Licandro, 2002) در نتیجه گیاه دچار خشکی فیزیولوژیک می‌شود که در ادامه با کاهش رشد و تولید ماده خشک مواجه می‌شود. در سال‌های اخیر به‌کارگیری روش‌هایی که موجب افزایش تحمل گیاه به تنش شوری گردد مورد توجه محققین قرار گرفته است. یکی از راه کارهای کاهش اثرات زیانبار تنش شوری، استفاده از روش‌های صحیح تغذیه معدنی گیاهان است که نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد گیاهان دارند.

سیلیکون بعد از اکسیژن دومین عنصر فراوان در روی زمین است (Gottardi et al., 2012). علی‌رغم فراوان بودن این ماده در سطح زمین، به دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر از دسترس گیاه خارج بوده و گیاهان تنها قادر به استفاده از فرم سالیسیلیک اسید $Si(OH_4)$ این عنصر می‌باشند (Liang et al., 2003). اثرات مفید سیلیکون بر رشد، نمو، عملکرد و مقاومت در برابر بیماری‌ها در گونه‌های متنوعی از گیاهان توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (Ma and Yamaji, 2006). مطالعات انجام شده نشان‌دهنده آن است که سیلیکون در بسیاری از موارد با تحریک رشد، افزایش در فعالیت آنزیم‌های ضد اکسنده، موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Epstein, 1994). همچنین بررسی‌های انجام شده بیانگر آن است که سیلیکون در کاهش تنش‌های غیر زیستی شامل تنش‌های شیمیایی (نمک، سمیت فلزات سمی، عدم تعادل غذایی) و تنش‌های فیزیکی (خشکی، دمای بالا، فریز، اشعه ماورا بنفش، رادیو اکتیو) مؤثر است (Shi et al., 2014).

پژوهش‌های اندکی از کاربرد سیلیکون بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهان تحت تنش شوری در دسترس است. در پژوهشی اثر سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد ماش (*Vicia faba* L.) بررسی شد. نتایج نشان داد که سیلیکون افزایش معنی‌دار بر درصد و سرعت جوانه‌زنی نداشته است اما طول محور زیر لپه و میزان گل تحت تیمار سیلیکون بهبود یافته است (Roohizadeh et al., 2015). در پژوهشی دیگر مصرف سیلیکون در بهبود سرعت

جوانه‌زنی نهایی و طول ریشه‌چه یونجه نقشی نداشت و اما باعث افزایش بنیه بذر و شاخص جوانه‌زنی و انرژی جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه شد (Liu et al., 2011). همچنین در مطالعه‌ای دیگر افزایش دسترسی یونجه (*Medicago sativa* L.) به سیلیکون باعث افزایش رشد ریشه و اندام هوایی شد (Guo et al., 2006). کاربرد سیلیکون بر جوانه‌زنی و استقرار گیاه گاوزبان (*Borago officinalis* L.) نشان داد سیلیکون اثر قابل توجهی بر سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و رشد گیاهچه داشته و درصد جوانه‌زنی و وزن تر و خشک کل گیاهچه افزایش یافت (Torabi et al., 2012).

در پژوهشی اثر سیلیکون بر جوانه‌زنی گوجه فرنگی تحت تنش شوری بررسی شد؛ نتایج نشان داد مصرف سیلیکون با غلظت یک میلی‌مولار اثرات مثبت بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر داشته است و باعث بهبود درصد جوانه-زنی، سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی شده است (Haghighi et al., 2012a). همچنین در پژوهشی دیگر مصرف نانو سیلیون نیز باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی گوجه فرنگی تحت تنش شوری شد (Haghighi et al., 2012 b). در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد مصرف سیلیکون (سیلیکات پتاسیم) باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر در گیاه کارلا (*Momordica charantia* L.) تحت تنش شوری شده است همچنین سیلیکون باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان شد (Wang et al., 2010). اثر تغذیه سیلیکون در تحمل به شوری گیاه *Puccinellia distans* در شرایط گلخانه نیز نشان داد که شوری رشد گیاهان را کم می‌کند و تغذیه سیلیکون سبب بهبود رشد و افزایش وزن خشک کل گیاهان می‌گردد (Bandani and Abdolzadeh, 2007).

جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین گیاهان زراعی است. جو چهارمین غله مهم دنیاست و به‌طور معمول در زمین‌هایی که برای سایر غلات چندان مناسب نیست، کشت می‌شود. نزدیک به نیمی از سطح زیر کشت جو در پنج استان خراسان، فارس، لرستان، گلستان و خوزستان قرار دارد، که دارای ارقام بسیار متنوعی است (Emam, 2011). در این پژوهش از جو رقم بهرخ که مناسب کشت در مناطق معتدل می‌باشد، استفاده شد. این رقم دارای تیپ رشد بهاره، دو ردیفه، مقاوم به خوابیدگی، متحمل به بیماری‌ها و با ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر می‌باشد که وزن هزار دانه‌ی آن ٤٨ تا٥٠ گرم و عملکرد آن ۷ تا ۸ تن در هکتار (رکورد ۱۲/۵ تن) می‌باشد.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه جو و بررسی اثر سیلیکون در افزایش تحمل به تنش شوری در مراحل اولیه رشد می‌باشد. با توجه به اینکه پژوهش‌های اندکی در این زمینه ارائه‌شده است، نتایج این تحقیق می‌تواند در بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه جو تحت تنش شوری مورداستفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سیلیکون بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه جو تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۵ به اجرا درآمد. فاکتور اول سیلیکون (به‌صورت سیلیکات سدیم[1]) با چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و فاکتور دوم تنش شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم در پنج سطح (۰، ۸، ١٦، ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر) انتخاب گردید. در این آزمایش از جو رقم بهرخ که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد تهیه شده بود، استفاده شد. جهت

