اثر پیش‌تیمار با نانوکلات آهن و پتاسیم بر جوانه‌زنی و رشد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش شوری

مهیا عسکری[۱]، حسن نورافکن[۲*]، لیلا حجتی[۳]، پرستو نعمتی‌راد[۴]

[۱،۳ و۴]کارشناس، گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

[۲]استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۰

چکیده

جوانه‌زنی مرحله‌ای مهم و اساسی در زندگی اکثر گیاهان می‌باشد و تحمل به شوری در این مرحله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌منظورارزیابی مصرف نانوکلات آهن وپتاسیم بر بهبود جوانه‌زنی و صفات رشدی اولیه گیاه سیاهدانه تحت شرایط تنش شوری، پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار درآزمایشگاه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه اجراشد. فاکتور اول شامل پیش‌تیمار بذر با نانوکلات آهن و پتاسیم هرکدام درسه سطح ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در کنار پیش‌تیمار با آب مقطر و فاکتور دوم چهار سطح شوری با کلرید سدیم ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ میلی‌مولار بود. نتایج نشان داد سطوح بالای کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گردید. همچنین، مصرف نانوکلات پتاسیم نسبت به نانوکلات آهن اثر مثبت بیشتری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سیاهدانه در شرایط تنش و بدون تنش شوری داشت و با مصرفنانوکلات پتاسیم به تنهایی و یا تحت تنش شوری، شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه عملکرد بهتری نشان داد. بنابراین، می‌توان برای کاهش اثرات سوء شوری بر جوانه‌زنی بذر سیاهدانه، از پیش‌تیمار نانوکلات پتاسیم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: استرس، پرایمینگ، تندش، کلرید سدیم، نانوذره

مقدمه

شوری زیاد خاک ازجمله عوامل محدودکننده عملکرد محصولات در سرتاسر جهان به شمار می‌رود که این مسئله به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین مشکلات بخش کشاورزی است (Akbari Ghogdi et al., 2011). حضور نمک در محیط ممکن است آغاز فرآیند جوانه زدن را به تأخیر انداخته، سرعت آن را کاهش داده و همچنین غیریکنواختی جوانه‌زنی بذر را سبب شود (Madadi et al., 2016). پاسخ گیاهان به تنش شوری بسیار پیچیده است. این پاسخ از غلظت نمک، نوع یون‌ها، عوامل مختلف محیطی و مرحله رشد و نموی گیاه تأثیر می‌پذیرد (Ghavami et al., 2004). جوانه‌زنی مرحله‌ای مهم و اساسی در زندگی اکثر گیاهان می‌باشد و برای استقرار و تثبیت گیاهانی که در خاک‌های شور به سر می‌برند، تحمل شوری در مرحله جوانه‌زنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Anvari et al., 2009). بنابراین بذرهایی که بتوانند در مرحله جوانه‌زنی واکنش مناسبی نسبت

*نویسنده مسئول: hassannourafcan@gmail.com

به تنش شوری نشان دهند، رشد بهتری داشته و سیستم ریشه‌ای قوی‌تری را تولید می‌کنند (Kabiri and Naghizadeh, 2015).

اثرات منفی شوری می‌تواند به‌وسیله اقدامات مختلفی رفع گردد که پیش‌تیمار[1] بذر ازجمله این روش‌ها محسوب می‌شود (Madadi et al., 2016). پیش‌تیمار یکی از روش‌های بهبود کارکرد بذر می‌باشد. در پیش‌تیمار بذرها مقداری آب جذب می‌کنند تا مراحل اولیه جوانه‌زنی انجام شود اما ریشه‌چه خارج نمی‌شود. این عمل باعث افزایش درصد، سرعت، یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذر می‌گردد. پیش‌تیمار باعث افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل گلوتاتیون و آسکوربات در بذر می‌گردد که این آنزیم‌ها فعالیت پر اکسیداسیون لیپید را طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهند و درنتیجه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شوند (Soltani et al., 2008). پیش‌تیمار دارای محاسن و معایبی است و بسته به گونه گیاهی، مرحله نموی گیاه، غلظت عامل پیش تیمار و مدت‌زمان اعمال تیمار، اثرات متفاوتی برجا می‌گذارد (Madadi et al., 2016).

عناصر غذایی نقش‌های متعددی را در گیاه ایفا می‌کنند و وجود این عناصر برای بهبود رشد گیاه در شرایط وقوع تنش‌های محیطی لازم است (Madadi et al., 2016). پتاسیم ازجمله مهم‌ترین عناصر پرمصرف در تغذیه گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی می‌باشد (Rezvani Moghaddam and Seyyedi, 2014). پتاسیم سبب فعال شدن آنزیم‌های گیاهی، حفظ آماس سلولی، افزایش فتوسنتز، کاهش تنفس سلولی، کمک به انتقال قند و نشاسته، کمک به جذب نیتروژن و همچنین برای ساخت پروتئین ضروری است. علاوه بر فرایندهای گیاهی، باعث بهبود کیفیت محصول از طریق کمک به پرشدن دانه و وزن دانه، تقویت ساقه، افزایش مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها و همچنین افزایش مقاومت در برابر تنش می‌شود (Deilamirad et al., 2017). بخش زیادی از عدم توازن یون‌ها تحت شوری، به دلیل تغییر در نسبت پتاسیم به سدیم است که درنتیجه انباشتگی یون سدیم و کاهش جذب پتاسیم می‌باشد. افزایش غلظت یون پتاسیم در محیط ریشه ممکن است تنش ناشی از یون سدیم را تا حدودی خنثی کند (Karimi et al., 2009). از سوی دیگر، آهن ازجمله عناصر ضروری برای رشد و تولیدمثل گیاهان بوده و برای بقا گیاهان لازم است. این عنصر در فرایند فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و کلروفیل در گیاهان نقش دارد. نقش این عنصر در تثبیت نیتروژن و فعالیت برخی از آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز به‌خوبی موردبررسی قرار گرفته است (Yousefzadeh et al., 2016). مصرف عناصرغذایی کم‌مصرف می‌تواند مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی همچون خشکی و شوری را افزایش دهد (Fathi and Zahedi, 2014). هرچند وجود برخی فلزات ازجمله آهن در خاک برای رشد گیاهان ضروری است، غلظت‌های بالای این عناصر از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد سمی و القا تنش اکسیداتیو می‌تواند عاملی برای بازدارندگی رشد و ایجاد علائم سمیت می‌شود. بنابراین، تعیین میزان مطلوب آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Yousefzadeh et al., 2016).

