تأثیر غلظت‌های مختلف آهن بر رشد و جذب عناصر توسط گیاه کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) تحت تنش شوری

صغری محمدی[۱]، احمد مهتدی[۲*] و محسن موحدی دهنوی[۳]

[۲،۱] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه یاسوج

[۳] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰)

چکیده

گیاهان برای رشد بهینه در شرایط تنش، به مقادیر مناسبی از ریزمغذی‌ها نیاز دارند که می‌توانند مقاومت گیاه را در شرایط تنش، مانند شوری، افزایش دهند. به منظور بررسی واکنش گیاه کتان روغنی نسبت به کاربرد آهن در شرایط تنش شوری، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شوری با کلرید سدیم در پنج سطح (صفر،۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و آهن با سه سطح (۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) انتخاب شدند. با افزایش میزان شوری، میزان سدیم ریشه و اندام هوایی افزایش و میزان پتاسیم ریشه و اندام هوایی کاهش نشان داد. غلظت آهن ریشه با افزایش شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش و سپس کاهش پیدا کرد. غلظت آهن اندام هوایی تا سطح ۵۰ میلی‌مولار شوری افزایش و سپس روند کاهشی را نشان داد. با افزایش شوری میزان پرولین و قند محلول برگ افزایش پیدا کرد. در همه سطوح شوری، آهن اثر معنی‌داری بر میزان پرولین و قند محلول داشت. با افزایش شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار، پروتئین محلول برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) افزایش و سپس روند کاهشی نشان داد. با افزایش شوری وزن خشک ریشه و اندام هوایی کاهش یافت. برای تخفیف اثر شوری استفاده از آهن ۵۰ و ۷۵ میکرومولار در محلول‌های غذایی پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: پتاسیم، پرولین، سدیم، قند محلول

مقدمه

یکی از نیازهای اساسی روند رشد جمعیت، در زمینه تأمین روغن‌های گیاهی از دانه‌های روغنی است که تولیدات آنها به مصارف مختلف صنعتی، خوراکی و آرایشی می‌رسد. یکی از گیاهان روغنی که در سطح جهان از اهمیت خاصی برخوردار است، کتان روغنی می‌باشد (پرهیزگارخاجانی و همکاران، ۱۳۹۱). کتان روغنی گیاهی یک ساله از خانواده لیناسه می‌باشد که در مناطق خشک و گرم تا معتدله رشد و نمو می‌کند (امید بیگی، ۱۳۷۹). کتان روغنی به همراه گندم و جو از قدیمی‌ترین گیاهان جهان است که به طور وحشی در آسیای غربی رشد کرده و بومی ایران می‌باشد (موحدی‌دهنوی و همکاران، ۱۳۸۹).

شوری خاک یک نگرانی عمده برای کشاورزی جهان در طول تاریخ بشر بوده است. در سال‌های اخیر، این مشکل به

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a.mohtadi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

طور جدی و پیوسته در بسیاری از نقاط جهان افزایش یافته، که بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. خاک‌های شور حدود ۷ درصد سطح زمین را اشغال کرده‌اند. هم‌چنین ۲۳ درصد از زمین‌های زراعی دنیا شورند و ۲۰ درصد از زمین‌های تحت آبیاری از شوری ثانویه رنج می‌برند (رجایی و دستفال، ۱۳۹۶). در خاک‌های شور سدیمی حلالیت عناصر کم مصرف (نظیر آهن، منگنز، مس، روی و مولیبدن) کم بوده و گیاهانی که در این خاک‌ها رشد می‌کنند، اغلب از نظر این عناصر دچارکمبود می‌باشند. به این دلیل روابط بین شوری و تغذیه عناصر کم‌مصرف پیچیده است. زیرا شوری ممکن است موجب کاهش یا افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف در اندام‌های هوایی گیاه شود، یا اینکه تأثیری بر غلظت این عناصر نداشته باشد (عمادی و همکاران، ۱۳۹۳). شوری به دلیل وجود غلظت‌های بالایی از یون‌هایی مانند سدیم و کلر، سمیت یونی تولید می‌کند که موجب از هم پاشیدگی ساختار غشاء، مهار تقسیم و رشد سلول می‌شود و در طیف وسیعی از متابولیسم‌های سلولی شامل فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم لیپید اختلال ایجاد می‌کند (Zhani *et al*., 2012). در هنگام تنش شوری میزان سدیم ریشه افزایش می‌یابد که بسته به گونه گیاهی، گیاه برای رهایی از سمیت، سعی در خروج و یا فرستادن آن به واکوئل‌ها می‌کند (آذری و همکاران، ۱۳۹۱). طبق بررسی منابع صورت گرفته، در شرایط شوری یون Na^+ با سایر یون‌های غذایی به خصوص K^+ رقابت کرده و جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد (Parida and Das, 2005). مطالعات انجام شده نشان دادند شوری ناشی از کلرید سدیم موجب کمبود آهن در گیاه می‌شود، که این کمبود سبب تغییر در ویژگی‌های سلول‌های اپیدرمی ریشه آترپلیکس شد (میرزاپور و خوش گفتارمنش، ۱۳۸۷).

شوری در شرایط کمبود آهن سبب افزایش تنظیم کننده‌های اسمزی، کربوهیدرات و پرولین می‌گردد. پرولین یک شاخص مهم در پاسخ به تحمل طیف وسیعی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی است (Ozturk *et al*., 2012). تجمع قندهای محلول در شرایط تنش سبب تنظیم اسمزی و کاهش از دست دادن آب سلول و حفظ آماس می‌شود (Kumar *et al*., 2007). کاربرد آهن در سطوح مختلف شوری باعث کاهش میزان MDA، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شده است (Sinha and Saxena, 2006). بالا رفتن میزان فعالیت آنزیم‌ها تحت تنش شوری در کنار تنظیم اسمزی می‌تواند بر مقدار مقاومت در گیاهان بیفزاید. علت این که همه آنزیم‌ها آنتی‌اکسیدان در طی اعمال شوری افزایش پیدا نمی‌کند، بستگی به گونه گیاهی، مرحله رشد، غلظت و نوع نمک دارد (حیدری و مصری، ۱۳۸۹).

عناصر غذایی کم‌مصرف عناصر بسیار لازم و اساسی برای رشد و نمو گیاهان هستند. آهن عنصری غیر متحرک است و کمبود آن در برگ‌های جوان دیده می‌شود (وزیری کته‌شوری و همکاران، ۱۳۹۲). آهن با شرکت در متابولیسم کربوهیدارت‌ها مانند نیتروژن به افزایش قندهای محلول در گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند (کیانی‌چالمردی و عبدل‌زاده، ۱۳۹۱). شوری موجب ممانعت از سنتز پروتئین‌ها در گیاه می‌شود و در نتیجه مقدار پروتئین‌های موجود در گیاه در پاسخ به شوری کاهش می‌یابد (Parida and Das, 2005). گیاهان دارویی برای تولید مواد مؤثره به مقادیر مناسبی از ریزمغذی‌ها نیاز دارند و در بین ریز مغذی‌ها بیشترین نیاز را به آهن دارند (سپهری و وزیری امجد، ۱۳۹۴). در آزمایشی محلول پاشی عناصر آهن، منگنز و روی موجب بهبود رشد گندم تحت تنش شوری گردید (EL-Fouly *et al*., 2011). مطالعات انجام شده توسط Tuncturk و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که اثر شوری بر غلظت آهن ریشه کلزا بسته به نوع رقم آن متفاوت بود؛ به طوریکه غلظت آهن ریشه در برخی رقم‌ها کاهش یافت و در برخی رقم‌ها تفاوت معنی‌دار نبود. گزارش‌های مختلفی نشان داده است که کاهش رشد و عملکرد گلرنگ در اثر شوری به علت برخی تغییرات در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله تعادل یونی و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان رخ داده است (Karray-Biuraoui *et al*., 2011). نتایج تحقیقات قادری‌فر و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که گیاه کتان در مرحله جوانه‌زنی مقاوم به تنش شوری بوده اما در مرحله گیاهچه‌ای حساس به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

تنش شوری می‌باشد.

