تأثیر پیش تیمار اسمزی بذور کرفس (*Apium graviolens*) بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تنش شوری

شهناز فتحی[۱]، اعظم سیدی[۲*]

[۱]استادیار، گروه گیاهان دارویی و معطر، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندواب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

[۲]استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱۴

چکیده

شوری یکی از اصلی‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که رشد و تولید گیاهان را از طریق تغییر در تعادل یونی و اسمزی محدود می‌کند. این تحقیق به منظور بررسی تأثیر پیش تیمار اسمزی بذور کرفس بر شاخص‌های جوانه‌زنی کرفس تحت تنش شوری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور پیش‌تیمار اسمزی شامل، نیترات پتاسیم، کلریدپتاسیم، کلرید کلسیم و سولفات کلسیم یک درصد و شاهد (بدون پیش تیمار) و فاکتور شوری در چهار سطح شامل غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در نظر گرفته شد. در پایان آزمایش، برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی مانند: سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه و ساقه‌چه، ضریب کوتوسکی، شاخص تحمل شوری، ضریب آلومتری و شاخص بنیه بذر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در شرایط بدون تنش پیش تیمار اسمزی تأثیر مثبتی روی صفات درصد و سرعت جوانه زنی نداشت. با افزایش تنش شوری شاخص‌های جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوریکه هیچگونه جوانه‌زنی در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری مشاهده نشد. تاثیر مثبت پیش‌تیمارهای اسمزی روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کاملا مشهود و معنی‌دار بود. در شرایط بدون تنش تیمار کلرید کلسیم شاخص مهم مقاومت به شوری را صد درصد و در تنش ۵۰ میلی مولار صدو پنجاه درصد افزایش داد ولی در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نیترات پتاسیم تاثیر بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت و این شاخص را نسبت به شاهد پنجاه درصد افزایش داد. در بین تمام شاخص‌های جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: چتریان، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، مقاومت به شوری، کلرید کلسیم

مقدمه

عوامل زنده و غیر زنده متعددی بر جوانه‌زنی بذر تأثیر دارند. جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه دو مرحله بحرانی استقرار گیاهان به شمار می‌روند و حساس‌ترین مراحل در برابر تنش‌های غیرزنده محسوب می‌شوند (Yousefi et al., 2020; Ewelina et al., 2021). تحقیقات نشان داده است که شوری به دلیل ایجاد تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش اکسیداتیو اثر نامطلوبی بر جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه داشته و با تاخیر در شروع جوانه‌زنی سبب افزایش طول دوره جوانه‌زنی نیز می‌شود (Acosta-Motos et al., 2017; Ibrahim, 2016). بنابراین سطوح بالای شوری مانع جذب آب توسط بذر شده و جوانه‌زنی بذر غیرممکن می‌گردد در حالی که سطوح پایین‌تر شوری ممکن است موجب خواب

*نویسنده مسئول: sh.fathi@urmia.ac.ir

بذر گردد (Ibrahim, 2016). پرایمینگ بذر یکی از راهکارهای مورد استفاده برای بهبود جوانه‌زنی بذر و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری و روشی بحرانی و حیاتی برای افزایش تحمل به تنش از طریق پیش تیمار با عوامل تحریک کننده در نظر گرفته می‌شود تا بذرها را با مقاومت بیشتری نسبت به عوامل نامطلوب بعدی مواجه سازد. با استفاده از تکنیک‌های مختلفی مانند نمک (Halo priming) یا مواد اسمزی (Osmo priming)، دما (Thermo priming)، آب (Hydro priming)، مواد جامد (Solid matrix priming) و زیستی (Bio priming) می‌توان بذر گیاهان را پیش تیمار نمود (Paparella et al., 2015; Adnan et al., 2020). استفاده از محلول‌های نمکی و یا آب به عنوان مناسب‌ترین، کارآمدترین و اقتصادی‌ترین روش برای افزایش میزان یکنواختی جوانه‌زنی بذر در شرایط تنش شوری می‌باشد (Matias et al., 2018; Oliveira et al., 2019). اسموپرایمینگ متداول‌ترین روش آماده‌سازی بذرها برای جوانه‌زنی است که بذرها در محلول‌های اسمزی که معمولاً حاوی نمک‌های نیترات پتاسیم، فسفات پتاسیم، کلرید پتاسیم یا پلی اتیلن گلایکول (PEG) هستند با پتانسیل‌های مختلف آب و مدت زمان‌های متفاوت خیسانده می‌شوند. بذرهای پرایم شده را قبل از ظهور ریشه‌چه از محلول اسمزی خارج می‌کنند (Paparella et al., 2015; Yousefi et al., 2020). اثرات بهبوددهنگی اسموپرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلفی از جمله گوجه‌فرنگی و سورگوم (Moaaz Ali et al., 2020; Chen et al., 2021) در شرایط شوری گزارش شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیبات حاوی نیترات مانند نیترات پتاسیم (KNO_3) اثر مفیدی بر جوانه‌زنی و سرعت رشد بسیاری از گیاهان تحت تنش شوری داشته است. پتاسیم به دلیل نقشی که در تنظیم فرآیندهای رشد گیاه مانند پتانسیل غشا، سنتز پروتئین، فعال‌سازی آنزیم، فتوسنتز و تنظیم روزنه دارد به‌عنوان یک عنصر مغذی از اهمیت اساسی فیزیولوژیکی برخوردار است (Adams and shin, 2014; Gattward et al., 2012) و به دلیل نقش مستقیم یا غیرمستقیم آن در تنظیم اسمزی، سبب مقاومت در برابر خشکی می‌شود. نیتروژن نیز یک عنصر مغذی کلیدی است که مانند پتاسیم نقش مهمی در تنظیم اسمزی و حفظ یکپارچگی غشای سلولی در شرایط کمبود آب و تحمل به خشکی دارد (Zhang and Li, 2007; Zhang et al., 2009; Villar-Salvador et al., 2012; Zhang et al., 2014). بنابراین، استفاده از هر دو ماده مغذی می‌تواند به طور بالقوه در شرایط محدود کننده آب مفید باشد. تأثیر مثبت نیترات پتاسیم بر درصد جوانه‌زنی بذر ذرت تا ۹۳ درصد افزایش داده است (Vazirimehra et al., 2014). بذرها حاوی کلیه عناصر معدنی ضروری گیاه هستند اما در اثر تنش‌هایی مانند سرما، خشکی و شوری مانع قابلیت دسترسی به آنها می‌شود. گزارش شده است که کلسیم از جذب Na^+ جلوگیری کرده و در نتیجه اثر سو آن بر جوانه‌زنی بذر را کاهش و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Nayyar, 2003; Bonilla et al., 2004; Hirschi, 2004; Tang et al., 2006; Zehra, 2012). احتمالاً ممانعت ورود یون Na از طریق حامل‌هایی صورت می‌گیرد (Kronzucker and Britto, 2011). کلسیم اثرات سمی Na^+ و Mg^{+2} را در جوانه‌زنی کالیدیوم کپسیکوم کاهش می‌دهد (Tobe et al., 2001).