نانوکودها به کودهایی اطلاق می‌شود که اندازه‌ی عنصر به‌کار رفته در آن‌ها کمتر از ۱۰۰ نانومتر است (Moghadam et al., 2015). ترکیبات نانو از منابعی هستند که توانایی جایگزینی کودهای شیمیایی را دارا می‌باشند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی، استفاده از ترکیبات نانو در تغذیه گیاه است (Yousefzadeh et al., 2016). اثر نانوذرات بر گیاهان می‌تواند مفید (بهبود جوانه‌زنی، رشد و تکامل گیاهچه) یا غیرمفید (جلوگیری از رشد ریشه) باشد (Omidi Nargesi et al., 2015).

1. Treatment

در پژوهشی، مصرف کود پتاسیم موجب کاهش اثرات مضر شوری و بهبود عملکرد هندوانه شده است (Jalali and Jafari, 2012). همچنین، شوری نیاز گیاه به پتاسیم را در گیاه سسبانیا افزایش داده است (Karimi et al., 2009). مصرف نانو کلات آهن موجب تسریع در جوانه‌زنی بذرهای سویا و رشد گیاهچه، افزایش فعالیت ریشه سویا و آنزیم نیترات ردوکتاز شده و موجب بهبود توانایی گیاه در جذب و استفاده از آب و کود گردید (Tousi et al., 2014).

کشت گیاهان دارویی و معطر از دیرباز دارای جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های سنتی کشاورزی ایران بوده و این نظام‌ها از نظر ایجاد تنوع و پایداری نقش مهمی ایفا کرده‌اند (Khoram del et al., 2010). سیاهدانه یکی از گیاهان دارویی است که در بعضی از نقاط ایران به صورت خودرو وجود داشته و در برخی نقاط دیگر به صورت زراعی کشت و کار می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی کشور دارد (Javadi, 2009). سیاهدانه با نام علمی Nigella sativa از خانواده آلاله است، گیاهی دولپه، علفی و یکساله، بومی غرب آسیاست و پوشیده از کرک‌های ظریف با برگ‌های منقسم، نخی شکل و گل‌هایش منفرد و به رنگ سفید یا آبی است. این گیاه در درمان افسردگی، بیماری‌های دیابت، نارسایی کلیه، بیماری‌های معده، سردرد و دندان درد نقش داشته و دارای اثرات ضدباکتریایی و تحریک پاسخ ایمنی، ضد نفخ، مسهل، ضدانگل، ضدمیکروب، ضدکرم، ضدسرطان، تقویت لثه و شیرآور می‌باشد (Kabiri and Naghizadeh, 2015).

هدف از این پژوهش یافتن مناسب‌ترین غلظت نانوکلات آهن و پتاسیم بر بهبود جوانه‌زنی و صفات رشدی اولیه بذر گیاه سیاهدانه در شرایط تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی مصرف نانو کلات آهن و پتاسیم بر بهبود جوانه‌زنی و صفات رشدی اولیه گیاه سیاهدانه تحت شرایط تنش شوری، پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتور اول شامل پیش‌تیمار بذر با نانوکلات آهن و پتاسیم هر کدام در سه سطح ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در کنار پیش‌تیمار با آب مقطر و فاکتور دوم چهار سطح شوری ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار بود. بذرهای سیاهدانه به مدت ٦ ساعت درون محلول‌های پیش‌تیمار قرار گرفته و سپس به مدت ٢٤ ساعت در دمای آزمایشگاه خشک شدند. تعداد ۱۰۰ بذر به ظروف پتری‌دیش سترون حاوی یک لایه کاغذ صافی انتقال یافت. برای ایجاد تنش شوری از محلول‌های آماده شده کلرید سدیم به میزان ۵ میلی‌لیتر در هر پتری‌دیش استفاده شد. جوانه‌زنی در این آزمایش به صورت خروج ریشه‌چه حداقل به میزان ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه پس از شروع آزمایش انجام گرفت و عدم جوانه‌زنی بذرها در دو روز متوالی، به عنوان پایان آزمایش در نظر گرفته شد. خصوصیاتی از قبیل درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی و سبز شدن، شاخص بنیه گیاهچه، ضریب سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، ضریب آلومتری (جدول ۱)، طول گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱: روابط محاسباتی صفات مورد مطالعه در آزمایش

شاخص	رابطه	منابع

درصد جوانه‌زنی	GP= n/N*100	Panwar and Bhardwaj, 2005
میانگین زمان جوانه‌زنی	MGT= ∑(ni.ti)/∑n	Kulkarni et al., 2007
سرعت جوانه‌زنی	GS=∑(ni/ti)	Kulkarni et al., 2007
شاخص بنیه گیاهچه[1]	طول گیاهچه×درصد جوانه‌زنی نهایی	Mohssen nasab et al., 2010
متوسط جوانه‌زنی روزانه[2]	MDG= FGP/d	Hoogenboom and Peterson, 1987
ضریب آلومتری[3]	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	Parsa et al., 2015
ضریب سرعت جوانه‌زنی[4]	$CVG=\frac{\sum Gi}{\sum(ti\times Gi)}$	Bagheri et al., 2012

n = تعداد کل بذرهای جوانه زده در طی دوره

ni= تعداد بذرهای جوانه زده در یک فاصله زمانی مشخص ti (در این آزمایش هر روز)

N= تعداد بذرهای کاشته شده (در این آزمایش ۱۰۰ بذر)

ti= تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی

d= تعداد روزها از آغاز آزمون

FGP= درصد جوانه‌زنی نهایی[5]

Gi= تعداد بذرهای جوانه‌زده از روز اول تا آخر آزمون

تجزیه آماری داده‌های به دست آمده با نرم‌افزار آماری SAS و MSTST-C و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر ساده شوری و پیش‌تیمار بر تمام صفات مورد ارزیابی به غیر از اثر پیش‌تیمار بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود ولی اثرات متقابل آنها بر صفات وزن تر گیاهچه، طول ریشه‌چه، درصد جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه و ضریب آلومتری معنی‌دار بود (جدول ۲).

