اثر تعدیل‌کنندگی پرایمینگ بذر بر تغییر برخی صفات مورفولوژیک، تغییرات یون‌های معدنی، عملکرد و اجزای عملکرد رقم آرمان نخود تحت شوری آب آبیاری

علی غلامی‌زالی[۱]، یعقوب خانی کریم‌آبادی[۱]، پرویز احسان‌زاده[۲*] و جمشید رزمجو[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۹)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر بر تعدیل اثرات تنش شوری، آزمایشی گلدانی (هوای آزاد) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان روی رقم آرمان نخود (*Cicer arietinum*) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح شوری (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار نمک کلرور سدیم) و چهار سطح پرایمینگ بذر (بدون پرایم، مانیتول پنج درصد، نمک ۰/۵ درصد کلرور سدیم و نمک ۰/۵ درصد کلرور پتاسیم) بود. نتایج آزمایش نشان داد به موازات افزایش شدت شوری تجمع سدیم و پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم افزایش و تجمع کلسیم، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد (ارتفاع بوته، تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام، وزن ماده خشک و شاخص برداشت) کاهش یافت. پرایمینگ بذور با کلرور سدیم و کلرور پتاسیم در مقایسه با مانیتول و سطح بدون پرایم به‌واسطه کاهش تجمع یون سدیم منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد این رقم نخود شد. اثر پرایمینگ بذر بر غلظت سدیم و کلسیم، تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام، وزن دانه تک‌بوته و شاخص برداشت بسته به سطح شوری متفاوت بود. در سطح سوم شوری (۵۰ میلی‌مولار نمک) تمام بذرهایی که پرایم شده بودند برخلاف گیاهان بدون پرایم، نیام بارور تولید کردند که می‌تواند ناشی از مقاومت به شوری باشد که احتمالاً پرایمینگ به‌وجود آورده است. نتایج این آزمایش نشان داد که اگرچه برهم خوردن تعادل یونی (به‌ویژه افزایش سدیم) و کاهش عملکرد و اجزای آن حتی در غلظت ۵۰ میلی‌مولار نمک در گونه حساس نخود دور از انتظار نیست، اما پرایمینگ بذور آن با کلرور سدیم و کلرور پتاسیم می‌تواند در تعدیل اثرات شوری مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: اسموپرایمینگ (کلرور سدیم و پتاسیم)، هالوپرایمینگ (مانیتول)، وزن دانه تک‌بوته

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجویان کارشناسی ارشد و استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ehsanzadehp@gmail.com

مقدمه

تنش شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان شناخته شده است (۱). نخود به‌عنوان یکی از گیاهان زراعی حساس به شوری متعلق به خانواده حبوبات (۱۹) حاوی مقادیر بالایی پروتئین (۲۳ درصد)، کربوهیدرات (۶۳ درصد)، چربی (۴/۵ درصد)، ویتامین‌ها و مواد معدنی است (۹). کاهش قابل توجه وزن ماده خشک و دانه آن در شرایط تنش شوری در برخی مطالعات گزارش شده است (۹ و ۱۹). کاهش مواد فتوسنتزی و در پی آن عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری نتیجه اثراتی است که شوری بر برخی فرایندهای مختلف بیوشیمیایی گیاهی مانند فتوسنتز، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و تثبیت نیتروژن دارد (۲۴ و ۲۶). تحت تأثیر قرار گرفتن مکانسیم‌های حیاتی گیاه در شرایط تنش شوری ممکن است ناشی از تنش خشکی حاصل از افزایش فشار اسمزی و کاهش پتانسیل آب خاک ایجاد شده از غلظت بالای شوری آب آبیاری و افزایش سطح سمیت یون‌هایی مانند سدیم و کلر باشد (۱۴). تغییرات فرایندهای فیزیکوشیمیایی حاصل از سمیت عناصر حاصل از تنش شوری (سدیم و کلر) به‌صورت کلروز و نکروز شدن سطح سبز در گیاه پدیدار می‌شود (۱). در این راستا، علاوه‌بر گیاه نخود (۹، ۱۹ و ۲۰)، در برخی گیاهان زراعی مانند گندم (۱۳، ۲۶ و ۲۹)، جو و کلزا (۱۳)، برنج (۳۱)، آفتابگردان (۱۶)، سویا (۲)، سیاهدانه (۲۱) و خربزه (۲۸) برهم خوردن تعادل یونی، کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و به تبع آنها کاهش ارتفاع بوته و وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی به موازات افزایش غلظت شوری گزارش شده است. اما نتایج گزارش‌ها حاکی از این امر است که اثر نامطلوب حاصل از تنش شوری می‌تواند بسته به عوامل مختلفی مانند نوع گونه گیاهی، رقم، مرحله رشد، مدت و شدت تنش، شرایط اقلیمی و نوع خاک متفاوت باشد (۱، ۹ و ۲۴). به‌عنوان مثال، در ارتباط با اثرات افزایش شدت تنش شوری، ابتهال و همکاران (۹) در بررسی اثر سه سطح شوری (۰/۲۳، ۳/۱۳ و ۶/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر) در گیاه نخود کاهش ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، وزن صد دانه و وزن خشک اندام هوایی به موازات افزایش شدت شوری را گزارش کردند. در این راستا نتایج مطالعه قبلی ما (۲۰) در بررسی اثر سطوح مختلف شوری (شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار کلرورسدیم) در گیاه نخود نیز نشان داد که سطوح نه چندان شدید شوری (۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار) تأثیر چشمگیری در کاهش عملکرد و اجزای عملکرد نخود دارد.

پرایمینگ بذر به‌عنوان یکی از روش‌های مقاوم‌سازی بذور، بهبود رشد گیاهچه‌ها و شاخص‌های بنیه بذر در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه در برابر تنش تنش شوری مطرح است (۶). قابلیت دسترسی به مواد غذایی در طول جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده آسان‌تر است و این بذرها بهتر قادر به کامل کردن فرایند جوانه‌زنی در زمان کوتاه هستند و تنش‌های محیطی مانند شوری را به‌خوبی تحمل می‌کنند (۷). پرایمینگ بذر به‌واسطه تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی (از جمله افزایش فعالیت آلفا-آمیلاز) و تقسیم سلولی ضمن تسریع و ایجاد یکنواختی جوانه‌زنی بذرها منجر به بهبود رشد گیاهچه‌ها و شاخص‌های بنیه بذر گیاهان رشد یافته در شرایط تنش شوری و ایجاد مقاومت به شرایط تنش شوری می‌شود (۶ و ۲۱). در این راستا، خدابخش و همکاران (۲۰) بیان کردند که دو رقم نخود آرمان و بیونیچ، از جمله ارقام بسیار حساس به شوری هستند و فناوری اسموپرایمینگ شیوه مناسبی برای بهبود تحمل آنها به شوری است. علاوه‌بر این، مطالعه عبادی و گلچه‌کامل (۸) در بررسی اثر سه نوع پرایمینگ با ترکیبات کلرور سدیم (هالوپرایمینگ)، آب (هیدروپرایمینگ) و مانیتول (اسموپرایمینگ) در سه زمان مختلف (۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت) در گیاه نخود به‌ترتیب افزایش ۶۳/۶ و ۴۴/۷ درصدی عملکرد دانه و ۳۷/۹ و ۱۶/۷ درصدی ماده خشک در شرایط پرایمینگ با ترکیب کلرور سدیم در مقایسه با ترکیبات مانیتول و آب را نشان داد که بیانگر مؤثر بودن ترکیبات هالوپرایمینگ (کلرور سدیم) نسبت به ترکیبات اسموپرایمینگ (مانیتول) و هیدروپرایمینگ (آب) در بهبود رشد و عملکرد گیاه نخود

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

رس	شن	سیلت	بافت	هدایت الکتریکی	pH
	(درصد)			(دسی‌زیمنس بر متر)	
۲۲/۴	۲۶/۳	۵۱/۳	سیلتی لوم	۱	۷/۵

