دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

تغییر الگوی توزیع قندهای محلول و یون های معدنی در گیاهچه های برنج رشد یافته در شرایط شور

ا. نعمتی[۱]، ف. مرادی[۲]، م. ع. اسماعیلی[۳] و س. قلی زاده[۴]

۱- مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرمشهر
۲- استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج
۳- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرمشهر (نویسنده مسوول)

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۷

چکیده

به منظور بررسی تاثیر شوری (NaCl) بر تجمع قندهای محلول و یون های معدنی در ژنوتیپ های متحمل (IR651) و حساس (IR29) برنج (*Oryza sativa* L.)، در سال ۱۳۸۵ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه بخش فیزیولوژی پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران (ABRII)، انجام شد. گیاهچه‌ها در محلول غذایی یوشیدا رشد داده شدند و پس از ۲۸ روز، تنش شوری (NaCl) در دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار اعمال شد. نمونه ها از جوان ترین برگ، غلاف ساقه و ریشه هر گیاه به صورت جداگانه در دو زمان ۷۲ و ۲۴۰ ساعت پس از شروع اعمال تیمار جمع‌آوری شدند و وزن خشک و غلظت عناصر سدیم (Na^+)، کلر (Cl^-)، پتاسیم (K^+)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، منگنز (Mn^{2+}) و فسفر (P)، قندهای محلول کل (Total soluble sugars) و نسبت سدیم به پتاسیم (Na^+/K^+) در هر یک از اندام‌ها به طور جداگانه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تحت شرایط تنش، کاهش معنی‌داری در ماده خشک تولید شده در هر دو ژنوتیپ رخ داد. غلظت سدیم، کلر و قندهای محلول کل با اعمال تنش افزایش یافت و ژنوتیپ متحمل قادر به تجمع مقادیر بیشتری از سدیم و کلر در ریشه به منظور جلوگیری از اثرات سمیت در اندام هوایی بود. غلظت پتاسیم در اثر اعمال تنش شوری کاهش یافت و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی IR29 بیش از IR651 بود، در حالی که این نسبت در ریشه این رقم کمتر بود. در این آزمایش همبستگی منفی بین غلظت کلسیم و منیزیم با سدیم مشاهده شد. تنش شوری باعث کاهش غلظت منگنز شد ولی در غلظت فسفر، تغییرات منظمی مشاهده نشد. این آزمایش نشان داد که رابطه مستقیمی بین غلظت سدیم و کلر در اندام هوایی با تحمل به شوری در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وجود داشت. تحمل شوری در IR651 احتمالاً ناشی از توانایی این ژنوتیپ برای جلوگیری از ورود نمک به اندام هوایی و حفظ نسبت پایین سدیم به پتاسیم در اندام هوایی می‌باشد.

واژه های کلیدی: برنج، تنش شوری، قندهای محلول، یون های معدنی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

مقدمه

براساس گزارش سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد[1] در سال ۲۰۰۵، بیش ۸۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های دنیا شور بوده است، که از این مقدار ۳۹۷ میلیون هکتار اراضی تحت تاثیر شوری و ۴۳۴ میلیون هکتار، اراضی قلیایی می‌باشد (۸). مطالعات نشان داده است که درحدود ۲۷ میلیون هکتار از اراضی ایران به مقدار متفاوتی تحت تاثیر خاک‌های شور و قلیایی هستند که متجاوز از ۵۰ درصد اراضی تحت کشت آبی را نیز شامل می‌شود (۲۹).

بروز تنش اسمزی، سمیت یونی و اختلال در تعادل یونی از اثرات افزایش نمک در محلول خاک می‌باشند (۲۷). برای جلوگیری از خسارت تنش شوری به گیاه، سلول‌های گیاه باید پتانسیل اسمزی خود را تنظیم کنند که این عمل از طریق جذب یون‌های معدنی یا ساختن محلول‌های سازگار (Compatible Solutes) نظیر آمینواسیدها و قندهای محلول در درون سلول صورت می‌گیرد. به طور کلی یک رابطه منفی بین غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه و میزان رشد گیاهان وجود دارد، اما به دلیل وجود سازوکارهای مختلف مرتبط با تجمع سدیم در اندام‌های هوایی گیاهان، این رابطه در تمام گونه‌های گیاهی مشابه نمی‌باشد (۳۲). میزان تحمل به شوری در گیاهان مختلف بطور مستقیم با میزان کنترل تجمع سدیم، کلر یا هر دو یون در ارتباط است (۲۵). در حالیکه اشرف اعلام کرد که گیاهان شیرین‌زی[2] هم سازوکار دفع یون‌ها[3] و هم سازوکار تجمع یون‌ها[4] را می‌توانند برای مقابله با تنش شوری در پیش گیرند (۱). الهنداوی و همکاران نیز یکی از شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل گیاه به تنش‌های شوری را، تجمع پایین یون‌های سمی نظیر سدیم و کلر در اندام هوایی گزارش کردند (۶). کاهش جذب پتاسیم توسط گیاه در اثر تنش شوری، توسط فلاورز و حاجی‌باقری (۹) و کاردن و همکاران (۲) گزارش شده بود در حالیکه زو و همکاران (۳۹) اعلام کردند برخی از گیاهان توانایی حفظ مقادیر بالای پتاسیم در اندام هوایی خود را در شرایط تنش شوری، دارند.

نسبت پتاسیم به سدیم نیز در گیاه نیز همواره به عنوان یک عامل مهم جهت تعیین میزان تحمل گیاه به شوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. سدیم بر جذب پتاسیم توسط گیاه تاثیری دوگانه دارد. در غلظت پایین سدیم در محیط، جذب پتاسیم توسط گیاه افزایش می‌یابد و با افزایش غلظت سدیم در محیط، جذب پتاسیم کاهش می‌یابد (۱۹). افزایش غلظت سدیم در محیط سبب کاهش رشد و جذب کلسیم و منیزیم نیز می‌شود (۱۸).

برنج از نظر تحمل به شوری، شرایط ویژه‌ای دارد یعنی پاسخ برنج به تنش شوری به مرحله‌ای که گیاه در آن قرار دارد بستگی دارد و در مراحل مختلف رشد، تحمل آن به شوری متفاوت می‌باشد (۲۹). در بیشتر ارقام برنج، گیاهچه‌های جوان حساسیت بسیار بالایی به شوری دارند (۱۵).

تفاوت تحمل به شوری در غلات نه تنها در میان جنس‌ها و گونه‌های مختلف، بلکه در درون یک گونه نیز مشاهده می‌شود. در حال حاضر استفاده از ارقام متحمل به شوری یکی

1- Food and Agriculture Organization
2- Glycophyte
3- Salt exclusion
4- Salt exclusion

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

از روش‌های موثر در بهره‌برداری و افزایش عملکرد در زمین‌های شور و کم‌شور نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌گردد. هر چند مطالعات بسیار گسترده‌ای در ارتباط با تاثیر شوری بر برنج وجود دارد، اما درک ما از تاثیرات کمّی نمک بر این گیاه و سازوکارهای دقیق گیاه در برابر شوری، به خصوص در مورد ارقام جدید بسیار محدود می‌باشد. هدف از انجام این آزمایش، بررسی تاثیر شوری (NaCl) در یک دوره اعمال تنش، بر رشد گیاهچه‌های حساس و متحمل و تعیین نحوه و میزان پراکنش املاح آلی و معدنی در بخش‌های مختلف گیاه بود. به منظور شناخت عکس‌العمل فیزیولوژیک گیاهچه‌ها، به تنش شوری بود، تا از این طریق رابطه بین میزان تحمل به نمک با الگوی توزیع یونی مشخص گردد. همچنین ارتباط بین تحمل به شوری با حجم املاح مختلف که در مطالعات قبلی انجام شده بر برنج و سایر گیاهان، نتایج متفاوتی را نشان می‌داد، در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها

این آزمایش در سال ۱۳۸۵ در شرایط کنترل شده در گلخانه پژوهشکدهٔ بیوتکنولوژی کشاورزی (ABRII) انجام گردید. آزمایش در دو مرحله انجام شد که مرحلهٔ اول شامل کشت گیاهان در شرایط آبکشت در گلخانه و بررسی وزن خشک اندام‌های مختلف و کل بوته و نمونه‌گیری از گیاهان در گلخانه بود و مرحلهٔ دوم آزمایش شامل اندازه‌گیری غلظت قندهای محلول و یون‌های معدنی در آزمایشگاه فیزیولوژی بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل با دو ژنوتیپ حساس و متحمل به شوری برنج (IR29 و IR651) و در دو سطح شوری شامل صفر و ۱۰۰ میلی مولار نمک NaCl و اندام‌های مختلف گیاهچه‌ها (ششمین برگ، غلاف ساقه و ریشه) در چهار تکرار انجام گرفت که در مجموع ۱۶ ظرف کشت جهت آبکشت تهیه گردید. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده به طور جداگانه در هر زمان نمونه‌برداری انجام شد.