وزن تر گیاهچه: در بررسی اثر متقابل تنش شوری و پیش‌تیمار، در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار و پیش‌تیمار با آب مقطر و پتاسیم در غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن تر گیاهچه بیشترین میزان را نشان داد (جدول ۵). درنتیجه مصرف پتاسیم در غلظت‌های پایین‌تر نسبت به نانوکلات آهن در شرایط تنش شوری، بر وزن تر گیاهچه تاثیر مطلوب‌تری داشت. این نتیجه می‌تواند نشانگر حفظ تعادل اسمزی به‌وسیله تنظیم جذب یون سدیم و جمع‌آوری آن در واکوئل باشد. با این وجود علت کاهش رشد در غلظت بالاتر از حد بهینه کلرید سدیم می‌تواند در اثر چندین احتمال مانند کاهش تثبیت کربن، کاهش تورژسانس و در پی آن افزایش غلظت یون‌ها در آپوپلاست و یا تغییر در دیواره سلولی باشد (Anafjeh et al., 2017).

1. Seeding vigor index
2. Mean daily germination
3. Alomtric index
4. Coefficient of velocity of germination
5 .Final germination percentage

جدول ۲: تجزیه واریانس خصوصیات جوانه‌زنی مورد بررسی سیاهدانه تحت تنش شوری و پیش‌تیمار شده با نانو کلات آهن و پتاسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	طول گیاهچه	درصد جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	شاخص بنیه گیاهچه	ضریب سرعت جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	ضریب آلومتریک
شوری(S)	۳	۳۷۹۷۴۱۰**	۹۶۰۱**	۹۳۴**	۲۸۵**	۲۰۷۳**	۱۳۲۵۳**	۲۰**	۶۶۲**	۲۳۲۷۸۲۰**	۰/۰۳**	۱۶۳**	۱/۰۹**
آهن و پتاسیم (P)	۶	۹۱۳۳۹*	۵۴۹ns	۲۰۸**	۳۴**	۱۰۴**	۱۲۱**	۰/۶۵**	۱۲**	۶۴۸۷۴**	۰/۰۰۲**	۲**	۰/۷۹**
S×P	۸	۱۱۵۲۰۹**	۱۴۵ns	۲۳**	۱۱ns	۱۹ns	۶۵**	۰/۱۲*	۰/۸۴ns	۸۵۰۵ns	۰/۰۰۱ns	۰/۸۰**	۰/۱۴**
خطا	۵۶	۳۱۰۸۷	۴۳۲	۸	۷	۱۵	۱۱	۰/۰۵	۰/۵۴	۵۰۱۵	۰/۰۰۰۷	۰/۱۴	۰/۰۴
ضریب تغییرات(٪)	-	۹/۲۱	۱۳/۷۶	۱۳/۷۶	۱۲/۸۲	۹/۱۶	۴/۲۴	۳/۸۵	۵/۲۴	۱۱/۱۰	۱۶/۱۵	۴/۲۲	۱۹/۱۰

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

وزن خشک گیاهچه: با افزایش سطح شوری وزن خشک کاهش یافت. در سطح بدون تنش شوری بیشترین میزان و سطح چهارم شوری (۷۵ میلی‌مولار) کم‌ترین میزان وزن خشک مشاهده شد (جدول ۳). بررسی وزن خشک در شرایط تنش شوری یکی از معیارهای مناسب انتخاب گیاهان متحمل به شوری است (Farhoudi and Khodarahmpour, 2017). کاهش وزن خشک، ناشی از سمیت یونی و عدم تعادل غذایی است که باعث کاهش جذب مواد غذایی توسط ریشه می‌شود (Shahbazi and Golkar, 2016). تنش شوری موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی در گیاه کوشیا، گیاه شوید، ریشه و ساقه بابونه شیرازی و زیره سبز و سنبل‌الطیب، گیاه بادرشبویه، ریشه و اندام هوایی نخود و گیاه آمارانتوس، سیاهدانه، بخش هوایی و ریشه ذرت علوفه‌ای و برگ و ساقه آگاستاکه گردید (Safari Mohamadiyeh et al., 2015).

جدول ۳: مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه سیاهدانه تحت تأثیر سطوح مختلف شوری

شاخص رشدی	غلظت شوری کلرید سدیم (میلی‌مولار)			
	۰	۲۵	۵۰	۷۵
وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)	۱۶۸/۸ a	۱۶۲/۲ ab	۱۵۲/۹ b	۱۲۰/۶ c
طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	۲۲/۸ ab	۲۱/۶ b	۲۳/۶ a	۱۵/۵ c
طول گیاهچه (میلی‌متر)	۴۹/۹ a	۴۶/۶ b	۴۳/۹ c	۲۷/۶ d
سرعت جوانه‌زنی	۱۸/۹ a	۱۶/۲ b	۱۵/۱ c	۶/۰ d
شاخص بنیه گیاهچه	۹۵۳/۳ a	۷۶۱/۵ b	۶۶۴/۳ c	۱۷۱/۹ d
ضریب سرعت جوانه‌زنی	۰/۲۰ a	۰/۱۹ a	۰/۱۶ b	۰/۱۰ c

