نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۲۶۱-۲۴۵
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2019.15651.2474

اثر برهمکنش تیمار سولفات روی و تنش اکسیداتیو کلرید سدیم بر دو پایه قزوینی و بادامی زرند پسته

*حسین شریف‌زادگان[۱]، منصور غلامی[۲] و محمدرضا نائینی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران، [۲]استاد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران، [۳]استادیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۷

چکیده

سابقه و هدف: شوری خاک ناشی از کلرید سدیم یکی از مشکلات مناطق پسته‌کاری کشور می‌باشد و این مشکل با کمبود منابع آبی در حال تشدید است، در این حالت به‌کارگیری پایه مناسب و تغذیه صحیح نقش مهمی ایفا می‌کند. نقش تغذیه با ترکیبات حاوی روی در کم کردن صدمه اکسیداتیو در تنش شوری در گیاهان به‌طور روشن درک نشده است. اثر تغذیه‌ای ترکیبات حاوی روی بر میزان رشد برخی گونه‌های باغی در معرض شوری توسط پژوهشگران گزارش می‌شود اما اطلاعات کمی در خصوص اثر آن بر ویژگی‌های مختلف پایه‌های پسته در دسترس می‌باشد. مطالعه حاضر به بررسی اثر تیمار سولفات روی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی، زیست- شیمیایی و رشد دو پایه پسته تحت تنش شوری می‌پردازد و هدف آن کاهش اثرات زیان‌بار تنش شوری در خاک است.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی سازمان پارک‌های شهرداری قم طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ انجام گرفت. تعداد ۱۵۱۲ عدد بذر دو پایه پسته بادامی زرند و قزوینی از مؤسسه تحقیقات پسته کشور تهیه و تحت تیمارهای جوانه‌زنی قرار گرفتند. جهت پایش دقیق تغذیه با سولفات روی دانهال‌ها با محلول ۵۰ درصدی هوگلند در شرایط گلخانه‌ای و کشت هیدروپونیک تا رسیدن به ارتفاع و رشد موردنظر تغذیه شدند، دانهال‌های رشد کرده در معرض چهار سطح شوری شامل صفر (شاهد)، پنج، ۱۰، ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم و سه سطح روی از منبع سولفات روی آبدار ($ZnSO_4.7H_2O$) شامل صفر (شاهد)، یک و پنج میکرومولار قرار گرفتند. دانهال‌ها جهت بررسی صفات موردنظر به آزمایشگاه گروه باغبانی دانشگاه بوعلی‌سینا منتقل شدند. صفت‌های ارتفاع نهال، وزن تر برگ، کسر مولی کلسیم در ریشه، گروه‌های سولفوهیدریل ریشه، نفوذپذیری غشاء ریشه، نشت یونی روی و میزان مالون دی آلدئید در برگ مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: افزایش غلظت کلرید سدیم تا ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بدون کاربرد سولفات روی سبب کاهش صفات ارتفاع دانهال (بادامی زرند ٦٤/٢ درصد، قزوینی ۵۳/۳ درصد)، وزن تر برگ (بادامی زرند ٦٤/٧ درصد، قزوینی ۵۵/۵ درصد)، کسر مولی کلسیم در ریشه (بادامی زرند ۵٤/۵ درصد، قزوینی ۵۰ درصد) و گروه‌های سولفوهیدریل ریشه (بادامی زرند ۲۹/٦ درصد،

* مسئول مکاتبه: sharifzadegan82@gmail.com

قزوینی ۱٤/۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد گردید با افزایش سطح شوری تا سطح ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر نفوذپذیری غشاء ریشه، نشت یونی روی و میزان مالون دی آلدئید در برگ افزایش یافت. مصرف سولفات روی سبب افزایش وزن تر برگ، ارتفاع نهال، کسر مولی کلسیم در ریشه و غلظت گروه‌های سولفوهیدریل در ریشه گردید. مصرف سولفات روی منجر به کم‌ترین میزان نفوذپذیری غشاء ریشه بین تمامی تیمارها در پایه قزوینی (۵۳ درصد) شد، اثر متقابل تیمار سولفات روی یک میکرومولار و تنش شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش نشت یونی روی (بادامی زرند ۱٤/۳ درصد، قزوینی ۲/۲ درصد) نسبت به تیمار شاهد گردید. بیش‌ترین میزان مالون دی آلدئید (۲/۵ $\mu molgr^{-1}$ DW) در تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بدون کاربرد سولفات روی در پایه بادامی زرند نسبت به تمامی تیمارها مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج بیانگر اثر مثبت روی در افزایش مقاومت گیاه و مهار بهتر رادیکال‌های آزاد تولید شده در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم به‌خصوص در سطوح ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر است. بافت ریشه پایه قزوینی در مقایسه با پایه بادامی زرند غلظت گروه‌های سولفوهیدریل بیش‌تر (بادامی زرند ۱۱۳/۳۳ درصد، قزوینی ۱۹۱/۸۳ درصد) و نشت یونی روی کم‌تری (بادامی زرند ۱۵/۸۷ $\mu g.g^{-1}$ $root4h^{-1}$، قزوینی ٤/٦۱ $\mu g.g^{-1}$ $root4h^{-1}$) دارد، بر همین اساس پایه قزوینی در مقایسه با پایه بادامی زرند که بالاترین میزان مالون دی آلدئید برگ را دارد در برابر تنش کلرید سدیم مقاوم‌تر است و پایه قزوینی می‌تواند با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه به‌عنوان پایه پایدارتر به تنش شوری معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، روی، کلرید سدیم

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در نواحی خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (۱۳). برداشت بی‌رویه آب از منابع زیرزمینی در سالیان اخیر سبب افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی شده و کیفیت آب و به‌دنبال آن خاک به‌شدت رو به کاهش است به‌طوری‌که در عمده مناطق پسته‌کاری کشور مشکل تجمع و سمیت یون‌های مختلف به‌خصوص کلر، سدیم و منیزیم به‌صورت کامل مشهود است و به‌طور معمول مشکل شوری در مناطقی با منابع آبی محدود، دمای بالا، تبخیر زیاد و کیفیت نامطلوب آب اتفاق می‌افتد (۱۸). پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی نیمه‌گرمسیری و از عمده‌ترین محصولات صادراتی باغبانی ایران است، به‌دلیل ویژگی‌های بالقوه‌ای که از نظر سازگاری با شرایط نامساعد محیطی از جمله شوری آب و خاک و مقاومت نسبی به خشکی به‌عنوان یک محصول مناسب جهت مناطق کویری و خشک ایران توصیه می‌شود (۷). طبق آمار نامه جهاد کشاورزی در حال حاضر سطح زیر کشت پسته کشور بالغ بر ٤۰۹ هزار هکتار با عملکرد ۷۷۹ کیلوگرم پسته خشک در هکتار می‌باشد (۲). از مهم‌ترین پایه‌های معمول پسته در کشور، بادامی زرند و قزوینی هستند که هر کدام دارای ویژگی‌های منحصر به فرد خود می‌باشد. در پژوهشی اثر تنش شوری کلرید سدیم بر پنج پایه پسته محلی غالب استان یزد مورد بررسی قرار گرفت این ارقام شامل لرگی، پرندی، جلیل آقایی، حاج عبداللهی و حاج آقاعلی بودند و مشخص شد پایه پرندی به‌علت تولید وزن تر و خشک بالاتر نسبت به سایر پایه‌ها به لحاظ دارا بودن نسبت پتاسیم به سدیم بالا و حفظ این نسبت در سطوح مختلف شوری آب به شرایط تنش کلرید سدیم مقاوم‌تر است (۷). در پژوهشی دیگر تأثیر شوری و منگنز بر رشد و ترکیب شیمیایی پایه قزوینی با سطوح مختلف منگنز در