تحقیق حاضر به منظور بررسی و شناخت بهتر تحمل به شوری در گیاه کتان روغنی در شرایط تغذیه آهن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی در سال۱۳۹۶ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم پایه دانشگاه یاسوج انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرارانجام شد. شوری با کلرید سدیم در پنج سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و آهن (Fe-EDDHA) در سه سطح (۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) انتخاب شد. واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌های با ابعاد۲۰ ×۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و حاوی ماسه نرم و کاملاً شسته شده بودند. کتان روغنی مورد استفاده رقم نورمن بود. در هر گلدان ۱۰ تا ۱۲ عدد بذر به عمق حدود ۳ سانتی‌متری قرارگرفت. از مرحله‌ی کاشت تا مرحله‌ی جوانه‌زنی آبیاری با آب مقطر صورت گرفت. سپس ماده غذایی تغییر یافته یک دوم هوگلند استفاده شد. ترکیب محلول تغییریافته هوگلند مورد استفاده به صورت زیر بود(Mohtadi *et al*., 2013):

3 mM KO_3, 2 mM $Ca(NO_3)_2$, 1 mM $NH_4H_2PO_4$, 0.5 mM $MgSo_4$, 25 µM FeEDDHA, 1 µM KCl, 2 µM $MnSo_4$, 25 µM H_3Bo_3, 2 µM $ZnSo_4$, 0.1 µM $CuSo_4$ and 0.1 µM $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$

دو هفته بعد از استقرار، گیاهان در گلدان تنک شدند و ۸ گیاه در هرگلدان باقی ماند. در مرحله چهار برگی، ابتدا تیمار آهن، به صورت محلول غذایی، براساس تیمارهای آزمایشی ذکر شده اعمال و بعد از آن تیمار شوری اعمال گردید. جهت اعمال شوری، اضافه کردن تدریجی شوری به میزان ۵۰ میلی‌مولار شوری در محلول هوگلند در هر سطح (جهت سازگار شدن گیاهان) انجام شد. در نوبت‌های بعدی این مقادیر افزایش یافت و بعد از حدود دو هفته کل تیمار شوری مربوط به هر سطح اعمال گردید و در نهایت به سطوح شوری مورد نظر (پنج سطح تنش شوری صفر،۵۰، ۱۰۰،۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار محلول کلرید سدیم) رسید که معادل ۱/۳، ۶/۱۵، ۱۱/۸۹، ۱۶/۳۲ و ۲۱/۳ دسی زیمنس بر متر بود. تیمار به صورت دو روز یک بار طی دو هفته اعمال شد. گیاهان در اتاقک کشت با دمای ۲۲ درجه سانتی گراد در روز و دمای ۱۵ درجه سانتی گراد در شب و تناوب نوری ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی نگه داری شدند. دو هفته بعد از شروع اعمال شوری، از هر گلدان سه گیاه انتخاب گردید. نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ‌ها در هر گلدان در صبح زود انجام شد. به منظور جلوگیری از تغییر میزان پرولین، پروتئین و قندهای محلول، نمونه‌ها تا زمان استفاده در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان آزمایش میزان سدیم، پتاسیم و آهن اندام‌های گیاهی (اندام هوایی و ریشه)، پرولین، قندهای محلول کل، پروتئین محلول برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز اندازه گیری شد.

بعد از برداشت گیاهان از گلدان‌ها، اندام هوایی و ریشه هرگیاه جدا گردید. نمونه‌ها به مدت دو روز در دمای ۷۰ درجه‌سانتی گراد در آون خشک شدند. سپس ۱ گرم از نمونه خشک شده توزین و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خاکستر شد. خاکستر مورد نظر بعد از اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال روی هیتر قرار داده شد. با شروع جوشیدن، محلول از کاغذ صافی عبور داده شد و حجم نمونه‌ها توسط آب دوبار تقطیر شده به ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس مقادیر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شدند (Patterson *et al*., 1984). میزان آهن با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد.

میزان پرولین از روش Paquine و Lechasseur (۱۹۷۹) و میزان کل قندهای محلول نیز از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری پرولین و قندهای محلول ابتدا از ۰/۵ گرم از بافت برگی عصاره اتانولی تهیه شد. سپس میزان پرولین با کمک نین هیدرین و بنزن و با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد.

برای محاسبه قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکی انتخاب شد و سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه درحمام آب جوش قرار داده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

پس از خنک شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدلSHIMADZO 54A) قرائت گردید و با استفاده از منحنی استاندارد میزان قندهای محلول محاسبه گردید.

اندازه‌گیری پروتئین محلول برگ از روش Liu و Huang (۲۰۰۰) انجام شد. مقدار ۰/۲ گرم از بافت برگ نگهداری شده در فریزر (دمای۴۰- درجه سانتی گراد) در هاون چینی سرد و در ظرف یخ با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ۶/۸ هموژن شد و سپس سانتریفیوژ گردید. مایع بالایی بدست آمده برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین محلول مورد استفاده قرار گرفت. جذب نمونه در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومر قرائت گردید.

برای اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز مخلوط واکنش حاوی ۲/۷۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات مونوسدیک (۲۵ میلی‌مولار) با pH برابر ۶/۸، ۱۰۰ میکرولیتر پیروگالول (۱۰میلی‌مولار)، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه (۴۰ میلی‌مولار) به حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر بود. تغییرات جذب نور پراکسیداز در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتراندازه‌گیری شد (Kar and Mishra, 1976).

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از سنجش مهار واکنش احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم (NBT) به فورمازون در ۵۶۰ نانومتر انجام گرفت (Beauchamp and Fridovich, 1971). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت و برای صفاتی که اثر متقابل معنی‌دار داشتند از روش برش‌دهی و مقایسه میانگین به روش L. S. Means استفاده گردید.