1. Na2o.3Sio2

انجام آزمایش، ابتدا بذر گونه‌ی مورد مطالعه به‌مدت ۲ دقیقه در آب ژاول ۵ درصد ضد عفونی و با آب مقطر شستشو داده شد. تعداد ۲۰ عدد بذر در هر پتری دیش با قطر ۱۲ سانتی‌متر حاوی کاغذ صافی قرار داده شد و به هر کدام ۷ سی‌سی از محلول‌های تهیه شده بر اساس نقشه طرح اضافه گردید. سپس پتری‌دیش‌ها به مدت ۸ روز در دستگاه ژرمیناتور با تناوب نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۱ ± ۲۵درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه صورت پذیرفت. بذور جوانه‌زده آن‌هایی بودند که طول ریشه‌چه ۲-۳ میلی‌متر رسیده بود (Hameed et al., 2013). در انتهای دوره آزمایش، صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و بنیه بذر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی و بنیه بذر به ترتیب از روابط ۱ تا ٦ استفاده شد (Afshar mohammadian et al., 2015; Scott et al., 1984; Agarwal, 2003).

$$GP = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100 \quad (۱)$$

$$GR = \sum \frac{Ni}{Ti} \quad (۲)$$

$$MDG = \frac{FGP}{d} \quad (۳)$$

$$GI = \frac{\sum Ni \times Ti}{N} \quad (٤)$$

$$EG = \frac{nd4}{N} \quad (۵)$$

$$VI = \frac{SL \times GP}{100} \quad (٦)$$

که در این‌روابط n تعداد بذر جوانه زده در روز آخر شمارش، N تعداد کل بذرها، Ni تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز و Ti تعداد روز تا شمار i ام، FGP درصد جوانه‌زنی نهایی و d تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی (طول دورهٔ آزمایش)، nd4 تعداد بذر جوانه زده در روز چهارم، GP درصد جوانه‌زنی و SL طول گیاهچه (cm) می‌باشد.

پس از گذشت ۸ روز، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذور جوانه‌زده با استفاده از خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، بعد از اطمینان از نرمال بودن آن‌ها از روش تجزیه واریانس دو طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. تجزیه آماری داده‌ها در نرم‌افزار SPSS 20 و رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تنش شوری در سطح یک درصد بر تمام فاکتورهای مورد بررسی می‌باشد. اثر سیلیکون بر شاخص‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، انرژی جوانه‌زنی و بنیه بذر در سطح یک درصد معنی‌دار و بر طول ریشه‌چه درسطح ۵ درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات تأثیر معنی‌دار نداشت. نتایج همچنین بیانگر آن است که برهمکنش تنش شوری و سیلیکون بر طول ساقه‌چه در سطح پنج درصد معنی‌دار و بر سایر فاکتورها در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱: میانگین مربعات صفات جوانه‌زنی جو در سطوح مختلف تنش شوری و سیلیکون