دو ژنوتیپ IR29 (حساس به شوری) و IR651 (متحمل به شوری) براساس مطالعات مقدماتی که توسط موسسه بین المللی تحقیقات برنج (IRRI) و پژوهشکدهٔ بیوتکنولوژی کشاورزی ایران (ABRII) انجام شده بود (۲۱)، انتخاب گردید. بذور مورد استفاده با هیپوکلرید سدیم ۲/۵ و محلول اتانول ۵۰ درصد ضدعفونی شده و پس از جوانه‌دار کردن، به گلخانه منتقل و در محلول غذایی یوشیدا (۳۷) پرورش داده شدند. pH محیط کشت هر روز صبح با استفاده از KOH و HCl ۰/۱ نرمال تنظیم می‌گردید. در طول آزمایش، دما در محدوده ۳±۳۲ (روز) و ۳±۲۵ (شب) درجه سانتیگراد و رطوبت در حد ۵±۷۰ درصد تنظیم شد. ۲۸ روز پس از کشت بذور (تقریباً زمانی که برگ ششم گیاه کامل شد)، ظروف کشت بصورت تصادفی گروه‌بندی شدند و تیمارهای شوری (NaCl) در دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی مولار با افزودن نمک به محیط کشت اعمال گردید. دو مرحله نمونه‌برداری، به ترتیب ۷۲ و ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تیمار شوری انجام شدند. برای

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

اندازه‌گیری وزن خشک کل بوته و اندام‌های مختلف، در دومین نمونه‌برداری، دو بوته از کف بریده شد و جوان‌ترین برگ، غلاف برگ و ریشه هر بوته جدا شده و در آون، در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ روز خشکانیده و توزین شدند.

برای اندازه‌گیری قندهای محلول و یون‌های معدنی در هر نمونه‌برداری و هر تیمار، هضم هر نمونه به طور جداگانه و به روش هضم مرطوب با استفاده از اسید سولفوریک ۹۶ درصد، آب اکسیژنه ۳۰ درصد و پودر اسید سالیسیلیک انجام شد (۷). پس از تهیه عصاره از نمونه‌های جمع‌آوری شده، جذب کاتیون‌های پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه نشر شعله‌ای مدل Corning-410 اندازه‌گیری شد. به منظور سنجش غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم و منگنز از دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer-3110 استفاده شد. با استفاده از روش نورسنجی رنگ زرد مولیبدات وانادات (Emami, 1996) و با استفاده دستگاه طیف سنج نوری مدل Carry-300 غلظت فسفر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری یون کلر، نمونه‌ها براساس روش امامی (۷)، با استفاده از آب مقطر هضم شد و با دستگاه یون‌سنج مدل Methrom, Switzeerland غلظت یون کلر اندازه‌گیری شد. به منظور سنجش قندهای محلول کل از محلول ۵ درصد سولفات روی، محلول هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال و محلول فنل ۵ درصد، مطابق روش استیوارت (۳۱) انجام شد.

جهت انجام محاسبات آماری از نرم‌افزارهای آماری SAS (Ver. 6.1) و به منظور نمایش روند تغییرات و رسم منحنی‌ها از نرم افزار EXCEL استفاده شد. ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات برآورد شده، با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Ver. 13) به دست آمد.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس اولین نمونه‌برداری نشان داد که اثرات ساده مربوط به تیمار و اندام گیاه و اثر متقابل بین تیمار و اندام بر میزان غلظت سدیم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از تجزیه واریانس همچنین نشان داد که در ارتباط با وزن خشک، تمام اثرات متقابل در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). در اثر شوری کاهش معنی‌داری در وزن خشک کل بوته و وزن خشک اندام‌های تفکیک شده رخ داد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین دو ژنوتیپ از نظر وزن خشک، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنان که در جدول یک مشاهده می‌گردد، در دومین نمونه‌برداری، وزن خشک جوان‌ترین برگ در هر دو ژنوتیپ کاهش داشت ولی کاهش مشاهده شده در ژنوتیپ IR29 بیش از ژنوتیپ IR651 بوده است و وزن خشک برگ در ژنوتیپ حساس به طور معنی‌داری کمتر از ژنوتیپ متحمل بود (جدول ۳). در ریشه نیز این روند مشاهده شد و تاثیر تیمار NaCl بر وزن خشک ریشه ژنوتیپ IR29 بیش از ژنوتیپ IR651 بود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

میزان تجمع ماده خشک در شرایط شور به عنوان صفت مهمی برای تعیین میزان تحمل به شوری عنوان شده است. شرین و همکاران (۳۳) و الحک و همکاران (۳۵) کاهش در رشد گیاهچه‌های ارقام مختلف برنج را در اثر تنش شوری گزارش دادند. مونس (۲۴) اعلام کرد که تحمل به شوری در گیاهان براساس میزان ماده خشک تولید شده در شرایط شوری در برابر شرایط کنترل برآورد می شود. براساس نظر مونس (۲۳) با اعمال تنش شوری به گیاه، در مرحله اول، اختلال در روابط آبی سبب کاهش رشد می‌گردد و پس از آن در دوره‌ی طولانی اعمال تنش، سمیت یونی نیز سبب تاثیر منفی بر رشد می‌گردد. تفاوت بین گونه‌های مختلف در تحمل به تنش، ممکن است در روزها یا هفته‌های اول پس از اعمال تنش مشخص نگردد و باید در یک دوره طولانی بررسی گردند.

افزایش در میزان سدیم در هر دو ژنوتیپ و به خصوص در ژنوتیپ حساس می‌تواند به دلیل فعال شدن حامل‌های کاتیون‌های تک‌ظرفیتی باشد که برای ورود پتاسیم نسبت به سدیم ارجحیت کمتری قائل هستند. این حامل‌ها زمانی که غلظت املاح در محیط از حد خاصی بالاتر روند، فعال می‌شوند و سدیم را وارد گیاه می‌کنند. الحک و همکاران (۳۵) نیز افزایش در غلظت سدیم گیاهچه‌های برنج را در اثر تنش شوری گزارش کردند. یکی از سازوکارهای معرفی شده جهت جلوگیری از بروز خسارت ناشی از نمک در گیاهان، انتقال کمتر یون سدیم به اندام هوایی است. در مورد ژنوتیپ هایی که توانایی جلوگیری از ورود نمک را ندارند، تجمع سطوح بالای نمک در اندام هوایی دلیل اصلی کاهش رشد می‌باشد. مونس و همکاران (۲۶) یکی از سازوکارهای تحمل به نمک در گیاهان را جلوگیری از انتقال آن به اندام‌ها جوان هوایی عنوان کرده‌اند. گزارش‌های دیگری در مورد برنج وجود دارد، حاکی از این که تحمل به شوری ضرورتاً رابطه مستقیمی با مقدار تجمع نمک در برگ‌ها ندارد (۳۶). شانون و همکاران (۳۰) رابطه‌ای بین تجمع یون‌ها در اندام‌های هوایی گیاه برنج با تحمل به شوری نیافتند. گیاهان گلیکوفیت (Glycophytes) قادر هستند که هم سازوکار جلوگیری از ورود نمک (Salt exclusion) و هم ورود نمک (Salt inclusion) را در پاسخ به تنش شوری داشته باشند و سازوکاری که گیاه در برابر شوری در پیش می‌گیرد به الگوی پراکنش یونی در بین برگ‌های مختلف گیاه و همچنین به تسهیم یون‌ها (Ion compartmentation) در درون سلول بستگی دارد (۲۶). در جدول ۲ نشان داده شده است که در دومین نمونه‌برداری، تمامی اثرات ساده و متقابل بین تیمارها معنی‌دار بودند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در اندام های مختلف گیاه ۷۲ ساعت پس از اعمال تنش شوری