است. همچنین نتایج این پژوهشگران (۸) نشان داد اگرچه بیشترین افزایش عملکرد دانه و ماده خشک با افزایش زمان پرایمینگ در هالوپرایمینگ مشاهده شد، اما با افزایش زمان پرایمینگ در هر سه نوع پرایمینگ (اسمو، هالو و هیدروپرایمینگ) عملکرد دانه و ماده خشک افزایش یافت. در مطالعه‌ای دیگر در گیاه برنج، پرایمینگ بذر با ترکیبات مختلف پتاسیم نیترات، سرکه چوب و مانیتول به‌واسطه افزایش شاخص پایداری، غلظت کلروفیل و کاهش نسبت سدیم به پتاسیم منجر به افزایش وزن ماده خشک در شرایط تنش شوری شد (۳۱). علاوه‌بر این، مطالعه قاسمی‌گلعذانی (۱۱) در گیاه عدس نشان داد که اسموپرایمینگ و هیدراسیون جوانه‌زنی حتی در شرایط غیر شور، درصد جوانه‌زنی را بهبود می‌دهد. حسین و همکاران (۱۶) نیز در گیاه آفتابگردان مشاهده کردند که تیمار کردن بذر با کلرور سدیم و نیترات پتاسیم باعث افزایش قطر طبق می‌شود که افزایش قطر طبق منجر به افزایش تعداد فندقه در طبق شده است.

نظر به اینکه پرایمینگ یکی از روش‌های مقاوم‌سازی گیاهان در برابر تنش‌های محیطی از جمله شوری است و با توجه به اینکه استان اصفهان از جمله مناطق بیابانی است و خاک و آب آن یا شور و یا مستعد شور شدن هستند و مطالعات خاصی روی نخود در اقلیم اصفهان صورت نگرفته است، پژوهش حاضر به‌منظور اثر تعدیل‌کنندگی پرایمینگ بذر بر واکنش به تنش شوری در گیاه نخود انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار ۱۳۹۳ در آزمایشی گلدانی (در هوای آزاد) به‌صورت فاکتوریل (دو عامله) در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در مزرعه چاه انباری دانشگاه صنعتی روی رقم آرمان نخود انجام شد. چهار سطح شوری آب آبیاری (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار نمک کلرور سدیم) به‌عنوان سطوح فاکتور اول و چهار سطح پرایمینگ بذر (بدون پرایمینگ، مانیتول ۵ درصد، نمک ۰/۵ درصد کلرور سدیم و نمک ۰/۵ درصد کلرور پتاسیم) به‌عنوان سطوح فاکتور دوم درنظر گرفته شدند. گلدان‌های مورد استفاده ارتفاعی برابر با ۲۸ و قطر بزرگ آنها ۲۶/۵ و قطر قسمت کوچک آنها ۲۲ سانتی‌متر بود که حجمی برابر ۰/۰۱۳ مترمکعب یا ۱۳ لیتر را داشتند. گلدان‌ها تا ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری از خاک پر و بذرها در عمق دو سانتی‌متری کاشت شدند. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک استفاده شده در گلدان‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

کاشت بذر رقم آرمان نخود در اوایل اسفندماه ۱۳۹۲ انجام شد. اعمال سطوح تنش شوری ۶۰ روز پس از کاشت و با شیب ملایم آغاز شد. بدین منظور در روز ۶۷ پس از کشت تنش کامل برای تمام سطوح اعمال شد. بر اساس نیاز خاک همزمان با انجام تیمار تنش همراه با آب آبیاری میزان یک گرم کود کامل NPK (۲۰-۲۰-۲۰) به تمام گلدان‌ها داده شد و سه هفته پس از آن دوباره به هر گلدان همراه با آب آبیاری میزان یک گرم کود کامل داده شد.

انتخاب سطوح پرایمینگ مبتنی بر یک آزمایش مقدماتی جوانه‌زنی با ۴۲ تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی بود. تیمارهای آزمایشی شامل ترکیبی از پرایمینگ با سه غلظت (۰/۵ درصد کلرور سدیم، ۰/۵ درصد کلرور پتاسیم و ۵ درصد مانیتول) هر کدام در ۱۴ زمان پرایمینگ (۲ تا ۲۸ ساعت پرایمینگ) با سه تکرار بود (غلظت‌های انتخاب شده ترکیبات استفاده شده برای پرایمینگ برمبنای متوسط غلظت استفاده شده در مطالعات مشابه بود). تست جوانه‌زنی با کاشت ۲۵ عدد بذر نخود در پتری‌دیش‌های با قطر ۱۵ سانتی‌متر در داخل ژرمیناتور

با دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد (رطوبت نسبی ۴۲ درصد و تاریک) انجام شد. ظهور ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر به‌عنوان بذر جوانه‌زده تلقی و در پایان روز هفتم بذرهای جوانه‌زده در هر تیمار شمارش شد. درصد جوانه‌زنی بر اساس ((تعداد بذور جوانه‌زده/ تعداد کل بذرها)×۱۰۰) محاسبه شد. بر اساس نتایج این آزمایش در پرایمینگ بذر با ترکیبات ۰/۵ درصد کلرور سدیم و کلرور پتاسیم بعد از ۱۴ ساعت و در ترکیب ۵ درصد مانیتول بعد از ۲۴ ساعت پرایمینگ درصد جوانه‌زنی روند کاهشی در درصد جوانه‌زنی را شروع کرد (قبل از این زمان‌ها میانگین جوانه‌زنی ۱۰۰ درصد بود). بر این اساس، بسته به نوع ترکیب و زمان پرایمینگ برمبنای کاهش درصد جوانه‌زنی، سه ترکیب تیماری (۰/۵، ۰/۵ و ۵ درصد کلرور سدیم، کلرور پتاسیم و مانیتول به‌ترتیب در سه زمان ۱۴، ۱۴ و ۲۴ ساعت) از بین تیمارهای آزمایشی انتخاب و در آزمایش گلدانی ارزیابی شدند. برای اعمال پرایمینگ سطوح انتخاب شده سه سطل به حجم تقریبی سه لیتر فراهم شد و در درون هر یک از آنها میزان یک لیتر آب ریخته شد و پس از آن به‌ترتیب در سطل اول تا سوم میزان ۵، ۵ و ۵۰ گرم کلرور سدیم، کلرور پتاسیم و مانیتول حل شد و پس از آن درون هر یک ۳۰۰ گرم از بذور رقم آرمان قرار گرفت. هوادهی در مدت پرایمینگ توسط پمپ خلأ انجام شد. پس از ۱۴ ساعت بذور واقع در محلول‌های کلرور سدیم و کلرور پتاسیم خارج شدند. بذور واقع در محلول مانیتول ۲۴ ساعت درون محلول قرار گرفتند و سپس خارج شدند. پس از خارج کردن بذور از درون محلول‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد آزمایشگاه قرار گرفتند تا به میزان رطوبت اولیه برسند (۸) و پس از یک هفته بذور کشت شدند. پس از سبز شدن و استقرار در هر گلدان، چهار بوته تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نگهداشته شدند. شوری به این صورت اعمال شد که ۶۰ روز پس از کاشت گلدان‌ها به چهار قسمت تقسیم شدند. در سطح شاهد هر گلدان در هر دور آبیاری با دو لیتر آب معمولی آبیاری شد به‌طوری که با این حجم آب، آب از انتهای گلدان‌ها خارج و گلدان‌ها به نقطه ظرفیت زراعی رسیدند. در سطح دوم شوری (۲۵ میلی‌مولار) به‌میزان ۵۶ گرم کلرور سدیم در درون یک سطل ۴۰ لیتری حل شد و به هر گلدان در هر دوره آبیاری دو لیتر آب داده شد. برای سطح سوم (۵۰ میلی‌مولار) ۱۱۲ گرم کلرور سدیم در سطل ۴۰ لیتری حل شد و به هر گلدان در هر دوره آبیاری دو لیتر آب داده شد و برای سطح چهارم (۷۵ میلی‌مولار) ۱۶۸ گرم درسطل ۴۰ لیتری حل شد و به هر گلدان دو لیتر آب شور داده شد.