گلخانه انجام شد و نتایج نشان داد تنش کلرید سدیم رشد رویشی را کاهش داده و از آن‌جا که منگنز تأثیر مثبتی بر برخی ویژگی‌های رشد دارد، این عنصر تحمل پسته به محیط‌هایی با تنش کلرید سدیم را افزایش می‌دهد (۵). در مطالعه الگوی بیان پروتئین‌ها در دو پایه بادامی زرند و بادامی سفید نتایج نشان داد که پایه بادامی زرند توانایی بیش‌تری در حفظ پروتئین‌های برگ و مقاومت بالاتری نسبت به تنش شوری دارد (٦). در بررسی مقاومت پایه‌های بادامی زرند، سرخس و قزوینی به تنش ناشی از زیادی عنصر بر در آب آبیاری، نتایج نشان داد تا غلظت ٤٠ میلی‌گرم اسید بوریک هیچ تأثیری در سرعت رشد نسبی، سرعت فتوسنتز خالص، میزان تجمع پرولین و میزان کلروفیل فلورسانس پایه‌ها مشاهده نشد (۱۵). در ارزیابی هیبرید بین‌گونه‌ای پسته (آتلانتیکا × ورا)، پایه قزوینی و پایه بادامی ریز در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم نتایج نشان داد پایه هیبرید (آتلانتیکا × ورا) کم‌ترین میزان غلظت کلر و سدیم را دارا بود و میزان وزن تر و خشک آن در مقایسه با پایه‌های قزوینی و بادامی ریز بیش‌تر بود (۱۷).

بررسی اثر روی بر ویژگی‌های رشدی، زیست- شیمیایی و فیزیولوژیکی دو رقم زیتون در تنش کلرید سدیم نشان داد روی نقش مهمی در کاهش اثرات تنش شوری در درختان زیتون دارد (۲۰). روی (Zn) یک ریز مغذی ضروری است که کمبود آن در مناطق کشت و کار عمده جهان به‌ویژه در خاک‌های قلیایی عمومیت دارد (۲۳). در گیاهان با کمبود روی تخریب کلروپلاست و کاهش در سطح کلروفیل مشاهده می‌شود که خود سبب کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ گیاه می‌گردد (۲۱).

هدف اصلی این پژوهش کاهش اثرات منفی تنش کلرید سدیم بر ویژگی‌های رشدی، زیست- شیمیایی و فیزیولوژیکی دو پایه پسته بوده و پایه مقاوم‌تر به تنش شوری معرفی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر روی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی و زیست- شیمیایی پایه‌های پسته در شرایط تنش کلرید سدیم، در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹٦ در گلخانه تحقیقاتی سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری قم پژوهش مذکور انجام شد، در مجموع میزان پانزده کیلوگرم از دو نوع بذر بادامی زرند و قزوینی از مرکز تحقیقات پسته رفسنجان تهیه گردید و با توجه به تعداد واحدهای آزمایشی در مجموع میزان ۱۵۱۲ عدد بذر از دو پایه مورد تیمار جوانه‌زنی قرار گرفت. جهت جلوگیری از شیوع بیماری‌های قارچی از قارچ‌کش کاپتان ۵۰ درصد پودر قابل‌حل در آب به‌میزان سه در هزار استفاده گردید. بذرها به‌مدت شش ساعت در آب حاوی قارچ‌کش قرار گرفتند و بعد از تعویض آب و شستشو، بذرها دوباره در آب فاقد قارچ‌کش به‌میزان ۱۸ ساعت قرار گرفتند. سپس بذرها پسته جهت جوانه‌زنی به‌مدت نه روز در سینی‌های یک‌بار مصرف میان پارچه‌های مرطوب متقال در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. خروج اولین ریشه‌چه‌ها از بذر پسته در روز چهارم مشاهده گردید استقرار بذرها در سینی‌های کشت به این صورت بود که پس از قراردادن قطعه‌ای از پارچه متقال در کف سینی‌ها، بذر در حال جوانه‌زنی روی آن قرار گرفت سپس با قطعه‌ای از پارچه متقال مرطوب، روی بذرها به‌طور کامل پوشانده شد، رطوبت بستر با فرایند مه‌پاشی مستمر با فاصله ۳ ساعت یک‌بار تامین شد ولی اجازه تجمع آب در سینی‌های کشت داده نشد پس از ادامه جوانه‌زنی در روز نهم تیمار و رسیدن اندازه بیش‌تر ریشه‌چه‌ها به‌میزان دو سانتی‌متر، بذرهای جوانه‌زده با احتیاط لازم به بستر کشت

(گلدان‌های پلاستیکی پنج لیتری) محتوی خاک لومی شنی (٤٠ درصد خاک زراعی، ٤٠ درصد ماسه، ۲۰ درصد کود دامی پوسیده) در داخل گلخانه با درجه حرارت روز و شب ۲۵ و ۱٦ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد انتقال داده شد. پس از گذشت چهار هفته از کاشت در گلدان‌های پلاستیکی و رسیدن به مرحله پنج الی شش برگی، دانهال‌های پسته به بستر ماسه و پرلیت منتقل شدند و تیمار غذایی با محلول ۵۰ درصد هوگلند صورت گرفت. دمای روز ۲۵ و دمای شب ۱٦ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد تنظیم شد. پس از گذشت چهار ماه زمانی‌که دانهال‌ها به مرحله ۱۲ تا ۱٤ برگی رسیدند تیمارهای سولفات روی و کلرید سدیم به‌مدت شش ماه اعمال گردید (جدول ۱). این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (دارای سه عامل) در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. عامل اول پایه پسته در دو سطح (بادامی زرند و قزوینی)، عامل دوم غلظت روی از منبع سولفات روی آبدار ($ZnSO_4.7H_2O$) در سه سطح (صفر "شاهد"، یک و پنج میکرومولار) و عامل سوم غلظت کلرید سدیم به‌عنوان منبع شوری متناسب با میزان شوری موجود در مناطق پسته کاری کشور در چهار سطح (صفر "شاهد"، پنج، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) بود. لازم به ذکر است تیمارهای شوری در محلول غذایی هوگلند (با و بدون مصرف کود سولفات روی) اعمال شد. تعداد ۲٤ تیمار انجام شد و برای هر واحد آزمایشی هفت گلدان و هر گلدان حاوی یک نهال منظور شد که در مجموع ۵۰٤ گلدان (برای هر رقم ۲۵۲ گلدان) مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور جلوگیری از شوک اسمزی، تیمارهای شوری به‌طور تدریجی و به روش محلول در آب آبیاری و در خلال ۱۵ روز به محلول غذایی تا رسیدن به غلظت موردنظر افزوده شد (۱٦). محلول غذایی ۵۰ درصد هوگلند، تیمارهای کلرید سدیم و سولفات روی به‌میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر یک روز در میان به گلدان‌ها داده شد پس از رسیدن میزان شوری هر یک از تیمارها به سطوح موردنظر، گیاهان در همین شرایط به‌مدت دو ماه نگهداری شدند و در نهایت ویژگی‌های پیش‌بینی‌شده به‌شرح ذیل اندازه‌گیری گردید. به‌طور خلاصه از نظر زمانی طول دوره هر تیمار به این شرح می‌باشد: مرحله جوانه‌دار کردن بذرها (یک ماه)، مرحله رشد دانهال‌ها تا چهار برگی (یک ماه)، مرحله تیمار با محلول غذایی هوگلند و رسیدن رشد دانهال‌ها تا ۱٤-۱۲ برگی (چهار ماه)، مرحله تیمار تدریجی با سولفات روی و تنش شوری تا رسیدن به سطوح موردنظر جهت جلوگیری از شوک اسمزی (چهار ماه)، ادامه انجام تیمارها پس از رسیدن به محدوده موردنظر (دو ماه). در تمامی طول مدت آزمایش EC و pH محلول‌های استفاده شده اندازه‌گیری شد. هدف از اندازه‌گیری مرتب و روزانه میزان EC و pH ایجاد شرایط جذب دقیق عناصر غذایی محلول هوگلند در کشت هیدروپونیک دانهال‌های پسته بود pH مناسب تغذیه دانهال‌های پسته ٦/۵ تا ٦/۹ و میزان هدایت الکتریکی محلول غذایی بدون اعمال تنش شوری کلرید سدیم ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم شد که این میزان هدایت الکتریکی ناشی از نمک‌های محلول درآب فرمول هوگلند ۵۰ درصد می‌باشد. محلول‌های تغذیه در هیدروپونیک با آب مقطر تهیه شدند. در شروع اعمال تیمارها ارتفاع هر نهال اندازه‌گیری شد و در پایان آزمایش طول شاخه اصلی اندازه‌گیری گردید و از ارتفاع اولیه هر نهال کسر شد و حاصل آن به‌عنوان افزایش ارتفاع نهال محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری وزن تر برگ ابتدا برگ به‌طور جداگانه برداشت شده و برای اندازه‌گیری وزن تر توزین