		میانگین مربعات						
منبع تغییرات	درجه آزادی	Mn^{2+}	P	قندهای محلول کل	Cl^{-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^{+}	Na^{+}
شوری	۱	۲۶/۸**	۴۸/۹^{ns}	۱۰۴۰۴۵۹/۶۲**	۳۳۴۰۹۶۱/۱۲**	۱۲۶۶۷/۲**	۲۰۸/۸۳^{ns}	۳۶۸۵۱۱/۵**	۴۴۹۱۸۰/۹۸**
ژنوتیپ	۱	۰/۰۲^{ns}	۴۳۸/۷۷^{ns}	۵۳۳۱۸/۱۸*	۱۰۹۶۰/۴۴^{ns}	۱۰۰۰/۶۴*	۳۰۲۶/۲^{ns}	۵۹۱۶۳/۵۷^{ns}	۱۶۰۶۸/۴۹^{ns}
شوری × ژنوتیپ	۱	۱/۲۸*	۱۲۲۱/۵۹^{ns}	۸۹۸/۴۷^{ns}	۲۹۸۰۴۵/۸۳**	۸۰۷/۵۳^{ns}	۶۰۵۷/۷۹*	۱۹۶۴۷۶/۵۴*	۷۹/۳۸^{ns}
اندام	۲	۲۱۸/۶۲**	۱۹۵۵۰/۶۲**	۶۹۱۸۴۰/۹۳**	۱۷۳۱۶۱۰۶/۷۹**	۶۲۳۸۲/۹۸**	۱۷۴۳۳۹/۸۸**	۳۴۳۳۷۷۲۶/۲۳**	۵۶۱۷۴۳۱/۳۳**
شوری × اندام	۲	۷/۸۳**	۱۰۶۵/۸۷^{ns}	۵۸۸۲۴/۰۶**	۳۵۶۷۴۸/۸۶**	۶۵۱/۹۹^{ns}	۶۱۶۳/۴۱**	۲۳۲۱۳۹/۰۵**	۵۱۶۶۴۷۰/۳**
ژنوتیپ × اندام	۲	۲**	۲۱۳۴/۸۵**	۴۶۷۹/۶۹^{ns}	۹۰۲۵۰/۹۱**	۲۲۹۷/۴۵**	۲۴۷۵۱/۸۳**	۶۰۷۵۶/۶۳^{ns}	۵۵۸۱۳/۵۹^{ns}
شوری × ژنوتیپ × اندام	۲	۱۶/۲۶**	۲۰۵/۹۴^{ns}	۳۳۱۸۸/۷۴^{ns}	۱۰۵۱۶۵/۰۳**	۶۸۹/۲^{ns}	۲۹۷۸/۵۷*	۱۸۹۷۸۶/۱۴**	۵۵۴۷۶/۲۱^{ns}
خطا	۳۶	۰/۲۸	۳۵۴/۷۴	۱۰۹۳۰/۰۱	۱۱۰۵۰/۲۴	۲۵۳/۳۴	۱۱۰۵/۷۵	۳۲۱۴۸/۴۸	۹۲۶۰/۳۳
ضریب تغییرات	-	۱۲/۴۱	۸/۹	۱۷/۲	۸/۹	۱۰/۷	۱۶/۹	۱۲/۴	۱۹/۸

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ns: غیر معنی دار.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در اندام های مختلف گیاه ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش شوری

		میانگین مربعات								
منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک	Mn^{2+}	P	قندهای محلول کل	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+
شوری	۱	۲۴۶۵/۳۳**	۱/۴۹^{ns}	۱۴۰۱۷/۷۶**	۱۹۴۸۸۱۰**	۱۱۱۶۹۴۲/۸۲**	۲۰۴۳۵/۲۵**	۸۸۸۹/۷۸**	۱۰۸۰۲۱۳/۶۷**	۱۵۳۷۱۶۴۵/۱۴**
ژنوتیپ	۱	۱۰۸**	۲/۹۹*	۹۶۹۰/۲۳**	۷۴۶۳۶۷/۲۸**	۶۷۳۷/۱۸*	۳۹۷۸/۸۸**	۸۸۵/۰۴^{ns}	۱۶۷۷۰/۲۸^{ns}	۵۷۶۶۴۵/۸۹**
شوری × ژنوتیپ	۱	۲۴/۰۸^{ns}	۲/۵۷*	۷۰۴۳/۹۷**	۵۵۱۹۲۳/۳۷**	۹۷۷۸۷/۱۸**	۵۸۸/۹۸**	۲۰۷۳/۸۸^{ns}	۲۰۹/۹۸^{ns}	۳۴۳۳۱۱/۰۴**
اندام	۲	۲۷۳۲۱/۲۷**	۳۰۳/۹*	۱۲۶۸۵/۶۲**	۲۰۲۱۲۵/۵**	۹۶۵۰۵۶/۳۴**	۶۶۶۹۴/۷۲**	۱۱۷۹۶۵/۶۱**	۲۴۱۶۷۱۰۲/۹**	۳۸۹۸۸۳۱/۱**
شوری × اندام	۲	۴۶۱/۵۲**	۰/۶۶^{ns}	۲۶۸۱/۸۲*	۲۶۷۶۸/۶۲^{ns}	۱۶۶۰۵۰/۹۷**	۲۷۴۱/۷۱**	۳۷۲۱۰/۸۴**	۵۱۱۹۰۰/۸۲**	۳۱۹۶۸۴۵/۴۱**
ژنوتیپ × اندام	۲	۳۸۲/۶۸**	۰/۶۵^{ns}	۲۰۷۲/۱۲^{ns}	۱۴۱۱۴۶/۰۳**	۱۷۴۲۳۲/۸**	۱۱۵۳/۲۴**	۱۴۹۵۵/۵۸**	۶۶۴۳/۶۴^{ns}	۶۵۳۲۳۶/۱۵**
شوری × ژنوتیپ × اندام	۲	۶۸۲/۷۷**	۰/۵۷^{ns}	۲۱۷/۹۵^{ns}	۱۳۷۰۰۵/۸۸**	۶۴۲۲۸/۵۹**	۲۰۰/۶۵^{ns}	۳/۷۴^{ns}	۸۲۱۸/۶۳^{ns}	۸۱۱۵۹۱/۴۵**
خطا	۳۶	۵/۵	۰/۵۲	۶۳۸/۱۶	۱۳۱۳۳/۱۶	۱۵۳۸/۱۳	۱۰۳/۲۷	۶۲۴/۵۶	۱۳۷۸۴/۷۲	۱۲۳۲۵/۲۶
ضریب تغییرات	-	۲/۹	۱۵/۷	۱۸/۸	۱۷/۱	۷/۹	۶/۷	۶/۸	۹/۲	۱۳/۶

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ns: غیر معنی دار.

جدول ۳- وزن خشک کل و اندام‌های تفکیک شده ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش شوری (اعداد میانگین چهار تکرار ± خطای استاندارد هستند)

	IR651		IR29	
	تنش	عادی	تنش	عادی
وزن خشک کل بوته	۳۸۵±۱۳/۸	۴۶۸±۱۳/۸	۲۴۳±۱۲/۹	۴۵۱±۱۲/۹
وزن خشک برگ	۲۹±۰/۹	۳۳±۰/۹	۲۴±۰/۷	۳۹±۰/۸
وزن خشک غلاف ساقه	۷۷±۱/۸	۹۹±۲/۱	۱۰۷±۲/۳	۹۷±۱/۹
وزن خشک ریشه	۱۰۱±۲/۱	۱۲۱±۲/۳	۸۹±۱/۸	۱۲۲±۲/۴

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

همان‌طور که در جدول های ۵ و ۶ مشاهده می‌گردد با ادامه اعمال تنش شوری، غلظت سدیم در غلاف ساقه و ریشه هر دو ژنوتیپ روند افزایشی داشت و افزایش در دومین نمونه‌برداری، در ژنوتیپ IR29 به طور معنی‌دار بیش از ژنوتیپ IR651 بود. جدول‌های ۴، ۵ و ۶ نشان می‌دهد که در اندام‌های هوایی (برگ و غلاف ساقه) ژنوتیپ IR29، غلظت سدیم در شرایط شور به طور معنی‌داری بیش از ژنوتیپ IR651 بود در حالی که در مورد ریشه این روند کاملاً برعکس بود و غلظت سدیم در ریشه ژنوتیپ متحمل بیش از ژنوتیپ حساس بود. در اولین نمونه‌برداری، تفاوتی بین دو ژنوتیپ از نظر غلظت سدیم ریشه وجود نداشت و ادامه روند اعمال تنش سبب بروز این تفاوت شد. تفاوت بین دو ژنوتیپ از نظر غلظت یون سدیم در اندام‌های هوایی در اولین زمان مورد بررسی معنی‌دار بود ولی در دومین مرحله، تفاوت مشاهده شده بیشتر شده بود. مشاهدات نشان داد که هر دو ژنوتیپ بیشترین تجمع سدیم را در ریشه خود داشتند. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که ژنوتیپ IR651 در برابر افزایش سدیم محیط، غلظت بالایی از آن را در ریشه حفظ کرد و مقدار کمتری از سدیم جذب شده را به اندام هوایی انتقال داد در حالی که ژنوتیپ IR29، توانایی کمتری در این مورد نشان داد و میزان سدیم منتقل شده به اندام هوایی بسیار بیشتر از ژنوتیپ متحمل بود.