در طول آزمایش برخی صفات فنولوژیکی و ریخت‌شناسی شامل درصد سبز شدن، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم، ماده خشک اندام‌های هوایی، تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام، وزن خشک اندام هوایی و دانه تک‌بوته و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در اندام‌های هوایی

برای این کار از روش خاکسترگیری خشک استفاده شد. در پایان مرحله برداشت نهایی، نمونه‌های خشک ابتدا آسیاب و مقدار ۰/۲ گرم از هر نمونه با ترازوی دقیق توزین شد. نمونه‌های وزن‌شده داخل کروزه چینی ریخته شد و در داخل کوره به‌مدت چهار ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از خنک شدن کروزه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریک دو نرمال به کروزه‌ها اضافه شد. سپس با حرارت دادن ملایم کروزه روی هیتر مواد خاکستر شده در اسید حل شدند تا حجم آنها تقریباً نصف شد. سپس محلول تهیه شده از قیف و کاغذ صافی عبور داده شد. عصاره در بالن ژوژه جمع‌آوری و در ادامه مقدار کافی آب مقطر به بالن ژوژه اضافه و حجم نهایی عصاره به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم از دستگاه فلیم فتومتر (Flame Photometer, Model ۴۱۰) استفاده شد. بر اساس منحنی استاندارد رسم‌شده غلظت سدیم، پتاسیم و

کلسیم نمونه گیاهی برحسب میلی‌گرم بر گرم با قرار دادن در رابطه ۱ تعیین شد. در نهایت با تقسیم Y به‌دست آمده از رابطه ۱ بر عدد اتمی هر یک از عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم نمونه گیاهی برحسب میلی‌مول بر گرم وزن خشک محاسبه شد (۲۵).

$$Y = \frac{X - ۰/۱}{W} \quad (۱)$$

در رابطه بالا X بیانگر غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم در نمونه گیاهی (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)، W بیانگر وزن خشک نمونه گیاهی (برحسب گرم) و Y غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم در نمونه گیاهی (برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک نمونه) را نشان می‌دهد.

عملکرد دانه و اجزای عملکرد

پس از برداشت تعداد نیام‌هایی بارور و تعداد دانه در نیام در چهار بوته هر واحد آزمایشی شمارش و میانگین آنها به‌عنوان تعداد نیام بارور و تعداد دانه در نیام در بوته ثبت شد. برای وزن دانه تک‌بوته، پس از برداشت بوته‌ها در انتهای آزمایش دانه چهار بوته جدا و میانگین آنها به‌عنوان وزن دانه تک‌بوته در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن خشک پس از خشک کردن قسمت رویشی در داخل پاکت‌های کاغذی به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد میانگین مجموع وزن ماده خشک رویشی و دانه به‌عنوان وزن خشک ماده خشک اندام هوایی تک‌بوته در نظر گرفته شد. شاخص برداشت از تقسیم وزن دانه (تک‌بوته) بر وزن خشک ماده اندام هوایی (تک‌بوته) محاسبه شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) تجزیه آماری و میانگین‌ها با آزمون حدقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری بر تمامی صفات مورد مطالعه (درصد سبز شدن، غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم، نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام، وزن خشک اندام هوایی، وزن دانه تک‌بوته و شاخص برداشت) معنی‌دار بود (جدول ۲). علاوه‌بر این، اثر پرایمینگ بذر بر درصد سبز شدن، غلظت سدیم و پتاسیم اندام هوایی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام و وزن ماده خشک اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل شوری در پرایمینگ فقط بر غلظت سدیم و کلسیم اندام هوایی، تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام، وزن دانه تک‌بوته و شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲).

صفات فنولوژیک، ریخت‌شناسی و غلظت یون‌های معدنی

درصد سبز شدن بذر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پرایمینگ بذر قرار گرفت. بذرهای پرایم شده با کلرور پتاسیم و کلرور سدیم به‌ترتیب با میانگین ۷۸/۱ و ۹۶/۹ کمترین و بیشترین درصد سبز شدن را داشتند (جدول ۳). در نتایجی مشابه سویرتیپ و همکاران (۲۸) در مطالعه‌ای در ارتباط با پرایمینگ بذر با کلرور سدیم در گیاه خربزه بیان داشتند که درصد جوانه‌زنی در بذور تیمار شده با کلرور سدیم در شرایط شرایط شوری نسبت به بذور پرایم نشده افزایش می‌یابد.

به موازات افزایش شدت شوری بر تجمع سدیم اندام هوایی افزوده شد، به‌طوری که غلظت آن در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار نسبت به سطح صفر به‌ترتیب ۱۰، ۱۲/۸ و ۱۵/۷ برابر افزایش یافت (جدول ۳). بذور پرایم‌شده با کلرور سدیم و پرایم شده با مانیتول پنج درصد به‌ترتیب کمترین (با میانگین ۰/۲۹ میلی‌مول بر گرم) و بیشترین (با میانگین ۰/۳۶۹ میلی‌مول بر گرم) میزان تجمع سدیم را داشتند (جدول ۳). در سطح شاهد شوری تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف پرایمینگ برای تجمع سدیم اندام هوایی وجود نداشت ولی با افزایش شوری تفاوت بین بذور پرایم شده با شاهد مشخص‌تر شد، به‌طوری که در سطح چهارم شوری پرایمینگ با کلرور سدیم و کلرور پتاسیم کمترین میزان تجمع سدیم (به‌ترتیب با میانگین‌های ۰/۴۷ و ۰/۴۸میلی‌مول بر گرم) و بذور پرایم شده

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و پرایمینگ بذر بر برخی صفات فنولوژی، تغییرات یون‌های معدنی، عملکرد و اجزای عملکرد رقم آرمان نخود در شرایط کشت گلدانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		درصد سبز شدن	سدیم	پتاسیم	کلسیم	نسبت سدیم به پتاسیم	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	ارتفاع بوته	تعداد نیام بارور	تعداد دانه در نیام	وزن دانه تک بوته	وزن ماده خشک اندام هوایی تک بوته	شاخص برداشت
شوری	۳	–	۰/۷۱۸**	۰/۱۲۹**	۰/۰۲۴**	۳/۴۵**	۱۵۴۵**	۱۰۲**	۲۵۸**	۴/۸۱**	۱۵/۷**	۴۶/۹**	۶۳۹۴**
پرایم	۳	۳۲۲**	۰/۰۱۸**	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۵^{ns}	۱۶/۹**	۲۶/۴**	۳/۷۷*	۰/۱۹۸**	۰/۰۳۲^{ns}	۰/۵۹۹*	۹/۸۰^{ns}
شوری × پرایم	۹	–	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۵**	۰/۰۲۵^{ns}	۴/۴۴^{ns}	۱/۴۱^{ns}	۳/۳۶**	۰/۱۸۱**	۰/۰۴۹*	۰/۱۵۲^{ns}	۱۲۵**
خطا	۴۸	۴۲/۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۱/۹۲	۳/۰۶	۰/۹۲۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۲۰۸	۵/۸۷
درصد ضریب تغییرات		۷/۱	۱۱/۹	۱۰/۷	۸/۴	۱۷/۹	۱/۴	۵/۸	۲۴/۵	۲۸/۵	۲۰/۰	۱۳/۵	۱۴/۷

* و ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌داری را نشان می‌دهد. چون صفت درصد سبز شدن تحت تیمار شوری قرار نگرفت درجه آزادی خطای آزمایش در آن ۱۲ است.