نتایج و بحث

میزان سدیم: میزان سدیم ریشه در سطح احتمال خطای ۱٪ تحت تأثیر شوری و آهن و در سطح احتمال خطای ۵٪ تحت تأثیر برهم‌کنش شوری و آهن قرار گرفت (جدول۱). بیشترین میزان سدیم ریشه در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳/۵ برابر افزایش نشان می‌دهد و کمترین میزان آن در سطح شوری شاهد از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد (جدول۲). جدول ۲، نشان می‌دهد که بیشترین میزان سدیم ریشه در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار ایجاد شد. در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین میزان سدیم ریشه از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار و در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین میزان سدیم ریشه از مصرف آهن ۷۵ میکرو مولار، ایجاد شد. میزان سدیم اندام هوایی در سطح احتمال خطای ۱٪ تحت تأثیر شوری و برهم کنش شوری و آهن و در سطح احتمال خطای ۵٪ تحت تأثیر آهن قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین میزان سدیم اندام هوایی در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۹ برابر افزایش نشان می‌دهد و کمترین آن در سطح شاهد، از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار حاصل شد (جدول ۲). جدول ۲، نشان می‌هد که در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، بیشترین میزان سدیم اندام هوایی از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار ایجاد شد. در سطح شوری۱۰۰ و۲۰۰ میلی‌مولار، بیشترین میزان سدیم اندام هوایی از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بدست آمد. به طور کلی با افزایش شوری میزان سدیم ریشه و اندام هوایی افزایش یافت.

مطالعات انجام شده توسط Huang و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که محتوای یون سدیم در ژنوتیپ‌های جو، با افزایش شوری افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان تجمع سدیم در اندام هوایی گیاه دارویی شنبلیله مربوط به بیشترین سطح شوری و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود (ارچنگی و همکاران، ۱۳۹۱). در تأیید نتایج بدست آمده، علت افزایش سدیم به این دلیل است که سدیم به صورت غیرفعال وارد ریشه‌ها می‌شود و در غلظت‌های بالا می‌تواند در غشای پلاسمایی جایگزین کلسیم شود که در اثر این جایگزینی قابلیت نفوذپذیری غشاء تغییر یافته باعث نشت پتاسیم از سلول می‌شود. در اثر محلول‌پاشی آهن، غلظت سدیم در گیاه آفتابگردان کاهش یافت (ترابیان و زاهدی، ۱۳۹۲). در این آزمایش کاربرد آهن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس سدیم ریشه و اندام هوایی، پتاسیم ریشه و اندام هوایی، آهن ریشه و اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه کتان روغنی تحت تأثیر تنش شوری و کاربرد آهن

منابع تغییرات	درجه آزادی	سدیم ریشه	سدیم اندام هوایی	پتاسیم ریشه	پتاسیم اندام هوایی	آهن ریشه	آهن اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
شوری	۴	۱۰۸/۵۴**	۶۱۱۲/۷۴**	۲۳۲۷**	۱۶۵**	۷۰۱۶۳۸**	۲۰۷۸۹**	۶۷۸/۹۴**	۴۹/۵۱۹**
آهن	۲	۵۳/۱۹**	۱۰۵۱/۱۴*	۲۷ns	۸/۵۳ns	۱۰۸۵۴۹**	۶۳۲۶**	۱۳۴/۴۶**	۰/۱۸ns
شوری × آهن	۸	۲۲۴/۱۲*	۴۵۱/۱۶**	۱۴۰**	۲۷/۲۹**	۴۴۹۳۸۵**	۴۶۶۶**	۶۲/۰۷**	۸/۷۷۶**
خطای آزمایشی	۳۰	۷۹/۵۵	۲۲/۶۳	۹۱	۷/۶۸	۱۲۲۵	۲۶۹	۳/۱۱۸	۰/۶۰۹
درصدضریب تغییرات		۹/۳۴	۸/۲۲	۷/۴۵	۱۰/۱۹	۱۴/۲۳	۱۴/۲۰	۴/۵۹	۱۰/۸۴

*** و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.**

در برخی سطوح باعث کاهش سدیم و در برخی سطوح موجب افزایش سدیم شده است و روند مشخص بدست نیامد. غلظت زیاد سدیم در اندام هوایی دامنه‌ای از مشکلات اسمزی و متابولیک گیاه را موجب شده و سمیت احتمالی ناشی از تجمع بیش از حد این یون در اندام گیاهی و کاهش تولید ماده خشک را به دنبال خواهد داشت.

میزان پتاسیم: میزان پتاسیم ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال خطای ۱٪ تحت تأثیر شوری و برهم‌کنش شوری و آهن قرارگرفت، اما اثر آهن بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین میزان غلظت پتاسیم ریشه در سطح شوری شاهد از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بدست آمد و کمترین آن در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲/۵ برابر کاهش نشان می‌دهد (جدول ۲). جدول ۲، نشان می‌دهد در سطح شوری شاهد، مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بیشترین میزان پتاسیم ریشه را ایجاد کرد. در بقیه سطوح شوری، بیشترین غلظت پتاسیم ریشه از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار حاصل شد. در سطح شاهد با افزایش آهن تا سطح ۵۰ میکرومولار میزان پتاسیم ریشه افزایش یافت. در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار شوری با افزایش آهن میزان پتاسیم ریشه افزایش یافت. در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری با افزایش آهن تا سطح ۵۰ میکرومولار، میزان پتاسیم ریشه کاهش و بعد افزایش یافت. نتایج نشان داد که با افزایش شوری میزان پتاسیم ریشه کاهش می‌یابد. بیشترین میزان پتاسیم اندام هوایی در سطح شوری شاهد از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد و کمترین آن در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۴۳ درصد کاهش نشان می‌دهد (جدول ۲). جدول ۲، نشان می‌دهد که در سطح شوری شاهد، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، مصرف کمترین میزان آهن باعث ایجاد بیشترین میزان پتاسیم اندام هوایی شد. در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار، بیشترین میزان پتاسیم اندام هوایی از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار، ایجاد شد. در سطح ۵۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن میزان پتاسیم اندام هوایی افزایش یافت. در سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار شوری، با افزایش آهن میزان پتاسیم اندام هوایی کاهش یافت. درسطح ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن تا سطح ۵۰ میکرومولار، میزان پتاسیم کاهش و بعد افزایش یافت. به طور کلی با افزایش شوری میزان پتاسیم اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت.

مطالعات انجام شده توسط Mahmoudi و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که تیمار آهن، محتوای پتاسیم عدس و لوبیا چشم بلبلی را در برگ و دانه به طور معنی‌داری افزایش داد. رحیمی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که با افزایش شوری، مقدار یون پتاسم در کلیه اندام‌های گلرنگ کاهش معنی‌داری یافت. در تأیید نتایج بدست آمده، برخی محققین کاهش غلظت پتاسیم برگ توسط شوری بالا را ناشی از کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

جدول ۲- مقایسه میانگین سطوح آهن برای سدیم ریشه و اندام هوایی، پتاسیم ریشه و اندام هوایی، آهن ریشه و اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه کتان روغنی در سطوح مختلف شوری