گردید. اندازه‌گیری نشت یونی روی به این صورت انجام شد که یک نهال از هر تکرار جدا شده و ریشه‌های آن به‌مدت ۱۵ دقیقه در محلول (سولفات کلسیم نیم میلی‌مولار به همراه اسید بوریک ۰/۰۱ میلی‌مولار) قرار داده شد تا محلول غذایی چسبیده به ریشه گیاه از آن جدا شود. سپس ریشه‌ها به خوبی با آب مقطر شسته و به‌مدت چهار ساعت در ظروف ٤۰۰ میلی‌متری حاوی محلول نشت یونی (سولفات کلسیم نیم میلی‌مولار به همراه اسید بوریک ۰/۰۱ میلی‌مولار) قرار داده شد. غلظت عنصر روی محلول نشت شده از ریشه گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی (واریان، اسپکترا۲۲۰) اندازه‌گیری شد. جهت بررسی نفوذپذیری ریشه‌ها، ریشه کامل گیاه پس از برداشت با آب مقطر شستشو داده شد و در بشر قرار گرفت حدود ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر به هر بشر افزوده شد و درب آن با فویل آلومنیومی پوشانده شد و به‌مدت سه ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار گرفت. رسانایی الکتریکی محلول (EC_1) قرائت شد، سپس بشرها بر روی گرم‌کن قرار داده شدند. با گذشت دو دقیقه از به جوش آمدن محلول، و هم‌دما شدن آن با محیط، رسانایی الکتریکی (EC_2) آن دوباره اندازه‌گیری شد. در نهایت نفوذپذیری ریشه طبق رابطه ۱ محاسبه گردید (۲۲).

$$\text{نفوذپذیری ریشه} = [EC_1/EC_2] \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

جدول ۱- جدول نوع عناصر و غلظت آن‌ها در محلول غذایی هوگلند جهت تغذیه دانهال‌های پسته.

Table 1. Elements and their concentration in Hoagland diet for feeding pistachio seedlings.

ترکیب Type of fertilizer	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر) Concentration of storage solution (g / liter)	غلظت نهایی (میلی‌لیتر محلول ذخیره در لیتر) Ultimate concentration (ml of storage solution per liter
نیترات پتاسیم (Potassium nitrate)	101.1	6
نیترات کلسیم (Calcium nitrate)	236.16	4
مونو آمونیوم فسفات (Mono ammonium phosphate)	115.08	2
سولفات منیزیم (Magnesium Sulphate)	246.49	1
کلرید پتاسیم (Potassium chloride)	3.728	1
اسید بوریک (Boric acid)	1.546	1
سولفات منگنز (Manganese sulfate)	0.845	1
سولفات روی (Zinc sulfate)	0.575	1
سولفات مس (Copper sulfate)	0.125	1
مولیبدات (۸۵ درصد مولیبدیت) (Molybdenum)	0.034	1
سکوسترین آهن (Iron seguestin)	18.62	1

غلظت گروه‌های سولفهیدریل با استفاده از معرف المان (دی تیو بیس نیتروبنزوئیک اسید) به روش سدلاک و لیندزی (۱۹٦۸) اندازه‌گیری شد. ریشه‌های تازه در اتیلن دی آمین دی تترااسیتیک اسید ۰/۰۲ مولار پودر شده و مقدار نیم میلی‌لیتر از محلول رویی با ۱/۵ میلی‌لیتر بافر تریس ۰/۲ مولار (واکنش ۸/۲) و ۰/۱ میلی‌لیتر دی تیوبیس نیتروبنزوئیک اسید ۰/۰۱ مولار مخلوط گردید. با افزودن ۷/۹ میلی‌لیتر متانول خالص، حجم مخلوط به ده میلی‌لیتر رسانده شد و بعد از ۱۵ دقیقه مقدار جذب در طول موج ٤۱۲ نانومتر قرائت گردید. غلظت گروه‌های سولفوهیدریل با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (۱۹).

جذب نوری = Ab

$SH = 5.02 \times abs \times 53.73/X$

جهت اندازه‌گیری غلظت مالون دی آلدئید در برگ، ۰/۳ گرم بافت تازه برگ در ازت مایع خرد شده و با محلول ۰/۵ اسید تیوباربیتوریک و ۲۰ درصد اسید تری کلرواسیتیک در هاون چینی حل گردید. سپس در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه جوشانده شد. آن‌گاه واکنش در یخ متوقف گردید. بعد از آن نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه در دور ۱۰۰۰ سانتریفوژ شدند و عصاره‌های به‌دست آمده با دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۵۲۳ و ٦۰۰ نانومتر قرائت گردیدند. جذب در طول موج ٦۰۰ نانومتر از جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر کسر گردید. غلظت مالون دی آلدئید با استفاده از ضریب جذب $155\ Mm^{-1}cm^{1}$ محاسبه شد (۳). کسر مولی کلسیم در ریشه از تقسیم غلظت کلسیم ریشه بر مجموع غلظت کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم ریشه به‌دست آمد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده نرم‌افزار MSTATC و میانگین صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد آماری مقایسه شدند.

نتایج و بحث

وزن تر برگ: تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر نوع پایه، غلظت سولفات روی، سطح شوری و برهم‌کنش پایه در شوری بر وزن تر برگ معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول‌های ۳ و ٤) نشان داد با افزایش غلظت کلرید سدیم تا میزان ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر برگ پسته پایه بادامی زرند نسبت به تیمار شاهد به‌میزان ٦۵ درصد کاهش یافت که این میزان در پایه قزوینی ۵۵ درصد شد. در پایه قزوینی افزایش شوری تا سطح هدایت الکتریکی پنج دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر وزن تر برگ نداشت در حالی‌که کاهش معنی‌دار وزن تر برگ پایه بادامی زرند در تیمار پنج دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده گردید. همان‌طور که در جدول‌های ۳ و ٤ مشاهده می‌شود با افزایش سطح سولفات روی از صفر (شاهد) به یک و پنج میکرو مولار، وزن تر برگ به‌طور معنی‌داری در پایه بادامی زرند به‌میزان ۲۹ درصد و در پایه قزوینی ۳۳ درصد افزایش یافت. طبق گزارش نائینی و همکاران (۲۰۱٦) کاهش قابل‌ملاحظه وزن تر زیتون در شرایط تنش شوری گزارش شده است که این موضوع مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد (۲۱). در ارتباط با تأثیر سولفات روی بر افزایش وزن تر گیاهان و تحمل به شوری مطالعاتی انجام شده است (۱۱). روی می‌تواند با گونه‌های اکسیژن فعال واکنشگر که توسط NADPH Oxidase باند شده به غشاء تولید شده مداخله کند و یک آنتی‌اکسیدان حفاظتی عالی در برابر اکسیداسیون اجزاء سلولی حیاتی متعدد مانند کلروفیل، چربی‌ها و پروتئین غشاء (شامل آنزیم‌های باندشده به روی، آنزیم‌های شامل گروه‌های سولفوهیدریل ریشه، پروتئین‌های باندشده به DNA و پروتئین‌های غشاء) را ارائه دهد (۹).