کرفس با نام علمی *Apium graviolence* متعلق به خانوده چترسانان (Apiaceae) و یکی از سبزیجات پرطرفدار سالادی و طعم دهنده در دنیا است که بذرهای آن نیز به‌عنوان طعم دهنده در پیش‌غذا استفاده می‌شوند (yang et al., 2019) همچنین بذرها و سایر بخش‌های گیاه جنبه دارویی دارد. وجود ترکیباتی مانند لیمونین، سلینن، فروکومارین گلیکوزید، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، استروئیدها و ویتامین‌های آ و ث در کرفس سبب شده که این گیاه کاربرد دارویی گسترده‌ای داشته باشد (Kooti et al., 2014; Kooti and Daraei, 2017). مصرف کرفس گلوکز، چربی خون و فشار خون را کاهش می‌دهد. به علاوه کرفس دارای خواص ضد قارچی و ضد التهابی است و اسانس آن اثرات ضد

باکتریایی دارد و دانه‌های آن اثرات درمانی متعددی دارد (Kooti and Daraei, 2017). بنابراین امروزه تولید این گیاه بیش از پیش رو به افزایش است. کرفس گیاهی است که از طریق کشت بذر تولید می‌شود. جوانه‌زنی بذر کرفس در دماهای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل وجود خواب حرارتی با مشکل مواجه شده و منجر به استقرار ضعیف نشا در خزانه می‌شود. به علاوه جوانه‌زنی بذرهای کرفس به دلیل پوشش سخت بذر، اندازه کوچک و ذخایر غذایی کم حتی در شرایط مطلوب نیز کند است و شروع جوانه‌زنی حدود ۱۵ روز طول می‌کشد (Brar et al., 2020).

بذرهای کرفس نسبت به شوری از گونه هایی نظیر زیره، شوید، جعفری و رازیانه حساسیت بیشتری دارند (Wagdi, 2014). در خانواده چتریان اگرچه آزمایش‌هایی برای بررسی تأثیر پیش تیمار بذرها بر جوانه‌زنی بذر محصولات مهم تجاری انجام شده است، اما تلاش کمتری به استفاده از پرایمینگ بذر برای کشت گیاهان دارویی به ویژه کرفس در شرایط تنش شوری انجام شده است. مطالعه حاضر برای ارزیابی نتایج حاصل از محلول‌های اسمزی ۱٪ نیترات پتاسیم (KNO_3)، کلریدپتاسیم (KCl)، کلرید کلسیم ($CaCl_2$) و سولفات کلسیم ($CaSO_4$) به‌عنوان معرف‌های اسموپرایمینگ و همچنین شاهد (بدون استفاده از معرف‌های اسموپرایمینگ) در برابر غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بر جوانه‌زنی بذور کرفس انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه گیاهان دارویی مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب اجرا گردید. پیش تیمارها شامل محلول‌های نمکی نیترات پتاسیم، کلریدپتاسیم، کلرید کلسیم و سولفات کلسیم ۱٪ و شاهد بدون پیش تیمار و تنش شوری شامل ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولارکلرید سدیم (به‌ترتیب ۰، ۵، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) بود که روی بذور کرفس (توده بومی منطقه میاندوآب) اعمال شد.

برای اعمال پیش تیمار، بذور به مدت چهار ساعت در محلول‌های مورد نظر قرارگرفتند. پس از پایان دوره پیش تیمار، بذرها با آب مقطر شستشو شده و در دمای محیط خشک شدند. از هر ترکیب تیماری ۲۵ عدد بذر به صورت تصادفی انتخاب و در پتری‌دیش‌هایی که در دمای ۱۲۰ درجه‌سانتی گراد به مدت دو ساعت اتوکلاو شده بودند بر روی کاغذ صافی قرار داده شد و سپس ۵ میلی لیتر نمک کلرید سدیم در غلظت‌های مشخص به ظروف پتری اضافه شد و یک کاغذ صافی نیز بر روی بذور قرار گرفت و پس از بستن درب پتری دیش‌ها، در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد با ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. ظهور ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر به عنوان شروع جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. در پایان روز پانزدهم، بذرهای جوانه‌زده در هر تیمار شمارش و طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری از ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده شد. همچنین شاخص‌های جوانه‌زنی که در ذیل بیان شده‌اند از طریق رابطه‌های مربوطه اندازه‌گیری شده‌اند.

سرعت جوانه‌زنی بذر از رابطه (۱) محاسبه گردید (Shamsaddin Saied, 2007).

$$\Sigma GR = (ni/ti) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه GR[1]: سرعت جوانه‌زنی بذر، ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در یک فاصله زمانی مشخص t_i و ti: تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی است.

1. Germination Rate

درصد جوانه‌زنی بذر از رابطه (۲) محاسبه گردید (Shamsaddin Saied, 2007).

$$GP = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه GP[1]: درصد جوانه‌زنی بذر، n: تعداد بذرهای جوانه‌زده و N: تعداد بذرهای کشت شده می‌باشند.

شاخص آلومتری طبق رابطه (۳) از نسبت طول ساقه‌چه به طول ریشه‌چه به دست آمد (Ebrahimiet al., 2012).

$$AC = PL/RL \qquad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه AC[2]: ضریب آلومتری، PL[3]: طول ساقه‌چه و RL: طول ریشه‌چه می‌باشد.

شاخص بنیه طولی بذر تابعی از درصد جوانه‌زنی و مجموع میانگین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه (طول گیاهچه) می‌باشد که از رابطه (۴) محاسبه گردید (Motamednezhadet al., 2016).

$$SLVI = GP \times (PL+RL) \qquad \text{رابطه (۴)}$$

که در این رابطه SLVI[4]: شاخص بنیه طولی بذر، GP: درصد جوانه‌زنی و PL[5]: طول ساقه‌چه و RL[6]: طول ریشه‌چه می‌باشد.

ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر یا شاخص کوتوسکی از رابطه ۵ حاصل گردید (Kotowski, 1926).

$$KCV = \frac{\Sigma n}{\Sigma (t \times n)} \times 100 \qquad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه KCV[7]: ضریب سرعت جوانه‌زنی بذر یا شاخص کوتوسکی، n تعداد بذرهایی است که در زمان t (روز بعد از کاشت) جوانه زده‌اند.

شاخص تحمل به شوری: برای محاسبه شاخص تحمل به شوری طبق رابطه (۶) عمل گردید (Sopha et al., 1991).

$$STI\ (\%) = \frac{TWSS}{TWSC} \qquad \text{رابطه (۶)}$$

که در این رابطه STI[8] : شاخص تحمل به شوری است و به درصد بیان می‌شود. TWS_S و TWS_C به ترتیب عبارتند از وزن خشک ساقه‌چه‌های تحت تنش و شاهد.تجزیه واریانس داده‌ها و رسم نمودارها با نرم افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

از آنجائی که در این آزمایش هیچگونه جوانه‌زنی در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری مشاهده نشد لذا این تیمار در تجزیه آماری قرار نگرفت و تجزیه آماری با سه سطح ۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری و پنج سطح پیش‌تیمار اسمزی انجام گردید.