عامل‌های آزمایش									
شوری	آهن	سدیم ریشه	سدیم اندام هوایی	پتاسیم ریشه	پتاسیم اندام هوایی	آهن ریشه	آهن اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
میلی مولار	میکرومولار	میلی گرم بر گرم وزن خشک				میکروگرم بر گرم وزن خشک		میلی گرم	
	۲۵	۴۲^{a}	۸/۹^{a}	۵۴^{c}	۳۳^{a}	۷۷۵^{c}	۱۳۰^{b}	۴۹/۱۶^{b}	۹/۴۱^{c}
0	۵۰	۵۵^{a}	۷/۳^{a}	۷۷^{a}	۳۱^{a}	۹۶۳^{b}	۱۳۹^{a}	۴۹/۴۱^{b}	۱۱/۳۱^{b}
	۷۵	۴۶^{a}	۹/۶^{a}	۷۰^{b}	۳۲^{a}	۱۲۹۹^{a}	۱۴۵^{a}	۵۸/۶۶^{a}	۱۳/۰۸^{a}
	۲۵	۱۵۰^{a}	۵۳^{a}	۳۷^{a}	۲۱^{b}	۱۴۵۵^{b}	۱۲۷^{c}	۳۳/۸۳^{a}	۶/۷۳^{b}
50	۵۰	۹۵^{b}	۵۳^{a}	۴۳^{a}	۲۸^{ab}	۱۵۰۳^{b}	۱۹۶^{b}	۳۸/۰۸^{a}	۷/۰۸^{a}
	۷۵	۱۵۱^{a}	۵۳^{a}	۴۸^{a}	۲۹^{a}	۱۷۲۵^{a}	۲۷۲^{a}	۴۲/۰۸^{a}	۸/۳۳^{a}
	۲۵	۱۴۰^{a}	۳۲^{a}	۳۲^{a}	۲۳^{a}	۱۴۹۹^{c}	۹۷^{a}	۳۰/۵۸^{c}	۸/۰۰^{a}
100	۵۰	۱۳۸^{a}	۳۳^{a}	۳۳^{a}	۱۸^{a}	۱۶۲۳^{b}	۹۱^{a}	۳۷/۴۱^{b}	۶/۳۳^{b}
	۷۵	۱۱۶^{b}	۳۴^{a}	۳۴^{a}	۲۰^{a}	۱۷۹۳^{a}	۱۰۸^{a}	۴۱/۴۱^{a}	۶/۴۵^{b}
	۲۵	۹۶^{b}	۲۷^{a}	۲۷^{a}	۲۳^{a}	۷۶۸^{a}	۶۹^{b}	۳۲/۲۵^{b}	۵/۴۱^{b}
150	۵۰	۱۴۴^{a}	۲۸^{a}	۲۸^{a}	۱۸^{a}	۷۲۰^{a}	۱۱۶^{a}	۳۷/۷۵^{a}	۶/۰۰^{b}
	۷۵	۱۰۹^{b}	۳۱^{a}	۳۱^{a}	۲۰^{a}	۶۲۳^{a}	۵۸^{b}	۳۸/۴۱^{a}	۶/۵۰^{a}
	۲۵	۱۱۹^{b}	۵۵^{c}	۲۹^{b}	۲۶^{a}	۱۳۸۹^{a}	۴۶^{c}	۲۷/۶۶^{a}	۴/۷۵^{b}
200	۵۰	۷۴^{c}	۹۱^{a}	۱۹^{c}	۲۴^{a}	۹۵۱^{b}	۹۱^{b}	۲۹/۰۸^{a}	۴/۹۱^{b}
	۷۵	۱۴۵^{a}	۸۱^{b}	۴۰^{a}	۲۲^{a}	۱۵۹۲^{a}	۱۲۶^{a}	۲۹/۶۶	۶/۲۵^{a}

در هر ستون و در هر سطح شوری، میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند (براساس رویه L. S. Means)

جذب و تجمع پتاسیم در بافت ریشه می‌دانند. یکی از اثرات شوری می‌تواند از دست رفتن وظایف یون پتاسیم در برگ‌های گیاه باشد. بالا رفتن سطح کلرید سدیم در محیط ریشه جذب عناصر غذایی، مخصوصاً پتاسیم و کلسیم را کاهش می‌دهد.

میزان آهن: میزان آهن اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر شوری، آهن و برهم‌کنش آهن و شوری قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین میزان آهن ریشه در سطح شوری۱۰۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد معادل ۱/۵ برابر افزایش نشان می‌دهد و کمترین آن در سطح ۱۵۰میلی‌مولار شوری، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد (جدول ۱). جدول ۱، نشان می‌دهد در سه سطح شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن میزان آهن ریشه افزایش یافت. هم‌چنین در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار بیشترین میزان آهن ریشه ایجاد شد. میزان آهن ریشه از سطح شاهد تا ۱۰۰ میلی‌مولار شوری روند افزایشی را نشان می‌دهد. بیشترین میزان آهن اندام هوایی از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار، در سطح۵۰ میلی‌مولار شوری بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱/۵ برابر افزایش نشان می‌دهد و کمترین آن از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار، در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بدست آمد (جدول ۲). جدول۲، نشان می‌دهد در سطح شوری ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار، بیشترین میزان آهن اندام هوایی بدست آمد. در سطح ۱۵۰میلی‌مولار شوری از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

بیشترین میزان آهن اندام هوایی ایجاد شد. در سه سطح شاهد، ۵۰ و ۲۰۰ میلی مولار شوری، با افزایش آهن میزان آهن اندام هوایی افزایش یافت. آهن اندام هوایی تا سطح ۵۰ میلی‌مولار شوری روند افزایشی و در سطوح بالاتر روند کاهشی را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که در ریشه غلظت آهن نسبت به اندام هوایی بیشتر بود. افزایش غلظت آهن در ریشه نسبت به اندام هوایی ممکن است به علت تجمع این عنصر در آپوپلاست ریشه و عدم انتقال آن به اندام هوایی باشد (ترابیان و زاهدی، ۱۳۹۲). اثر متقابل شوری و آهن در گیاهان مختلف رفتار متفاوتی را نشان می‌دهد، به طوریکه تیمار شوری باعث کاهش معنی‌دار مقدار آهن در ریشه و شاخساره پسته گردید و این کاهش در گیاهان رشد یافته روی خاک‌های شنی نسبت به خاک‌های رسی شدیدتر بود (اسکندری و مظفری، ۱۳۹۱). نتایج دیگر محققین در مورد آفتابگردان نشان داد که با افزایش شوری، غلظت آهن افزایش یافت (عمادی و همکاران، ۱۳۹۳).

وزن خشک: وزن خشک ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال۱٪ تحت تأثیر شوری، آهن و برهم‌کنش شوری و آهن قرار گرفت. اما اثر آهن بر وزن خشک ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی در سطح شوری شاهد، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار، بدست آمد و کمترین میزان آن درسطح شوری ۲۰۰میلی‌مولار، از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۴۳ درصد کاهش یافت. در همه سطوح شوری، با افزایش سطح آهن، میزان وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت. با افزایش سطوح شوری میزان وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت. طبق نتایج (جدول ۲)، بیشترین میزان وزن خشک ریشه در سطح شاهد، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد و کمترین میزان وزن خشک ریشه در سطح۲۰۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن۲۵ میکرومولار، بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۸۸ درصد کاهش یافت. به طور کلی با افزایش سطح آهن در همه سطوح شوری به جز ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان وزن خشک ریشه افزایش یافت و با افزایش سطوح شوری میزان وزن خشک ریشه کاهش یافت.