ارتفاع نهال: نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش (جدول ۲) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار پایه، سولفات روی، شوری و نیز برهم‌کنش پایه در شوری در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع نهال بود. هم‌چنین برهم کنش سولفات روی و شوری در ارتفاع نهال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شوری، ارتفاع دانهال پسته کاهش یافت، اگرچه شدت تأثیر سطح شوری بر ارتفاع نهال دو پایه مورد مطالعه متفاوت بود. در پایه قزوینی افزایش شوری تا سطح هدایت الکتریکی پنج دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع نهال نداشت در حالی‌که کاهش معنی‌دار ارتفاع نهال پایه بادامی زرند در تیمار پنج دسی‌زبمنیس بر متر به‌میزان ۷/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید. براساس نتایج پژوهش حاضر افزایش سطح شوری تا سطح ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش بیش‌تر ارتفاع نهال در پایه بادامی زرند (به‌میزان ٦٤/٢ درصد) نسبت به پایه قزوینی (به‌میزان ۵۳/۳ درصد) گردید تنش اسمزی در مرحله اول تنش شوری موجب کاهش محتوای آب سلول‌ها می‌شود و طویل شدن آن‌ها را با مشکل روبرو می‌کند و حتی پس از ایجاد تعادل اسمزی و تامین فشار اسمزی مجدد سلول‌ها، گسترش و طویل شدن آن‌ها به کندی صورت می‌گیرد، به همین جهت در اثر تنش شوری کاهش ارتفاع رخ می‌دهد، کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش شوری به کم شدن ظرفیت فتوسنتزی گیاه نسبت داده شده است. در این شرایط گیاهان برای حفظ آماس سلولی و تنظیم اسمزی برخی مواد آلی مانند پرولین و مانیتول می‌سازند و به‌خاطر صرف انرژی زیاد برای تنظیم اسمزی رشد اندام هوایی کاهش پیدا می‌کند (۸). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاربرد یک میکرومولار سولفات روی، در همه سطوح، ارتفاع نهال افزایش یافت اما افزایش سطح روی تا پنج میکرومولار تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع نهال نداشت. در هر دو پایه قزوینی و بادامی زرند در تمام سطوح روی، با افزایش شوری ارتفاع نهال کاهش یافت (جدول‌های ۳ و ٤). لازم به ذکر است در پایه قزوینی در حضور سولفات روی، صرف‌نظر از مقدار مصرفی این ترکیب با افزایش شوری تا پنج دسی‌زیمنس بر متر ارتفاع نهال کاهش نشان نداد در حالی‌که در پایه بادامی زرند افزایش شوری تا پنج دسی‌زیمنس ارتفاع نهال را به‌میزان ٤/٣ درصد کاهش داد. به‌نظر می‌رسد اختلاف این تأثیرپذیری از روی می‌تواند به جنبه‌های اختلاف ژنتیکی دو پایه مربوط باشد به‌طوری‌که پایه قزوینی توانایی جذب روی و به‌کارگیری آن در آنزیم‌های مهارکننده رادیکال‌های آزاد تولیدشده در شرایط تنش شوری را دارا بوده در حالی‌که در پایه بادامی زرند این توانایی به‌میزان کم‌تری مشاهده شد.

اثر روی بر تولید هورمون اکسین به اثبات رسیده است. هورمون اکسین باعث افزایش رشد رویشی در گیاه می‌گردد بنابراین روی با تولید هورمون اکسین باعث افزایش رشد رویشی می‌گردد. از طرفی کمبود روی سبب اختلال در فرایندهای سلولی و در نتیجه کاهش شدید رشد و نمو گیاه می‌شود (١٤).

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و رشد دو پایه پسته تحت‌تأثیر سولفات روی و تنش کلرید سدیم.

Table 2. Analysis of variance of physiological, biochemical and growth characteristics of two pistachio Rootstock under the influence of zinc sulfate and sodium chloride stress.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	ارتفاع نهال Seedlings height	وزن تر برگ Fresh leaf weight	کسر مولی کلسیم ریشه Fraction of molar calcium of the root	گروه‌های سولفیدریل Sulfidryl groups	نفوذپذیری ریشه Root permeability	نشت یونی روی از ریشه Zinc ion leakage from root	مالون دی آلدئید Malondialdehyde
پایه Rootstock	1	74.8272**	16.7235**	0.0939**	110920.5**	382.72**	2243.3835**	0.0834**
سولفات روی $ZnSO_4$	2	19.0739**	24.4054**	0.0005**	31.5417**	34.4306**	22.7204**	0.0223**
پایه * سولفات روی Rootstock * $ZnSO_4$	2	3.9022**	0.2176**	0.0004**	0.0417ns	3.5972**	22.3085**	0.0024**
شوری Salinity	3	315.7607**	107.7905**	0.3349**	4942.8704**	462.4815**	123.7794**	1.7344**
پایه * شوری Rootstock * Salinity	3	7.8124**	0.3598**	0.0057**	407.7593**	0.4630ns	81.6372**	0.0097**
شوری * سولفات روی Salinity * $ZnSO_4$	6	3.4030**	1.6619**	0.0006**	0.6343ns	12.8009**	2.7730**	0.0028**
پایه * سولفات روی * شوری Rootstock * $ZnSO_4$ * Salinity	6	4.6757**	0.1089**	0.0003**	1.4676**	1.5602**	3.0466**	0.0020**
خطای آزمایش Error	48	0.0153	0.0074	0.0004	0.5694	0.2778	0.3825	0.0002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	1.163629	1.0924	4.7499	0.4946	0.8352	6.0659	0.3355

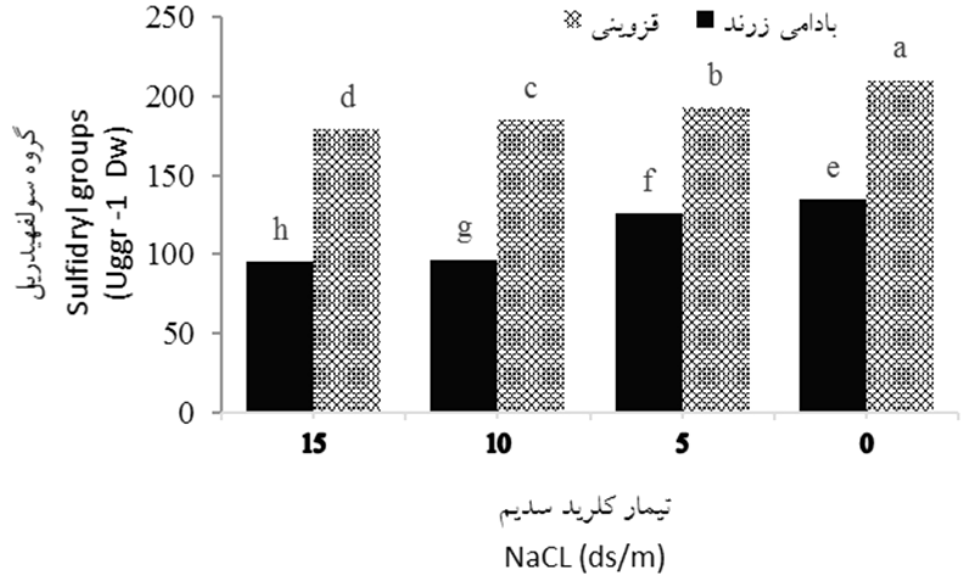
** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