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر تنش شوری و پرایمینگ بذر بر برخی صفات فنولوژی، تغییرات یون‌های معدنی، عملکرد و اجزای عملکرد رقم آرمان نخود در شرایط کشت گلدانی

عامل آزمایشی	درصد سبز شدن	سدیم	پتاسیم	کلسیم	نسبت سدیم به پتاسیم	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	ارتفاع بوته	تعداد نیام بارور	تعداد دانه در نیام	وزن دانه تک بوته	وزن ماده خشک	شاخص برداشت
		(mmol/g)					(cm)			(g/plant)	(g/plant)	(درصد)
شوری (میلی‌مولار)												
شاهد	–	۰/۰۳۱^{d}	۰/۲۴۵^{c}	۰/۴۳۲^{a}	۰/۱۳۱^{d}	۱۱۳^{a}	۳۴/۱^{a}	۸/۶۵^{a}	۱/۲۰^{a}	۲/۱۱^{a}	۵/۸۴^{a}	۳۶/۰^{a}
۲۵	–	۰/۳۲۴^{c}	۰/۳۸۰^{b}	۰/۴۲۸^{a}	۰/۸۶۰^{c}	۱۰۷^{b}	۲۹/۷^{b}	۵/۷۸^{b}	۱/۰۷^{a}	۰/۷۲۱^{b}	۳/۲۵^{b}	۲۲/۰^{b}
۵۰	–	۰/۴۳۰^{b}	۰/۴۳۱^{a}	۰/۳۷۴^{b}	۱/۰۰^{b}	۹۶^{c}	۲۹/۳^{bc}	۱/۲۵^{c}	۰/۵۶^{b}	۰/۰۳۵^{c}	۲/۲۷^{c}	۱/۵۰^{c}
۷۵	–	۰/۵۱۹^{a}	۰/۴۴۰^{a}	۰/۳۵۴^{b}	۱/۱۹^{a}	۹۲^{d}	۲۸/۴^{c}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{c}	۰/۰۰^{c}	۲/۱۵^{c}	۰/۰۰^{c}
پرایم												
شاهد (پرایم نشده)	۹۶/۹^{a}	۰/۳۳۷^{b}	۰/۳۸۸^{a}	۰/۳۹۷^{a}	۰/۸۱۳^{a}	۱۰۱^{c}	۲۹/۲^{c}	۳/۵۶^{b}	۰/۵۵^{b}	۰/۷۲^{ab}	۳/۲۱^{b}	۱۴/۸^{ab}
کلرور سدیم	۹۶/۹^{a}	۰/۲۹۰^{c}	۰/۳۵۳^{b}	۰/۳۹۵^{a}	۰/۷۵۲^{a}	۱۰۱^{c}	۲۹/۷^{bc}	۴/۵۳^{a}	۰/۷۵^{a}	۰/۷۶^{a}	۳/۳۴^{ab}	۱۶/۱^{a}
کلرور پتاسیم	۷۸/۱^{b}	۰/۳۰۹^{c}	۰/۳۵۳^{b}	۰/۴۰۳^{a}	۰/۸۰۲^{a}	۱۰۳^{a}	۳۲/۱^{a}	۴/۰۹^{ab}	۰/۸۱^{a}	۰/۷۲^{ab}	۳/۶۵^{a}	۱۴/۹^{ab}
مانیتول	۹۳/۷^{a}	۰/۳۶۹^{a}	۰/۴۰۰^{a}	۰/۳۹۳^{a}	۰/۸۲۲^{a}	۱۰۲^{b}	۳۰/۵^{b}	۳/۵۰^{b}	۰/۷۰^{a}	۰/۶۵^{b}	۳/۳۱^{b}	۱۴/۱^{b}

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی تفاوت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیست.

جدول ۴. میانگین اثرات متقابل صفات غلظت سدیم و کلسیم، تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام، عملکرد دانه، شاخص برداشت، رقم آرمان نخود تحت تاثیر چهار سطح پرایمینگ بذر و چهار سطح شوری آب آبیاری

شوری	پرایم	سدیم	کلسیم	تعداد نیام بارور در بوته	تعداد دانه در نیام	وزن دانه تک‌بوته	شاخص برداشت
(میلی‌مولار)		(mmol/g)				(g/plant)	(درصد)
شاهد (صفر)	شاهد (پرایم نشده)	۰/۰۳۱^{f}	۰/۴۲^{abc}	۹/۱۲^{a}	۱/۱۵^{a}	۲/۳۱^{a}	۳۹^{a}
	کلرور سدیم	۰/۰۳۲^{f}	۰/۴۶^{a}	۱۰/۴^{a}	۱/۱۸^{a}	۲/۲۰^{ab}	۳۸^{a}
	کلرور پتاسیم	۰/۰۳۱^{f}	۰/۳۹^{bcd}	۷/۶۲^{b}	۱/۲۵^{a}	۲/۰۷^{b}	۳۳^{b}
	مانیتول	۰/۰۳۲^{f}	۰/۴۵^{a}	۷/۵۰^{bc}	۱/۲۲^{a}	۱/۸۷^{c}	۳۴^{b}
۲۵	شاهد (پرایم نشده)	۰/۳۲^{de}	۰/۴۳^{ab}	۵/۱۲^{d}	۱/۰۷^{a}	۰/۵۹^{d}	۲۰^{d}
	کلرور سدیم	۰/۲۹^{e}	۰/۴۲^{abc}	۶/۲۵^{cd}	۱/۰۹^{a}	۰/۷۹^{d}	۲۳^{c}
	کلرور پتاسیم	۰/۳۳^{de}	۰/۴۳^{ab}	۶/۰۰^{d}	۱/۰۱^{ab}	۰/۷۶^{d}	۲۳^{c}
	مانیتول	۰/۳۴^{de}	۰/۴۲^{abc}	۵/۷۵^{d}	۱/۱۰^{a}	۰/۷۳^{d}	۲۱^{cd}
۵۰	شاهد (پرایم نشده)	۰/۴۴^{c}	۰/۳۵^{ef}	۰/۰۰^{g}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{e}
	کلرور سدیم	۰/۳۶^{d}	۰/۳۳^{f}	۱/۵۰^{ef}	۰/۷۵^{bc}	۰/۰۴۰^{e}	۲/۲^{e}
	کلرور پتاسیم	۰/۳۷^{d}	۰/۴۵^{a}	۲/۷۵^{e}	۱/۰۰^{ab}	۰/۰۷۵^{e}	۳/۱^{e}
	مانیتول	۰/۵۳^{ab}	۰/۳۵^{def}	۰/۷۵^{fg}	۰/۵۰^{c}	۰/۰۲۰^{e}	۱/۰^{e}
۷۵	شاهد (پرایم نشده)	۰/۵۵^{a}	۰/۳۸^{cde}	۰/۰۰^{g}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{e}
	کلرور سدیم	۰/۴۷^{c}	۰/۳۶^{def}	۰/۰۰^{g}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{e}
	کلرور پتاسیم	۰/۴۸^{bc}	۰/۳۲^{f}	۰/۰۰^{g}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{e}
	مانیتول	۰/۵۶^{a}	۰/۳۴^{ef}	۰/۰۰^{g}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{e}

در هر ستون تفاوت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیست.