سرعت و درصد جوانه‌زنی: در این آزمایش اثرات ساده سطوح مختلف شوری، پیش‌تیمار اسمزی و اثرات متقابل آنها بر درصد و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). بین این دو صفت همبستگی مثبت و معنـی‌داری ($r=0.900^{**}$) وجود داشت (جدول ۲). در شرایط نرمال تیمارهای اسمزی سرعت جوانه‌زنی را نسبت به شاهد کاهش دادند (شـکل

1. Germination Percent
2. Allometry Coefficient
3. Plumule lenght
4. Seed length vigor index
5. Plumule lenght
6. Radicle lenght
7. Kotowski Coefficint of Velocity
8. Stress Tolerance Index

a۱) ولی در شرایط تنش ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تأثیر مثبت پیش‌تیمار اسمزی روی سرعت جوانه‌زنی کاملا مشهود بود. سرعت جوانه‌زنی در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار، تا ۸۰ درصد توسط پیش‌تیمار کلرید کلسیم و در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تا ۱۷۰ دصد توسط پیش‌تیمار سولفات کلسیم نسبت به شاهد در همان شرایط افزایش یافت (شکل ۱ a). در شرایط نرمال تیمارهای نیترات پتاسیم و سولفات کلسیم درصد جوانه‌زنی را نسبت به شاهد کاهش دادند و تفاوت معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی بذور تیمار شده با کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم و شاهد وجود نداشت. بنابراین نوع نمک اسمزی انتخابی برای درصد جوانه‌زنی مهم است. البته درصد بالای جوانه‌زنی ملاک خوبی برای گزینش نمی‌باشد زیرا در شرایط نامساعد محیطی مهمتر از درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌باشد (Ashraf and Humera, 2001)

جدول ۱: تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی کرفس در سطوح مختلف تنش شوری و پیش‌تیمار اسمزی

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه
شوری	۲	۱۸۹۰۱/۹**	۳۰۳/۶۱**	۸۴۸/۴**	۱/۳۱**	۱/۰۸**
پیش‌تیمار اسمزی	۴	۱۹۸/۵۷**	۵۳۷۶**	۲۰۲/۱۳**	۰/۵۳*	۰/۱۷**
شوری × پیش‌تیمار اسمزی	۸	۷۲۷/۵۱**	۱۱/۴۵**	۴۴/۲۴**	۰/۴۸**	۰/۰۶**
خطا	۳۰	۱/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۵۴۲	۰/۰۰۹	۰/۹۴
ضریب تغییرات (٪)	-	4.07	3.43	9.97	13.09	6.20

** و * معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

ادامه جدول ۱: تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی کرفس در سطوح مختلف تنش شوری و پیش‌تیمار اسمزی

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ریشه‌چه	ضریب آلومتری	شاخص بنیه بذر	ضریب کوتوسکی	شاخص تحمل شوری
شوری	۲	۰/۰۴**	۷۷/۱**	۵۱۷/۸**	۱۵۱۶۷/۹**	۳/۴۹**
پیش‌تیمار اسمزی	۴	۰/۱**	۳۱/۱**	۳۶/۲**	۱۸۶۷/۷۵**	۱/۰۶**
شوری × پیش‌تیمار اسمزی	۸	۰/۰۰**	۵/۶۲**	۱۹/۸**	۲۱۰۶/۵۶**	۰/۱۹**
خطا	۳۰	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۱/۷۴۷	۱۰/۸۵	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۵۴	۴/۰۷	۳/۴۳	۹/۹۷	۱۳/۰۹

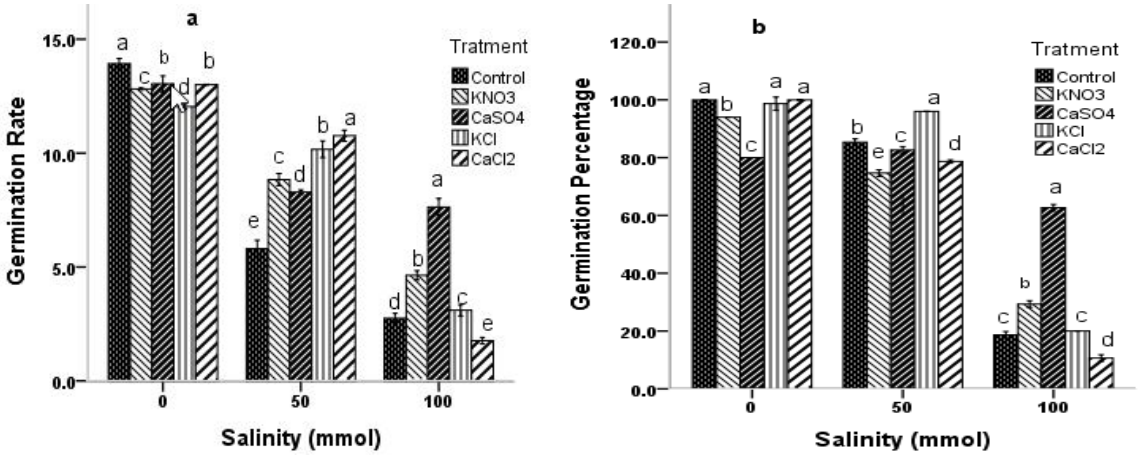
** و * معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

با افزایش سطح شوری تفاوت زیادی بین تیمارهای اسمزی و شاهد مشاهده شد. برای مثال در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار کلرید پتاسیم تا ۱۲ درصد و در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پیش‌تیمار سولفات کلسیم ۲۳۵ درصد، میزان جوانه‌زنی را نسبت به شاهد در همان شرایط افزایش دادند (شکل ۱ b). با افزایش سطح شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور کاهش یافت. کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری در بسیاری از گیاهان از جمله ماش سبز (Ghanbari et al., 2020)، برنج (Brooks et al., 2020)، زیره سیاه (Saeedi Goraghani et al., 2017)، مرزنجوش (Ali et al., 2007) و لوبیا (Kaya *et* al., 2007) گزارش شده است. اثر سمی یون‌های کلر و سدیم سبب جلوگیری از جذب آب کافی توسط بذور (Ghars et al., 2009) و تجمع هورمون اسید آبسیزیک در بذر

(Mokhtari et al., 2008) شده که درنتیجه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی بذر می‌شود. همچنین در این مطالعه پیش‌تیمار اسمزی بذور کرفس باعث افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی تحت تنش شوری نسبت شاهد شد که با نتایج مطالعات پیشین (Mirmazloum et al., 2020; Manuela et al., 2016, Brooks et al., 2020; Malekzade et al., 2017) مطابقت دارد. به طور کلی علت تسریع جوانه‌زنی در بذور پیش‌تیمارشده می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده آلفا آمیلاز، افزایش انرژی در قالب افزایش مقدارATP، افزایش سنتز DNA و RNA، افزایش تعداد میتوکندری‌ها و ارتقای عملکرد آنها باشد (Afzal et al., 2002). پیش‌تیمار بذور با ترکیبات اسمزی کلسیم و پتاسیم‌دار به دلیل دارا بودن کاتیون‌های کلسیم و پتاسیم توانسته است اثرات مضر نمک را کاهش داده و منجر به افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی شود (Ashraf and Humera, 2001).