** Significant at 1%, ns not Significant.

کسر مولی کلسیم در ریشه: بررسی کسر مولی کلسیم در ریشه نشان داد که بین پایه و سطوح مختلف سولفات روی و شوری اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت. همچنین فقط برهم‌کنش سولفات روی و شوری در کسر مولی کلسیم در ریشه و برهم‌کنش پایه در شوری در کسر مولی کلسیم در ریشه اختلاف معنی‌داری بود (جدول‌های ۳ و ٤). نتایج برهم‌کنش پایه در شوری نشان داد که با افزایش سطح شوری، کسر مولی کلسیم در برگ در هر دو پایه کاهش معنی‌داری یافت که مقدار کاهش آن نسبت به تیمار شاهد در پایه بادامی زرند ٥٨/٤ درصد و در پایه قزوینی ٤٦/٣ درصد شد. به‌علاوه پایه قزوینی در تمام سطوح شوری دارای کسر مولی کلسیم بالاتری در مقایسه با پایه بادامی زرند بود. نتایج برهم‌کنش سولفات روی در شوری بر کسر مولی کلسیم ریشه نشان داد کاربرد سولفات روی تأثیری بر این نسبت در سطوح مختلف شوری کلرید سدیم نداشت. پژوهش‌ها نشان داده است که در شرایط شور با وجود کلسیم در محیط، جذب این عنصر مختل می‌شود. یکی از دلایل مهم در این خصوص کاهش کسر مولی کلسیم (نسبت کلسیم به مجموع کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) در این شرایط ذکر شده است. بنابراین با وجود آن‌که نسبت پتاسیم به سدیم در پایه بادامی زرند نسبت به پایه قزوینی بالاتر بود ولی به‌علت کاهش معنی‌دار کسر مولی کلسیم در این شرایط، رشد و جذب سایر عناصر مختل گردید. جانشین شدن سدیم به‌جای کلسیم در دیواره سلول‌های ریشه در شرایط شور در پایه بادامی زرند بیش‌تر از پایه قزوینی بود و این موضوع سبب افزایش نشت یونی از سلول‌های ریشه و نیز جذب مقادیر بالاتر سدیم نسبت به پتاسیم، کلسیم و منیزیم شد و بنابراین نسبت کلسیم به مجموع کاتیون‌ها کاهش معنی‌داری یافت. کلسیم نقش به‌سزایی در تکامل غشاء سلولی ریشه به عهده دارد و کمبود آن می‌تواند موجب برهم‌خوردن وظایف غشاء و نفوذپذیری آن شده و به تبع آن جذب یون‌های سمی سدیم یا کلر افزایش یابد و در آخر موجب کاهش عملکرد گیاه شود (۱۰).

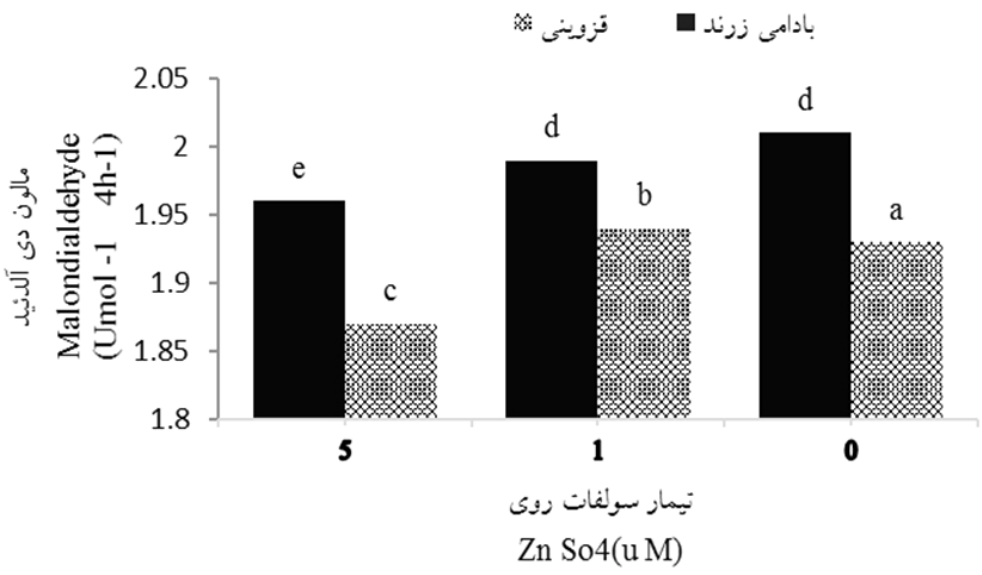
گروه‌های سولفوهیدریل ریشه: در بررسی گروه‌های سولفوهیدریل ریشه نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد اثر پایه و تنش کلرید سدیم و اثر متقابل پایه و تنش کلرید سدیم بر گروه‌های سولفوهیدریل ریشه معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ٤). نتایج اثر متقابل پایه در تنش کلرید سدیم بر گروه‌های سولفهیدریل ریشه نشان داد که با افزایش شوری غلظت گروه‌های سولفوهیدریل ریشه در پایه بادامی زرند ۳۰/۳ درصد و در پایه قزوینی ١٤/٨ درصد کاهش یافت. در عین‌حال غلظت گروه‌های سولفوهیدریل ریشه در پایه قزوینی بیش‌تر از بادامی زرند بود که نشان می‌دهد پایه قزوینی کم‌تر تحت‌تأثیر تنش شوری قرار گرفته است. طبق یافته‌های پژوهش حاضر در بالاترین سطح تنش شوری (پانزده دسی‌زیمنس بر متر) بدون تیمار سولفات روی میزان گروه‌های سولفوهیدریل پایه قزوینی $\mu gg^{-1}DW$ ۱۷۹ و در پایه بادامی زرند $\mu gg^{-1}DW$ ۹۵ بود. این نتایج با تأثیر شوری بر شاخص‌های رشد گیاه همخوانی دارد و نشان می‌دهد یکی از دلایل تحمل بیش‌تر در برابر شوری به بالاتر بودن غلظت این گروه‌ها در ریشه مرتبط باشد. یکی از سازوکارهای عمده که تحمل به

تنش ناشی از کلرید سدیم را در گیاه افزایش می‌دهد بالا بردن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان است. در این میان، غلظت بالاتر گروه‌های سولفوهیدریل باعث فعالیت بیش‌تر آنزیم سوپراکسید دسموتاز و کاتالاز در ریشه پایه‌های مقاوم‌تر نسبت به پایه‌های حساس‌تر به تنش شوری می‌شود. گروه‌های سولفوهیدریل یکی از اجزاء مهم در توانایی آنتی‌اکسیدانی سلول‌های گیاه هستند. غالب گروه‌های سولفوهیدریل غیرپروتئینی در گیاهان مانند گلوتاتیون که یک آنتی‌اکسیدان مهم در سلول‌های گیاه می‌باشد باعث سمیت‌زدایی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر می‌گردد (۹) (٤). در مطالعه حاضر با افزایش شوری میزان گروه‌های سولفوهیدریل ریشه در هر دو پایه، کاهش معنی‌داری یافت که با نتایج سایر پژوهشگران هم‌خوانی داشت. براساس گزارش‌های افزایش شوری باعث کاهش جذب روی شده و کمبود روی باعث کاهش گروه‌های سولفوهیدریل در ریشه می‌شود. در این بررسی نتایج اثر سطوح مختلف سولفات بر غلظت گروه‌های سولفوهیدریل ریشه، نشان داد که با افزایش سطوح روی، غلظت گروه‌های سولفوهیدریل ریشه افزایش یافت، اگرچه این افزایش در پایه بادامی زرند معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد در اثر متقابل سه‌گانه پایه‌ها، سولفات روی پنج میکرومولار و تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، پایه قزوینی دارای ۱۸۰$\mu g g^{-1} DW$ گروه سولفوهیدریل و پایه بادامی زرند دارای ۹۷ $\mu g g^{-1} DW$ گروه سولفوهیدریل بود که نشان‌دهنده میزان بالای گروه‌های سولفوهیدریل در پایه قزوینی نسبت به پایه بادامی زرند است. مطالعات نشان داده تغذیه روی از طریق افزایش غلظت گروه‌های سولفوهیدریل در ریشه سبب کاهش نفوذپذیری غشاء ریشه و کاهش پراکسیده شدن چربی حاصل از تنش رادیکال‌های آزاد می‌شود. روی نقش کلیدی در غشاء سلولی در شرایط تنش را دارد که این نقش به‌صورت عمده از طریق محافظت از اکسیداسیون گروه‌های سولفوهیدریل به‌وسیله گروه‌های رادیکال آزاد (مثل سوپراکسید و هیدروکسیل) یا عناصر سنگین مثل کادمیوم اعمال می‌شود (۳). تاکنون دو سازوکار برای اثر روی ذکر شده است. گروهی از پژوهشگران بر این باورند که اثر روی به واسطه جلوگیری از اکسیداسیون گروه‌های سولفوهیدریل با ایجاد پوشش فیزیکی اطراف این گروه‌ها می‌باشد (۲۲). در پژوهشی به اثر محافظتی روی با اتصال به فسفولیپیدها و گروه‌های سولفوهیدریل غشاء سلولی و در نتیجه پایداری این غشاءها تاکید می‌شود (۱۲). روی این ترکیبات را در برابر خسارت‌های ناشی از اکسایش محافظت می‌کند. هنگامی که اجزاء ساختمانی غشاء سلولی گیاهان دچار کمبود روی اکسید می‌شوند ساختار غشاء سلولی خسارت‌دیده و ترشح یون‌ها از سلول‌های ریشه افزایش پیدا می‌کند (١٤).