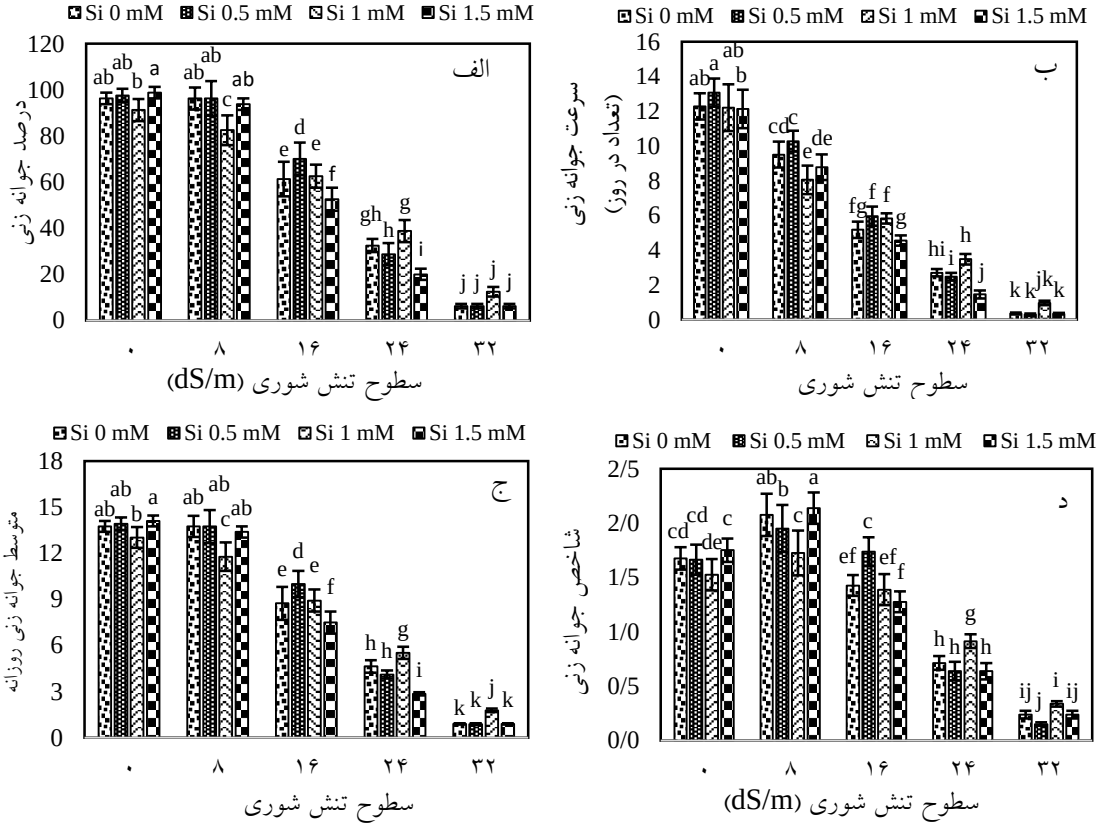
منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	متوسط‌جوانه‌زنی روزانه	شاخص جوانه‌زنی	انرژی جوانه‌زنی	بنیه بذر	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه
شوری	٤	٢٣٦٨٩**	٣٧٦/١**	٤٨٣/٦**	٨/١**	٢/٣٥**	٢٧٢/٩**	١٠٠/٢**	٢٣/٨**
سیلیکون	٣	١١٠/٨٣**	٣/٢٣**	٢/٢٥٦**	٠/٠١١ ns	٠/٠٠٩**	١/٨٨٤**	٠/٠١٩ ns	٠/١٤١*
شوری × سیلیکون	١٢	١٤٨/٨٥**	١/٥١**	٣/٠٣**	٠/١٠١**	٠/٠١٥**	١/٢٠٤**	٠/٣١٠*	٠/١٢٤**
خطا	٦٠	١٩/٧١	٠/٣٦٧	٠/٣٤١	٠/٠١٤	٠/٠٠٢	٠/٢١٧	٠/١٢٨	٠/٠٣٦
ضریب تغییرات		٧/٧٢	١٠/١١	٧/١١	٩/٧٨	٧/٨٢	١٠/٠٨	٩/٧٢	٧/٨٥

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns: غیر معنی‌دار

شکل (۱ الف)، مقایسه میانگین اثر تنش شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون بر درصد جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، تفاوت معنی‌داری از نظر درصد جوانه‌زنی جو بین سطوح شاهد و شوری ۸ دسی زیمنس بر متر مشاهده نشد. با افزایش تنش شوری تا سطح ١٦ دسی زیمنس بر متر، درصد جوانه‌زنی در شرایط عدم مصرف سیلیکون نسبت به تیمار شاهد ۳۳ درصد کاهش یافت. کمترین میزان درصد جوانه‌زنی در سطح شوری ۳۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. استفاده از سیلکون منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی در سطوح شاهد و ۸ دسی زیمنس بر متر نگردید. در صورتی که با مصرف سیلیکون ۰/۵ میلی‌مولار در سطح تنش شوری ١٦ دسی زیمنس بر متر، درصد جوانه‌زنی جو ۱۵ درصد افزایش یافت. همچنین در سطوح ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر سیلیکون با غلظت یک میلی‌مولار باعث بهبود جوانه‌زنی گونه مورد بررسی شد اما این افزایش معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج، اعمال تنش شوری در تمام سطوح منجر به کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد گردید (شکل ۱ ب). به طوری که سرعت جوانه‌زنی در تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و غلظت ۰ میلی‌مولار سیلیکون نسبت به تیمار شاهد به ۲۲ درصد کاهش یافت. تقریباً این‌روند کاهش سرعت جوانه‌زنی تا سطح شوری ۳۲ دسی زیمنس بر متر ادامه یافت. مصرف غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سیلیکون در سطوح شاهد، ۸ و ١٦ دسی زیمنس بر متر و همچنین مصرف سیلیکون ۱ میلی‌مولار سیلیکون در سطوح ١٦، ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر منجر به بهبود سرعت جوانه‌زنی شد ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. (شکل ۱ ب).