در هر صفت و گروه مقایسه، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری ندارند.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و ضریب آلومتری: اثر متقابل تنش شوری و پیش‌تیمار بر طول ریشه‌چه در شرایط بدون تنش شوری و در غلظت‌های بالای پتاسیم و نانو کلات آهن در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و در شرایط تنش شوری در سطح ۲۵ میلی‌مولار و پیش‌تیمار با آب مقطر و نانو کلات آهن در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بهترین نتیجه را داشت (جدول ۵). این نتیجه می‌تواند حاکی از آن باشد که تغذیه پتاسیم در شرایط بدون شوری، موجب کاهش میزان سدیم گیاه شده است. طول ساقه‌چه در سطوح شوری بدون تنش و ۵۰ میلی‌مولار به ترتیب با میزان ۲۲/۸ و ۲۳/۶ میلی‌متر دارای بیشترین میزان و فاقد اختلاف معنی‌دار و در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار با میزان ۱۵/۵میلی‌متر دارای کمترین میزان بود (جدول ۳). همچنین اثر پیش‌تیمار بر طول ساقه‌چه در پیش‌تیمار با پتاسیم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و پیش‌تیمار با نانو کلات آهن در سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بهترین نتیجه را داشت. درحالیکه کمترین میزان طول‌ساقه‌چه در اثر پیش‌تیمار با آب مقطر بود (جدول ٤). در سطح بدون تنش شوری، پیش‌تیمار با آب مقطر بهترین نتیجه را در نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه داشت و بعد از آن در سطح بدون تنش، پیش‌تیمار در غلظت بالای پتاسیم و غلظت پایین نانوکلات آهن و در سطح دوم شوری، پیش تیمار با آب مقطر و غلظت پایین نانو کلات آهن دارای نتیجه بهتری بودند(جدول ۵). طول ریشه‌چه از صفات مهم در تحمل به تنش شوری می‌باشد، زیرا برای جذب آب و مواد غذایی به‌صورت مستقیم با خاک در ارتباط است. کاهش طول ریشه در شرایط تنش شوری، ناشی

از کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه است که موجب کمبود آب، آثار سمیت یونی و کاهش جذب موادغذایی توسط ریشه می‌شود (Shahbazi and Golkar, 2016).

جدول ٤: مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه سیاهدانه تحت تأثیر پرایمینگ با پتاسیم و نانوکلات آهن

پرایمینگ	هیدروپرایمینگ	نانوکلات پتاسیم (میلی گرم بر لیتر)			نانوکلات آهن (میلی گرم بر لیتر)		
		۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰
طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	۱۸/۱ c	۲۳/۸ a	۲۰/۷ b	۲۰/۷ b	۲۰/۹ b	۲۱/٦ ab	۲۰/٤ b
طول گیاهچه (میلی‌متر)	٤۲/۹ ab	۳٦/۳ c	٤۳/۱ ab	٤۲/۷ ab	٤٥/۹ a	٤۲/٦ ab	٤۰/٦ b
سرعت جوانه‌زنی	۱٥/۳ a	۱۳/٤ e	۱٤/٥ cb	۱٤/۹ ab	۱٤/۱ cd	۱۳/۸ ed	۱۲/٤ f
شاخص بنیه گیاهچه	۷۰٤/۳ a	٥۱٥/۱ c	٦٦۸/۷ ab	٦۸٤/۸ ab	٦۹۸/۳ a	٦۳۳/٥ b	٥٥۹/٦ c
ضریب سرعت جوانه‌زنی	۰/۱۷ ab	۰/۱٥ cb	۰/۱۷ ab	۰/۱٦ ab	۰/۱۸ a	۰/۱٥ cb	۰/۱٤ c

در هر صفت و گروه مقایسه، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری ندارند.

در بین ویژگی‌های رشدی ریشه، طول ریشه به عنوان شاخصی از توانایی گیاهان جهت جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در خاک محسوب می‌شود. تنش شوری رشد طولی ریشه‌های اصلی و رشد ریشه‌های فرعی را در بسیاری از گونه‌های گیاهی تحت تاثیر قرار می‌دهد که این موضوع ممکن است به دلیل کاهش دسترسی ریشه به مواد فتوسنتزی اندام هوایی و تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از شوری در اطراف ریشه باشد (Fakhri et al., 2017). همچنین در شرایط شور، غلظت زیاد سدیم، غشاهای سلولی ریشه را تخریب و توان آن‌ها را در ورود انتخابی یون‌ها تغییر می‌دهد و به این ترتیب جذب عناصر ضروری گیاه، ازجمله پتاسیم، دچار اختلال می‌شود (Emadi et al., 2014). شوری باعث افزایش یون سدیم در بخش‌های هوایی گیاهان و بخصوص در ریشه می‌شود. وقتی تنش شوری ایجاد می‌شود، کاهش پتانسیل اسمزی و همچنین سمیت ناشی از افزایش سدیم گیاه را با مشکل مواجه می‌کند وتجمع یون Na^+ در تنش ناشی از شوری، منجر به کاهش پتانسیل آب، تغییردرجذب یون‌های ضروری و عدم تعادل یونی و نهایتا کاهش سرعت فتوسنتز و رشد محدود برگ‌ها می‌گردد. همچنین گزارش شده‌است که میزان پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاه شنبلیله در تنش شوری کاهش یافته و در نتیجه، نسبت پتاسیم به سدیم نیز کاهش پیدا کرد (Aghaei Joubani et al., 2015). در سایر پژوهش‌ها با بررسی تنش شوری بر طول ریشه‌چه وساقه‌چه ارقام مختلف گندم اظهار داشتند که با کاهش پتانسیل اسمزی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت. در کلزا حساسیت ریشه‌چه به تنش شوری بیش از ساقه‌چه است (Rezaei Sokht Abandani et al., 2012).

طول گیاهچه: طول گیاهچه با افزایش سطح شوری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. تقریبا طول گیاهچه در سطح شوری چهارم، نسبت به سطح بدون تنش، به نصف رسید (جدول ۳). حداقل میزان طول گیاهچه در پیش‌تیمار با پتاسیم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با طول ۳٦/۳ میلی‌متر مشاهده‌شد. همچنین غلظت بالای نانو کلات آهن در مقایسه با غلظت‌های پایین‌تر آن، موجب کاهش طول شد (جدول ٤). رشد و ارتفاع بوته به شرایط محیطی که گیاه در آن رشد می‌کند وابسته است. یکی از این شرایط، فراهم بودن آب کافی برای گیاه است. در صورت عدم تامین آب مورد نیاز گیاه، فشار تورژسانس سلول‌ها کاهش می‌یابد و با اثر بر طول سلول‌ها کاهش ارتفاع رخ می‌دهد. تنش

اسمزی حاصل از تنش شوری موجب کاهش محتوای آب سلول‌ها می‌شود و طویل شدن سلول‌ها با مشکل مواجه می‌گردد. افزایش شوری باعث کاهش جذب و انتقال مواد از ریشه به برگ و منجر به کاهش رشد و ارتفاع گیاه می‌گردد. همچنین کاهش ارتفاع گیاهان در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش فتوسنتز می‌باشد. شوری باعث کاهش ارتفاع آگاستاکه[1] (از تیره نعناعیان)، ریحان، بادرشبویه، زیره سبز و سنبل الطیب، برنج، یازده ژنوتیپ نخود، سیاهدانه، ذرت علوفه‌ای، آمارانتوس و گیاه شوید شد (Safari Mohamadiyeh et al., 2015). افزایش ارتفاع به واسطه‌ی کود آهن نیز مربوط به تاثیر این عنصر در فتوسنتز است که سبب افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌ها می‌شود و درنتیجه، فتوسنتز افزایش می‌یابد و مواد فتوسنتزی بیشتر به نقاط مختلف گیاه ازجمله ساقه‌ها وارد می‌شود و در نهایت ارتفاع گیاه افزایش پیدا می‌کند (Moghadam et al., 2015).