همان‌طور که در جدول های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است، ۷۲ ساعت پس از اعمال تنش شوری، غلظت یون کلر در برگ و غلاف ساقه و ریشه هر دو ژنوتیپ، افزایش معنی‌داری داشته است و با ادامه اعمال تیمار شوری، افزایش در تجمع کلر ادامه یافت. جالب توجه این که تحت تنش شوری، کلر در برگ و غلاف ساقه ژنوتیپ IR29 بیش از ژنوتیپ IR651 تجمع یافته بود، در حالی که در ریشه ژنوتیپ متحمل، کلر بیشتری از ژنوتیپ حساس برآورد شد. این الگوی توزیع، منطبق با الگوی توزیع سدیم بود و نشان می‌دهد که ژنوتیپ IR651 توانایی بیشتری نسبت به ژنوتیپ IR29 در کنترل انتقال کلر جذب شده به اندام هوایی داشت. جدول ۱ نیز نشان می‌دهد که در اولین نمونه‌برداری، اثر ژنوتیپ بر تجمع کلر معنی‌دار نبود، در حالی که در جدول ۲ مشخص شده است که در نمونه‌برداری دوم، تمام اثرات ساده و متقابل معنی‌دار شد. مونس و همکاران (۲۸) اعلام کردند که در برخی از گونه‌ها تحمل به شوری مستقیماً با انتقال یون کلر مرتبط است. الهنداوی و همکاران (۶) افزایش غلظت کلر را در برگ های ارقام مختلف گندم، در اثر شوری گزارش کردند. در برنج نیز افزایش میزان شوری با افزایش میزان کلر رابطه خطی و مستقیم داشته است و همچنین با افزایش میزان کلر در برنج، گیاه دچار غیر فعال شدن آنزیم‌ها و کاهش سنتز پروتئین‌ها و خسارت به اندامک‌های مختلف گیاهی می‌شود (۳۸).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

جدول ۴- غلظت املاح در ششمین برگ ژنوتیپ های IR651 (متحمل به شوری) و IR29 (حساس به شوری) تحت شرایط عادی و تنش (اعداد میانگین چهار تکرار ± خطای استاندارد هستند)

			غلظت املاح (میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک (mmol.kg^{-1}D.W.)							
			Mn^{2+}	P	قندهای محلول کل	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	K^+	Na^+
۷۲ ساعت پس از اعمال تنش	IR651	عادی	۸/۹±۰/۳	۲۱۵/۵±۸/۶	۴۴۲/۵±۳۱/۶	۲۱۲±۱۲/۴	۳۴۹/۴±۳۰/۱	۴۹۴/۱±۱۷/۱	۹۳۵/۵±۳۷/۵	۱۲۰/۳±۳/۲
		تنش	۵±۰/۲	۱۹۳/۷±۷/۹	۷۲۲/۷±۲۲	۱۸۲/۴±۱۳/۲	۳۵۴±۲۰/۵	۵۶۵/۵±۷/۱	۹۰۳±۵/۷	۱۲۰/۶±۴
	IR29	عادی	۷/۱±۰/۴	۲۱۱/۴±۸/۶	۴۳۵/۸±۴۶/۸	۱۹۴/۹±۵/۹	۳۳۳/۴±۲۶/۴	۳۴۹/۷±۱۰/۷	۹۲۳/۴±۱۹/۹	۱۵۵/۴±۶
		تنش	۵/۵±۰/۳	۲۰۵±۹/۲	۶۰۲/۳±۲۹/۱	۱۶۲/۴±۷/۴	۲۲۷/۳±۱۲/۷	۷۸۸/۴±۴۲/۴	۹۱۴/۳±۳۰/۱	۱۵۹/۴±۱۱/۵
۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش	IR651	عادی	۹/۳±۰/۷	۱۶۸/۷±۱۷/۵	۴۰۱/۵±۳۶/۱	۱۸۵/۲±۴/۷	۳۸۸/۶±۱۶/۵	۵۰۱/۹±۸/۵	۸۵۵/۶±۵/۷	۷۲/۳±۳/۹
		تنش	۷/۹±۰/۴	۱۴۹/۳±۱۰/۶	۹۱۹ ±۱۷/۹	۱۷۰/۴±۷/۹	۲۵۶±۱۸/۲	۵۵۹/۶±۱۸/۸	۸۵۲/۷±۱۸/۲	۹۶/۵±۱۰
	IR29	عادی	۹/۵±۰/۸	۱۵۲/۶±۲۳/۳	۳۸۵/۶±۳۹/۷	۱۹۶/۲±۷/۴	۳۱۸/۴±۱۹/۹	۴۱۲/۷±۱۴/۲	۹۴۰/۵±۵۸/۹	۱۲۲/۹±۴/۸
		تنش	۹/۳±۰/۴	۱۸۴±۶/۸	۸۵۷/۴±۱۹/۷	۱۵۷/۸±۵/۱	۲۱۱/۵±۶/۸	۹۲۳/۸±۲۸	۸۱۸/۵±۴/۸	۵۲۵/۸±۴۳
LSD 0.01			۱/۷۸	۴۹/۰۳	۱۲۵/۹۷	۳۳/۸۸	۷۹/۵۷	۷۶/۴۳	۱۱۹/۰۸	۴۷/۸۱
LSD 0.05			۱/۳۱	۳۶/۱۸	۹۲/۹۶	۲۵	۵۸/۷۲	۵۶/۳۳	۸۷/۸۷	۳۵/۰۵

جدول ۵- غلظت املاح در غلاف ساقه ژنوتیپ‌های IR651 (متحمل به شوری) و IR29 (حساس به شوری) تحت شرایط عادی و تنش (اعداد میانگین چهار تکرار ± خطای استاندارد هستند)

			غلظت املاح (میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک) (mmol.kg^{-1}D.W.)							
			Mn^{2+}	P	قندهای محلول کل	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	K^+	Na^+
۷۲ ساعت پس از اعمال تنش	IR651	عادی	۷/۱±۰/۵	۲۶۵/۵±۱۶/۴	۳۵۸±۲۳/۶	۱۸۰/۴±۱۲/۶	۷۷/۲±۷/۱	۲۱۲/۴±۱۰/۲	۳۴۰۰±۲۹۸/۱	۱۹۱/۷±۲۴/۴
		تنش	۵±۰/۲	۲۳۸/۹±۱۰/۶	۶۶۲/۹±۳۲/۱	۱۵۷/۸±۷/۶	۱۱۵±۵/۱	۲۶۷/۳±۱/۵	۲۵۶۹/۱±۹۴/۷	۴۰۸/۵±۱۴/۵
	IR29	عادی	۷/۱±۰/۴	۲۳۱/۶±۲۱/۴	۲۹۰±۲۳/۵	۲۲۶/۱±۱۰	۱۸۲/۲±۵/۶	۱۸۸/۶±۴/۲	۳۲۳۴/۵±۸۰/۸	۲۲۵/۵±۱۲/۶
		تنش	۵/۵±۰/۳	۲۴۱/۳±۸/۱	۴۹۸/۸±۵۳/۴	۱۵۶/۲±۳/۹	۱۹۴/۶±۲۲/۷	۳۰۵/۸±۱۶/۳	۳۱۶۰/۵±۱۴۱/۱	۶۱۸/۹±۱۷/۶
از اعمال تنش ۲۴۰ ساعت پس	IR651	عادی	۰/۳±۰/۰	۸۴±۹/۷	۴۵۰±۴۹/۹	۲۱۲/۹±۷/۷	۹۸/۲±۸/۲	۱۷۵/۷±۵/۶	۲۹۷۵/۷±۴۶/۵	۱۷۸±۴/۸
		تنش	۰/۲±۰/۰	۱۹۰±۱۴/۷	۱۰۸۲/۷±۴/۲	۱۵۱/۸±۴/۴	۱۶۱/۱±۱۳/۸	۲۱۵/۵±۵/۵	۲۲۱۷/۹±۹۰/۵	۷۹۹/۹±۴۲/۵
	IR29	عادی	۰/۳±۰/۰	۱۰۶/۶±۴/۸	۲۸۶/۷±۶/۷	۲۵۵/۱±۶/۳	۱۴۵/۳±۶/۷	۱۴۹/۸±۴/۵	۳۰۴۱/۹±۶۵/۱	۱۸۸/۳±۱۴/۱
		تنش	۰/۳±۰/۰	۱۹۶/۲±۶/۲	۴۵۹/۳±۷۲/۱	۱۷۳/۳±۲/۹	۳۴۸/۱±۶	۳۴۸/۲±۱۱/۶	۲۳۴۷/۳±۱۴۹	۲۰۶۹±۸۵/۱
LSD 0.01			۱/۳۰	۴۵/۷۸	۱۵۹/۷۶	۲۷/۳۲	۴۰/۸۳	۳۲/۴۲	۵۰۳/۶۸	۱۵۴/۴۲
LSD 0.05			۰/۹۵	۳۳/۷۴	۱۱۷/۸۹	۲۰/۱۶	۳۰	۲۳/۹۰	۳۷۱/۶۸	۱۱۳/۹۵