با توجه به شکل ۱ (ج) تفاوت معنی‌داری از نظر متوسط جوانه‌زنی روزانه بین سطوح شاهد و شوری ۸ دسی زیمنس بر متر در شرایط عدم مصرف سیلیکون مشاهده نشد. با افزایش تنش شوری به ١٦، ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر متوسط جوانه‌زنی روزانه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ٣٦، ٦٦ و ۹۰ درصد کاهش یافت. مصرف سیلیکون در سطوح شاهد و ۸ دسی زیمنس بر متر نتوانست متوسط جوانه‌زنی روزانه را افزایش دهد. در صورتی که با کاربرد سیلیکون ۰/۵ میلی‌مولار در سطح تنش شوری ١٦ دسی زیمنس بر متر متوسط جوانه‌زنی روزانه ۱۵ افزایش یافت و همچنین مصرف سیلیکون ۱ میلی‌مولار در سطوح ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر منجر به افزایش معنی‌دار (به ترتیب ۲۰ و ۱۰۰ درصد) این صفت شد. همچنین این‌روند در شاخص جوانه‌زنی نیز مشاهده شد. به طوری که سیلیکون در سطوح ١٦، ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر باعث بهبود شاخص جوانه‌زنی شد (شکل۱ د). با افزایش تنش شوری به ۸ دسی زیمنس بر متر شاخص جوانه‌زنی ۲۳ درصد افزایش یافت. سپس با افزایش تنش شوری به طور معنی‌داری

شاخص جوانه‌زنی کاهش یافت به طوری که کمترین میزان آن در سطح تنش شوری ۳۲ دسی زیمنس بر متر و عدم مصرف سیلیکون مشاهده شد (شکل ۱ د).

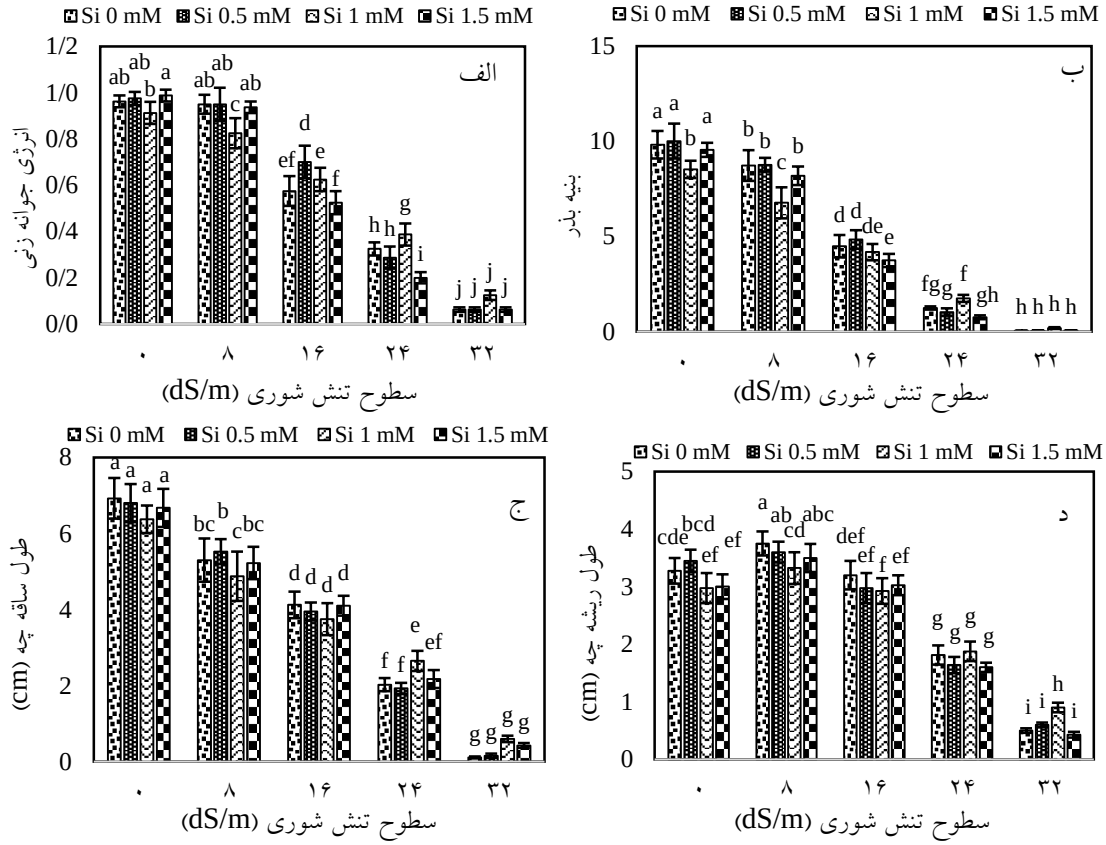


شکل ۱: مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و سیلیکون بر درصد (الف)، سرعت جوانه‌زنی (ب)، متوسط جوانه‌زنی روزانه (ج) و شاخص جوانه‌زنی (د) بذر جو. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