پیش‌تیمار بذور توسط محلول‌های اسمزی کلرید کلسیم و نیترات پتاسیم نیز سبب کاهش پتانسیل اسمزی اطراف بذور در زمان تیمار شده و در نتیجه سرعت فرآیند جذب آب افزایش یافته و جوانه‌زنی بذر تسهیل را نموده است (Mokhtarian Najafabadi and Gholami, 2013). پرک و رید (Preece and Read, 1993) بیان کردند که نیترات در سنتز آنزیم و رونویسی DNA و RNA نقش اساسی ایفا می‌کند و پتاسیم قابلیت نفوذ دیواره سلولی را افزایش می‌دهد که در نتیجه درصد و سرعت جوانه زنی بهبود می‌یابد.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: سطوح مختلف شوری، پیش‌تیمار اسمزی و اثرات متقابل آنها به طور معنی‌داری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱). بین این دو صفت و سایر صفات همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲).

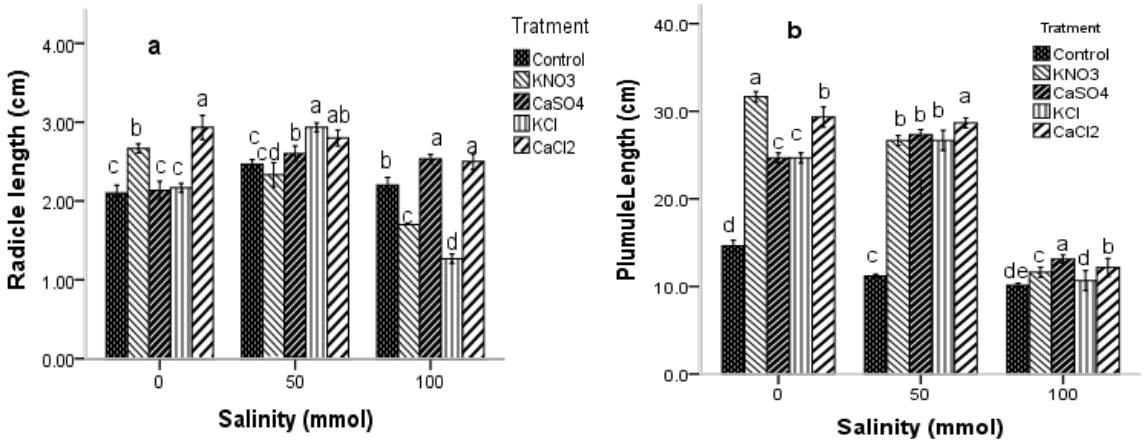


شکل ۱: مقایسه میانگین اثرات متقابل پیش‌تیمار اسمزی و شوری بر سرعت جوانه‌زنی (شکل a) و درصد جوانه‌زنی (شکل b) بذر کرفس

در شرایط نرمال بیشترین طول ریشه‌چه مربوط به پیش‌تیمار بذور با کلرید کلسیم بود که تا ۳۹ درصد طول ریشه‌چه را نسبت به شاهد افزایش داد در حالی که در شرایط تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار، طول ریشه‌چه بذور پیش‌تیمار شده با کلرید پتاسیم بیشتر از سایر تیمارها بود. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نیز، بیشترین طول ریشه‌چه در بذوری که با کلرید کلسیم و سولفات کلسیم پیش‌تیمار شده بودند مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با یکدیگر نداشتند. پیش‌تیمار اسمزی بذور کرفس با نیترات پتاسیم در شرایط بدون تنش، طول ساقه‌چه را تا

۱۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۲b). طول ساقه‌چه در شرایط تنش ۵۰ میلی مولار، تا ۱۵۵ درصد توسط پیش‌تیمار کلرید کلسیم و در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار، ۲۹ درصد توسط سولفات کلسیم نسبت به شاهد افزایش یافت که نشان دهنده نقش مهم یون کلسیم در افزایش طول ساقه‌چه کرفس تحت شرایط تنش است. به طور کلی پیش‌تیمار کلرید کلسیم نقش بیشتری در افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط نرمال و تنش داشت. با افزایش تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت (شکل ۲a و ۲b). زیرا با افزایش سطح شوری جذب آب کم شده و درنتیجه طول گیاهچه کاهش می‌یابد (Jamil et al., 2006). افزایش طول ریشه‌چه تأثیر به سزایی در افزایش مقاومت گیاهچه به شرایط تنش خواهد داشت. پیش‌تیمار اسمزی در شرایط تنش، استقرار سریع گیاهچه‌های جوان را از طریق افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بهبود داد تا جذب مواد غذایی از ریشه افزایش یافته و با خروج سریع‌تر گیاهچه فتوسنتز سریعتر شروع شده و گیاهچه‌هایی با بنیه قوی‌تر حاصل شوند.

غلظت زیاد سدیم تحت تنش شوری ناشی از نمک کلرید سدیم برای بیشتر گونه‌های گیاهی سمی است. یکی از عوامل مهم تحمل شوری در گیاهان حضور یون کلسیم است. زیرا در شرایط تنش شوری حاصل از NaCl کمبود یون کلسیم به واسطه رقابت با یون سدیم موجب عدم فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز گشته و در نتیجه منجر به کاهش هیدرولیز نشاسته به گلوکز و کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی می‌گردد (Ghanbari et al., 2019). کلسیم در حفظ ساختار و عملکرد غشای سیتوپلاسمی سلول‌های گیاهی نقش اساسی دارد و همچنین در انتقال یون‌ها، کنترل تبادل یونی و فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی موثر است به علاوه در شرایط تنش نیز یون کلسیم در فرایند پیام‌رسانی و بیان ژن نقش ایفا می‌نماید (Abbasi Bidli et al., 2017).بنابراین کاربرد کلسیم در محیط جوانه‌زنی مانع جذب سدیم و تأثیر منفی آن بر گیاهچه می‌شود که در این پژوهش نیز تأثیر مثبت ترکیبات کلسیم و پتاسیم بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و سایر صفات مشخص شد. محققان پیشین نیز گزارش کرده‌اند که پیش تیمار بذور ماش (Abbasi Bidli, 2017) با کربنات کلسیم و سیاه‌دانه (Malekzade, 2017) با نیترات پتاسیم نیز سبب افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شده است .

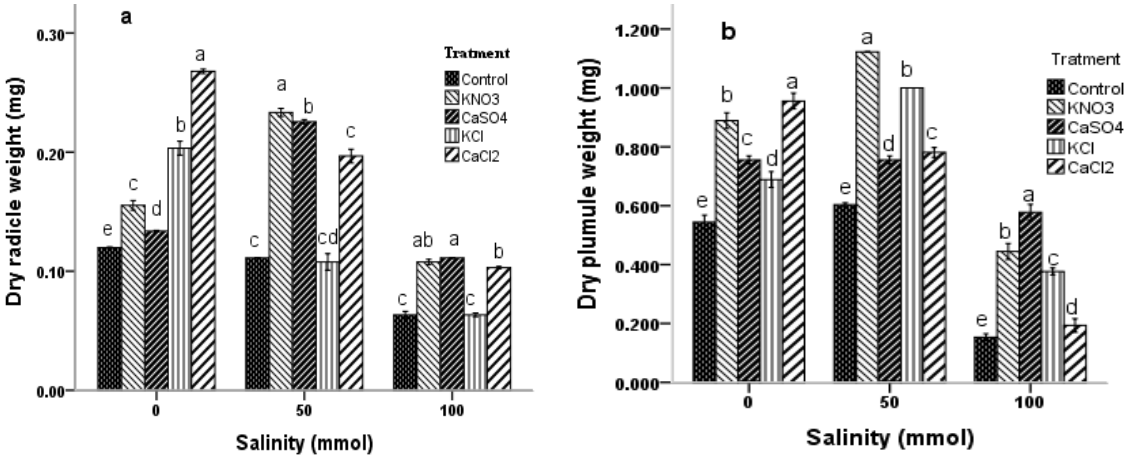


شکل ۲: مقایسه میانگین اثرات متقابل پیش تیمار و شوری بر طول ریشه‌چه (شکل a) و طول ساقه‌چه (شکل b)

وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف شوری، پیش‌تیمار اسمزی و اثرات متقابل شوری و پیش‌تیمار اسمزی بر وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۱). بین وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و سایر صفات همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر پیش‌تیمار اسمزی بذر قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش شوری وزن خشک ریشه‌چه کاهش یافت. بیشترین وزن خشک ریشه‌چه در شرایط نرمال مربوط به پیش تیمار کلرید کلسیم بود که وزن خشک ریشه‌چه را تا ۱۲۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۳). همچنین پیش‌تیمار بذور اثر منفی شوری را تعدیل کرد (شکل ۳). بیشترین وزن خشک ساقه‌چه در تنش ۵۰ میلی مولار و پیش‌تیمار بذور با نیترات پتاسیم به دست آمد. کمترین مقدار آن در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار و مربوط به تیمار شاهد بود.

با افزایش سطح شوری تجمع یون‌های Na^+ و Cl^- درون بافت گیاهی افزایش یافته (García Legaz et al., 2005) و باعث آسیب به گیاه می‌گردد. در شوری طول ساقه‌چه و ریشه‌چه کاهش می‌یابد که در نتیجه کاهش وزن خشک ساقه چه و ریشه‌چه را به دنبال دارد (Tavili et al., 2015). در تیمار بذرهای عروسک پشت پرده (*Physalis angulate*)، تنش شوری و پیش‌تیمار اسمزی منجر به افزایش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه شد (Manuela et al., 2016). نتایج این مطالعه نشان داد که وزن خشک ریشه چه در تنش شوری ۵۰ میلی مولار و تیمار نیترات پتاسیم و سولفات کلسیم نسبت به همان تیمارها در شرایط نرمال افزایش یافت ولی در تنش صد میلی مولار کاهش یافت همچنین وزن خشک ساقه چه در تنش ۵۰ میلی‌مولار در همه تیمارها غیر از کلرید کلسیم اندکی افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر سطح شوری کاهش یافت.

شاخص آلومتری و شاخص بنیه بذر: با افزایش شوری شاخص آلومتری (نسبت طول ساقه‌چه/ ریشه‌چه) کاهش یافت که دلیل آن کاهش شدید طول گیاهچه و تأثیر کمتر روی ریشه‌چه در گیاه کرفس می‌باشد.

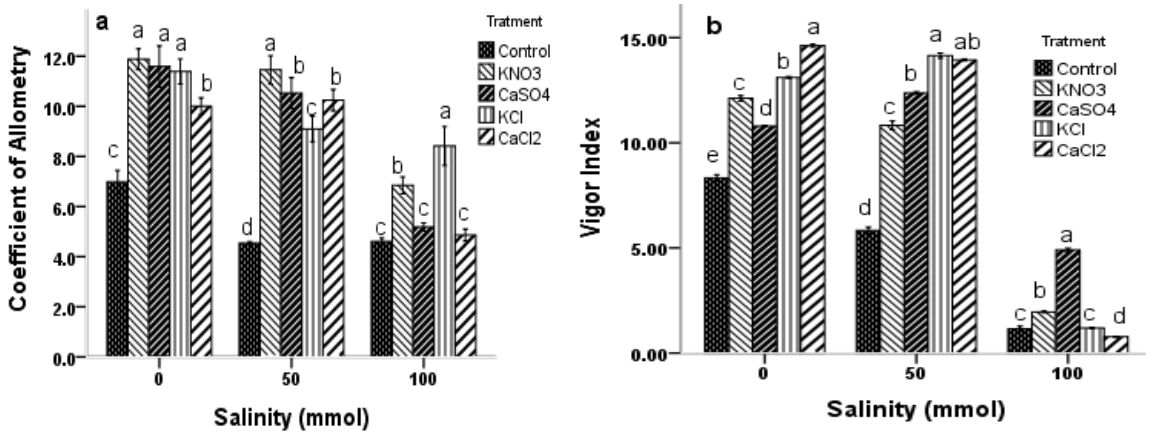


شکل ۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل پیش تیمار اسمزی و شوری بر وزن خشک ریشه‌چه (شکل a) و ساقه‌چه (شکل b)

بیشترین شاخص آلومتری در شرایط نرمال و با پیش تیمار نیترات پتاسیم حاصل شد که افزایش ۱/۷ برابری نسبت به شاهد داشت البته از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با اثر تیمارهای سولفات کلسیم و کلرید پتاسیم در شرایط نرمال و نیترات پتاسیم در تنش شوری ۵۰ میلی مولار نداشت (شکل a ۳). در همه شرایط میزان شاخص آلومتری کلرید کلسیم کمتر از سایر تیمارها بود که علت آن به تأثیر بیشتر این تیمار بر طول ریشه در سه سطح تنش شوری بود.

کمترین شاخص آلومتری مربوط به تیمار شاهد در تنش ۱۰۰ میلی مولار بود که البته با تیمارهای کلرید کلسیم و نیترات پتاسیم در تنش ۱۰۰ و تیمار شاهد در تنش ۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نبود. نتایج این آزمایش نشان داد که در شوری بالا میانگین طول ریشه‌چه نسبت به طول ساقه‌چه کاهش کمتری داشته است و همچنین تأثیر مثبت پیش تیمار اسمزی بر افزایش طول ساقه‌چه نسبت به طول ریشه‌چه نیز بیشتر بوده است. ماتریس ضرایب همبستگی صفات (جدول ۲) نشان داد که شاخص آلومتری با همه صفات رابطه مثبت دارد. این شاخص کمترین همبستگی را با وزن تر ساقه‌چه داشت زیرا زمانی که مواد غذایی ذخیره بیشتر صرف افزایش وزن ترگیاهچه می‌شود مواد کمتری صرف افزایش طول گیاهچه می‌گردد.