شکل ۱- اثر برهم‌کنش تیمار کلرید سدیم با پایه بر میزان گروه‌های سولفوهیدریل ریشه.

Fig. 1. Effect of interaction of sodium chloride treatment with rootstock on the amount of root sulfidryl groups.



شکل ۲- اثر برهم‌کنش تیمار سولفات روی و پایه بر میزان مالون دی آلدئید در برگ.

Fig. 2. Effect of interaction of zinc sulfate treatment and rootstock on the amount of leaf Malondialdehyde.

جدول ۳- برهم‌کنش تیمار سولفات روی با تنش کلرید سدیم بر برخی ویژگی‌های پایه پسته قزوینی.

Table 3. Interaction of zinc sulfate treatment with sodium chloride stress on some of Qazvini rootstock characteristics.

سطوح سولفات روی Zn level	سطوح کلرید سدیم NaCl Level	ارتفاع نهال (cm) Seedlings height	وزن تر برگ ($g.plant^{-1}$) Fresh leaf weight	کسر مولی کلسیم ریشه (٪) Fraction of molar calcium of the root	گروه‌های سولفیدریل ($u\ ggr^{-1}$ Dw) Sulfidryl groups	نفوذپذیری ریشه (٪) Root permeability	نشت یونی روی از ریشه ($u\ ggr^{-1}4h^{-1}$) Zinc ion leakage from root	مالون دی آلدئید ($u\ mol^{-1}4h^{-1}$) Malondialdehyde
شاهد (۰) Control		11.19^{b}	7.38^{d}	0.4742^{a}	190.67^{c}	62.17^{d}	4.63^{d}	1.93^{d}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)		12.45^{a}	8.09^{c}	0.4767^{a}	191.83^{b}	61.17^{e}	4.60^{d}	1.94^{d}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)		11.28^{b}	9.53^{a}	0.4617^{a}	193.00^{a}	59.08^{f}	4.61^{d}	1.87^{e}
	شاهد (۰) Control	15.57^{a}	10.16^{a}	0.61^{a}	210.67^{a}	56.00^{h}	3.99^{g}	1.64^{h}
	شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	15.38^{b}	9.99^{b}	0.54^{b}	192.56^{b}	57.00^{g}	4.47^{fg}	1.78^{f}
	شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	8.29^{e}	8.00^{e}	0.43^{d}	185.00^{c}	63.22^{d}	4.76^{ef}	1.93^{d}
	شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	7.33^{f}	5.20^{g}	0.31^{e}	179.11^{d}	67.00^{c}	5.24^{e}	2.31^{b}
شاهد (۰) Control	شاهد (۰) Control	14.80^{d}	9.00^{g}	0.60^{a}	208.67^{c}	57.67^{k}	4.00^{k}	1.67^{k}
شاهد (۰) Control	شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	14.97^{d}	9.00^{g}	0.54^{b}	191.33^{e}	60.33^{i}	4.57^{jk}	1.82^{h}
شاهد (۰) Control	شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	8.00^{h}	7.47^{j}	0.45^{d}	184.33^{g}	63.67^{ef}	4.73^{jk}	1.94^{f}
شاهد (۰) Control	شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	7.00^{j}	4.07^{p}	0.31^{f}	178.33^{i}	67.00^{d}	5.23^{j}	2.30^{e}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شاهد (۰) control	16.97^{a}	9.33^{f}	0.61^{a}	211.00^{b}	57.67^{k}	4.00^{k}	1.65^{k}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	15.93^{b}	9.50^{e}	0.55^{b}	192.67^{d}	57.00^{k}	4.33^{jk}	1.80^{i}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	8.90^{g}	8.07^{i}	0.45^{d}	184.67^{g}	63.00^{fg}	4.80^{jk}	1.94^{f}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	8.00^{h}	5.47^{n}	0.31^{f}	$179.00h^{i}$	67.00^{d}	5.27^{j}	2.38^{b}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شاهد (۰) Control	14.93^{d}	12.13^{a}	0.60^{a}	212.33^{a}	52.67^{m}	3.97^{k}	1.60^{l}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	15.23^{c}	11.47^{b}	0.54^{b}	193.67^{d}	53.67^{l}	$4.50j^{k}$	1.72^{j}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	7.97^{h}	8.47^{h}	0.397^{e}	186.00^{f}	63.00^{fg}	$4.73j^{k}$	1.91^{g}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	7.00^{j}	6.07^{m}	0.307^{f}	180.00^{h}	67.00^{d}	5.23^{j}	2.26^{d}

جدول ٤- برهم‌کنش تیمار سولفات روی با تنش کلرید سدیم بر برخی ویژگی‌های پایه پسته بادامی زرند.

Table 4. Interaction of zinc sulfate treatment with sodium chloride stress on some of Badami zarand rootstock characteristics.

سطوح سولفات روی Zn level	سطوح کلرید سدیم NaCl Level	ارتفاع نهال (cm) Seedlings height	وزن تر برگ ($g.plant^{-1}$) Fresh leaf weight	کسر مولی کلسیم ریشه (٪) Fraction of molar calcium of the root	گروه‌های سولفیدریل ($u\ ggr^{-1}$ Dw) Sulfidryl groups	نفوذپذیری ریشه (٪) Root permeability	نشت یونی روی از ریشه ($u\ ggr^{-1}4h^{-1}$) Zinc ion leakage from root	مالون دی آلدئید ($u\ mol^{-1}4h^{-1}$) Malondialdehyde
شاهد (٠) Control		9.7^{d}	6.52^{f}	0.3958^{b}	112.17^{f}	66.25^{a}	16.43^{b}	2.01^{a}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)		10.7^{c}	7.25^{e}	0.4017^{b}	113.42^{e}	65.42^{b}	13.60^{c}	1.99^{b}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)		8.33^{e}	8.35^{b}	0.3983^{b}	114.42^{d}	64.58^{c}	17.31^{a}	1.96^{c}
	شاهد (٠) Control	14.27^{c}	9.48^{c}	0.55^{b}	135.00^{e}	60.89^{f}	11.93^{d}	1.69^{g}
	شوری ٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	11.48^{d}	9.19^{d}	0.49^{c}	126.00^{f}	61.89^{e}	13.10^{c}	1.84^{e}
	شوری ١٠ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	7.34^{f}	6.93^{f}	0.31^{e}	96.67^{g}	67.56^{b}	15.54^{b}	1.96^{c}
	شوری ١٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	5.32^{g}	3.89^{h}	0.25^{f}	95.67^{h}	71.33^{a}	22.53^{a}	2.45^{a}
شاهد (٠) Control	شاهد (٠) Control	14.067^{e}	8.43^{h}	0.55^{b}	134.33^{k}	62.67^{g}	10.97^{h}	1.72^{j}
شاهد (٠) Control	شوری ٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	13.00^{f}	8.07^{i}	0.48^{cd}	124.67^{m}	64.00^{e}	14.00^{e}	1.84^{h}
شاهد (٠) Control	شوری ١٠ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	7.033^{j}	6.43^{l}	0.31^{f}	94.67^{p}	67.33^{cd}	16.97^{c}	1.97^{e}
شاهد (٠) Control	شوری ١٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	5.00^{l}	3.13^{q}	0.25^{g}	95.00^{p}	71.00^{b}	23.77^{a}	2.49^{a}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شاهد (٠)Control	14.83^{d}	9.00^{g}	0.55^{b}	135.0^{jk}	61.00^{hi}	9.33^{i}	1.66^{k}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شوری ٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	14.00^{e}	9.03^{g}	0.50^{c}	126.33^{l}	61.33^{h}	12.00^{g}	1.84^{h}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شوری ١٠ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	8.00^{h}	6.97^{k}	0.31^{f}	96.67^{o}	67.33^{cd}	12.73^{fg}	1.97^{e}
سولفات روی یک میکرومولار ($ZnSo_4$ 1um)	شوری ١٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	5.97^{k}	4.00^{p}	0.25^{g}	95.67^{op}	72.00^{a}	20.33^{b}	2.48^{a}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شاهد (٠) Control	13.90^{e}	11.00^{c}	0.54^{b}	135.67^{j}	59.00^{j}	15.50^{d}	1.67^{k}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شوری ٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 5(ds/m)	7.43^{i}	10.47^{d}	0.50^{c}	127.00^{l}	60.33^{i}	13.30^{ef}	1.83^{h}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شوری ١٠ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 10(ds/m)	7.00^{j}	7.40^{j}	0.30^{f}	98.67^{n}	68.00^{c}	16.93^{c}	1.95^{ef}
سولفات روی پنج میکرومولار ($ZnSo_4$ 5um)	شوری ١٥ دسی‌زیمنس بر متر NaCl 15(ds/m)	5.00^{l}	4.53^{o}	0.25^{g}	96.33^{o}	71.00^{b}	23.50^{a}	2.38^{b}