با توجه به شکل ۲ (الف) تنش شوری منجر به کاهش انرژی جوانه‌زنی شد به‌طوری‌که کمترین میزان آن در سطح ۳۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. مصرف سیلیکون با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در سطح ۱۶ دسی زیمنس بر متر و سیلیکون ۱ میلی‌مولار در سطح ۲۴ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۳ و ۱۸ درصدی انرژی جوانه‌زنی شد. شاخص بنیه بذر با افزایش تنش شوری کاهش یافت (شکل ۲ ب). بر اساس نتایج با افزایش سطوح تنش شوری به ۸، ۱۶ و ۲۴ دسی زیمنس بر متر شاخص بنیه بذر جو رقم بهرخ در تیمار عدم مصرف سیلیکون نسبت به تیمار شاهد ۱۱، ۵۴ و ۸۷ درصد کاهش یافت. مصرف سیلیکون با غلظت‌های مختلف نتوانست افزایش معنی‌دار در این شاخص ایجاد کند (شکل ۲-ب).

با افزایش سطوح تنش شوری طول ساقه‌چه کاهش یافت به طوری کمترین طول ساقه‌چه در سطح تنش شوری ۳۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. مصرف سیلیکون تنها در سطح شوری ۲۴ دسی زیمنس بر متر با غلظت ۱ میلی‌مولار منجر به افزایش (۳۰ درصد) معنی‌دار طول ساقه‌چه شد و در سطوح دیگر تنش شوری، مصرف سیلیکون اثر معنی‌داری بر طول ساقه‌چه ایجاد نکرد (شکل ۲ ج). اعمال تنش شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر منجر به افزایش

طول ریشه‌چه نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش تنش شوری تا سطح ۲۴ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر در شرایط عدم مصرف سیلیکون، طول ریشه‌چه نسبت به شاهد به‌ترتیب ٤٤ و ٨٤ درصد کاهش یافت. همچنین مصرف سیلیکون با غلظت ۱ میلی‌مولار در تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه (۸۰ درصد) شد. در سایر سطوح تنش شوری، سیلیکون نتوانست طول ریشه‌چه را بهبود دهد (شکل ۲ د).



شکل ۲: مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و سیلیکون بر شاخص انرژی جوانه‌زنی (الف)، بنیه بذر (ب)، طول ساقه‌چه (ج) و ریشه‌چه (د) جو. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

بحث

نتایج نشان داد افزایش تنش شوری منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی گردید. کاهش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از طریق افزایش شوری به علت کاهش جذب آب از طریق افزایش فشار اسمزی محلول می‌باشد (Yupsanis et al., 1994). آب مهم‌ترین عامل در شروع فرایندهای مربوط به جوانه‌زنی بذر است. همچنین پژوهش‌ها نشان می‌دهد کمبود آب منجر به افزایش مقدار مواد بازدارنده رشد از جمله آبسیزیک اسید و کاهش مقدار هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها در گیاه می‌شود (Akhavan Armaki et al., 2013). از طرفی شوری زیاد باعث سمیت و بهم خوردن تعادل یونی شده که روی فعل و انفعالات حیاتی بذر اثر می‌گذارد و در نهایت باعث جلوگیری از جوانه‌زنی بذر می‌شود (Mosleh-Arany et al., 2011). تحقیقات انجام شده نشان داده است که افزایش شوری سبب افزایش جذب یون‌های سدیم و کلر توسط گیاه شده که این یون‌ها علاوه بر اثرات سمیت، باعث

اختلال در متابولیسم عناصر غذایی دیگر می‌شوند (Gorham, 1996). کاهش سرعت جوانه‌زنی نیز می‌تواند به کاهش جذب آب توسط بذرها ارتباط داشته باشد. اگر جذب آب توسط بذرها دچار اختلال شود و یا جذب آب به کندی صورت گیرد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی صورت خواهد گرفت و در نتیجه مدت زمان خروج ریشه از بذر افزایش و از این‌رو سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد (Hosseini and Rezvani Moghadam, 2006).

تحقیقات متعددی اثرات منفی تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهان زراعی و مرتعی را نشان می‌دهد. نتایج اثر تنش شوری بر ارقام جو (افضل، نصرت، ریحان، ٤ شوری و رودشت) نشان داد افزایش تنش شوری منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی ارقام مورد بررسی شده است به طوری که کمترین میزان جوانه‌زنی در سطح تنش شوری ۲۵ دسی زمینس بر متر مشاهده شد (Tabatabaei et al., 2014). اثر سطوح مختلف تنش شوری بر روی گونه *Agropyron elongatum* و *A. desertorum* نیز نشان داد که افزایش تنش شوری منجر به کاهش درصد و سرعت و شاخص بنیه بذر شده است به طوری که حداکثر فاکتورهای ذکر شده در تیمار شاهد مشاهده شده است (Arab et al., 2011). در پژوهشی دیگر اثر تنش شوری بر شبدر برسیم بررسی شد که نشان داد افزایش تنش شوری منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر شده است به طوری که جوانه‌زنی این گونه در تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم متوقف شد (Tamartash et al., 2010). اعمال تنش شوری بر چهار رقم بادام زمینی نیز باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و بینه بذر شد (Afshar mohammadian et al., 2015). اثر تنش شوری بر ارقام گندم (Farshid et al., 2014) و دو ژنوتیپ گیاه *Corchorus olitorius* L. (Mguis et al., 2014) نیز نشان داد با افزایش سطوح تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد.

نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف سیلیکون با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار باعث بهبود درصد جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی و انرژی جوانه‌زنی در سطوح شوری ١٦، ٢٤ و ۳۲ دسی زیمنس بر متر شد. همچنین بر اساس نتایج مصرف سیلیکون با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار باعث بهبود سرعت جوانه‌زنی شد اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین سیلیکون در سطوح شاهد و ۸ دسی زیمنس بر متر افزایش معنی‌داری در فاکتورهای مورد بررسی ایجاد نکرد. سایر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه این نتایج را تائید می‌کند. در بررسی اثر مصرف سیلیکون بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گوجه فرنگی تحت تنش شوری مصرف سیلیکون با غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار در سطوح شاهد و ۲۵ میلی‌مولار NaCl نتوانست درصد و سرعت جوانه‌زنی را به‌طور معنی‌دار افزایش دهد. اما در سطوح بالای تنش شوری (۵۰ میلی مولار) سیلیکون ۱ میلی‌مولار باعث بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی شد (Haghighi et al., 2012 a). در پژوهشی دیگر اثر نانو سیلیکون بر شاخص‌های جوانه‌زنی گوجه فرنگی تحت تنش شوری بررسی شد که نتایج مشابه بدست آمد. به‌طوری‌که سیلیکون باعث بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی شد اما این تغییرات در اکثر سطوح معنی‌دار نبود (Haghighi et al., 2012 b). اثر کاربرد سیلیکون به‌صورت سیلیکات سدیم بر جوانه‌زنی و رشد ماش (*Vicia faba* L.) نیز نشان داد که سیلیکون افزایش معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی نداشته است (Roohizadeh et al., 2015). در صورتی که اثر مصرف سیلیکون به‌صورت سیلیکات پتاسیم بر گیاه *Momordica charantia* L. تحت تنش شوری نشان داد که مصرف این ماده به‌طور معنی‌دار باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش شوری گردید (Wang et al.,

2010). در پژوهشی دیگر سیلیکون باعث بهبود شاخص جوانه‌زنی و انرژی جوانه‌زنی شد اما بر سرعت جوانه‌زنی نهایی اثر معنی‌دار نداشت (Liu et al., 2011).

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که افزایش تنش شوری منجر به کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه جو گردید. کاهش جذب آب از طریق افزایش فشار اسمزی در محیط بذر و ریشه، فعالیت‌های متابولیکی و سوخت و سازی را کاهش می‌دهد و به دنبال آن طول ساقه‌چه و ریشه‌چه کاهش می‌یابد. آب در بسیاری از فرایندها مانند فتوسنتز و واکنش‌های شیمیایی مانند هیدرولیز نشاسته به قند در هنگام جوانه‌زدن بذرها شرکت کرده و همچنین کمبود آب به نحوی که نتواند آماس سلولی را تأمین کند از طریق پتانسیل اسمزی باعث کاهش رشد گیاهچه می‌شود (Alizadeh, 2010). تنظیم اسمزی سلول و حفظ آماس سلولی با ساخت مواد آلی نظیر بتائین، گلایسین، پرولین، سوربیتول و مانیتول انجام می‌شود. از آنجایی که گیاه برای ساخت این مواد انرژی زیادی صرف می‌کند، بنابراین رشد اندام‌های گیاهی به ویژه رشد اندام‌های هوایی گیاه کاهش می‌یابد (Penuelas et al., 1997). پژوهش‌های دیگر بر روی گیاهان زراعی و مرتعی اثرات منفی تنش شوری را بر روی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نشان می‌دهد. بررسی اثر تنش شوری بر ارقام جو با نام‌های افضل، نصرت، ریحان، ٤ شوری و رودشت (Tabatabaei et al., 2014)، چهار ژنوتیپ جو بدون پوشینه (Mashi and Galeshi, 2007)، ارقام گندم (Farshid et al., 2014)، شبدر برسیم (Tamartash et al., 2010) و چهار رقم بادام زمینی (Afshar mohammadian et al., 2015) نیز نشان داد افزایش شوری منجر به کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه شده است.

نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف سیلیکون با غلظت‌های مختلف نتوانست افزایش معنی‌دار در طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و همچنین شاخص بنیه بذر ایجاد کند. کاربرد غلظت‌های ۱و ۲ میلی‌مولار سیلیکون و نانو سیلیکون درگوجه فرنگی تحت تنش شوری نیز اثر معنی‌داری بر شاخص بنیه بذر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نداشت (Haghighi et al., 2012 a; Haghighi et al., 2012 b). با این‌حال مصرف سیلیکون به‌صورت سیلیکات پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار بنیه بذر گیاه *Momordica charantia* L. شد (Wang et al., 2010). مصرف سیلیکون بر گیاه *Cucumis sativus* L. تحت تنش شوری در شرایط گلخانه نیز نشان داد سیلیکون اثر معنی‌دار در ارتفاع گیاه ندارد (Amirossadat et al., 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مشابه می‌باشد.