با مانیتول و بذرهای بدون پرایمینگ بیشترین میزان تجمع سدیم (به‌ترتیب با میانگین‌های ۰/۵۶ و ۰/۵۵ میلی‌مول بر گرم) را داشتند (جدول ۴). افزایش ورود یون سدیم در گیاه در شرایط شوری باعث افزایش تجمع یون سدیم در سیتوپلاسم می‌شود که در این شرایط یون سدیم جایگزین یون پتاسیم می‌شود و باعث ایجاد اثرات سمی یونی می‌شود (۲۳). افزایش تجمع سدیم در اندام گیاهی یکی از مهم‌ترین اثرات فیزیولوژیکی معمول تنش شوری است که حتی در ارقام متحمل به شوری گیاهان مختلف اتفاق می‌افتد (۲۹ و ۳۲). تجمع بالای سدیم در شرایط تنش شوری به‌واسطه افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی غشا منجر به کاهش میزان فتوسنتز و سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود(۳۱). در بررسی انجام شده روی پاسخ به شوری گیاهان زراعی گندم، جو کلزا و نخود مشاهده شد که میزان تجمع سدیم در اندام هوایی نخود نسبت به بقیه بیشتر بود (۱۳) که مؤید حساسیت نخود به شوری نسبت به سایر گیاهان زراعی متحمل به شوری است. در این راستا، کافی و همکاران (۱۷) در آزمایشی روی ویژگی‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف نخود نتایج مشابهی مبنی بر افزایش تجمع سدیم اندام هوایی با افزایش تنش شوری را گزارش کردند. علاوه‌بر این، طباطبایی و احسان‌زاده (۲۹) در بررسی اثر شوری بر گندم‌های پوشینه‌دار تتراپلوئید نتایج مشابهی مبنی بر افزایش غلظت سدیم در شرایط تنش شوری را

گزارش کردند، همچنین، طبق گزارش امیرجانی (۳) با افزایش سطح شوری، غلظت Na^{+} در گیاه سویا به‌طور قابل توجهی افزایش یافت ولی غلظت K^{+}، Ca^{2+}، Mg^{2+} کاهش چشمگیری نشان داد. مددی (۲۱) در آزمایشی که روی پرایمینگ سیاهدانه با نانواکسید روی و کلسیم در شرایط شور انجام داد به این نتیجه رسید که با افزایش شوری بر میزان تجمع سدیم افزوده می‌شود و در بذرهای پرایم شده نسبت به پرایم نشده میزان سدیم کمتری تجمع کرده بودند. مسمومیت یونی، تنش اسمزی و کمبود مواد غذایی که در شرایط وقوع شوری رخ می‌دهند، سبب به‌هم خوردن توان متابولیکی و یونی و در پی آن تنش اکسیداتیو می‌شوند. کاهش جذب یون‌های سدیم و کلر، کلاته شدن یون‌های فسفر در ریشه، فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تنظیم اسمزی را می‌توان نتیجه مکانیسم‌های تحمل شوری دانست (۳۰). به‌نظر می‌رسد که در این مطالعه، پرایمینگ بذر با کلرور سدیم و کلرور پتاسیم با تأثیر بر کاهش جذب سدیم و در پی آن تأثیر بر مکانیسم‌های فیزیولوژیک امکان تعدیل شرایط تنش شوری آب آبیاری را فراهم کرده است.

به موازات افزایش شدت شوری بر تجمع پتاسیم اندام هوایی افزوده شد، به‌طوری که غلظت آن در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار نسبت به سطح صفر به‌ترتیب ۵۸، ۷۹ و ۸۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). بذور پرایم شده با مانیتول بیشترین (۰/۴۰ میلی‌مول بر گرم) و بذور پرایم شده با کلرور سدیم و کلرور پتاسیم کمترین (با میانگین یکسان ۰/۳۵ میلی‌مول در گرم) میزان تجمع پتاسیم را داشتند (جدول ۳). نتایج متفاوتی در ارتباط با اثر شوری و پرایمینگ بر تجمع پتاسیم در اندام‌های گیاهی وجود دارد. به‌عنوان مثال، مطالعه حسین و همکاران (۱۵) روی گونه *Cassia absus* (چشمک) نتایج مشابهی مبنی بر افزایش تجمع پتاسیم با افزایش شوری را گزارش کردند. اما کافی و همکاران (۱۷) در مطالعه خود در گیاه نخود بیان کردند که شوری تفاوت معنی‌داری را در میزان پتاسیم اندام‌های هوایی ایجاد نکرده است. در همان آزمایش بیان شد که میزان پتاسیم در ریشه با افزایش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است.

به موازات افزایش شدت شوری تجمع کلسیم اندام هوایی کاهش یافت، به‌طوری که غلظت آن در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار نسبت به سطح صفر به‌ترتیب ۱، ۱۳/۴ و ۱۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). در سطح شاهد و ۲۵ میلی‌مولار شوری تفاوتی در بین تیمارهای مختلف پرایمینگ از نظر غلظت کلسیم اندام هوایی وجود نداشت. ولی با افزایش شوری تفاوت بین بذور پرایم شده با شاهد مشخص‌تر شد، به‌طوری که در سطح چهارم شوری تجمع کلسیم در تمامی سطوح پرایمینگ نسبت به سطح شاهد (بدون پرایمینگ) کاهش یافت. کاهش یاد شده از ۹ درصد در سطح بدون پرایمینگ تا ۲۴ درصد در سطح مانیتول پنج درصد متغیر بود (جدول ۴). امیرجانی (۳) در گیاه سویا و حسین و همکاران (۱۵) در گونه *Cassia absus* نتایج مشابهی مبنی بر کاهش در تجمع یون کلسیم به موازات افزایش تنش شوری را گزارش کردند.

به موازات افزایش شدت شوری بر نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی افزوده شد، به‌طوری که در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار مقدار آن نسبت به سطح صفر به‌ترتیب ۵/۶، ۶/۶ و ۸/۱ برابرافزایش نشان داد (جدول ۳). افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در شرایط شور در آزمایش‌های مختلف گزارش شده است (۴، ۱۷، ۱۹، ۲۹ و ۳۱). در این راستا، بنلوچ و همکاران (۴) در آزمایشی روی اثر شوری بر لوبیا به این نتیجه رسیدند که در مقادیر زیاد سدیم، از جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم در بافت‌های گیاهی ممانعت به‌عمل می‌آید که نتیجه آن افزایش میزان نسبت سدیم به پتاسیم در گیاه است. اگرچه در مطالعه حاضر نسبت سدیم به پتاسیم تحت تأثیر پرایمینگ بذر و اثر متقابل آن در شوری قرار نگرفت، اما در مطالعه‌ای در گیاه برنج گزارش شد که پرایمینگ بذر با ترکیبات مانیتول، سرکه چوب و پتاسیم نیترات در شرایط تنش شوری منجر به کاهش نسبت سدیم به پتاسیم و بهبود وزن ماده خشک شد (۳۱). به‌نظر می‌رسد این عدم همخوانی نتایج ناشی از تفاوت بین

گونه‌های گیاهی، غلظت و نوع ترکیباتی است که با آن پرایمینگ بذر انجام شده است.

در بین سطوح شوری سطح شاهد و سطح چهارم شوری به‌ترتیب دیرتر (با میانگین ۱۱۳ روز) و زودتر (با میانگین ۹۲ روز) از سایر سطوح به رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (جدول ۳). کوتاه کردن طول دوره رشد در شرایط تنش (فرار از تنش) از جمله مکانیسم‌های است که در بیشتر گیاهان زراعی در زمان مواجه شدن با شرایط تنش به‌کار گرفته می‌شود. در تیمار پرایمینگ، بذور تیمار نشده و بذور تیمار شده با کلرور پتاسیم به‌ترتیب زودتر (با میانگین ۱۰۱ روز) و دیرتر(با میانگین ۱۰۳ روز) از بقیه سطوح پرایم شده به رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (جدول ۳). هریس و همکاران (۱۲) نشان دادند که تیمارهای خیساندن نخود در جیبرلین و آب مقطر سبب رسیدگی زودتر می‌شوند، اگرچه تیمار کردن با کلرور سدیم کمترین تأثیر را بر زمان رسیدگی داشت.