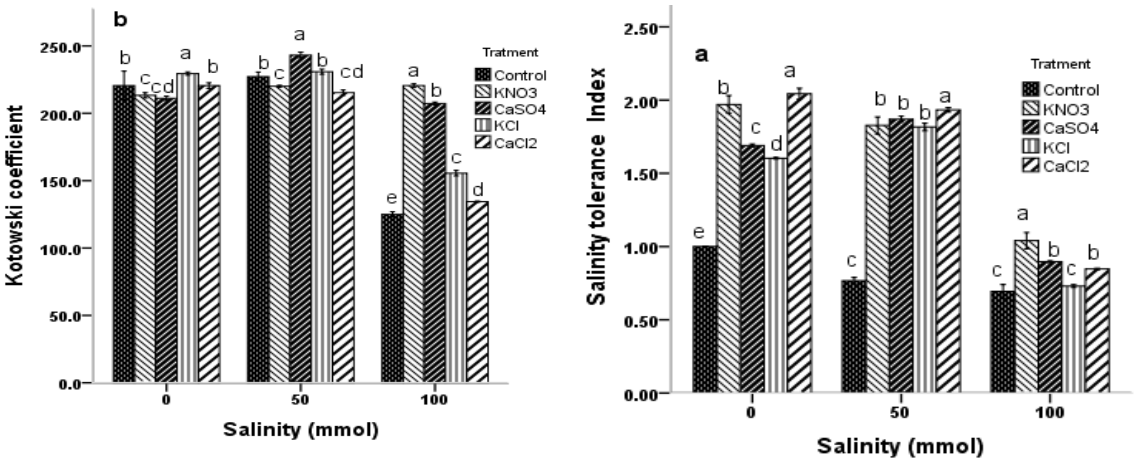
با افزایش سطح شوری شاخص آلومتری و شاخص بنیه بذر کاهش یافت شاخص بنیه بذر (شاخص ویگور) تابعی از درصد جوانه‌زنی و مجموع میانگین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه (طول گیاهچه) می‌باشد. شاخص بنیه بذر دارای ارزش بیشتری در مطالعات جوانه‌زنی است و شاید بیش از صفاتی چون وزن یا طول گیاهچه به تنهایی بیانگر شرایط توده بذری باشد. پیش تیمار بذور در همه سطوح تنش شوری سبب بهبود شاخص بنیه بذر شد با وجود آنکه در شرایط نرمال در اثر پیش تیمار اسمزی با نیترات پتاسیم و سولفات کلسیم درصد جوانه‌زنی کاهش یافت اما به دلیل تأثیر این ترکیبات در افزایش طول گیاهچه، شاخص بنیه بذر تحت این دو تیمار در شرایط نرمال نیز افزایش یافت. نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری شاخص بنیه بذر کرفس کاهش یافت. تنش شوری با کاهش (یا عدم انتقال) مواد غذایی به نقاط رشد جنین مانع تقسیم سلولی و سنتز پروتئین می‌شود و در نتیجه با ایجاد تغییر در تعادل هورمونی، سبب کاهش رشد گیاهچه و کاهش شاخص بنیه بذر می‌گردد. بیشترین شاخص بنیه بذر مربوط به پیش‌تیمار بذور با کلرید کلسیم در شرایط بدون تنش بود که ۷۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. همچنین پیش تیمار بذور با کلرید کلسیم و پتاسیم در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار، شاخص بنیه بذر را ۱۴۰ درصد و در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار پیش تیمار بذور با سولفات کلسیم شاخص بنیه بذر را ۳۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. ماتریس ضرایب همبستگی صفات (جدول ۲) نشان می‌دهد که شاخص بنیه بذر با تمام صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. پیش تیمار اسمزی بذرها سبب کنترل جذب آب، بهبود غشای پلاسمایی، کاهش خروج الکترولیت‌ها و افزایش بنیه بذر می‌شود (Koocheki and Sarmadnia, 2007). نتایج این تحقیق با پیش‌تیمار اسمزی در برنج (Brooks et al., 2020) کلزا (Saber et al., 2012) و سیاه‌دانه (Malekzade, 2017) که سبب افزایش شاخص بنیه بذر گیاهچه شد مطابقت دارد.



شکل ٤: مقایسه میانگین اثرات متقابل پیش‌تیمار اسمزی و شوری بر شاخص آلومتری (شکل a) و شاخص بنیه بذر (شکل b) کرفس

ضریب سرعت جوانه‌زنی (ضریب کوتوسکی) و شاخص مقاومت به شوری: ضریب کوتوسکی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تنش شوری و پرایمینگ بذر قرار گرفت (جدول ۱) و همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با همه شاخص‌های جوانه‌زنی داشت (جدول ۲). با افزایش تنش شوری تا ۵۰ میلی‌مولار ضریب کوتوسکی افزایش مختصری داشت ولی با افزایش بیشتر تنش (۱۰۰ میلی مولار شوری) کاهش یافت. بیشترین میزان ضریب سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار سولفات کلسیم در شوری ۵۰ میلی مولار بود و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد تحت شرایط ۱۰۰ میلی مولار بود. همچنین ضریب کوتوسکی با سایر صفات جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

سطوح مختلف شوری، پیش‌تیمار اسمزی و اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌دار بر شاخص مقاومت به شوری داشت (جدول ۱). بین این دو صفت و سایر صفات همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت و بیشترین همبستگی را با ضریب آلومتری (نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه) و سرعت جوانه‌زنی داشت (جدول ۲) زیرا هر چه ضریب سرعت جوانه زنی بیشتر و طول ساقه چه بیشتر باشد گیاهچه سریعتر از خاک خارج شده، زودتر استقرار می‌یابد و سریعتر به آب و عناصر غذایی دسترسی می یابد و در نتیجه شاخص مقاومت به شوری بیشتر می‌شود. بیشترین مقدار شاخص مقاومت به شوری در شرایط نرمال مربوط به پیش‌تیمار کلرید کلسیم (۲/۰۴) بود. کمترین مقدار آن در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و بدون پیش تیمار (۰/۶۹) حاصل گردید (شکل 5b).



شکل ۵: مقایسه میانگین اثرات متقابل پیش‌تیمار اسمزی بذر و شوری بر ضریب کوتوسکی (شکل a) و شاخص مقاومت به شوری (شکل b) کرفس

نتیجه‌گیری کلی

تنش شوری بر بیشتر صفات موردمطالعه تأثیر منفی داشت درحالی که تیمار اسمزی هم در شرایط تنش شوری و هم در شرایط بدون تنش تأثیر مثبتی بر صفاتی نظیر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه و ساقه‌چه، ضریب کوتوسکی، شاخص تحمل شوری، ضریب آلومتری و شاخص بنیه بذر داشت. بهبود این ویژگی‌ها در گیاهان می‌تواند از طریق استقرار سریع‌تر گیاهچه و افزایش میزان دسترسی به آب و عناصر غذایی سبب تقویت رشد گیاه شود. تأثیر تیمارها بر صفات مورد مطالعه به یک میزان نبوده و به طورکلی در صفات مهمی همچون شاخص مقاومت به شوری و طول ریشه چه و ساقه چه کلرید کلسیم اثرات مثبت بیشتری به همراه داشت. به طور کلی پیش‌تیمار اسمزی بذور

کرفس شاخص‌های جوانه‌زنی بذر را بهبود بخشید و تحمل گیاهچه را نسبت بـه تـنش شـوری افـزایش داد. بنـابراین استفاده از این تیمارهای اسمزی جهت افزایش بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچیه کرفس به ویژه در شرایط تحت تـنش شوری پیشینهاد می‌شود.

References

Abbasi, Bidli M. and A. Abdali Mashhadi. 2017. Effect of priming on germination characteristics and growth of the *Vigna radiata* (Shushtar ecotype) seeding under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research. 4(1): 75-88.

Acosta-Motos J. R., M. F. Ortuño, A. Bernal-Vicente, P. Diaz-Vivancos, M. J. Sanchez-Blanco and J.A. Hernandez. 2017. Plant sesponses to salt stress: Adaptive Mechanisms. Agronomy. 7(1): 18-57.