کشاورز و ملکوتی (۱۳۸۴) بیان کردند که شوری وزن خشک ریشه گندم را به میزان ۸۰ درصد کاهش داد. سلامی و همکاران (۱۳۸۵) گزارش کردند که در دو گیاه دارویی سنبل الطیب و زیره با افزایش سطح شوری، وزن خشک ریشه و وزن خشک ساقه کاهش پیدا کرد. کمبود آهن منجر به زرد برگی، کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه و تغییر غلظت و محتوای آهن و سایر عناصر غذایی در بافت‌های گیاه می‌شود (جوکار و رونقی، ۱۳۹۴). با افزایش شوری، وزن خشک برگ و ساقه و ریشه در نعناع سبز کاهش یافت (صفری محمدیه و همکاران، ۱۳۹۴). از دلایل کاهش وزن خشک این است که شوری رشد ریشه را از طریق کاهش فشار تورگر در توسعه بافت‌های ناشی از پتانسیل آب پایین در محیط ریشه کاهش داده و با کاهش آب در گیاه، وزن خشک ریشه کاهش خواهد یافت (Alam *et al*., 2004). هم‌چنین با توجه به اینکه ریشه اولین اندامی است که با تنش شوری مواجه می‌شود، مقدار زیادی از انرژی را که از اندام‌های هوایی جهت رشد دریافت می‌کند، صرف مقابله با تنش شوری می‌نماید که کاهش وزن خشک ریشه را به دنبال خواهد داشت.

قندهای محلول برگ: میزان محتوای قندهای محلول در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر شوری، آهن و برهم‌کنش شوری و آهن قرار گرفت (جدول۳). طبق نتایج بیشترین میزان قندهای محلول در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۹۲/۴۴ درصد افزایش نشان می‌دهد و کمترین میزان آن در سطح شوری شاهد، از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد (جدول ۴). در دو سطح شاهد و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش سطح آهن میزان قند محلول افزایش یافت. در سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین میزان قند محلول در سطح آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد. براساس نتایج این آزمایش با افزایش سطح شوری میزان قندهای محلول افزایش یافت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

مطالعات انجام شده توسط Najafi و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که قند محلول در مرزه تابستانی (*Satureja hortensis*) با افزایش شوری از صفر تا ۷۰ میلی‌مولار افزایش یافت و در ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش نشان داد. تحقیقات انجام شده نشان داده است که تنش شوری باعث کاهش قابل توجهی در رنگدانه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌ها، پروتئین و جذب منیزیم، پتاسیم، کلسیم و فسفر در سه رقم کتان می‌شود (Sadak and Dawood, 2014). قندها سبب تنظیم اسمزی و نیز پایداری غشاها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌شوند. عیسوند و همکاران (۱۳۹۳) اثر آهن را در گیاهان بررسی کردند و اظهار داشتند آهن عامل مهمی در تولید کربوهیدرات‌هاست و کمبود آن به کاهش تولید نشاسته و قند در گیاه منجر می شود که علت آن کاهش کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز است. براساس نتایج تحقیق حاضر ظاهراً قند محلول نقش چندانی در تنظیم اسمزی کتان در شرایط شوری بازی نمی‌کند و عمده بار بر دوش تجمع املاح مثل سدیم و پتاسیم است.

پرولین: میزان پرولین در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر شوری، آهن و برهم‌کنش شوری و آهن قرار گرفت (جدول۳). بیشترین میزان پرولین در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۸۱/۳۸ درصد افزایش نشان می‌دهد و کمترین میزان پرولین در سطح شاهد، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد. جدول ۴، نشان می‌دهد در دو سطح شاهد و۲۰۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین میزان پرولین از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار ایجاد شد. در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، مصرف آهن ۵۰ میکرومولار با بیشترین میزان پرولین همراه بود. در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین میزان پرولین از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار، ایجاد شد. در سه سطح ۵۰، ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن میزان پرولین افزایش یافت. درسطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن میزان پرولین تا سطح ۵۰ میکرومولار کاهش و بعد افزایش یافت. به طور کلی مقدار پرولین با افزایش سطح شوری افزایش یافت.

افزایش پرولین در گیاهان تحت تنش شوری در واقع نوعی واکنش از طرف گیاه به کاهش پتاسیل آب در محیط ریشه است. پرولین احتمالاً در سلول‌های تحت تنش، نقش آنتی‌اکسیدانی دارد و با تجمع در سیتوپلاسم سلول‌ها از طریق کاهش پتاسیل اسمزی درون سلولی تجمع نمک در واکوئل را تنظیم می‌کنند (هراتی و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات Li و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش پرولین برگ کرچک را در سطوح بالای شوری نشان داد. عمادی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی تنش شوری بر روی گیاه چغندر قند مشاهده کردند که با افزایش کلرید سدیم تجمع پرولین در اندام هوایی افزایش می‌یابد که این می‌تواند باعث بالا رفتن نسبی تحمل به شوری در گیاه گردد. نوری و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که با افزایش شوری، میزان پرولین در ساقه بابونه شیرازی افزایش یافته و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده گردید. افزایش چندین برابری پرولین در سطوح بالای شوری نشان از نقش این اسمولیت در تنظیم اسمزی کتان در شرایط شوری دارد. جالب است در مواردی که آهن موجب کاهش قند محلول شده است در عوض میزان پرولین را افزایش داده و برعکس. بنابراین به نظر می‌رسد تجمع آمینواسید پرولین به عنوان سازوکاری مؤثر جهت کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفظ محتوای آب سلول گیاه تحت شرایط شوری باشد.

پروتئین محلول برگ: پروتئین محلول برگ در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر شوری و برهم‌کنش شوری و آهن قرار گرفت، اما اثر آهن بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۳). طبق نتایج جدول ۴، بیشترین میزان پروتئین در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۴/۴ درصد افزایش نشان می‌دهد و کمترین آن در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بدست آمد. در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین میزان پروتئین محلول برگ در سطح آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد. در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش سطح آهن ابتدا مقدار پروتئین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس محتوای قند محلول، پرولین، پروتئین، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در کتان روغنی تحت تنش شوری و کاربرد آهن

منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای محلول	پرولین	پروتئین	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز
شوری	۴	۲۱۱/۵۸**	۲۶۵۱۸۲/۷۶**	۳/۴۴۷**	۰/۰۳۶۱**	۰/۰۰۵۲**
آهن	۲	۶/۱۱۸**	۱۶۲۱/۸۱۹**	۰/۴۸۶n.s	۰/۰۱۱۵**	۰/۰۰۳۲**
شوری × آهن	۸	۲۶/۴۵۰**	۵۶۶۴/۳۹۷**	۲/۴۲۱**	۰/۰۰۸۱**	۰/۰۰۱۳**
خطا	۳۰	۰/۳۸۸	۱۶۶/۴۹۷	۰/۱۵۴۷	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۲۴
ضریب تغیرات	درصد	۲/۶۴	۳/۵۴	۵/۳۳	۱۲	۱۱