به موازات افزایش شدت شوری ارتفاع بوته کاهش یافت، به‌طوری که در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار ارتفاع گیاه نسبت به سطح شاهد (صفر) به‌ترتیب ۱۲/۹، ۱۴/۱ و ۱۶/۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). در نقطه مقابل، پرایمینگ بذر منجر به افزایش ارتفاع بوته شد، به‌طوری که ارتفاع بوته در بذور پرایم شده با کلرور سدیم، کلرور پتاسیم و مانیتول نسبت به سطح پرایم نشده (با میانگین ۲۹/۲ سانتی‌متر) به‌ترتیب ۲، ۱۰ و ۴ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۳). احمدوند و همکاران (۲) بیان کردند که تیمار کردن بذر سویا با نیترات پتاسیم تحت تنش شوری باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. تنش شوری به‌واسطه تجمع یون‌های سدیم و کلر سبب ایجاد تنش آبی در سلول‌ها، ممانعت از فعالیت آنزیم‌ها در سیتوپلاسم و کاهش سرعت فتوسنتز (اثرات مستقیم سمی در کلروپلاست) می‌شود (۲۴). در نقطه مقابل، اثرات مثبت پرایمینگ بذر بر مکانیسم‌های جوانه‌زنی از جمله افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز و میزان پروتئین کل گیاهچه و بهبود رشد گیاهان رشد یافته شرایط تنش شوری گزارش شده است (۶ و ۲۱). اگرچه در مطالعه حاضر فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز و میزان پروتئین کل گیاهچه اندازه‌گیری نشده است اما به‌نظر می‌رسد سطوح پرایمینگ بذر به‌واسطه مکانیسم‌های مقاومت به تنش شوری (کاهش جذب یون‌های سدیم و کلر) منجر به بهبود رشد و درنهایت ارتفاع بوته شده‌اند.

عملکرد و اجزای عملکرد

تنش شوری به‌طور چشمگیری تعداد نیام بارور را کاهش داد، به‌طوری که سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب سبب کاهش ۳۳/۲ و ۸۵/۸ درصدی تعداد نیام بارور نسبت به سطح شاهد شدند و سطح چهارم شوری هیچ نیام باروری تولید نکرد (جدول ۳). بذور پرایم شده با کلرور سدیم بیشترین (با میانگین ۴/۵۳) و بذور تیمار شده با مانیتول کمترین (با میانگین ۳/۵) تعداد نیام بارور را داشتند (جدول ۳). لازم به ذکر است که در سطح سوم شوری تمام بذوری که پرایم شده بودند، نیام بارور تولید کردند ولی بذور شاهد که تیمار پرایم روی آن انجام نشده بود نیام باروری را تولید نکردند که می‌تواند ناشی از مقاومت به شوری باشد که احتمالاً پرایمینگ به‌وجود آورده است ولی در سطح شاهد شوری تیمار پرایم با کلرور سدیم و بدون پرایم به‌ترتیب با تولید ۱۰/۴ و ۹/۱ بیشترین میزان تولید نیام بارور را داشتند و این در حالی است که در همین سطح تعداد نیام بارور در تیمارهای کلرور پتاسیم و مانیتول به‌ترتیب برابر با ۷/۶۲ و ۷/۵۰ بوده است (جدول ۳). با افزایش شوری بر میزان گل‌های عقیم شده و نابارور افزوده می‌شود که درنهایت باعث کاهش تعداد نیام‌های بارور در گیاه می‌شود (۳۲). عبادی و گلجه کامل (۸) در مطالعه خود روی نخود بیان کردند که شوری باعث کاهش تعداد نیام بارور در بوته می‌شود و همچنین بیان کردند که تیمار هالوپرایمینگ و اسموپرایمینگ باعث افزایش تعداد نیام بارور در نخود می‌شود (۸) که با نتایج ما مطابقت ندارد. عبادی و گلجه کامل (۸) آزمایش خود را در شرایط آب و هوایی اردبیل انجام دادند که دارای اقلیم مناسب‌تری برای رشد

و تولید نخود است ولی اصفهان دارای اقلیم خشک و گرمای زیادی به‌ویژه در مرحله رشد زایشی است که می‌تواند در مرحله گرده افشانی و گل‌دهی خسارت جبران ناپذیری را به گیاه وارد سازد.

تنش شوری به‌طور معنی‌دار و قابل توجهی تعداد دانه در نیام را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری که سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب سبب کاهش ۱۱ و ۵۳/۳ درصدی تعداد دانه در نیام نسبت به سطح شاهد شدند اما در سطح چهارم شوری نیام بارور و در نتیجه دانه تولید نشد (جدول ۳). در بین سطوح مختلف تیمار پرایم، بذور پرایم شده با کلرور پتاسیم بیشترین (با میانگین ۰/۸۱) و بذور بدون پرایم (شاهد) کمترین (با میانگین ۰/۵۵) تعداد دانه در نیام را داشتند (جدول ۳). لازم به توضیح است که این اعداد میانگین کل سطوح است و در سطح شاهد پرایم با کلرور پتاسیم با میانگین ۱/۲۵ بیشترین و شاهد بدون پرایم با میانگین ۱/۱۵ کمترین تعداد دانه در نیام را داشت. در سطح سوم شوری بذور شاهد تولید دانه نداشتند، در حالی که بذور پرایم شده دارای عملکرد دانه خیلی جزئی بودند و درنهایت در سطح چهارم شوری نه نیام بارور و به‌دنبال آن نه دانه‌ای تولید نشد (جدول ۴).

به موازات افزایش شدت شوری وزن ماده خشک تک‌بوته کاهش یافت، به‌طوری که در سطوح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار میزان آن نسبت به سطح شاهد (صفر) به‌ترتیب ۴۴/۳، ۶۱/۱ و ۶۳/۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). بذور پرایم شده با کلرور پتاسیم بیشترین (با میانگین ۳/۶۵ گرم بر بوته) و بذور بدون پرایمینگ کمترین (با میانگین ۳/۲۱ گرم بر بوته) وزن ماده خشک تک‌بوته را داشتند (جدول ۳). کائور و همکاران (۱۸) در مطالعه خود در گیاه نخود بیان کردند که تیمار کردن بذر نخود با مانیتول چهار درصد باعث افزایش تعداد دانه در بوته و افزایش ۱۷ درصدی وزن دانه تک‌بوته شد. آنها همچنین بیان کردند که پرایم کردن بذر باعث افزایش ماده خشک گیاه می‌شود. در آزمایشی دیگر روی گیاه نخود تیمارهای هالوپرایمینگ و اسموپرایمینگ باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد ماده خشک (بیولوژیک) در شرایط تنش شوری شدند (۸)

تنش شوری به‌طور چشمگیری وزن دانه تک‌بوته را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری که سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب سبب کاهش ۶۵/۸ و ۹۸/۳ درصدی آن نسبت به سطح شاهد شدند و سطح چهارم شوری مانع تولید دانه شد (جدول ۳). اثر پرایمینگ بر وزن دانه تک‌بوته معنی‌دار نبود اما همان طور که گفته شد اثر متقابل شوری در پرایمینگ برای وزن دانه تک‌بوته معنی‌دار بود و در سطح اول شوری بذور پرایم نشده دارای بیشترین (۲/۳۱ گرم در بوته) و بذور پرایم شده با مانیتول دارای کمترین (۱/۷۸ گرم بر بوته) وزن دانه تک‌بوته بودند. در سطح دوم شوری بذور پرایم شده با کلرور سدیم بیشترین (۰/۷۹ گرم بر بوته) و بذور شاهد (بدون پرایم) کمترین (۰/۵۹ گرم بر بوته) وزن دانه تک‌بوته را داشتند و در سطح سوم و چهارم شوری با توجه به اینکه هیچ نیام باروری تولید نشد، تولید دانه نیز مشاهده نشد (جدول ۴). شوری به واسطه تأثیر منفی بر رشد گیاه به طور مستقیم ماده خشک گیاه، وزن دانه و شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش عملکرد به‌علت شوری ممکن است مجموع اثراتی از عامل‌های متعدد مانند کاهش تعداد گل‌ها، تعداد گل‌های بارور و به همین ترتیب تعداد دانه‌ها در غلاف و وزن دانه باشد (۲۷). کاندرشاخار و همکاران (۵) بیان کردند که در شرایط شور در گیاه نخود وزن خشک بذر و تعداد غلاف‌های پر شده در بوته کاهش می‌یابد و همچنین شوری باعث کاهش میزان پروتئین بذر می‌شود.