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

جدول ۶- غلظت املاح در ریشه ژنوتیپ‌های IR651 (متحمل به شوری) و IR29 (حساس به شوری) تحت شرایط عادی و تنش (اعداد میانگین چهار تکرار ± خطای استاندارد هستند)

			غلظت املاح (میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک) ($mmol.kg^{-1}D.W.$)							
			Mn^{2+}	P	قندهای محلول کل	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	K^+	Na^+
۷۲ ساعت پس از اعمال تنش	IR651	عادی	۰/۲±۰/۰	۱۵۳/۳±۳/۸	۷۶۰/۶±۶۹	۷۴/۷±۲/۳	۹۹/۳±۸/۷	۴۷۲/۱±۱۱/۱	۳۲۵/۳±۱۰	۱۷۳±۷/۳
		تنش	۰/۱±۰/۰	۱۶۵/۴±۴/۴	۱۱۱۲/۵±۱۱۷/۱	۵۴/۱±۴/۳	۱۱۴/۷±۷/۶	۹۷۶/۷±۲۵/۸	۲۸۰/۹±۱۲/۴	۱۷۷۴±۷۷/۷
	IR29	عادی	۰/۲±۰/۰	۱۷۹/۲±۱۱	۵۸۲/۳±۹۲/۵	۹۸/۱±۴/۱	۱۳۱/۶±۹/۹	۲۸۳/۳±۱۷/۱	۳۳۱/۵±۸/۳	۲۰۶/۲±۱۱/۲
		تنش	۰/۲±۰/۰	۲۰۰/۱±۴/۸	۱۲۰۰/۸±۶۱	۷۷/۷±۸/۲	۱۴۱±۱۷/۸	۷۵۶/۳±۲۱/۱	۲۷۱/۶±۱۷/۹	۱۶۵۱/۸±۱۳۵/۸
۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش	IR651	عادی	۰/۰±۰/۰	۸۴±۹/۷	۵۹۴/۴±۳۰/۶	۷۹/۱±۲/۹	۱۴۳/۹±۱۵	۵۳۹±۲۲/۴	۳۲۷±۵/۵	۱۵۳/۴±۱۸/۶
		تنش	۰/۰±۰/۰	۱۹۰±۱۴/۷	۱۳۲۲±۱۱۹	۵۲/۲±۱/۶	۸۷/۵±۱۱/۸	۱۰۹۴/۹±۳۳/۲	۲۰۵/۱±۳/۵	۲۶۲۷/۴±۱۲۱/۶
	IR29	عادی	۰/۰±۰/۰	۹۰/۴±۴/۸	۶۶۷/۳±۹۹/۹	۱۰۱/۶±۱/۳	۱۵۲/۷±۵/۷	۳۰۷/۵±۸/۱	۳۳۲/۵±۹/۵	۲۱۸۷/۴±۲۳
		تنش	۰/۰±۰/۰	۱۴۹/۳±۱۲/۷	۵۹۶/۲±۵۱	۷۷±۲/۴	۱۲۵/۹±۴	۸۰۰/۴±۳۸	۲۳۴/۵±۶/۲	۲۱۸۷/۴±۸۴/۶
LSD 0.01			۰/۰۲	۳۵	۳۵۳/۹۵	۱۴/۰۶	۴۲/۶۰	۹۱/۳۳	۴۰/۱۰	۳۰۴/۸۳
LSD 0.05			۰/۰۲	۲۵/۸۰	۲۵۷/۴۰	۱۰/۳۷	۳۱/۳۰	۶۷/۴۰	۲۹/۵۹	۲۲۴/۹۵

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

در شرایط شور، علاوه بر افزایش جذب عناصری مانند سدیم و کلر، میزان جذب پتاسیم و کلسیم نیز از طریق تاثیر بر انتخابیت یونی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. پتاسیم یکی از محلول‌های غیرآلی مهم دخیل در تنظیم اسمزی است که به عنوان یک کوفاکتور برای بیش از ۴۰ آنزیم عمل می‌کند (۳۲). در سطح سلولی، پتاسیم در حفظ شکل سلول، حرکات روزنه‌ای، حفظ تورژسانس سلولی و تنظیم اسمزی سلول نقش مهمی را دارد و همچنین یکی از مهم‌ترین املاح معدنی در سنتز پروتئین‌ها و هموستازی یون‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد که در هر دو ژنوتیپ، بیشترین غلظت یون پتاسیم در شرایط تنش و کنترل، همیشه در غلاف ساقه بود و اختلاف معنی‌داری با جوان‌ترین برگ و ریشه وجود داشت. مرادی (۲۱) نیز افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم را در برگ‌های برنج در اثر تنش شوری گزارش داد. جدول ۲ نشان می‌دهد که از بین تمام اثرات متقابل فقط اثر متقابل شوری در اندام گیاه معنی‌دار شده است. لی و سنادهیرا (۱۷) گزارش دادند که ارتباط خاصی بین غلظت پتاسیم در اندام‌های گیاه برنج با تحمل به شوری وجود ندارد. در جدول ۷ نیز همبستگی منفی و معنی‌دار بین جذب پتاسیم و سدیم توسط گیاه را در شرایط تنش ارائه شده است.

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش (بالای قطر) و عادی (پایین قطر)

	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	قندهای محلول کل	P	Mn^{2+}
Na^+	۱	-۰/۳۵*	-۰/۵۷**	-۰/۷۴**	-۰/۱۶^{ns}	۰/۲۴^{ns}	-۰/۳۹**	-۰/۷۵**
K^+	۰/۲۴^{ns}	۱	۰/۱۲^{ns}	-۰/۶**	۰/۴۹**	-۰/۴۹**	۰/۴۵**	۰/۴۸**
Ca^{2+}	-۰/۶**	-۰/۳۶*	۱	۰/۷۲**	-۰/۲۶^{ns}	-۰/۳۹**	۰/۲۳^{ns}	۰/۵۸**
Mg^{2+}	-۰/۱۲^{ns}	۰/۷**	۰/۳۳*	۱	۰/۰۴^{ns}	-۰/۵۳**	۰/۳۹**	۰/۸۶**
Cl^-	۰/۲^{ns}	۰/۵۵**	-۰/۲۳^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۱	-۰/۲۶^{ns}	۰/۵۵**	۰/۱۲
قندهای محلول کل	۰/۱۴^{ns}	-۰/۶۲**	-۰/۲۳^{ns}	-۰/۷۹**	-۰/۳۲*	۱	۰/۶۵**	-۰/۳۹**
P	-۰/۰۹^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۶۶**	-۰/۳۳*	۱	۰/۳۴*
Mn^{2+}	-۰/۵۴**	۰/۴۲**	۰/۶۶**	۰/۷۸**	۰/۲۹*	-۰/۶۸**	۰/۵**	۱

*و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار.