درصد جوانه‌زنی: بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی در بررسی اثر متقابل شوری و پیش‌تیمار، در تمامی تیمارهای بدون تنش شوری، همچنین در سطح دوم شوری و با پیش‌تیمار آب مقطر، غلظت بالای پتاسیم و غلظت‌های پایین نانوکلات آهن و در نهایت در سطح سوم شوری، پیش‌تیمار با پتاسیم، مشاهده شد (جدول ۵). پیش‌تیمار با پتاسیم نسبت به نانو کلات آهن، عملکرد بهتری در کاهش آثار مخرب تنش شوری بر درصد جوانه‌زنی داشت. در شرایط تنش شوری، تجمع املاح مضر نظیر سدیم و کلر در بافت گیاهچه سبب اختلال در فرآیند جوانه‌زنی می‌شود. مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه در گیاهان زراعی از مراحل حساس رشد به تنش شوری است و تجمع نمک در محیط پیرامون جوانه‌زنی بذر به دلیل اختلال در جذب آب و کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، کاهش رشد گیاهچه‌ها را در پی دارد (Farhoudi and Khodarahmpour, 2017). همچنین گزارش شده است که در بین آنیون‌های مختلف، یون کلر بیشترین تأثیر را بر کاهش جوانه‌زنی داشته است. همچنین، کاهش یا بازدارندگی کامل توانایی جوانه‌زنی بذرها در شرایط شور می‌تواند با کاهش درونی فیتوهورمون‌هایی نظیر جیبرلین‌ها، اکسین‌ها و سیتوکنین‌ها که در کنترل جوانه‌زنی نقش مهمی را بر عهده دارند، در ارتباط باشد. به‌علاوه، شوری می‌تواند باعث افزایش درونی سطوح بازدارنده‌های طبیعی داخل بذر گردد (Shiri and Bakhshi, 2011). پیش‌تیمار باعث افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود و به طور مختصر می‌توان اثرات مطلوب پیش‌تیمار بذرها در جوانه‌زنی را به تغییراتی ازجمله: ۱- افزایش متابولیسم پروتئین‌ها در بذرهای پیش‌تیمار شده. ۲- افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مثل ایتروئاز، فسفاتاز و فسفوگلیسرید دهیدروژناز که باعث متابولیسم مواد ذخیره‌ای بذر مثل کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها گشته و در نهایت باعث افزایش جوانه‌زنی می‌گردد. ۳- افزایش سنتز پروتئین در جنین که این نیز منجر به افزایش جوانه‌زنی می‌شود، مربوط دانست (Balouchi and Ahmadpour Dehkordi, 2013).

میانگین زمان، سرعت و ضریب سرعت جوانه‌زنی: در بررسی اثر متقابل، تمامی تیمارها در سطح چهارم شوری مدت‌زمان جوانه‌زنی بیشتری داشتند و فقط پیش‌تیمار با نانو کلات آهن در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به پیش‌تیمارهای دیگر مدت‌زمان جوانه‌زنی کمتری داشت (جدول ۵).

با افزایش سطح شوری از میزان سرعت جوانه‌زنی کاسته شد (جدول ۳). پیش‌تیمار با آب مقطر و پتاسیم در سطح ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بهترین اثر را بر میزان سرعت جوانه‌زنی داشتند (جدول ٤). میزان ضریب سرعت جوانه‌زنی با افزایش سطح شوری کاهش یافت و در سطوح شوری اول و دوم اختلاف آماری معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). کمترین میزان ضریب سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای با سطوح بالای نانو کلات آهن و پتاسیم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (جدول ٤).

1. *Agastache foeniculum* kuntz.

جدول ۵: مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه سیاهدانه تحت تأثیر تنش شوری و پرایمینگ با پتاسیم و نانو کلات آهن