*** و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.**

محلول برگ افزایش و سپس کاهش یافت. در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش سطح آهن تا ۵۰ میکرومولار، میزان پروتئین محلول برگ کاهش و سپس افزایش یافت. کاهش در محتوای پروتئین می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های نیترات رداکتاز، گلوتامین سنتتاز و گلومین ۲- اگزالو گلوتارات آمینو ترنسفراز در اثر تنش شوری باشد (دولت آبادیان و همکاران، ۱۳۸۸). از آنجایی که آهن یکی از مهمترین عناصری است که در متابولیسم نیتروژن و سطح برگ گیاه نقش دارد، پس می‌توان انتظار داشت که با اعمال تیمار آهن در گیاهانی که علایم کمبود این عنصر را نشان می‌دهند، پروتئین سازی افزایش یابد (Tewari *et al.*, 2005). گزارشات متعددی مبنی بر کاهش پروتئین‌های محلول در گیاهان تحت تنش شوری وجود دارد. از جمله می‌توان به گزارشات Bacelar و همکاران (۲۰۰۶) بر روی گیاه زیتون اشاره داشت. مطالعات انجام شده توسط حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که میزان پروتئین محلول برگ گیاه اسفرزه با افزایش شوری تا سطح ۵۰ میلی‌مولار افزایش و سپس تا سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش و نهایتاً در ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش یافت. در این آزمایش در مجموع میزان پروتئین محلول برگ آن چنان تحت تأثیر شوری قرار نگرفت که احتمالاً بدین معنی است که تولید پرولین ناشی از ساخت بیشتر آن بوده و نه حاصل از تجزیه پروتئین‌هاست.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر شوری، آهن و برهم‌کنش شوری و آهن قرار گرفت (جدول۳). طبق نتایج جدول ۴، بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۵۰ میکرومولار بدست آمد و کمترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار بدست آمد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار و کمترین آن در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، از مصرف آهن ۲۵ میکرومولار بدست آمد. میزان فعالیت این دو آنزیم تا سطح۵۰ میلی‌مولار شوری افزایش و بعد از آن روند کاهشی داشت. اثر غلظت‌های آهن در سطوح مختلف شوری متفاوت بود به طوریکه در سطح شاهد بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز از مصرف آهن ۷۵ میکرومولار حاصل شد. در سطح ۵۰ و ۱۵۰میلی‌مولار شوری، مصرف آهن ۵۰ میکرومولار، با بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز همراه بود. در دو سطح شاهد و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری با افزایش آهن، میزان فعالیت پراکسیداز افزایش یافت. در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن میزان فعالیت پراکسیداز کاهش یافت. میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری با افزایش میزان آهن افزایش یافت. در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن تا سطح ۵۰ میکرومولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

جدول ۴- مقایسه میانگین سطوح آهن برای قندمحلول برگ، پرولین، پروتئین محلول برگ، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز کتان روغنی در سطوح مختلف شوری

عامل‌های آزمایش		قند محلول برگ	پرولین	پروتئین محلول برگ	فعالیت آنزیم پراکسیداز	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز
شوری	آهن					
میلی مولار	میکرومولار	میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ	میکروگرم برگرم وزن تر برگ	میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ	واحد فعالیت به ازای هر میلی‌گرم پروتئین	واحد فعالیت بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین
صفر	۲۵	۱۷/۷۴^{b}	۱۴۳/۳۱^{a}	۷/۹۰^{a}	۰/۰۱۸^{c}	۰/۰۴۸^{a}
	۵۰	۱۸/۶۳^{a}	۱۱۱/۵۵^{b}	۷/۳۹^{ab}	۰/۰۴۹^{b}	۰/۰۴۸^{a}
	۷۵	۱۹/۹۳^{a}	۱۰۴/۸۷^{b}	۷/۰۱^{a}	۰/۰۹۰^{a}	۰/۰۳۵^{a}
۵۰	۲۵	۲۲/۷۴^{a}	۲۲۰/۲۱^{b}	۸/۶۲^{a}	۰/۰۸۲^{b}	۰/۱۱۵^{b}
	۵۰	۲۱/۷۴^{a}	۲۷۸/۹۶^{a}	۸/۲۵^{b}	۰/۰۹۲^{a}	۰/۱۱۴^{b}
	۷۵	۱۸/۳۵^{b}	۲۸۷/۲۸^{a}	۶/۱۰^{c}	۰/۰۷۱^{c}	۰/۳۱۶^{a}
۱۰۰	۲۵	۲۲/۶۰^{a}	۳۴۶/۵۹^{b}	۸/۱۲^{a}	۰/۰۵۶^{a}	۰/۱۱۶^{b}
	۵۰	۲۰/۸۵^{b}	۴۴۹/۴۶^{a}	۸/۰۲^{a}	۰/۰۳۵^{b}	۰/۱۴۵^{a}
	۷۵	۲۲/۳۴^{a}	۴۴۷/۵۶^{a}	۷/۸۳^{a}	۰/۰۱۹^{c}	۰/۱۵۹^{a}
۱۵۰	۲۵	۲۷/۶۰^{a}	۵۲۲/۷۹^{b}	۸/۰۴^{ab}	۰/۰۱۴^{b}	۰/۰۷۲^{a}
	۵۰	۲۱/۲۳^{b}	۵۴۳/۶۰^{b}	۸/۲۴^{a}	۰/۰۳۴^{a}	۰/۰۴۷^{b}
	۷۵	۲۶/۸۵^{a}	۵۶۳/۴۷^{a}	۷/۵۸^{b}	۰/۰۱۳^{b}	۰/۰۵۶^{ab}
۲۰۰	۲۵	۲۶/۳۲^{b}	۵۳۵/۲۷^{a}	۷/۱۵^{a}	۰/۰۲۶^{a}	۰/۰۲۸^{b}
	۵۰	۳۳/۱۴^{a}	۴۳۷/۲۰^{c}	۶/۰۶^{a}	۰/۰۳۲^{a}	۰/۰۴۵^{ab}
	۷۵	۳۴/۱۴^{a}	۴۷۷/۹۹^{b}	۷/۷۸^{a}	۰/۰۳۳^{a}	۰/۰۵۸^{a}

در هر ستون و در هر سطح شوری، میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند (براساس رویه L. S. Means)

میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز کاهش و بعد افزایش یافت.

تحت شرایط کمبود عناصر ریزمغذی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش یافته و لذا حساسیت گیاهان به تنش‌های محیط افزایش می‌یابد (پیوندی و همکاران،۱۳۹۰). مطالعات روی گیاه اسفناج نشان داد شوری موجب افزایش تنش اکسیداتیو و مقدار H_2O_2 و افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیدز و کاتالاز گردید (Agarwal and Pandey, 2004). شوری باعث افزایش فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در گیاه شنبلیله گردید (پسندی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). از آنجایی که در تنش شدید شوری سنتز پروتئین‌ها کاهش می‌یابد در نتیجه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز کاهش می‌یابد (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۴).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که در گیاه کتان روغنی با افزایش سطح شوری، میزان سدیم ریشه و اندام هوایی افزایش ولی میزان پتاسیم کاهش یافت. هم‌چنین در این گیاه افزایش سطح شوری باعث افزایش محتوای قند محلول و پرولین برگ شد. در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش آهن میزان پرولین افزایش یافت. در دو سطح شاهد و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، با افزایش سطح آهن میزان قند محلول افزایش یافت. در این گیاه شوری تأثیر چندانی بر پروتئین محلول برگ نداشت و اثر آهن بر آن معنی‌دار نبود. وزن خشک ریشه و اندام هوایی در غالب سطوح شوری با افزایش شوری کاهش و با افزایش آهن افزایش یافت. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از عنصر ریز مغذی آهن در برخی سطوح شوری می‌تواند باعث بهبود اثرات تنش شوری در گیاه کتان روغنی شود.