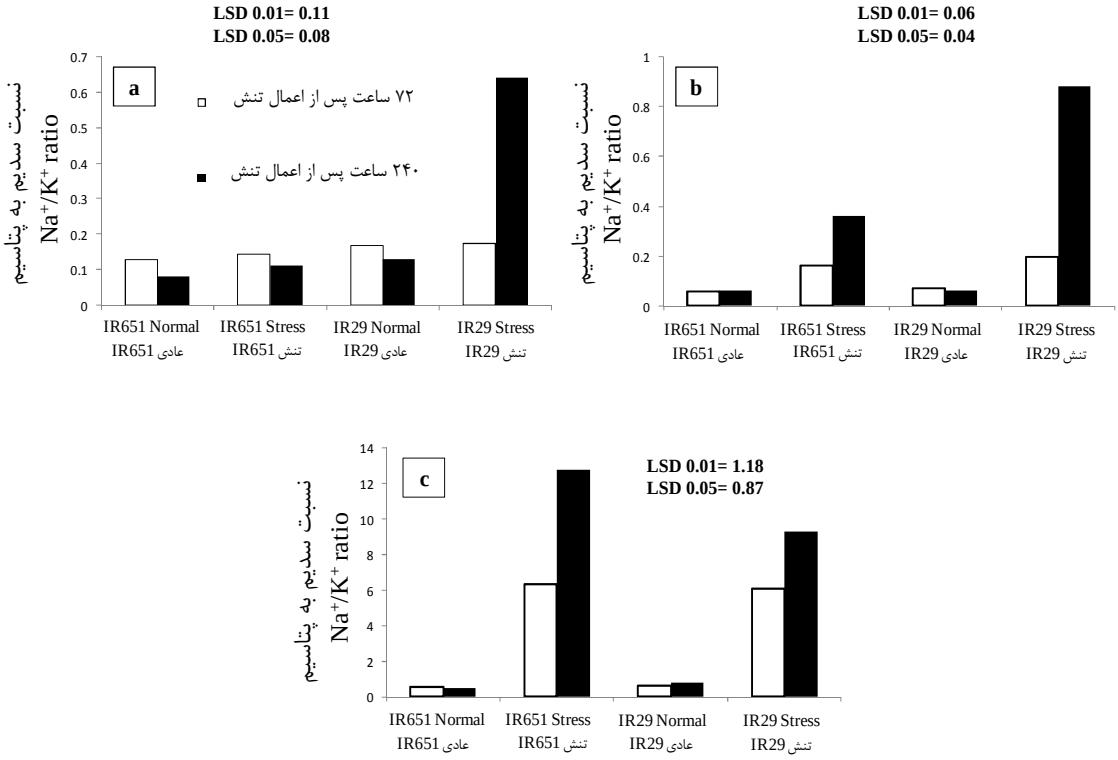
همان طور که در جدول ۴ مشخص است، در اولین نمونه برداری، از نظر غلظت پتاسیم در برگ، اختلاف معنی داری بین شرایط تنش و کنترل وجود نداشت، در حالی که در دومین نمونه‌برداری، ژنوتیپ IR29 در شرایط تنش، کاهش معنی‌داری از این نظر نشان داد. کاهش در غلظت یون پتاسیم در ژنوتیپ IR651 در هر دو مرحله نمونه‌برداری، هم در غلاف ساقه و هم در ریشه مشاهده شد، اما در ژنوتیپ IR29 در اولین نمونه‌برداری، در غلاف ساقه، تفاوتی بین حالت تنش و کنترل از این نظر وجود نداشت. الحک و همکاران (۳۵) نیز کاهش در غلظت پتاسیم گیاهچه‌های برنج را در اثر تنش شوری گزارش کردند. لی و سنادهیرا (۱۷) گزارش دادند که ارتباط خاصی بین غلظت پتاسیم در اندام‌های گیاه برنج با

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

تحمل به شوری وجود ندارد. مونس و جیمز (۲۵) عنوان کردند که تفاوت در انتخابیت یونی (یعنی پتاسیم) در بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم، احتمالاً تاثیر ثانویه تفاوت ژنتیکی در میزان جذب سدیم می‌باشد. در گیاهان، حامل خاصی برای انتقال سدیم وجود ندارد و سدیم از طریق رقابت با پتاسیم و دیگر کاتیون‌ها، وارد گیاه می‌شود. سدیم می‌تواند از طریق حامل‌های پرقرابت پتاسیم (Highaffinity potassium carriers) و یا از طریق کانال‌های کم‌قرابت که به نام کانال‌های کاتیونی غیر انتخابی (Non-selective cationchannels) نامیده می‌شوند، وارد گیاه شود. نسبت سدیم به پتاسیم در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، نسبت سدیم به پتاسیم در دومین مرحله نمونه‌برداری بیش از اولین مرحله بود که نشان می‌دهد با ادامه اعمال تنش شوری، میزان سدیم تجمع یافته در اندام‌های گیاه بیش از پتاسیم بود. در این شکل مشخص است که نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه هر دو ژنوتیپ بیش از اندام هوایی بوده است ولی در IR651 بیش از IR29 بود. مشاهدات نشان داد که ژنوتیپ متحمل حتی ۲۴۰ ساعت پس از اعمال تنش، در مقایسه با ژنوتیپ حساس مقدار کمتری سدیم را به جوان ترین برگ انتقال داد و ممکن است یکی از سازوکارهای تحمل به شوری ژنوتیپ IR651 همین عامل باشد. الحک و همکاران (۳۵) نیز افزایش در نسبت سدیم به پتاسیم را در گیاهچه های برنج در اثر تنش شوری اعلام کردند و دلیل آن را افزایش ورود بیش از حد سدیم به درون گیاه در اثر تنش شوری اعلام کردند. یکی از مهم ترین عوامل موثر در تحمل به شوری، نسبت سدیم به پتاسیم است زیرا سدیم سیتوپلاسمی برای اتصال به جایگاه های پتاسیم، با این یون رقابت می کند و از این رو سبب توقف فرآیندهای مهم متابولیکی وابسته به پتاسیم می‌گردد (۲۰). نسبت سدیم به پتاسیم به عنوان یکی از عوامل مهم برای تعیین میزان تحمل به شوری در برنج (۲۰) معرفی شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که اثرات ساده تیمار شوری و اندام گیاه، اثرات متقابل بین تیمار شوری در اندام گیاه و همچنین ژنوتیپ در اندام گیاه بر غلظت یون کلسیم در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. با توجه به جدول ۷ نیز مشاهده می‌شود که رابطه منفی و معنی‌داری بین غلظت کلسیم و سدیم هم در شرایط تنش و هم در شرایط عادی وجود دارد. جدول ۴ نشان می‌دهد که در اولین نمونه‌برداری، تنش شوری باعث کاهش غلظت کلسیم در جوان‌ترین برگ ژنوتیپ IR29 شد در حالی که در ژنوتیپ IR651 تغییر معنی‌داری دیده نشد ولی ۲۴۰ ساعت پس از آغاز اعمال تنش، کاهش غلظت کلسیم در برگ ژنوتیپ IR651 نیز دیده شد. کاهش معنی‌دار غلظت کلسیم در اثر افزایش نمک، در ریشه هر دو ژنوتیپ، فقط در دومین نمونه‌برداری دیده شد. ۲۴۰ ساعت پس از افزودن نمک NaCl به محیط ریشه گیاهان، افزایش در غلظت یون کلسیم در غلاف ساقه هر دو ژنوتیپ دیده شد. الهنداوی و همکاران (۶) دریافتند که میزان تجمع یون‌های پتاسیم

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

و کلسیم در ژنوتیپ‌های متحمل گندم بیش از ارقام حساس به شوری بوده است. کلسیم باعث بهبود پتاسیل غشای سلول‌های ریشه، طی تنش می‌شود که از این طریق می‌تواند از خروج یون پتاسیم از سلول جلوگیری نماید. کلسیم سبب می‌شود که غشای سلولی در اثر نمک، آسیب کمتری ببیند و پتاسیم از طریق غشا بهتر جذب شود و در نتیجه باعث حفظ نسبت بالاتر پتاسیم به کلسیم می گردد.



شکل ۱- نسبت سدیم به پتاسیم در (a) ششمین برگ و (b) غلاف ساقه و (c) ریشه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برنج.

دابوکسیلاتا و ایکدا (۵) نشان دادند که در گیاه سویا، کلسیم از طریق کاهش جذب سدیم توسط گیاه تحت تنش شوری، سبب افزایش تحمل به شوری شد. الهنداوی و همکاران (۶) با بررسی گیاهچه‌های گندم اعلام کردند که ممکن است تغییرات کلسیم در اثر شوری به عنوان شاخصی برای شناسایی تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به شوری قابل استفاده باشد. نتایج آنها نشان داد که در اثر تنش شوری، غلظت کلسیم در ژنوتیپ‌های حساس بیش از ژنوتیپ‌های متحمل کاهش یافت.