غلظت شوری کلریدسدیم (میلی‌گرم بر لیتر)	پرایمینگ (میلی‌گرم بر لیتر)	وزن تر گیاهچه (میلی‌گرم)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	درصد جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	متوسط جوانه‌زنی روزانه	ضریب آلومتریک
۰	هیدروپرایمینگ	۱۶۱۴/۵ fg	۳۳/۳ a	۹۷/۳ a	۴/۹ lm	۱۰/۸ a	۲/۱ a
	K (۱۰۰۰)	۱۹۷۲/۴ de	۱۴/۳ gh	۹۳/۰ abc	۵/۱ klm	۱۰/۳ ab	۰/۶ hij
	K (۲۰۰۰)	۱۸۶۳/۲ ef	۲۸/۳ abc	۹۵/. abc	۴/۹ lm	۱۰/۵ ab	۱/۲ cde
	K (۳۰۰۰)	۱۹۹۳/۹ de	۳۰/۰ abc	۹۴/۷ abc	۴/۸ m	۱۰/۵ ab	۱/۳ bcd
	Fe (۱۰۰۰)	۲۲۲۶/۱ cd	۳۰/۳ abc	۹۶/۷ ab	۵/۲ jklm	۱۰/۸ a	۱/۳ bcd
	Fe (۲۰۰۰)	۱۹۶۹/۹ de	۲۷/۰ bcd	۹۴/۷ abc	۵/۱ klm	۱۰/۵ ab	۱/۱ def
	Fe (۳۰۰۰)	۱۹۶۶/۴ de	۲۶/۷ bcd	۹۳/۰ abc	۵/۳ ijkl	۱۰/۳ ab	۱/۱ def
۲۵	هیدروپرایمینگ	۲۰۳۲/۹ de	۳۱/۰ ab	۹۴/۳ abc	۵/۴ hijk	۱۰/۵ ab	۱/۵ bc
	K (۱۰۰۰)	۲۰۳۴/۵ de	۱۱/۷ h	۸۹/۳ c	۵/۹ defg	۹/۹ b	۰/۴ j
	K (۲۰۰۰)	۲۲۸۷/۲ bcd	۲۶/۰ bcde	۹۰/۰ c	۵/۴ hijk	۱۰/۰ b	۱/۲ cde
	K (۳۰۰۰)	۲۲۷۴/۹ bcd	۲۵/۳ cde	۹۳/۷ abc	۵/۷ fghi	۱۰/۴ ab	۱/۱ def
	Fe (۱۰۰۰)	۲۲۱۳/۳ cd	۳۰/۳ abc	۹۲/۷ abc	۵/۶ ghij	۱۰/۳ ab	۱/۶ b
	Fe (۲۰۰۰)	۱۹۹۰/۷ de	۲۵/۷ bcde	۹۱/۰ abc	۵/۹ defg	۱۰/۱ ab	۱/۲ cde
	Fe (۳۰۰۰)	۲۰۷۶/۴ de	۲۵/۰ cde	۹۰/۷ bc	۶/۲ de	۱۰/۰ b	۱/۱ def
۵۰	هیدروپرایمینگ	۲۶۵۳/۴ a	۲۲/۰ def	۹۰/۷ bc	۵/۸ efgh	۱۰/۱ ab	۱/۰ defg
	K (۱۰۰۰)	۲۵۷۷/۴ ab	۱۴/۰ gh	۹۲/۰ abc	۶/۳ d	۱۰/۲ ab	۰/۵ ij
	K (۲۰۰۰)	۲۴۴۱/۹ abc	۲۱/۳ ef	۹۲/۰ abc	۶/۰ defg	۱۰/۲ ab	۰/۹ efgh
	K (۳۰۰۰)	۲۱۲۹/۹ cde	۲۱/۰ ef	۹۱/۷ abc	۶/۱ def	۱۰/۲ ab	۰/۹ efgh
	Fe (۱۰۰۰)	۲۰۷۵/۵ de	۲۵/۷ bcde	۸۹/۳ c	۵/۸ efgh	۹/۹ b	۱/۱ def
	Fe (۲۰۰۰)	۲۰۱۶/۲ de	۱۹/۳ f	۹۰/۰ c	۶/۰ defg	۱۰/۰ b	۰/۷ ghij
	Fe (۳۰۰۰)	۲۰۳۲/۲ de	۱۸/۷ fg	۸۸/۷ c	۶/۹ bc	۹/۸ b	۰/۸ fghi
۷۵	هیدروپرایمینگ	۱۳۸۰/۹ ghi	۱۲/۷ h	۴۹/۰ e	۷/۵ a	۵/۴ d	۰/۹ efgh
	K (۱۰۰۰)	۱۳۱۱/۹ ghi	۱۰/۳ h	۳۶/۷ g	۷/۶ a	۴/۱ f	۰/۷ ghij
	K (۲۰۰۰)	۱۲۷۷/۵ hi	۱۴/۰ gh	۴۵/۳ ef	۷/۲ ab	۵/۰ de	۰/۹ efgh
	K (۳۰۰۰)	۱۵۶۸/۹ fgh	۱۱/۷ h	۵۹/۰ d	۷/۳ a	۶/۶ c	۰/۷ ghij
	Fe (۱۰۰۰)	۱۳۴۸/۹ ghi	۱۳/۷ gh	۳۷/۳ g	۶/۸ c	۴/۱ f	۰/۸ fghi
	Fe (۲۰۰۰)	۱۱۲۰/۹ i	۱۲/۰ h	۴۰/۰ fg	۷/۵ a	۴/۴ ef	۰/۸ fghi
	Fe (۳۰۰۰)	۱۱۶۲/۹ i	۱۰/۳ h	۲۸/۷ h	۷/۵ a	۳/۲ g	۰/۸ fghi

در هر صفت و گروه مقایسه، تیمارهای با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری ندارند.

متوسط زمان جوانه‌زنی شاخصی از سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذر بوده و معیاری از یکنواختی جوانه‌زنی و وضعیت بنیه گیاهچه محسوب می‌شود و هرچه مقدارعددی آن کوچک‌تر باشد، جوانه‌زنی سریع‌تر می‌باشد (Vaseei Kashani et al., 2015). علت کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی در اثر اعمال پیش‌تیمار بذر به افزایش احتمالی سرعت تقسیم سلولی در بذرهای پیش‌تیمار شده نسبت داده شده است که در اثر سنتز DNA، RNA و پروتئین در طی پیش‌تیمار بذر بسیاری از مراحل فیزیولوژیکی در فرآیند جوانه‌زنی کامل شده و بذر در آستانه جوانه‌زنی قرار می‌گیرد (Aghighi Shahverdi and Omidi, 2016). بذور برای انجام فعالیت‌های حیاتی و شروع جوانه‌زنی احتیاج به آب کافی دارند. چنانچه جذب آب دچار اختلال شود و یا به کندی صورت گیرد، فعالیت‌های داخل بذر به کندی صورت می‌گیرد و مدت‌زمان لازم برای خروج ریشه از بذر افزایش می‌یابد، به عبارتی سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد در جوانه‌زنی تحت تنش شوری و خشکی بدلیل افت پتانسیل اسمزی، فرآیند جذب آب مختل شده و در ادامه نیز از فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز بازداری می‌شود. تنش شوری باعث می‌شود که بذر نتواند رطوبت مورد نیاز خود را به میزان کافی جذب نماید و با ایجاد نوعی خشکی فیزیولوژیکی، میزان جوانه‌زنی و سرعت آن را کاهش می‌دهد. در تنش شوری به علت کاهش پتانسیل آب محیط اطراف بذر، مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا بذر بتواند آب مورد نیاز خود را به مقدار کافی به دست آورد(Fathi Amirkhiz et al., 2012).