منابع

آذری، آ.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، عسکری، ح.، قناتی، ف.، ناجی، ا. م. و علیزاده، ب. (۱۳۹۱) اثر تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دو گونه کلزا و شلغم روغنی (*Brassica napus* and *B. rapa*). مجله علوم زراعی ایران۲: ۱۳۵-۱۲۱.

ارچنگی، آ.، خدامباشی، م. و محمدخانی، ع. (۱۳۹۱) تأثیر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum graecum*) تحت شرایط کشت هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۰: ۴۰-۳۳.

اسکندری، س. و مظفری، و. (۱۳۹۱) تأثیر سطوح شوری و مقادیر مختلف مس بر جذب عناصر غذایی کم مصرف در شاخشاره و ریشه دو رقم پسته (*Pistacia vera* L.) در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۲: ۴۲-۲۹.

اشرفی، ا.، رزمجو، ج. و زاهدی، م. (۱۳۹۴) بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌ها و ارتباط آن با تحمل به شوری ارقام یونجه در شرایط مزرعه. نشریه زراعت ۱۰۹: ۵۸-۴۳.

امید بیگی، ر. (۱۳۷۹) تولید و فرآوری گیاهان دارویی. جلد۲، انتشارات آستان قدس رضوی.

پرهیزگارخاجانی، ف.، ایران نژاد، ح.، امیری، ر.، اورکی، ح. و مجیدیان، م. (۱۳۹۱) تأثیرسطوح مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم برخصوصیات کمی و کیفی کتان روغنی. مجله تولید گیاهان زراعی ۵: ۵۹-۳۷.

پسندی‌پور، ا.، فرح بخش، ح.، صفاری، م. و کرامت، ب. (۱۳۹۲) اثر سالسلیک اسید بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) تحت تنش شوری. نشریه علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۲: ۲۲۸-۲۱۵.

پیوندی، م.، پرنده، ه. و میرزا، م. (۱۳۹۰) مقایسه تأثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ریحان (*Ocimum basilicum*). تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی ملکولی ۴: ۹۸-۸۹.

ترابیان، ش. و زاهدی، م. (۱۳۹۲) تأثیر تغذیه برگی سولفات آهن به دو شکل معمول و نانو ذرات بر رشد ارقام آفتابگردان تحت تنش شوری. مجله علوم گیاهان زراعی ۱: ۱۱۸-۱۰۹.

جوکار، ل. و رونقی، ع. (۱۳۹۴) اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی درگیاه سورگوم. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲۲: ۱۷۳-۱۶۳.

حسین زاده، پ.، مهتدی، ا.، موحدی دهنوی، م. و آسمانه، ط. (۱۳۹۵) اثر غلظت‌های مختلف روی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه اسفرزه (*Plantago ovate* L.) تحت تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی ۱۵: ۱۶۸-۱۵۷.

حیدری، م. و مصری، ف. (۱۳۸۹) بررسی سطوح مختلف شوری بر واکنش‌های فیزیولوژیکی و جذب عناصر سدیم و پتاسیم در گندم. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱: ۹۴-۸۳.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

دولت آبادیان، آ.، مدرس ثانوی، س. ع. م. و شریفی، م. (۱۳۸۸) اثر تغذیه برگ با آسکوربیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، تجمع پرولین و لیپد پراکسیداسیون کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش شوری. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۷: ۶۲۰-۶۱۱.

رجایی، م. و دستفال، م. (۱۳۹۶) بررسی عملکرد و شاخص‌های تحمل به شوری در لاین‌ها و ارقام گندم تحت شرایط شور. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۰: ۱۵۰-۱۳۹.

رحیمی، ا.، زیبایی، س. و دشتی، ح. (۱۳۹۱) تأثیر پرایمینگ بذر بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک رقم گلداشت گلرنگ در شرایط تنش شوری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۳: ۱۴-۱.

سپهری، ع. و وزیری امجد، ز. (۱۳۹۴) اثر نانو کودهای آهن و روی بر عملکرد کمی کاسنی در تراکم‌های مختلف کاشت. ویژه نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۱: ۷۴-۶۱.

سلامی، م.، صفرنژاد، ع. و حمیدی، ح. (۱۳۸۵) اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژی زیره سبز (*Cuminum cyminum*) و سنبل الطیب (*Valeriana officinalis*). پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۷۲: ۸۳-۷۷.

صفری محمدیه، ز.، مقدم، م.، عابدی، ب. و سمیعی، ل. (۱۳۹۴) تأثیر تنش شوری بر برخی پارامترهای عملکردی و خصوصیات مورفولوژیک گیاه نعناع سبز (*Mentha spicata* L.) در شرایط هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲۳: ۱۰۷-۹۷.

عمادی، س. س.، زاهدی، م.، عشقی زاده، ح، ر، و نوری‌پور سی‌سخت، ج. (۱۳۹۳) تأثیر سطوح مختلف آهن محلول غذایی بر پاسخ سه رقم آفتابگردان به تنش شوری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای ۱۷: ۲۵-۱۳.

عمادی، ع. ر.، نورانی‌آزاد، ح. و برزو، آ (۱۳۸۸) بررسی اثرات شوری بر برخی خواص فیزیولوژیک چغندرقند (*Beta vulgaris* L.). گیاه و زیست بوم ۱۹: ۲۵-۱۷.

عیسوند، ح.، اسماعیلی، ع. و محمدی، م. (۱۳۹۳) بررسی اثر سطوح مختلف نانواکسیدآهن بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی و فیزیولوژیک چهار رقم گندم پاییزه کشور (*Triticum aestivum*) در وضعیت اقلیمی خرم آباد. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران ۲: ۲۹۸-۲۸۷.

قادری‌فر، ف.، اکبرپور، و.، خاوری، ف. و احتشام‌نیا، ع. (۱۳۹۰) تعیین آستانه تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی در شش گیاه دارویی. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ۱۸: ۲۴-۱۵.

کشاورز، پ. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۴) اثر روی و شوری بر رشد، ترکیبات شیمیایی و بافت آوندی گندم. مجله علوم آب و خاک ۱۹: ۱۳۰-۱۲۱.

کیانی‌چالمردی، ز. و عبدل زاده، ا. (۱۳۹۱) نقش سیلیکون در کاهش کمبود و سمیت آهن در کشت هیدروپونیک گیاه برنج (*Oryza sativa* L.). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۲: ۸۸-۷۹.