در مطالعه حاضر تنش شوری به‌واسطه برهم زدن تعادل یونی (افزایش نسبت سدیم به پتاسیم و کاهش تجمع کلسیم) و در پی آن کاهش در اجزای عملکرد (ارتفاع بوته، تعداد دانه در نیام و تعداد نیام بارور) منجر به کاهش وزن ماده خشک و دانه تک‌بوته شده است (جدول ۳). کوتاه شدن طول دوره رشد (گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک)، کاهش سطح و اندازه برگ، کاهش ارتفاع بوته و اجزای تشکیل دهنده عملکرد پاسخ‌های معمول گیاهان به شرایط تنش است. در این راستا، کاهش وزن

گیاهچه (۹)، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد ساقه، وزن ماده خشک و کاهش تعداد گیاهچه‌های استقرار یافته (۲۷)، عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و وزن دانه تک‌بوته (۱۹) در گیاه نخود در شرایط تنش شوری گزارش شده است. پرایمینگ بذر در شرایط تنش به‌واسطه تأثیر بر فعالیت‌های متابولیکی منجر به بهبود سنتز پروتئین‌ها و ترمیم غشا و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بهبود جوانه‌زنی و افزایش تحمل شرایط تنش و در نهایت بهبود عملکرد می‌شود (۲۲). ضرایب همبستگی ساده (پیرسون) بین صفات نشان داد که وزن دانه تک‌بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار با اجزای عملکرد شامل تعداد نیام بارور (**۰/۸۹) و تعداد دانه در نیام (**۰/۶۹) داشت (جدول ۵). وجود همبستگی بالا و مثبت وزن دانه تک‌بوته با تعداد نیام بارور دلالت بر این امر دارد که تعداد نیام بارور مهم‌ترین صفت تعیین‌کننده وزن دانه تک‌بوته است (جدول ۵). علاوه بر این، همبستگی منفی و معنی‌دار تجمع سدیم با وزن دانه (**۰/۸۸-) و همچنین همبستگی منفی و معنی‌دار نسبت سدیم به پتاسیم با با وزن دانه (**۰/۹۲-) بیانگر کاهش وزن دانه در بوته در شرایط تجمع بالای سدیم و همبستگی تجمع سدیم اندام هوایی با تنش شوری است (جدول ۵). مطالعات متعددی همبستگی منفی و معنی‌دار تجمع سدیم و وزن دانه را گزارش کرده‌اند (۲۹ و ۳۲). احمدوند و همکاران (۲) بیان کردند که تیمار کردن بذر سویا با نیترات پتاسیم تحت تنش شوری باعث افزایش ارتفاع، وزن خشک، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه می‌شود. کائور و همکاران (۱۸) افزایش اجزای عملکرد، وزن ماده خشک و دانه در شرایط تیمار کردن بذر نخود با مانیتول را گزارش کردند. عبادی و گلجه کامل (۸) افزایش عملکرد دانه نخود در شرایط شوری را با تیمار بذور با سه ترکیب کلرور سدیم، مانیتول و آب (هیدرو پرایم) گزارش کردند و در نتایجی مشابه بیان داشتند که پیش‌تیمار کلرور سدیم نقش بسزایی در بهبود عملکرد دانه دارد.

تنش شوری به‌طور چشمگیری شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری که سطوح شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب سبب کاهش ۳۸/۸ و ۹۵/۸ درصدی آن نسبت به سطح شاهد شدند (جدول ۳). در بین تیمارهای مختلف پرایم، بذور تیمار شده با کلرور سدیم بیشترین (با میانگین ۱۶/۱ درصد) و بذور تیمار شده با مانیتول کمترین (با میانگین ۱۴/۱ درصد) میزان شاخص برداشت را داشتند (جدول ۳). در سطح شاهد شوری بذوری که پرایم نشده بودند بیشترین (با میانگین ۳۹ درصد) و بذور پرایم شده با مانیتول کمترین (با میانگین ۳۴ درصد) شاخص برداشت را داشتند ولی در سطح دوم و سوم شوری بذور پرایم شده شاخص برداشت بیشتری نسبت به بذور تیمار نشده داشتند (جدول ۴). فاروک و همکاران (۱۰) در مطالعه خود روی برنج به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها گزارش کردند که روش‌های مختلف پرایم کردن بذر به‌طور معنی‌داری شاخص برداشت را تغییر داده است. طبق گزارش آنها بیشترین شاخص برداشت مربوط به هالوپرایمینگ با کلرور پتاسیم و کمترین مقدار آن مربوط به شاهد پرایم نشده بود. عبادی و گلجه کامل (۸) در مطالعه خود روی نخود بیان کردند که تنش شوری باعث کاهش عملکرد نخود می‌شود و هالوپرایمینگ و اسموپرایمینگ از روش‌های مفید برای افزایش شاخص برداشت در شرایط شور هستند.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر می‌توان بیان داشت که به موازات افزایش شدت شوری تعادل یون‌های معدنی (نسبت سدیم به پتاسیم و تجمع کلسیم) برهم می‌خورد و در پی آن مراحل رشدی و فنولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد حتی در غلظت ۵۰ میلی‌مولار نمک در گونه حساس نخود به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اما پرایمینگ بذرها با کلرور سدیم و کلرور پتاسیم می‌تواند با تأثیر بر تعادل یونی (یون‌های معدنی سدیم، پتاسیم و کلسیم) امکان افزایش عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد نیام بارور، تعداد دانه در نیام، وزن ماده خشک و دانه تک‌بوته و شاخص برداشت) را در گیاه نخود تحت غلظت‌های متوسط نمک آب آبیاری فراهم کند.

جدول ۵. ضرایب همبستگی ساده (پیرسون) بین برخی صفات فنولوژی، تغییرات یون‌های معدنی، عملکرد و اجزای عملکرد رقم آرمان نخود در شرایط کشت گلدانی

	صفت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	روز تارسیدگی فیزیولوژیک	۱									
۲	ارتفاع	۰/۶۳**	۱								
۳	نیام بارور	۰/۸۹**	۰/۵۷**	۱							
۴	دانه در نیام	۰/۸۸**	۰/۶۰**	۰/۸۵**	۱						
۵	وزن ماده خشک تک بوته	-۰/۲۰ns	۰/۳۵**	-۰/۱۸ns	-۰/۱۹ns	۱					
۶	وزن دانه تک بوته	۰/۹۰**	۰/۷۷**	۰/۸۹**	۰/۶۹**	۰/۴۵**	۱				
۷	شاخص برداشت	۰/۹۴**	۰/۷۹**	۰/۸۴**	۰/۷۷**	۰/۱۲ns	۰/۹۸**	۱			
۸	غلظت سدیم	-۰/۷۸**	-۰/۶۹**	-۰/۷۷**	-۰/۶۷**	-۰/۱۷ns	-۰/۸۸**	-۰/۸۹**	۱		
۹	غلظت پتاسیم	-۰/۷۸**	-۰/۶۹**	-۰/۷۳**	-۰/۶۶**	-۰/۱۳ns	-۰/۸۵**	-۰/۸۶**	۰/۹۹**	۱	
۱۰	غلظت کلسیم	۰/۶۲**	۰/۴۰**	۰/۶۹**	۰/۶۲**	۰/۱۸ns	۰/۵۵**	۰/۵۲**	-۰/۵۷**	-۰/۴۴**	۱
۱۱	نسبت سدیم به پتاسیم	-۰/۸۵**	-۰/۷۰**	-۰/۸۸**	-۰/۷**	-۰/۰۹ns	-۰/۹۲**	-۰/۹۱**	۰/۶۸**	۰/۷۷**	-۰/۴۴**

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌داری را نشان می‌دهند.