هر چند افزایش مقاومت به شوری در مراحل اولیه رشد نمی‌تواند بیانگر مقاومت گیاه در سایر مراحل زندگی گیاه باشد با این‌حال پژوهش‌ها در این زمینه نشان می‌دهد بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در مراحل اولیه رشد نقش مهمی را در تولید ایفا می‌کند. به عنوان مثال در پژوهشی افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی ناشی قدرت پایین بذور، محصول دانه گندم و جو پاییزه به طور معنی‌داری کاهش داد (Hasstrup et al., 1993). بررسی رابطه شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر ارقام تجاری سویا با ظهور گیاهچه در مزرعه نیز نشان داد بذرهای با قابلیت جوانه‌زنی اولیه بالاتر، در شرایط مزرعه نیز از درصد ظهور اولیه و نهایی و سرعت ظهور گیاهچه‌ی بالاتری برخوردار بودند و گیاهچه‌های با بنیه قوی‌تری ایجاد کردند (Pasandideh et al., 2014). همچنین در پژوهش دیگری رابطه شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر گندم بهاره در شرایط آزمایشگاه و تولید در مرزعه بررسی شد. نتایج نشان داد عملکرد گیاهان حاصل از بذور با قدرت پایین ۳۲–٤۸ درصد کمتر از گیاهان حاصل از بذور با قدرت بالا بود (Izadkhah et al., 2012). بنابراین انتظار می‌رود کاربرد سیلیکون با بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی جو بتواند در تحمل به تنش شوری در مراحل اولیه رشد مؤثر باشد.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی تنش شوری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاه جو گردید. به‌طوری‌که بیشترین مقادیر برای صفات مذکور در شرایط بدون تنش و کمترین آن در شرایط بیشترین تنش مشاهده شد. همچنین یافته‌های این آزمایش نشان داد کاربرد سیلیکون در شرایطی که گیاه جو با تنش شوری مواجه می‌باشد می‌تواند باعث بهبود برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی شود. با توجه به اینکه پژوهش‌های اندکی در زمینه کاربرد سیلیکون انجام شده است پیشنهاد می‌شود تحقیقات تکمیلی در این زمینه در شرایط گلخانه و مزرعه انجام پذیرد.

References

Afshar mohammadian, M., Ebrahimi Nokandeh, S., Damsi, B.H. and Jamalomidi, M. 2015. The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of four cultivars of *Arachis hypogaea* L. Journal of plant researches, 28 (1): 23-33.

Agarwal, R.L. 2003. Seed technology. Publication Company Limited New Delhi, India.

Akhavan Armaki, M., Azarnivand, H., Asareh, M.H., Jafari, A.A. and Tavili, A. 2013. Evaluation of drought resistance in four species of *Agropyron* based on germination and initial growth roperties. Watershed Management Research, 98: 42-50.

Alizadeh, A. 2010. Soil water-plant Relationship (10th Edition). Imam Reza University Publication. 470p.

Amirossadat, Z., Mohammadi Ghehsareh, A. and Mojiri, A. 2012. Impact of Silicon on Decreasing of Salinity Stress in Greenhouse Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Soilless Culture, Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 6 (17): 171-174.

Arab, F., Jafari, A.A., Assareh, M.H., Jafari, M. and Tavili, A. 2011. Salinity effects on seed germination and seedling growth in *Agropyron deserterum* and *Agropyron elongatum*, Iranian journal of Range and Desert Reseach, 18 (1): 17-31.

Atlassi, P. V., Nabipour, M., and Meskarbashee, M. 2009. Effect of salt stress on chlorophyll content, Fluorescence, Na+ and K+ ions content in Rape plants (*Brassica napus* L.). Asian Journal of Agriculture 3 (2): 28-37.

Bandani, M., and Abdolzadeh, A. 2007. Effects of silicon nutrition on salinity tolerance of *Puccinellia distans* (jacq.) parl. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14 (3): 111-119.

Emam, Y. 2011. Cereal Production (4th Ed). Shiraz University Press, Shiraz. 190p.

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Science, 91 (1): 11-17.

Farshid, R., Sahrai, E., and Zamani, G.R. 2014. Effect of NaCl Salinity on Germination and Seedling Growth of 12 Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research, 12 (1): 146-152.

Gorham, J., 1996. Mechanisms of salt tolerance of halophytes. 30-53, In: Allah, R. C., Nalcolm, C. V. and Aamdy, A. (Eds.), Halophytes Ecologic Agriculture, Marcel Dekker Inc., New York, USA, 400p.

Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Romheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Costa, L.D., and Cesco, S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* L.) plants. Plant Physiology and Biochemistry, 56: 14-23.

Guo, Z.G., Liu, H.X., Tian, F.P., Zhang, Z.H. and Wang, S. M. 2006. Effect of silicon on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Australian Journal of Experimental Agriculture, 46: 1161–1166.