در پاسخ به تنش شوری و به منظور جلوگیری از اثر اسمزی ناشی از نمک موجود در محیط، گیاه سنتز و تجمع قندهای محلول را افزایش می‌دهد تا پتانسیل اسمزی خود را کاهش دهد و جذب آب از محیط شور ادامه یابد. تجزیه واریانس دومین نمونه‌برداری نشان داد که تمام اثرات ساده و متقابل بین تیمارهای مختلف بر غلظت قندهای محلول

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

کل در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). افزایش مشاهده شده در غلظت قندهای محلول کل می‌تواند به علت روبرو شدن گیاه با خشکی فیزیولوژیک ناشی از نمک باشد و جهت تنظیم اسمزی، سنتز قندهای محلول در گیاه افزایش می‌یابد. جداول ۴، ۵ و ۶ نشان می‌دهد که ۷۲ ساعت پس از اعمال تنش شوری، افزایش معنی‌دار در غلظت قندهای محلول کل در ریشه، غلاف ساقه و برگ هر دو ژنوتیپ رخ داد که این افزایش در اندام‌های هوایی ژنوتیپ IR651 بیش از IR29 بود و بین ریشه هر دو ژنوتیپ، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اما نکته جالب اینکه ۲۴۰ ساعت بعد از اعمال تیمار NaCl، غلظت قندهای محلول کل در ریشه ژنوتیپ حساس مورد مطالعه، نسبت به اولین مرحله نمونه‌برداری، به طور معنی‌داری کم شد و در غلاف ساقه آن نیز افزایشی نسبت به اولین مرحله نمونه‌برداری دیده نشد، در حالی که در ژنوتیپ متحمل، افزایش کاملاً معنی‌دار غلظت قندهای محلول کل در تمام قسمت‌ها مشاهده شد. همچنانکه در جدول های ۴، ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، با توجه به افزایش غلظت سدیم و کاهش در جذب پتاسیم و کلسیم ممکن است در اثر خسارت زیاد ناشی از سدیم به ژنوتیپ حساس، ساخت قندهای محلول کم شده باشد و ژنوتیپ IR29 در این زمان قادر به ساخت قندهای محلول جهت کاهش پتانسیل اسمزی خود نمی‌باشد. کاهش توانایی ژنوتیپ IR29 در سنتز قندهای محلول از یک سو و خسارت ناشی از تجمع زیاد سدیم در اندام هوایی این ژنوتیپ از سوی دیگر سبب کاهش جذب آب شد و کاهش مشاهده شده در ماده خشک تولید شده در IR29 ممکن است ناشی از این عوامل باشد (جدول ۳). در ارتباط با تغییر غلظت قندهای محلول کل در اثر تنش شوری، گزارش‌های مختلفی وجود دارد که حاکی از کاهش (۱۳)، افزایش (۱۶) یا بدون تغییر ماندن (۲۲) آنهاست.

منیزیم بخشی از مولکول کلروفیل و فعال کننده آنزیم‌های فتوسنتز و تنفس است و برای سنتز پروتئین ضروری می‌باشد، همچنین منیزیم در توازن بار الکتریکی نقش مهمی ایفا می‌کند. جدول ۱ نشان می‌دهد که تمام اثرات ساده و اثر متقابل بین ژنوتیپ در اندام گیاه بر غلظت منیزیم در اولین مرحله نمونه‌برداری، معنی‌دار شد. براساس جدول ۲ با ادامه اعمال تنش شوری، اثرات متقابل بین ژنوتیپ در تیمار شوری و تیمار شوری در اندام گیاه نیز بر غلظت منیزیم معنی‌دار شدند. جدول ضرایب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین غلظت منیزیم و سدیم رابطه منفی و معنی‌داری وجود داشت در حالی که غلظت منیزیم با پتاسیم و کلسیم هم در شرایط تنش و هم در شرایط عادی رابطه مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۷). اعمال تنش NaCl سبب کاهش غلظت یون منیزیم در تمام بخش‌های مورد بررسی در هر دو ژنوتیپ شد ولی پس از کاهش اولیه در زمان ۷۲ ساعت پس از اعمال اولین تنش، غلظت منیزیم در شرایط تنش تا دومین نمونه‌برداری ثابت ماند و تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. کاهش غلظت منیزیم در اثر افزایش سدیم به محیط در اسفناج، کاهو و سالیکورنیا (۱۲)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

گزارش شده است. گـراگ (۱۰) دریافتنـد کـه افزایش غلظت‌های نمک سدیم، غلظت منیزیم را در ساقه‌ها و ریشه‌های نخود کـاهش داده و سبب کاهش رشد آنهـا شـده اسـت. لاسـردا و همکاران (۱۶) اعلام کردند که با اعمال تـنش شوری به سورگوم، نقش منیـزیم در پتانسـیل اسمزی برگ‌ها افزایش می‌یابد ولی در پتانسیل اسمزی ریشه کم می‌شود.

در جدول ۲ نشان داده شده است که تمام اثرات ساده و اثرات متقابل بین ژنوتیپ در تیمار شوری و تیمار شوری در اندام گیاه بر غلظت فسفر، در دومین نمونه‌برداری معنی‌دار شد، همچنین اثر ژنوتیپ، اندام و ژنوتیپ در تیمار شوری بر غلظت منگنز نیز در همان تاریخ معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۷، مشاهده می‌شود که هم در شرایط تنش و هم در شرایط عادی بین غلظت منگنز و سدیم رابطه منفی و معنی‌داری وجود دارد، در حالی که بین غلظت منگنز با پتاسیم و کلسیم، رابطه مثبت و معنی‌دار می‌باشد. بین غلظت فسفر و سدیم نیز در شرایط تنش یک رابطه منفی مشاهده شد. همچنان که در جدول های ۴ و ۵ دیده می‌شود، در اولین نمونه‌برداری، تنش NaCl سبب کاهش معنی‌دار در غلظت فسفر در اندام‌های هوایی هر دو ژنوتیپ شد ولی در ریشه افزایش غلظت فسفر رخ داد، در حالی‌که در دومین نمونه‌برداری، غلظت فسفر هم در شرایط تنش و هم در شرایط کنترل، کاهش شدید و معنی‌داری نسبت به اولین نمونه‌برداری نشان داد که این کاهش در شرایط کنترل بسیار شدیدتر از شرایط تنش بود. این کاهش می‌تواند به دلیل پیری برگ باشد، بدین ترتیب که در اثر پیری برگ، سیگنال‌های مستقیم و غیرمستقیم سبب کاهش در میزان املاح می‌شود. سیگنال‌های مستقیم شامل هورمون‌های پیری بخصوص ABA و اتیلن می‌باشد و سیگنال‌های غیرمستقیم شامل کاهش در فتوسنتز برگ در اثر افزایش سن برگ و کاهش در توانایی گیاه برای جذب املاح می‌باشد، که البته این سازوکارها هنوز بطور کامل شناسایی نشده‌اند. به طور کلی در ارتباط با تغییرات غلظت فسفر در برابر تنش شوری، روند منظمی مشاهده نشد. اثر متقابل بین شوری و فسفر بسیار پیچیده بوده و به شدت شوری و گونه گیاهی و مرحله رشد گیاه و ترکیب شوری و همچنین میزان فسفر در خاک بستگی دارد (۳). کاهش فسفر در گیاهان در اثر تنش شوری بیش از هر عامل دیگر به افزایش میزان Cl^- نسبت داده می‌شود (۹).

آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) به سه فـرم در سـلول وجـود دارد، کـه یکـی از آنهـا Mn-SOD می‌باشد که در میتوکنـدری وجـود دارد. با توجه به اینکه یکی از اثرات ورود نمک به گیاه ایجاد تنش اکسیداتیو می‌باشد و تحت این شرایط آنزیم سوپراکسـیددیسـموتاز فعـال می‌شود منگنز می‌تواند در ایـن شـرایط نقـش مهمـی در جهـت خنثـی کـردن مـواد سـمی حاصل از تنش اکسیداتیو ایفا کنـد. در اولـین نمونه‌برداری، در اثر افزایش نمـک بـه محـیط، غلظت منگنز در اندام هوایی به طور معنـی‌دار کـم شـد ولـی جالـب اینکـه در دومـین نمونه‌برداری، غلظت منگنز در برگ هر دو رقم نسبت به مرحله اول افزایش معنی‌دار نشان داد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

در حالی که در غلاف ساقه و ریشه کاهش شدید غلظت منگنز دیده شد و جوان ترین برگ عکس العمل کاملاً متفاوتی نسبت به ریشه و غلاف ساقه از این نظر نشان داد. شوری یا قلیاییت ممکن است منجر به کمبود یا بی‌نظمی در سطوح غذایی کم مصرف نظیر منگنز شود. شوری غلظت منگنز را در گیاه جو افزایش (۳۴) و در ذرت کاهش (۱۴) داد. کرامر و همکاران (۴) نیز در تحقیقی روی جو در شرایط املاح سدیم و کلسیم دریافتند که غلظت منگنز کاهش می‌یابد.