جدول ۵- بررسی ویژگی‌های پایه‌های پسته بادامی زرند و قزوینی تحت‌تأثیر سولفات روی و تنش کلرید سدیم.

Table 5. Investigating the characteristics of Badami Zarand and Ghazvini pistachio rootstocks Affected by zinc sulfate and sodium chloride stress.

پایه Rootstock	وزن تر برگ (g.plant $^{-1}$) Fresh leaf weight	کسر مولی کلسیم ریشه (٪) Fraction of molar calcium of the root	گروه‌های سولفیدریل ریشه (u ggr^{-1} Dw) Sulfidryl groups	نفوذپذیری ریشه (٪) Root permeability	نشت یونی روی از ریشه (u ggr^{-1}4h^{-1}) Zinc ion leakage from root	مالون دی آلدئید (u mol^{-1}4h^{-1}) Malondialdehyde	ارتفاع نهال (cm) Seedlings height
بادامی Bahama	7.37^{b}	0.40^{b}	113.33^{b}	65.42^{a}	15.78^{a}	1.98^{a}	9.60^{b}
قزوینی Ghazvini	8.34^{a}	0.47^{a}	191.83^{a}	60.81^{b}	4.61^{b}	1.92^{b}	11.64^{a}

نفوذپذیری ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر پایه، سولفات روی، شوری و برهم‌کنش میان آن‌ها بر نفوذپذیری ریشه معنی‌دار است. (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش پایه، سولفات روی، شوری بر نفوذپذیری غشاء ریشه (جدول‌های ۳ و ٤) نشان داد با افزایش سطح شوری در هر دو پایه، میزان نفوذپذیری غشاء ریشه در تنش شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ۳/۵ درصد افزایش یافت، میزان نفوذپذیری غشاء ریشه در سطح تنش پنج دسی‌زیمنس بر متر در پایه بادامی زرند ٦٤/٥ درصد و در پایه قزوینی ٦۰/۳ بود که بیانگر این است که پایه بادامی زرند بیش‌تر تحت‌تأثیر صدمه اکسیداتیوی قرار گرفته و در نتیجه به شوری حساس‌تر می‌باشد، این در حالی است که با کاربرد سولفات روی در هر دو پایه، میزان نفوذپذیری غشاء ریشه کاهش پیدا کرد. در برخی پژوهش‌ها مصرف روی تا سطوح متوسط شوری معادل پنج دسی‌زیمنس بر متر اثر مثبت بر کاهش نفوذپذیری غشاء ریشه داشته و با افزایش سطح هدایت الکتریکی آب تا ده دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم، تأثیری بر این ویژگی در ریشه نشان نداده است (۱۲). در مطالعه حاضر هم در تنش‌های شوری ده و پانزده دسی‌زیمنس بر متر کاربرد سولفات روی نتوانسته نفوذپذیری ریشه هر دو پایه را به‌صورت معنی‌داری کاهش دهد.

نشت یون روی: نتایج اثر متقابل پایه و غلظت سولفات روی بر نشت یون روی (جدول ۳) نشان داد که کاربرد سولفات روی در پایه قزوینی اثر معنی‌داری در نشت روی از ریشه نداشت ولی در پایه بادامی زرند کاهش معنی‌دار نشت روی به‌میزان ۱۳/٦ درصد با کاربرد سولفات روی تا سطح یک میکرومولار مشاهده شد. اگرچه افزایش روی مصرفی، کاهش بیش‌تر نشت یونی را در پی نداشت. این نتایج بر نقش روی بر حفاظت از سلامتی و یکپارچگی دیواره سلولی تأکید داشته و بر این موضوع اشاره دارد که وجود غلظت کافی روی برای حفاظت سلول‌ها در برابر صدمات اکسیداتیو القاء شده توسط شوری دارد (۹). نتایج اثر متقابل پایه، تنش کلرید سدیم بر نشت یون روی نشان داد که با افزایش سطح شوری، در هر دو پایه، نشت یون روی در ریشه افزایش یافت البته این افزایش در پایه قزوینی معنی‌دار نبود. لازم به ذکر است در تمام سطوح شوری، نشت یونی روی در پایه بادامی زرند بالاتر از قزوینی بود با توجه به (جدول‌های ٤ و ٥) میزان نشت یون روی در تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بدون کاربرد سولفات روی در پایه بادامی زرند $\mu g.g^{-1}\ root4h^{-1}$ ۲٤/۱ و در پایه قزوینی $\mu g.g^{-1}\ root4h^{-1}$ ۵/۳ بود که این نشان می‌دهد که غشاء سلولی پایه بادامی زرند نسبت به پایه قزوینی بیش‌تر تحت‌تأثیر اثرات مخرب اکسیداتیو قرار گرفته است. نشت یونی به‌عنوان یکی از شاخص‌های نفوذپذیری غشاء ریشه می‌باشد (۱۲). در شرایطی که این نفوذپذیری افزایش یابد، نشانگر وجود اختلال در غشاء سلولی ریشه است. بنابراین پایه بادامی زرند نسبت به پایه قزوینی از صدمات ناشی از رادیکال‌های آزاد بیش‌تر متأثر شده است.