Adams E. and R. Shin. 2014. Transport, signaling, and homeostasis of potassium and sodium in plants. Journal of Integrative Plant Biology. 56: 231-249

Adnan M., H. Abd-ur-Rahman, M. Asif, M. Hussain, H. Muhammad Bilal, M. Adnan, F. Ur-Rehman S. Ahmad and M. Khalid. 2020. Seed priming; an effective way to improve plant growth. EC Agriculture. 1-5

Afzal, I., S. M. A.Basra, R. Ahmad, and A. Igbal. 2002. Effect of different seed vigor enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays* L.). Pakestan Journal Agricultural Science. 39: 109-112.

Ali, R.M., H.M. Abbas, and R.K. Kamal. 2007. The effects of treatment with polyaminesondry matter, oil and flavonoid contents in salinity stressed chamomile and sweet marjoram. Plant, Soil and Environment. 53: 529–543.

Ashraf, M. and R. Humera. 2001. Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloride salts: Growth and ion transport at early growth stages. Acta Physiologiae Plantarum. 23(4): 407-414.

Bonilla, I., A. El-Hamdaoui, and L. Bolanos. 2004. Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development under salt stress. Plant and Soil. 267: 97–107.

Brar, A.S., P.K. Sraw and B. S. Dhillon 2020. Impact of paddy straw mulch on germination and growth of celery (Apium graveolens L.) seedlings and associated weeds in nursery. Journal of Spices and Aromatic Crops. 29 (2): 148-152.

Brooks S., D. Athinuwat, P. Na Chiangmai. 2020. Enhancing germination and seedling vigor of upland rice seed under salinity and water stresses by osmopriming. Science and Technology Asia. 25 (2): 63-74

Chen X., R. Zhang, Y. Xing, B. Jiang, B. Li, X. Xu and Y. Zhou. 2021. The efficacy of different seed priming agents for promoting sorghum germination under salt stress. Plos One. 16(1): e0245505.

Ebrahimi, M., K. Akbari, K. Abasi, and B. Samadi Firoozabadi. 2012. Effect of sowing date on seed yield and its components of canola cultivars in Varamin region in Iran. Seed and Plant Journal. 28 (1): 69-80.

Ewelina A. Klupczyńska and Tomasz A. Pawłowski.2021. Regulation of Seed Dormancy and Germination Mechanisms in a Changing Environment. International Journal of Molecular Science. 22(3):1357.

Fallah-Shamsi, S.R., M. Pirdashti, A.Ebadi, M. Esfahani, and M. Raeini. 2017. Effect of drought stress at reproductive stage on seed germination characteristics of local and improved rice (*Oryza sativa*) genotypes. Iranian Seed Research. 4(1): 75-87. [In Persian with English Summary].

Fazlali R, D.E Asli and P. Moradi. 2013. The effect of seed priming by ascorbic acid on bioactive compounds of naked seed pumpkin (*Cucurbita pepo* var. styriaca) under salinity stress. International Journal of Farming and Allied Sciences. 2: 587-90.

García-Legaz, M.F., López-Gómez E., Mataix Beneyto J., Torrecillas A. and Sánchez-Blanco M.J. 2005. Effects of salinity and rootstock on growth, water relations, nutrition and gas exchange of loquat. Journal of Horticultural Science Biotechnology. 80: 199-203.

Gattward, J.N., A.A. Almeida, J.O. Souza, F.P. Gomes and H.J. Kronzucker. 2012. Sodium-potassium synergism in Theobroma cacao: Stimulation of photosynthesis, water use efficiency and mineral nutrition. Physiology Plant. 146: 350-362.

Ghanbari, M., A. Mokhtassi-Bidgoli, K. Mansour Ghanaei-Pashaki and S.Karamniya. 2020. Germination Characteristics and Enzyme Activity of Mung Bean (Vigna radiata) in Response to Methyl Jasmonate and Salinity Treatments. Iranian Journal of Seed Research. 7(1): 83-97.

Ghanbari, M., A. Mokhtassi-Bidgoli, P. Talebi-Siah Saran and H. Pirani. 2019. Effect of deterioration on germination and enzymes activity in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.), under salinity stress condition. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12 (2): 585-594. [In Persian with English Summary].

Ghars, M.A., A. Debez and C. Abdelly. 2009. Interaction between salinity and original habitat during germination of the annual seashore halophyte Cakile Maritima. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 40: 3170-3180.

Hirschi, K.D. 2004. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. Plant Physiology. 136: 2438–2442.

Ibrahim, E.A. 2016. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. Journal of Plant Physiology. 192: 38-46

Kaya, M., M. Atak, K.M. Khawar, C.Y. Çiftçi and S. Ozcan. 2007. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). International Journal of Agriculture and Biology. 7: 875-878.

Jamil, M., Lee, D.B., Jung, K.Y., Ashraf, M., Lee, S.H. and Rha, E.S. 2006. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of Central European Agriculture. 7(2): 273-282.

Koocheki, A. and G. Sarmadnia. 2007. Physiology of crop plants (translate). Mashhad University Jihad Publication. Thirteenth Printing. 400 p. [In Persian].

Kooti, W, S. Ali-Akbari, M. Asadi-Samani, H. Ghadery and D. Ashtary Larky. 2014. A review on medicinal plant of *Apium graveolens*. Advanced Herbal Medicine. 1: 48-59.

Kooti, W. and N. Daraei. 2017. A review of the antioxidant activity of celery (*Apium graveolens* L.). Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 22(4): 1029-1034.

Kotowski, F. 1962. Temperature relations to germination of vegetable seeds. Proceedings of American Society of Horticultural Science. 23: 176-177.

Kronzucker, H.J. and D.T. Britto. 2011. Sodium transport in plant: a critical review. The New Phytologist. 189: 54–81.

Mirmazloum, I., Kiss A., Erdélyi E., Ladányi M., Zámboriné Németh E. and Radácsi P. 2020. The effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. Agriculture. 10-494:1-10.

Moaaz A., Javed M., J., Mauro R. P., Shabbir R., Afzal I. and. Yousef A.F. 2020. Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. Agriculture. 10-498:1-10.

Motamednezhad M., Eslami S. V., Sayyari M. H. and Mahmoodi S. 2016. The effect of enrichment with bio-fertilizers and three nutrients of iron, zinc and manganese on germination characteristics of ajowan (*Carum copticum* L.). Journal of Horticultural Science, 29 (4): 564-571. [In Persian with English summary].

Manuela O. D S., Claudinéia R. P., Leo A.J. W., Renato D. D. C., Henk W.M. H and Wilco L. 2016. Effect of osmopriming on germination and initial growth of *Physalis angulata* L. under salt stress and on expression of associated genes, Anais da Academia Brasileira de Ciências. 1-14.

Malekzade, S., Fallah S., and Azari A. 2017. The role of zinc sulfate and potassium nitrate on seed germination parameters improvement of black cumin (*Nigella sativa*) medicinal plant. Plant Production Technology. 16(2): 139-151.

Matias, J. R., Torres S. B., Leal C. C. P., Leite M. S. and Carvalho S. M. C. 2018. Hydropriming as inducer of salinity tolerance in sunflower seeds. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 22 (4): 255-260.