متوسط جوانه‌زنی روزانه: در اثر متقابل شوری و پیش‌تیمار، سطح بدون تنش تمامی تیمارها، در سطح دوم شوری پیش‌تیمار با آب مقطر، پیش‌تیمار با پتاسیم در غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و پیش‌تیمار با نانوکلات آهن در غلظت‌های پایین‌تر، در سطح سوم شوری پیش‌تیمار با آب مقطر و پتاسیم در تمامی غلظت‌ها، متوسط جوانه‌زنی روزانه نتیجه مطلوب‌تری داشت (جدول ۵). می‌توان برآورد کرد که در سطوح بالای شوری، مصرف پتاسیم می‌تواند باعث بهبود جوانه‌زنی شود. از آن‌جایی که متوسط جوانه‌زنی روزانه از تقسیم جوانه‌زنی نهایی بر دوره جوانه‌زنی بدست می‌آید، بنابراین این پارامتر در اثر تنش شوری کاهش پیدا می‌کند (Aghighi Shahverdi and Omidi, 2016).

شاخص بنیه گیاهچه: شاخص بنیه بذر نیز با افزایش سطح شوری کاهش یافت (جدول ۳). کمترین میزان شاخص بنیه بذر متعلق به تیمارهای پتاسیم در سطح ۱۰۰۰ و نانو کلات آهن در سطح ۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بودند (جدول ٤). شاخص بنیه بذر به غیر از عامل درصد جوانه‌زنی، وابسته به طول ساقه‌چه و ریشه‌چه است که این دو مشخصه نیز تحت تاثیر شوری‌های زیاد کاهش یافتند (Ghavam and Azarnivand, 2016).

نتیجه‌گیری نهایی

سطوح بالای کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گردید. همچنین، مصرف نانوکلات پتاسیم نسبت به نانوکلات آهن اثر مثبت بیشتری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سیاهدانه در شرایط تنش و بدون تنش شوری داشت و با مصرف نانوکلات پتاسیم به تنهایی و یا تحت تنش شوری، شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه عملکرد بهتری نشان داد. بنابراین، می‌توان برای کاهش اثرات سوء شوری بر جوانه‌زنی بذر سیاهدانه، از پیش‌تیمار نانوکلات پتاسیم استفاده کرد.

References

Aghaei Joubani, K., Taei, N., Kanani, M.R. and Yazdani, M. 2015. Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia species*. Journal of Plant Process and Function. 3(9): 85-96. (In Persian).

Aghighi Shahverdi, M. and Omidi, H. 2016. Effect of hormone priming and hydro priming on Stevia *(Stevia rebaudiana Bertoni)* seed germination under salt stress. Iranian Journal of Seed Sciences and Research. 3(2): 97-108. (In Persian).

Akbari Ghogdi, E., Izadi-Darbandi, A., Borzouei, A. and Majdabadi, A. 2011. Evaluation of morphological changes in some wheat genotypes under salt stress. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 1(4): 71-83. (In Persian).

Anafjeh, E., Salehi Salmi, M., Daneshvar, M. and Meratan, A. 2017. Effect of salinity stress on growth, proline content and antioxidant enzymes activity in the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. Journal of Plant Process and Function. 6(21): 267-278. (In Persian).

Anvari, S., Mehdikhani, H., Shahriari, A., and Nouri, G. 2009. Effect of salinity stress on 7 species of range plants in germination stage. Iranian journal of Range and Desert Research. 16(2): 262-273. (In Persian).

Bagheri, H., Ghazi Khanloosani, Y., Zangani, E., Andelibi, B., Azimi Moghadam, M. and Jamshidi, S. 2012. Seed germination indices and initial growth of safflower seedlings with different thousand kernel weights under drought stress. Agroecology Journal. 8(3): 1-12. (In Persian).

Balouchi, H. and Ahmadpour Dehkordi, S. 2013. Effect of different seed priming on germination traits in Black cumin *(Nigella sativa)* under salinity stress. Journal of Plant Production Research. 20(3): 1-26. (In Persian).

Deilamirad, M., Sarikhani, M.R. and Oustan, Sh. 2017. Effect of potassium releasing pseudomonads on growth and k uptake of tomato in two soils with different amount of available K. Journal of Water and Soil. 31(4): 1159-1170. (In Persian).

Emadi, S., Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R. and Nooripour sisakht, J. 2014. Effects of different levels of iron in nutrient solution on the response of three sunflower genotypes to salinity. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 5(1): 13-26. (In Persian).

Fakhri, Sh., Rahnama, A. and Meskarbashi, M. 2017. Effect of of salinity stress on growth and distributions of tissue-specificion in wheat (*Triticum aestivum L.)* cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 18(4): 302-318. (In Persian).

Farhoudi, R. and Khodarahmpour, Z. 2017. Study of germination, seedling growth and antioxidant enzymes activity of chickpea cultivars under salt stress. Journal of Plant Process and Function. 6(21): 91-102. (In Persian).

Fathi, A. and Zahedi, M. 2014. Effects of foliar application of zinc and iron oxide nano-particles on growth and ionic content of two wheat cultivars under salinity conditions. Journal of Crop Production and Processing. 4(12): 295-305. (In Persian).

Fathi Amirkhiz, K., Omidi, H., Heshmati, S. and Jafarzadeh, L. 2012. Study of black cumin (*Nigella sativa* L.) germination attributes and seed vigur under salinity stress by osmopriming accelerators pretreatment. Iranian Journal of Field Crops Research. 10(2): 299-310. (In Persian).

Ghavam, M. Azarnivand, H. 2016. Evaluation of seed vigor index of three plants of *Artemisia absinthium* L., *Arcitum lappa* L. and *Cichorium intybus* L. salinity conditions. Journal of Natural Ecosystems of Iran. 7(3): 39-49. (In Persian).

Ghavami, F., and Malboobi, M.A., Ghannadha, M.R., Yazdi Samadi, B., Mozaffari, J. and Jafar aghaei, M. 2004. An evaluation of salt tolerance in Iranian wheat cultivars at germination and seedling stages. Iranian Journal of Agriculture Science. 35(2): 453-464. (In Persian).

Hoogenboom, G. and Peterson, C.M. 1987. Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress. Agronomy Journal. 79(4): 598-607.