منابع

1. Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora. 199: 361-376.
2. Carden, D.E., D.J. Walker, T.J. Flowers and A.J. Miller. 2003. Signal cell measurements of the contributions of cytosolic Na^+ and K^+ to salt tolerance. Plant Physiol. 131: 676-683.
3. Champagnol, F. 1979. Relationship between phosphate nutrition of plant and salt toxicity. Phosphorus in Agriculture. 76: 35-44.
4. Cramer, G.R., J. Lynch, A. Lauchli and E. Epstein. 1987. Influx of Na^+, K^+ and Ca^{2+} into roots of salt stressed cotton seedlings. Plant Physiology. 83: 510-516.
5. Dabuxilatu, M. and M. Ikeda. 2005. Interactive effect of salinity and supplemental calcium application on growth and ionic concentration of soybean and cucumber plants. Soil Science and Plant Nutrition. 51: 549-555.
6. El-Hendawy, S.E., Y. Hu and U. Schmidhalter. 2005. Growth, ion content, gas exchange and water relation of wheat genotypes differing in salt tolerances. Australian Journal of Agricultural Research. 56: 123-134.
7. Emami, A. 1996. Plant analysis methods. Technical publication. Soil and Water Research Institute of Iran. 182. 45 pp.
8. FAO. 2005. Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management Service. http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush.
9. Flowers, T.J. and M.A. Hajibagheri. 2001. Salinity tolerance in Hordeum vulgare: ion concentrations in root cells of cultivars differing salt tolerance. Plant Soil. 231: 1-9.
10. Garg, B.K., S.P. Vyas, S. Kathju, A.N. Lahiri and P.C. Sharma. 1993. Salinity-fertility interaction on growth, mineral composition and nitrogen metabolism of Indian mustard. Journal of Plant Nutrition. 16: 1637-1650.
11. Grag, B.K. and O.P. Grag. 1980. Sodium carbonate and bicarbonate induced changes in growth, cholorophyll, nucleic acids and protein contents in leaves of Pisuni sativum L. photosyntetica. 14: 594-598.
12. Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. Annual Review of Plant Physiology. 31: 149-190.
13. Hanson, A.D. and W.D. Hitz. 1982. Metabolic responses of plant water deficit. Annual Review of Plant Physiology. 33: 163-203.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

14. Hassan, N.A. K., J.V. Drew, D. Kienudsen and R.A. Olsen. 1979. Influence of soil salinity on production of dry matter and uptake and distribution of nutrients in barley and corn. Agronomy Journal. 62: 43-45.
15. Heenan, D.P., L.G. Lewin and D.W. McCaffery. 1988. Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. Australian Journal of Experimental Agriculture. 28: 343-349.
16. Lacerda, C.F., J. Cambraia, M.A. Oliva and H.A. Ruiz. 2003. Osmotic adjustment in root and leaves of two sorghum genotypes under NaCl stress. Brazilian Journal of Plant physiology. 15(2): 113-118.
17. Lee, S.Y. and D. Senadhira. 1999. Salinity tolerance of some breeding lines of the new plant type in japonica rice. SABRAO Journal Breed Genetic. 31: 77-81.
18. Lohaus, G., M. Hussman, K. Pennewiss, H. Schneider, J. Zhu and H. Sattelmacher. 2000. Solute balance of a maize (*Zea mayz* L.) sorce leaf as affected by treatment special emphasis. On pheloem retranslocation and ion leaching. Journal of Experimental Botany. 51: 1721-1732.
19. Lynch, L. and A. Lauchli. 1984. Potassium transport in salt stressed barley roots. Planta. 161: 295-301.
20. Maathuis, F.J.M. and A. Amtmann. 1999. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K^+/ Na^+ ratios. Annual of Botany. 84: 123-133.
21. Moradi, F. 2002. Physiological characterization of rice cultivars for soil salinity tolerance during vegetative and reproductine stages. Ph.D. Dissertation. The University of Philippines at Los Banos. Laguna. Philippines. 190 pp.
22. Morgan, J.M. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. Australian Journal of Plant Physiology. 19: 67-76.
23. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment. 25: 239-250.
24. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New phytol. 167: 645-663.
25. Muns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Ann. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.
26. Munns, R. and R.A. James. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and soil. 253: 201-218.
27. Munns, R., S. Husain, A.R. Rivelli, R.A. James, A.G. Condon, M.P. Lindsay, E.S. Lagudah, D.P. Schachtman and R.A. Hare. 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. Plant and Soil. 247: 93-105.
28. Munns, R., R.A. James and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Expermental Botany. 57: 1025-1043.
29. Rezvani Moghadam, P. and A. Koocheki. 2001. Research history on salt affected lands of Iran: Present and future prospects-Halophytic ecosystem. International symposium on prospects of saline agriculture in the GCC countries. Dubai, UE. 3-17.
30. Shannon, M.C., J.D. Rhoades, J.H. Draper, S.C. Scardaci and M.D. Spyres. 1998. Assessment of salt tolerance in rice cultivars in response to salinity problems in California. Crop Science. 38: 394-398.
31. Stewart, J. 1989. Effect of alkali on seed germination. Plant Physiol. 79: 541-550.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

32. Tester, M. and R. Dovenport. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annual of Botany. 91: 503-527.
33. Shereen, A., S. Mumtaz, S. Raza, M.A. Khan and S. Solangi. 2005. Salinity effects on seedling growth and yield components of different inbred rice lines. Pakistan Journal of Botany. 37: 131-139.
34. Suhayda, C.G., X. Wang and R.E. Redmann. 1992. Trace metal composition of Hordeum spesies as altered by salinity. In: Salinity and Sustainable Agriculture. Prairie Salinity Publication No. 1. (Ed. Stepohn H and Curtin D) Swift Current Research Station, Saskatchewn.
35. Ul Haq, T., J. Akhtar, S. Navaz and R. Ahmad. 2009. Morpho-physiological response of rice (*Oryza sativa* L.) varieties to salinity stress. Pakistan Journal of Botany. 41(6): 2943-2956.
36. Yeo, A.R. and T.J. Flowers. 1983. Varietal differences in the toxicity of sodium-ions in rice leaves. Physiology Plantarum. 59: 189-195.
37. Yushida, S., D.A. Forno, J.H. Cock and K.A. Gomez. 1976. Laboratory measurements for physiological studies of rice. Los Banos (philipines): International Rice Research Institute. 83 pp.
38. Zafar, S.M., Y. Ashraf, G. Sarvar, S. Mahmood, A. Kausar and I. Ali. 2004. Variation growth and ion uptake in salt tolerance and sensitive Rice cultivars under NaCl stress. Asian Journal of Plant Sciences. 3(2): 156-158.
39. Zhu, J.S., J.M. Kinet and S. Lutts. 2001. Characterization of rice (*Oryza sative* L.) F-3 populations selected for salt resistance. I. Physiological behavior during vegetative growth. Euphytica. 121: 251-263.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]

Change in Soluble Sugars and Mineral Ions Distribution Pattern in Rice Seedlings Grown Under Saline Condition

I. Nemati[1], F. Moradi[2], M.A. Esmaeili[3] and S. Gholizadeh[4]

1- Instructor, Islamic Azad University, Khoramshahr Branch
2- Assistant Professor, Agricultural Biotechnology, Research Institute of Karaj
3- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Instructor, Islamic Azad University, Khoramshahr Branch (Corresponding author)

Abstract

In order to investigate of effect of salinity (NaCl) on soluble sugars and mineral ions concentrations in salt tolerant (IR651) and sensitive (IR29) rice (*Oryza sativa* L.) genotypes, a factorial based on a completely randomized design was carried out in greenhouse of physiology division of Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII) in 2006. Seedlings were grown in Youshida nutrient solution and NaCl stress was imposed in two levels including 0 and 100 mM at 28 days after sowing. Samples were collected from youngest leaves, leaf sheaths and roots of each plant separately at 72 and 240 hours after salinization then dry weight and concentration of Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+} P and total soluble sugars and Na^+/K^+ was separately determined for each part. Results showed that under stress condition, significant reduction was occurred in dry matter of both cultivars. Na^+, Cl^- and total soluble sugars (TSS) concentration was increased under stress and salt tolerant was able to accumulate higher levels of Na^+ and Cl^- in roots to prevent toxic effect in shoot. K^+ concentration was decreased with salinity and Na^+/K^+ ratio in shoot of IR29 was higher than IR651 while in root was lower. There was a negative correlation between Na^+ with Ca^{2+} and Mg^{2+}. Salt stress caused to reduction in Mn^{2+} concentration but P concentration showed no regular changes during stress period. This experiment showed that there was direct relation between shoot Na^+ and Cl^- with salt tolerance in studied genotypes. Salt tolerance in IR651 probably refers to ability of this genotype to prevent of salt accumulation in upper parts of the root and preserves lower shoot Na^+/K^+ ratio.

Keywords: Rice, NaCl stress, Soluble sugars, Mineral ions

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-11]