میزان مالون دی آلدئید برگ: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) بیانگر معنی‌دار بودن تأثیر پایه، سولفات روی و تنش کلرید سدیم بر غلظت مالون دی آلدئید است، مالون دی آلدئید محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده در فسفولیپیدها است. از سطح پراکسیداسیون لیپید به‌عنوان یک نشانه رادیکال آزاد مضر برای غشاء سلولی تحت شرایط تنش استفاده می شود. طبق یافته‌های پژوهشی در شرایط تنش شوری مالون دی آلدئید به‌عنوان یک معرف برای بررسی میزان صدمات غشاء می‌باشد (٦). طبق پژوهش‌های انجام‌شده شوری باعث پراکسیداسیون چربی توسط گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر می‌گردد. این

امر منجر به تشکیل مکرر آلکان‌های با زنجیره کوتاه و آلدئیدهای اسید چرب می‌گردد که به‌طور کامل ساختمان لیپید را از بین می‌برد (۱). از اثرات دیگر گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر دیمریزه و پلی‌مریزه شدن پروتئین‌هاست که غشاهای سلولی را از بین می‌برد (۲). در پژوهش حاضر نیز با افزایش سطوح تنش کلرید سدیم تا میزان پانزده دسی‌زیمنس بر متر بدون به‌کارگیری سولفات روی میزان مالون دی آلدئید نسبت به شاهد در پایه بادامی زرند ٤۷/۳ درصد و در پایه قزوینی ۳۵/۱ درصد افزایش معنی‌داری یافت و در کنار آن با کاربرد سولفات روی میزان مالون دی آلدئید کاهش معنی‌داری پیدا نمود. به‌صورتی‌که با بررسی مقایسه میانگین‌ها کم‌ترین میزان مالون دی آلدئید در پایه قزوینی با تیمار سولفات روی پنج میکرومولار بدون تنش شوری به‌میزان ٦/۱$\mu molgr^{-1}$ DW و بیش‌ترین میزان مالون دی آلدئید در پایه بادامی زرند با تیمار شوری پانزده دسی‌زیمنس بدون کاربرد سولفات روی μ ۲/۵ $molgr^{-1}$ DW بود.

مانند کسر مولی کلسیم در ریشه و غلظت گروه‌های سولفهیدریل در ریشه ارتقاء یافت. مصرف سولفات روی منجر به کاهش نفوذپذیری غشاء ریشه، نشت یونی روی و مالون دی آلدئید در برگ گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تغذیه با سولفات روی اثر مثبتی در افزایش مقاومت گیاه و مهار بهتر رادیکال‌های آزاد تولید شده در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم دارد. از ابعاد دیگر نتیجه‌گیری از این پژوهش می‌توان به مقایسه بین دو پایه پسته معمول در کشور از لحاظ مقاومت به تنش شوری اشاره نمود؛ زیرا طبق یافته‌ها بافت ریشه پایه قزوینی در مقایسه با پایه بادامی زرند، غلظت گروه‌های سولفوهیدریل بیش‌تر، مالون دی آلدئید و نشت یونی روی کم‌تری دارد، بر همین اساس پایه قزوینی در مقایسه با پایه بادامی زرند در برابر تنش اکسیداتیو در سه سطح تنش شوری (پنج، ده و پانزده دسی‌زیمنس بر متر) ناشی از کلرید سدیم مقاوم‌تر بوده و به‌عنوان پایه مقاوم پسته در اراضی شور کشور توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به‌طورکلی افزایش غلظت کلرید سدیم سبب کاهش ویژگی‌های رشدی گردید میزان نشت یونی روی و مالون دی آلدئید در برگ افزایش یافت. از طرف دیگر با مدیریت تغذیه با سولفات روی در غلظت‌های متفاوت، ویژگی‌های رشدی بهبودیافته و برخی شاخص‌های زیست- شیمیایی

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر علی تاج‌آبادی پور عضو محترم هیأت علمی مؤسسه تحقیقات پسته کشور و همچنین جناب آقای مهندس احمد استواری که در اجرای این پژوهش صمیمانه همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1.Abou, E. and Nour, E.A. 2002. Growth and nutrient contents response of maize to foliar nutrition with micronutrients under irrigation with saline water. J. Biol. Sci. 2: 2. 92-97.

2.Agricultural Jahad statistics. 2018. Ministry of Agriculture Jahad, Volume 3. 186p.

3.Aravid, P. and Prasad, M.N.V. 2005. Cadmium induced toxicity reversal by zinc in *ceratophyllum demersum* L. together with exogenous supplements of amino and organic acids. J. Chemosohere. 61: 1720-1733.

4.Arora, N., Bhardwaj, R. and Arora, H. 2008. Homobrassinolide alleviates

oxidative stress in salt treated maize (*Zea mays* L.) Plants. J. Plant Physiol. Rockville, MD, 285p.
5. Asadollahi, Z. and Mozaffari, V. 2013. Effect of salinity on growth and seed composit ion of pistachio in perlite medium. J. Greenhouse. Sci. Technol. 12: 3. 13-27.
6. Bagherzadeh, A., Kavisi, H., Khezri, M. and Merzaei, S. 2016.Study of protein expression of Badami sefid and Badami zarand Pistachio rootstocks under salt stress. J. Agric. Biotechnol. 8: 3. 16-32.
7. Benakar, M., Rahimian, G., Ranjbar, V.M. and Tafti, Sh. 2015. Effect of Irrigation with Saline Water on Aerial and Root Seedlings of Five Pistachio Cultivars of Yazd Province. J. Res. Agric. 28: 2. 341-351.
8. Bernal, M., Cases, R., Picorel, R. and ruela, I.Y. 2007. Foliar and root Cu supply affect differently Fe- and Zn-uptakeand photosynthetic activity in soybran plants. J. Environ. Exp. Bot. 60: 145-150.
9. Brown, P.H., Zhang, Q. and Fergusen, L. 1994. Influence of rootstock on nutrient acquisition by pistachio. J. Plant Nutr. 17: 7. 1137-1148.
10. Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. J. New Phytol. 146: 185-205.
11. Curtin, D., Steppuhn, H. and Selles, F. 1993. Plant responses to sulfat and chloride salinity growth and ionic relations Soil Science. J. Soc. Am. 57: 1304-1310.
12. Daneshbaghshe, B. and Khoshgoftarmanesh, A. 2016. Effect of selenium on dry weight, glutathione peroxidase activity and concentration of some wheat under salt stress conditions. J. Plant Funct. 14: 4. 189-200. (In Persian)
13. Del Rio, L., Corpas, F. and Sandalio, L. 2002. Reactive oxygen antioxidant systems and nitric oxide in peroxisomes. J. Exp. Bot. 53: 1255-1272.
14. Ghoshgoftarmanesh, A. 2008. Basics of Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Publication. 462p. (In Persian)
15. Hokmabadi, H., Arzani, K., Dahghani, Y. and Panahi, B. 2004. Response of Badami Zarand, sarakhs and Ghazvini Pistachio Rootstocks to Sodium Clorid and boron Excess in irrigation water. J. Agr. Sci. Tech. 7: 4. 11-24.
16. Karimi, S.M., Rahemi, M., Maftoun, S. and Tavallai, V. 2009. Effect of longterm salinity on growth and performance of two pistachio (*Pictacia vera* L.) rootstocks. Aust. J. Basic Appl. Sci. 3: 3. 1630-1639.
17. Kohbani, A., Karimi, H. and Tajabadipoor, A. 2012. Evaulation of interspecific hybrid pistachio to salinity and drought stress, Master's thesis on Horticulture, Rafsanjan University. 114p. (In Persian)
18. Kumar, N., Pal, M. and Sairam, R. 2010. Exogenous proline alleviates oxidative stress and increase vase life in rose (*Rosa hybrid* L. Grand Gala). J. Hort. Sci. 127: 79-85.
19. Meloni, D.A., Oliva, M.A., Ruiz, H.A. and Martinez, C.A. 2001. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. J. Plant Nutr. 24: 599-612.
20. Naini, M.r., Asnaashari, M. and Choshgoftarmanesh, A. 2016. Zinc effect on some biochemical, physiological and growth characteristics of two olive cultivars under salinity stress, Ph.D thesis, Hamedan University. 180p.
21. Naini, M.r., Asnaashari, M. and Mirzapour, M. 2016. Effect of zinc nutrition on reduction of oxidative damage caused by salinity stress in two olive cultivars. J. Agric. Crop. 23: 6. 150-160.
22. Sedlak, J. and Lindsay, R.H. 1968. Estimation of Total Protein-Bound, and Nonprotein Sulfhydryl Groups in Tissue with Ellman's Reagent. J. Anal. Biochem. 25: 192-205.
23. Talebi, M. 2009. Effect of zinc and salinity on growth, chemical composition and vascular tissue in two pistachio cultivars. Master thesis, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Rafsanjan University. 23: 6. 150-160.