Haghighi, M., Afifipour, Z., and Mozafarian, M. 2012. a. The Alleviation Effect of Silicon on Seed Germination and Seedling Growth of Tomato under Salinity Stress. Vegetable Crops Research Bulletin, 76: 119–126.

Haghighi, M., Afifipour, Z. and Mozafarian, M. 2012. b. The Effect of N-Si on Tomato Seed Germination under Salinity Levels. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 6 (16): 87-90.

Hameed, A., Ahmad Sheikh, M., Jamil, A. and Ahmed Basra, S.M. 2013. Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water

deficit stress induced by polyethylene glycol. Pakistan Journal of Life and Social Sciences, 11 (1): 19-24.

Hasstrup, P.L., Jourgenson, P.E. and Poulsen, I. 1993. Effect of seed vigour and dormancy on field emergence, development and grain yield of winter wheat and winter barely. Seed Sience and Technology, 27: 1-33.

Hosseini, H., and Rezvani Moghadam, P. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*), Journal of Agronomic Research, 4 (1), 15-22.

Izadkhah, M., Tajbakhsh, M. and Hasnzade, A. 2012. Investigation effects of seed vigor on grain yield, sedling and some seed characteristics in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 25 (3): 37-48.

Jafari, M., and Tavili, A. 2013. Reclamation of Aridlands (4th Edition). Univercity of Tehran Publication, Tehran, 397 p.

Khalesrou, Sh., and Agha Alikhani, M. 2008. Effect of salinity and water Deficit stress on seed germination, Pajouhesh & Sazandegi, 20 (4): 153-163.

Liang, Y. C., Chen, Q., Lui, Q., Zhang, W. and Ding, R. 2003. Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stress barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant Physiology, 160 (10): 1157-1164.

Liu, H.X., Shen, X.R. and Guo, Z.G. 2011. Effects of silicon on seed germination and seedling growth of alfalfa. Journal Acta Prataculturae Sinica , 20 (1): 155-160.

Ma, J.F., and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science, 11 (8): 392-397.

Mashi, A., and Galeshi, S.A. 2007. The effect of salinity on germination idexes of four hull-less barley genotypes. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 13 (6): 68-75.

Mauromicale, G., and Licandro, P. 2002. Salinity and temperature effects on germination, emergence and seedling growth of global Artichoke. Agronomie, 22:443-450.

Mguis, Kh., Albouchi. A., and Ben Brahim, N. 2014. Germination responses of *Corchorus olitorius* L. to salinity and temperature. African Journal of Agricultural Research, 9 (1):65-73.

Mosleh-Arany, A., Bakhshi-Khaniki, G., Nemati, N. and Soltani, M. 2011. Investigation on the effect of salinity stress on seed germination of Salsola abarghuensis, Salsola arbuscula and Salsola yazdiana. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 18 (2): 267-279.

Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 167: 645-663.

Pasandideh, H., Seyed Sharifi, R., Hamidi, A,, Mobasser, S. and Sedghi, M. 2014. Relationship of seed germination and vigour indices of commercial soybean *Glycine max* (L.) Merr. cultivars with seedling emergence in field. Iranian Journal of Seed Science and Research, 1(1): 29-50.

Penuelas, J., Isla, R., Fillela, I. and Araus, J.L. 1997. Visible and near-inrared reflectance assessment of salinity effects on barley. Crop Science, 37 (1): 198- 202.

Roohizadeh, G., Majd, A. and Arbabian, S. 2015. The effect of sodium silicate and silica nanoparticles on seed germination and growth in the *Vicia faba* L. Tropical Plant Research, 2 (2): 85–89.

Scott., S.J., Jones, R.A. and Willams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24 (6): 1192-1199.

Shi, Y., Zhang, Y., Yao, H., Wu, J., Sun, H. and Gong, H. 2014. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. Plant Physiology and Biochemistry, 78: 27-36.

Tabatabaei, S.A., Kouchaki, A.R., Molasadeghi, J. 2014. Evaluation of salinity tolerance of barley cultivars in vitro and field conditions. Crop physiology journal, 5 (20): 87-120.

Tamartash, R., Shokrian, F., and Kargar. M. 2010. Effects of salinity and drought stress on *Trifolium alexanderium* L. seed germination properties. Rangeland, 4 (2): 288-297.

Torabi, F., Majd, A., and Enteshari, S. 2012. Effect of exogenous silicon on germination and seedling establishment in *Borago officinalis* L. Journal of Medicinal Plants Research, 6 (10): 1896-1901.

Wang, X. D., Ou-yang, C., Fan, Z., Gao, S., Chen, F., and Tang, L. 2010. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activi-ties of *Momordica charantia* under salt stress. Journal of Animal & Plant Sciences, 6 (3): 700-708.

Yupsanis, T., Moustakas, M., Eleftheriou, P. and Domiandou, K. 1994. Protein phosphorylation dephosphorylation in alfalfa seeds germination under salt stress. Journal of Plant Physiology, 143 (2): 234–240.