Jalali, A.H. and Jafari, P. 2012. Effect of potassium fertilizer on yield of three cultivars of watermelon under salt stress conditions. Journal of Crops Improvement. 14(2): 31-41. (In Persian).

Javadi, H. 2009. Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 6(1): 59-66. (In Persian).

Kabiri, R. and Naghizadeh, M. 2015. Study the effect of salicylic acid pretreatment on germination and early growth of black cumin *(Nigella sativa)* under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 4(1): 61-72. (In Persian).

Karimi, H., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H.R. 2009. Effects of potassium nutrition on *Sesbania aculeate* plants grown in greenhouse under salinity. Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 15(6): 158-169. (In Persian).

Khoram Del, S., Koochaki, A., Nassiri Mahalati, M. and Ghorbani, R. 2010. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. 6(2): 285-294. (In Persian).

Kulkarni, M.G., Street R.A. and Van Staden, J. 2007. Germination and seedling growth requirements for propagation of *Dioscorea dregeana* (Kunth) Dur. and Schinz-A tuberous medicinal plant. South African Journal of Botany. 73: 131-137.

Madadi, M., Khomari, S., Javadi, A. and Sofalian, O. 2016. Effect of black cumin seed priming with calcium nitrate and nano-zinc oxide on germinability and seedling growth under salinity stress. Journal of Plant Process and Function. 5(15): 169-179. (In Persian).

Moghadam, E., Mahmoodi Sourestani, M., Farrokhian Firozi, A., Ramazani, Z. and Eskandari, F. 2015. The effect of foliar application of iron chelate type on morphological traits and essential oil content of holy basil. Journal of Crops Improvement. 17(3): 595-606. (In Persian).

Mohssen nasab, F., Sharafi zadeh, M. and Siadat, A. 2010. Study the effect of aging acceleration test on germination and seedling growth of wheat cultivars in controlled conditions (*in vitro*). Crop Physiology Journal. 2(7): 59-71. (In Persian).

Omidi Nargesi, S., Zahedi, M., Eshghizadeh, H. and Khoshgoftarmanesh, A. 2015. Screening wheat genotypes in response to ordinary chelate and nano-iron chelate fertilizers in nutrient solution. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 6(23): 123-133. (In Persian).

Panwar, P. and Bhardwaj, S.D. 2005. Handbook of practical forestry, Agrobios Publication, India. p191.

Parsa, M., Saeedi Goraghany, H.R. and Hashemi, A. 2015. Assessment of effect different levels of $CuSo_4$ and Pb $(NO_3)_2$ on seed germination and growth of *Agropyron trichophrum*. Journal of Natural Ecosystems of Iran. 6(2): 79-88. (In Persian).

Rezaei Sokht Abandani, R., Ramazani, M. and Mohammadi, M. 2012. Hydro and osmopriming effects on some seed germination and seedling vigour characteristics of three wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 1(1): 38-45. (In Persian).

Rezvani Moghaddam, P. and Seyyedi, S.M. 2014. The role of organic and biological fertilizers in the uptake of phosphorus and potassium by the *Nigella sativa*. Journal of Horticultural Science. 28(1): 43-53. (In Persian).

Safari Mohamadiyeh, Z., Moghaddam, M., Abedy, B. and Samiei, L. 2015. Effects of salinity stress on some yield parameters and morphological characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L.) in hydroponic conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 6(3): 97-107. (In Persian).

Shahbazi, A. and Golkar, P. 2016. Effects of Salt Stress on antioxidants activity and seedling traits of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Genotypes. Journal of Plant Process and Function. 4(14): 93-104. (In Persian).

Shiri, M.A. and Bakhshi, D. 2011. Effect of Salinity Stress on Some Seed Germination Indices in Sour Orange (*Citrus aurantium*). Journal of Crop Production and Processing. 1(1): 1-9. (In Persian).

Soltani, E., Akram Ghaderi, F. and Memar, H. 2008. The effect of priming on germination components and seedling growth of cotton seeds under drought. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 14(5): 9-16. (In Persian).

Tousi, P., Tajbakhsh, M. and Esfahani, M. 2014. Effect of spray application of Nano-Fe chelate, amino acid compounds and magnetic water on protein content and fatty acids composition of oil of soybean (*Glycine max*) in different harvest time. Iranian Journal of Crop Sciences. 16(2): 125-136. (In Persian).

Vaseei Kashani, S., Hamidi, A., Heidari Sharifabad, H. and Daneshian, J. 2015. Effect of matrix priming on some germination traits improvement of three commercial soybeans [*Glycine max* (L.) Merril.] cultivars seeds grew by limited irrigation conditions. Iranian Journal of Seed Sciences and Research. 2(1): 1-14. (In Persian).

Yousefzadeh, S., Naghdi Badi, H.A, Sabaghnya, N. and Jahmohammadi, M. 2016. The effect of foliar application of nano-iron chelate on physiological and chemical traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Journal of Medicinal Plants. 4(60): 152-160. (In Persian).

Journal of Seed Research, Vol. 9, No. 3, Autumn 2019

Effect of seed priming by nano-iron and nano-potassium chelated on seed germination and growth of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress

M. Askari[1], H. Nourafcan[2], L. Hojjati[3], S.P. Nemati rad[4]

[1,3,4] Expert, Department of Cellular and Molecular Biology, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran

Abstract

Seed germination is an important stage in the most plants and salinity tolerance is important at this stage. In order to evaluate the application of nano-iron and nano-potassium chelated on germination and growth traits of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with three replications in Horticultural Sciences Laboratory at Islamic Azad University - Miyaneh Branch. The first factor was seed pretreatment with nano-iron and nano-potassium chelated at three levels of 1000, 2000 and 3000 ppm and distilled water as control, and the second factor was four salinity levels in 0, 25, 50, 75 mM NaCl. The results showed that high levels of NaCl decreased significantly germination indices and seedling growth. Also, application of nano-potassium chelate had more positive effect on germination and seedling growth of *Nigella sativa* in stress and non-saline conditions than nano-iron chelate. By using nano-potassium chlorate alone or under salinity stress, germination indices and seedling growth showed more efficiency. In general, pre-treatment of nano-potassium chelate can be used to reduce the adverse effects of salinity on seed germination.

Keywords: Germination, nanoparticle, priming, sodium chloride, stress.