Miceli, A., Moncada A. and D'Anna F. 2003. Effect of water salinity on seeds germination of *Ocimum basilicum* L., *Eruca sativa* L. and *Petroselinum hortense* Hoffm. Acta Horticulturae. 609: 365–370.

Mirmazloum I., Kiss A., Erdélyi É., Ladányi M., Zámboriné Németh É. and Radácsi P. 2020. The effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. Agriculture. 10 (94): 1-11.

Mokhtarian Najafabadi F. and Gholami M. 2013. Investigation of the effect of different seed priming treatments on black seed variability under salinity stress condition. 8th Iranian Horticultural Science Congress. Bu-Ali Sina University. Hamedan. pp. 2936- 2932.

Nayyar, H. 2003. Calcium as environmental sensor in plants. Current Science. 84: 7–10

Oliveira C. E. S., Steiner F., Zuffo A. M., Alves T. Z. C. Z. and Aguiar V. C. B. 2019. Seed priming improves the germination and growth rate of melon seedlings under saline stress. Crop production. 49 (7): 1-11.

Paparella, S., Araújo S.S., Rossi G., Wijayasinghe M., Carbonera D. and Balestrazzi A. 2015. Seed priming: State of the art and new perspectives. Plant Cell Reports. 34: 1281–1293.

Saber, Z., Pirdashti H. and Heidarzade A. 2012. Osmopriming and hydropriming effects on seed and seedling parameter of two rape seed (*Brassica napus* L.) cultivars. International Journal of Agriculture: Research and Review. 2 (5): 547-554.

Saeedi Goraghani H. R., Ranjbar Fordoei A., Soleimani Sardo M. and Mahdavi M. J. 2017. Effect of salinity and drought stresses on germination stage and growth of black cumin (*Bunium Persicum* Boiss). Iranian Journal of Field Crops Research. 45 (15): 1-7.

Shamsaddin S., Farahbakhsh M. and Maghsoodi Mude H. 2007. Effects of salt stress on germination, vegetative growth and some of physiological characteristics of canola. Journal of Water and Soil Science. 11(41): 191-203.

Sharma A.D., Thakur M., Rana M. and Singh K. 2004. Effect of plant growth hormones and abiotic stresses on germination, growth and phosphates activities in *Sorghum bicolor* L. Moench seeds. African Journal of Biotechnology. 3: 308-312.

Sopha V. T., Savage E., Anacle A. O. and Beyl C. A. 1991. Vertical differences of wheat and triticale to water stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 167: 23-28.

Tang, D., Dean W.L., Borchman D., and Paterson C.A. 2006. The influence of membrane lipid structure on plasma membrane Ca^{+2}ATPase activity. Cell Calcium Journal. 39: 209–216.

Tavili, A., Ghanbari N., and Yazdanshenas H. 2015. The effect of drought and salinity stress on seed germination characteristic and seedling growth of *Salsola crassa* under laboratory and greenhouse conditions. Iranian Journal of Seed Science and Research, 2: 15-25. [In Persian with English Summary].

Tobe, K., Zhang L., Qui G.Y., Shimizu H., Omasa K. 2001. Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species. Journal of Arid Environment. 47: 191–201.

Vazirimehra, M., Ganjali, Khashayar R., Rigi H. and Keshtehgar A. 2014. Effect of seed priming on quantitative traits corn. International Journal of Plant, Animal and Environmental. Sciences 4(2): 134-140.

Villar-Salvador P., Puértolas J., Cuesta B., Peñuelas-Rubira J., Uscola M., Heredia-Guerrero N., Rey-Benayas. 2012. Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in mediterranean plantations J.M. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. Biology New Forests. 43: 755-770.

Wagdi Saber S., Abdel-Haleem A. H. El-Sh. 2014. Effect of saline water on germination and early growth stage of five Apiaceae species. African Journal of Agricultural Research. 9(7): 713-719

Yang L., Liu B., Lu y., Lu F., Wu X., You W. and Hung B. 2019. Bioavilability of cadmium to celery (*Apium graveolence*) grown in acidic and Cd-contaminated greenhouse soil as affected by application of hydroxyapatite with different particle sizes. Chemosphere, 240: 341-347.

Yousefi AR., Rashidi S., Moradi and Mastinu A. 2020. Germination and Seedling Growth Responses of *Zygophyllum fabago*, *Salsola kali* L. and *Atriplex canescens* to PEG-Induced Drought Stress, Environments, 7(12), 107.

Zehra, A., Gul B., Ansari R. and Khan A. 2012. Role of calcium in alleviating effect of salinity on germination of *Phragmites karka* seeds. South African Journal of Botany. 78: 122-128.

Zhang, L.X. and Li S.X. 2007. Effects of application of N and K on nitrogen metabolism of two genotype varieties of maize under water-stressed condition. Plant Nutrition and Fertilizer Science.13: 554-560.

Zhang, L.X, Li S.X., Liangab Z.S and Li S.Q. 2009. Effect of foliar nitrogen application on nitrogen metabolism, water status, and plant growth in two maize cultivars under short-term moderate stress. Journal of Plant Nutrition. 32: 1-21.

Zhang, L.X., Ruan Z., Tian L., Lai J., Zheng P., Liang Z. and Alva A.K. 2014. Foliar-applied urea modulates nitric oxide synthesis metabolism and glycinebetaine accumulation in drought-stressed maize. Pakistan Journal of Botany. 46: 1159-1164

Journal of Seed Research, Vol. 11, No. 1, Spring 2021

Effect of celery (*Apium graviolence*) seed osmo-priming on germination indices and physiological characteristics of seedlings under salinity stress

Sh. Fathi[1], A. Seyedi[2*]

[1]Assistant Professor, Department of Medicinal Plants, Shahid Bakeri Higher Education Center, Urmia University, Urmia, Iran.

[2]Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Jiroft, Iran.

Abstract

Salinity is one of the main abiotic stress limits plant growth and production by changing ionic and osmotic balance. This study was conducted to investigate the effect of osmotic pre-treatment on germination indices of celery seeds under salinity stress as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. Osmotic pre-treatment factors were: osmotic solution (1%) of KNo3, KCl, CaCl2 and CaSO4 and control (without pre-treatment) and salinity factor at four levels including concentrations of 0, 50, 100 and 150 mmol NaCl. Seed germination rate, seed germination percentage, radicle and plumule length, radicle and plumule dry weight, Kutowski-coefficient, salinity tolerance index, allometric coefficient and seed vigor index were measured. Results showed that under normal conditions, osmotic pre-treatment had no positive effect on germination percentage and germination rate. Germination indices significantly decreased with increasing salinity stress, so that no germination observed in the 150 mM salinity treatment. The positive effect of osmotic pre-treatments on seed germination indices was significant. In non-stress conditions, calcium chloride treatment increased salinity resistance by 100% and in 50 mM stress by 150%, but at 100 mM salinity, potassium nitrate had a better effect than other treatments. There was a positive and significant correlation between all germination indices. In general, under salinity stress pretreatment of celery seeds can be used as a beneficial solution.

***Keywords*:** Apiaceae, calcium chloride, germination rate, seed vigor index, stress tolerance index

[*]Corresponding author; sh.fathi@urmia.ac.ir