سپاسگزاری

از کمک‌های مالی دانشگاه صنعتی اصفهان و تـأمین بـذر نخـود توسط مرکز تحقیقات دیـم سـرارود اسـتان کرمانشـاه تشـکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Acosta-Motos, J., M. Ortuño, A. Bernal-Vicente, P. Diaz-Vivancos, M. Sanchez-Blanco and J. Hernandez. 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy* 7(1): 1-38.
2. Ahmadvand, G., F. Soleimani and M. Pouya. 2012. Effect of seed priming with potassium nitrate on germination and emergence traits of two soybean cultivars under salinity stress conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*12: 769-774.
3. Amirjani, M. R. 2010. Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. *American Journal of Plant Physiology* 5: 350-360.
4. Benlloch, M., M. A. Ojeda, J. Ramos and A. Rodriguez-Navarro. 1994. Salt sensitivity and low discrimination potassium and sodium in bean plant. *Plant and Soil* 43: 1076-1090.
5. Chandarashekhar, V., R. Murumkar and D. C. Chavan. 1986. Influence of salt stress on biochemical processer in chickpea (*Cicer aretinum* L.). *Plant and Soil* 96: 439-443.
6. Chen, K. and R. Arora. 2013. Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 94: 33-45.
7. Duman, I. 2006. Effect of seed priming with PEG and K_3PO_4 on germination and seedling growth in lettuce. *Journal of Biological Sciences* 9: 923-928.
8. Ebadi A. and S. Gollojeh Kamel. 2009. Effect of seed priming on growth and yield of chickpea under saline soil. *Recent Research in Science and Technology* 1: 282-286.
9. Ebtihal, M. E., S. S. Mervat and M. M. Tawfik. 2018. Glutathione treatment alleviate salinity adverse effects on growth, some biochemical aspects, yield quantity and nutritional value of chickpea plant. *SciFed Journal of Global Warming* 2(2): 1-11.
10. Farooq, M., M. A. Shahzand and A. W. Basra. 2006. Priming of field-sown rice seed enhance germination, seedling establishment, allometry and yield. *Plant Growth Regulation* 49: 285-294.
11. Ghassemi-Golezani, K., A. A. Aliloo, M. Valizadeh and M. Moghaddam. 2008. Effects of hydro and osmo-priming on seed germination and field emergence of Lentil (*Lens culinari* Medik.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 36: 29-33.
12. Harris, D., A. Joshi, P. A. Khan, P. Gothkar and P. S. Sodhi. 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in corn, rice and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture* 35: 15-29.
13. Harsharn, S. G. 2010. Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. *Agricultural Water Management* 97: 148-156.
14. Hu, Y. and U. Schmidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on the mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 541-549.
15. Hussain, K. H., A. Majeed and M. Farrukh-Nisar. 2009. Growth and ionic adjustments of Chaksu (*Cassia absus* L.) under NaCl stress. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 6: 557-560.
16. Hussain, M., M. Farooq, S. M. A. Basra and N. Ahmad. 2006. Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. *International Journal of Agriculture and Biology* 8: 14-18.
17. Kafi, M., A. Bagheri, J. Nabati, M. Zare-Mehrjerdi and A. Masomi. 2011. Effect of salinity on some physiological variables of 11 chickpea genotypes under hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 1(4): 55-70. (In Farsi).
18. Kaur, S. A., K. Gupta and N. Kaur. 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191: 81-87.
19. Khani-Karimabadi, Y., A. Gholami Zali, P. Ehsanzadeh and J. Razmjoo. 2018. Modification of some mineral ionic compositions, phenology and yield of pot-grown chickpea as affected by saline water. *Plant Process and Function* 23(7): 111-123. (In Farsi).
20. Khodabakhsh, F., R. Amooaghaie, A, Mostajeran and G. Emtiazi. 2010. Effect of hydro and osmopriming in two commercial chickpea cultivars on germination, growth parameters and nodules number in salt stress condition. *Journal of Plant Biology* 6(2): 71-86. (In Farsi).

21. Madadi, M. 2013. Effect of black cumin seed priming with calcium nitrate and nano-zinc oxide on germinability and seedling growth under salinity stress. MSc. Thesis. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran. (In Farsi).
22. McDonald, M. B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology* 27: 177-237.
23. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment* 25: 239-250.
24. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
25. Page, A. L., R. A. Miller and D. R. Keeny. 1982. Methods of soil analysis. II. Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., ASA, SSSA, Madison, Wisconsin USA.
26. Sadak-Mervat, Sh, E. M. Abd Elhamid and H. A. Mostafa. 2013. Alleviation of adverse effects of salt stress in wheat cultivars by foliar treatment with antioxidants I. Changes in growth, some biochemical aspects and yield quantity and quality. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*13: 1476-1487.
27. Singla, R. and N. Garg. 2005. Influence of salinity on growth and yield attributes in chickpea cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29: 231-235.
28. Sivritepe, N., H. O. Sivritepe and A. Eris. 2003. The effect of NaCl priming on salt tolerant in melon seedling grown under condition. *Scientia Horticulturae* 97: 229-237.
29. Tabatabaei, S. and P. Ehsanzadeh, 2016. Photosynthetic pigments, ionic and antioxidative behaviour of hulled tetraploid wheat in response to NaCl. *Photosynthetica* 54(3): 340-350.
30. Taize, L. and E. Zeiger, 1998. Plant Physiology. 2nd Ed., Sinauar Associates Publishers, Sunderland, Massachusetts.
31. Theerakulpisut, P., N. Kanawapee, and B. Panwong. 2017. Seed priming alleviated salt stress effects on rice seedlings by improving Na^+/K^+ and maintaining membrane integrity. *International Journal of Plant Biology* 7(1): 53-58.
32. Turner, N. C., T. D. Colmer, J. Quealy, R. Pushpavalli, L. Krishnamurthy, J. Kaur, G. Singh, K. H. M., Siddique and V. Vadez. 2013. Salinity tolerance and ion accumulation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) subjected to salt stress. *Plant and Soil* 365: 347-361.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 9, No. 4, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Mitigating Effect of Seed Priming on Salt-Associated Alterations in Morphological Traits, Inorganic Ions, Yield and Yield Components of Chickpea (Cultivar Arman)

A. Gholami Zali[1], Y. Khani KarimAbadi[1], P. Ehsanzade[2*] and J. Razmjoo[2]

(Received: January 27-2019; Accepted: April 29-2019)

Abstract

In order to unravel the potential mitigating effects of seed priming on salt-stressed chickpea (*Cicer arietinum*), a 4-replicate factorial out-door completely random design pot experiment was conducted on Arman cultivar of chickpea at the research field of the Isfahan University of Technology, Isfahan (Latitude of 32° 38' North, Longitude of 51° 39' East, and an Altitude of 1620 m above sea level), Iran. Irrigation water salinity at four levels (0, 25, 50, and 75 mM NaCl) and seed priming at four levels, including control (non-priming), priming with mannitol (5%), NaCl (0.5%) and KCl (0.5%) were tested. Na^+ and K^+ concentrations and Na^+/K^+ were increased, but Ca^{+2} concentration, days to physiological maturity, seed yield, fertile pods/plant, seeds/pod, above-ground dry mass, and harvest index were decreased with aggravation of salinity. Chickpea seed priming by NaCl and KCl led to increase in yield components and hence seed yield of the salt-stricken plants, compared to non-primed and mannitol-primed plants due, seemingly, to decrease in tissue Na^+ concentration. Albeit, priming-associated modifications in Na^+ and Ca^{+2} concentrations, fertile pods/plant, seeds/pod, seed yield, and harvest index varied with the level of salinity. In contrary to the non-primed chickpea, plants receiving priming were able to produce fertile pods, due perhaps to the mitigative effects of the priming on salt-stricken plants. All results, taken together, confirm that the salt-sensitive legume chickpea may be harmed by 50 mM salinity of irrigation water but seed priming by NaCl and KCl may suppress the harmful effects.

Keywords: Halopriming (NaCl and KCl) Osmopriming (mannitol), Seed weight/plant

1, 2. MSc. Students and Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: ehsanzadehp@gmail.com