موحدی دهنوی، م.، رنجبر، م.، یدوی، ع. و کاووسی، ب. (۱۳۸۹) اثرسایکوسل بر میزان پرولین، قندهای محلول، پروتئین، درصد روغن و اسیدهای چرب کتان روغنی تحت تنش خشکی در شرایط گلدانی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۲: ۱۳۸-۱۲۹.

میرزاپور، م. ه. و خوش گفتارمنش، آ. ح. (۱۳۸۷) تأثیر کوددهی آهن بر رشد، عملکرد و مقدار روغن دانه آفتابگردان در یک خاک آهکی شور- سدیمی. پژوهش کشاورزی: آب و خاک و گیاه در کشاورزی ۴: ۷۴-۶۱.

نوری، ک.، امیدی، ح.، نقدی‌بادی، ح.، ترابی ح. و فتوکیان، م. ح. (۱۳۹۱) تأثیر شوری آب و خاک بر عملکرد گل، ترکیبات محلول، محتوی عناصر شوری و کیفیت اسانس بابونه شیرازی (*Matricaria recutita* L.). پژوهش آب در کشاورزی ۴: ۳۷۸-۳۶۷.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

وزیری کته‌شوری، س.، دانشور، م.، سهرابی، ا. و نظریان فیروزآبادی، ف. (۱۳۹۲) تأثیر مقادیر مختلف فسفر و محلول پاشی آهن و روی بر عملکرد دانه نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.). به زراعی کشاورزی ۲: ۳۰-۱۷.

هراتی، ا.، کاشفی، ب و متینی‌زاده، م. (۱۳۹۵) بررسی کاهش اثرات سوء تنش شوری بر صفات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی آویشن دنایی(*Thymus daenensis* Celak.) از طریق کاربرد اسید سالسیلیک. فناوری تولیدات گیاهی ۲: ۱۲۵-۱۱۱.

Alam, M. Z., Stuchbury, T., Naylor, R. E. L. and Rashid, M. A. (2004) Effect of salinity on growth of some modern rice cultnars. Journal of Agronomy 3: 1-10.

Agarwal, S. and Pandey, V. (2004) Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. Biologia Plantarum 48: 555-560.

Bacelar, E. A., Santos, D. L., Moutinho-Pereira, J. M., Goncalves, B. C. Ferreira, H. F. and Correia, C. M. (2006) Immediate responses and adaptive strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: Changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. Plant Science 170: 596-605.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971) Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry 44: 276-278.

El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M. and Salama, Z. A. (2011) Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. African Journal of Plant Science 5: 314- 322.

Huang, Y., Zhang, G., Wu, F., Chen, J. and Xiao, Y. (2006) Interaction of salinity and cadmium stress on antioxidant enzyme, sodium, and cadmium accumulation in four barley genotypes. Journal of Plant Nutrition 29: 2215- 2225.

Irigoyen, J. J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60.

Karray-Bouraoui, N., Harbaoui, F., Rabhi, M., Jallali, I., Ksouri, R. Attia, H. Msilini, N. and Lachaal, M. (2011) Different antioxidant responses to salt stress in two different provenances of *Carthamus tinctorius* L. Acta Physiologiae Plantarum 33: 1435–1444.

Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Kumar, V., Shriram, V., Jawali, N. and Shitole, M. G. (2007) Differential response of indica rice genotypes to NaCl stress in relation to physiological and biochemical parameters. Archives of Agronomy and Soil Science 53: 581-592.

Li, G. S., Wanb, J. Zhoua, Z. Yanga and Qin, P. (2010) Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.). Seedlings to salt stress levels. Industrial Crops and Products 31: 13-19.

Liu, X. Z. and Huang, B. R. (2000) Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping bentgrass. Crop Science 40: 503-510.

Mahmoudi, H., Ksouria. R. Gharsalli, M. and Lachaal, M. (2005) Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Plant Physioly 162: 1237-1245.

Mohtadi A., Ghaderian S. M. and Schat, H. (2013) The effect of EDDS and citrate on the uptake of lead in hydroponically grown *Matthiola flavida*. Chemosphere 93: 986–989.

Najafi, F., Khavari-Nejad, R. A. and Siah Ali, M. (2010) The effects of salt stress on certain physiological parameters in summer savory (*Satureja hortensis* L.) Plants. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 6: 13-21.

Ozturk, L., Demir, Y., Unlukara, A., Karatas, I., Kurunc, A. and Duzdemir, O. (2012) Effects of long-term salt stress on antioxidant system, chlorophyll and proline contents in pea leaves. Romanian Biotechnological Letters 17: 7227-7236.

Paquine . R. Lechasseur, P. (1979) Observation sur une methode de dosage de la proline libre dans les extraite de plantes. Canadian Journal of Botany 57: 1851-1854.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Patterson, B. D., MacRae, E. A. and Ferguson, I. B. (1984) Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). Analytical Biochemistry 139: 487-492.

Sadak, M. S. and Dawood, M. G. (2014) Role of ascorbic acid and α tocopherol in alleviating salinity stress on flax plant (*Linum usitatissimum* L.). Journal of Stress Physiology and Biochemistry 10: 93-111.

Sinha S. and Saxena R. (2006) Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant and bacoside-A content in medicinal plant *Bacopa monnieri* L. Chemosphere 62: 1340-1350.

Tewari, R. K., Kumar, P., Neetu, and Sharma, P. N. (2005) Signs of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants. Plant Science 169: 1037-1045.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

Tuncturk, M., Tuncturk, R., Yildirim, B. and Ciftci, V. (2011) Changes of micronutrients, dry weight and plant development in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under salt stress. African Journal of Biotechnology 10: 3726-3730.

Zhani, K., Mariem, B. F., Fardaous, M. and Cherif, H. (2012) Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8: 236-252.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]

The effect of different iron concentrations on growth and elements uptake of flax (*Linum usitatissimum* L.) under salinity stress

Soghra Mohmmadi [1], Ahmad Mohtadi [*2], Mohsen Movahhedi Dehnavi [3]

[1, 2] Department of Biology, Faculty of Science, Yasouj University
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University
(Received: 28/01/2018, Accepted: 21/07/2018)

Abstract

Plants need suitable amounts of micronutrients for optimal growth under stress conditions and this increases plant resistance to stress conditions such as salinity. In order to investigate the reaction of flax to iron application under salt stress conditions, a pot experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design with three replications. Salinity was determined by sodium chloride at five levels (0, 50, 100, 150 and 200 mM) and iron with 3 levels (25, 50 and 75 µM). With increased salinity, the amount of root and shoot sodium increased whereas the amount of potassium in the root and shoot decreased. The root iron concentration increased with increasing salinity up to 100 mM, and then decreased. The shoot iron concentration increased with increasing salinity up to 50 mM and followed by a decreasing trend. With increasing salinity, the amount of proline and leaf soluble sugar increased. At all salinity levels, iron had a significant effect on the amount of proline and soluble sugar. With increasing salinity up to 50 mM, the leaf soluble protein, antioxidant enzymes (peroxidase and superoxide dismutase) increased and then decreased. With increasing salinity, root and shoot dry weight decrease. To reduce the effect of salinity, the use of 50 and 75 µM iron in nutrient solutions is recommended.

Key words: Potassium, Proline, Sodium, Soluble sugars

Corresponding author, Email: a.mohtadi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.9.7]