بررسی تأثیر پتاسیم و روی بر برخی واکنش‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) به تنش شوری

بابک متشرع زاده[1]، فاطمه وطن‌آرا و غلامرضا ثواقبی فیروزآبادی

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ **moteshare@ut.ac.ir**

دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ **fv.1386@gmail.com**

استاد فقید گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ **savagheb@ut.ac.ir**

دریافت: **93/3/19** و پذیرش: **94/7/11**

چکیده

شوری از مهمترین تنش‌های غیر زنده و محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود. به منظور بررسی اثرات تغذیه‌ای عناصر غذایی پتاسیم و روی در کاهش اثرات سوء تنش شوری بر برخی پاسخ‌های گندم، آزمایشی در قالب فاکتوریل بر مبنای طرح پایه کاملاً تصادفی در دو خاک شور و غیر شور با سه تکرار انجام شد تیمارهای مورد بررسی شامل سه سطح روی (صفر، 5 و 10 میلی گرم در کیلوگرم روی خالص از منبع سولفات روی) و سه سطح پتاسیم (صفر، 200 و 400 میلی‌گرم در کیلوگرم K_2O از منبع سولفات پتاسیم) بود. نتایج آزمایش نشان داد تنش شوری، هر یک از صفات وزن خشک برگ، اندام هوایی و ریشه را به ترتیب به میزان 14/1، 18 و 20/9 درصد کاهش داد. کاربرد 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی در شرایط شور وزن خشک اندام هوایی را نسبت به تیمار شاهد 70 درصد افزایش داد. با افزایش شوری، جذب پتاسیم کاهش یافت (19.7%) و تیمار 400 میلی‌گرم پتاسیم و 10 میلی‌گرم روی سبب بهبود رشد به میزان 36.7 درصد گردید. همچنین شوری نسبت K^+/Na^+ را کاهش داد. در مجموع، مدیریت عناصر غذایی به ویژه پتاسیم و روی می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های کاهش اثر تنش شوری در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های غیر زنده ، عملکرد، سدیم، سولفات پتاسیم، سولفات روی

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران-دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران

مقدمه

محصولات زراعی تحت تأثیر انواع تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده قرار دارند (حامد و همکاران، 2008). از میان تنش‌های غیر زنده، شوری یکی از مهمترین محدودکننده تولیدات کشاورزی است (سینگ و همکاران، 2005). هر سال 30-20 میلیون هکتار از اراضی فاریاب کیفیت خود را به دلیل تجمع نمک از دست می‌دهند و 0/25 تا 0/5 میلیون هکتار از چرخه تولیدات کشاورزی خارج می‌شوند. در حالی که حدود 17% از اراضی کشاورزی در جهان آبیاری می‌شوند اما 40% کل غذا از این اراضی تولید می‌شود. تخمین زده می‌شود که 19/5 % از 230 میلیون هکتار از اراضی فاریاب جهان شور باشد (فائو، 2002). 8/6 میلیون هکتار از کل اراضی کشاورزی ایران با درجات مختلف شوری همراه است (مؤمنی، 1389). تنش شوری موجب تغییرات شیمیایی فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعددی در گیاهان می‌شود. شوری رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها، تنفس و تولید انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (پریدا و همکاران، 2005). غلظت بالای نمک تعادل یونی را برهم زده و تنش اسمزی در گیاهان ایجاد می‌کند که خود منجربه تنش اکسیداتیو می‌شود (دل اکولیا، 1992).

دو سازوکار اصلی که در گیاهان منجربه تحمل شوری می‌شود شامل انتقال مقادیر کم یون سدیم به اندام هوایی و تحمل غلظت‌های بالای سدیم در برگ (از طریق نگهداری یون در داخل واکوئل سلولی) می‌باشد (گرینوی و همکاران، 1980). تحمل شوری در گندم نان و سایر گونه‌ها به توانایی آن‌ها در دفع سدیم مربوط است. تجمع سدیم در ریشه، برگ‌های مسن و غلاف برگ در گراس (نتوندو و همکاران، 2004)، جلوگیری از جذب یون توسط ریشه، کاهش حرکت یون به داخل گیاه از طریق غشای پلاسمایی سلول ریشه، انتقال مجدد یون از برگ به ریشه و حرکت آن‌ها به خارج از ریشه از روش‌های محدودیت انتقال نمک در اندام‌های حساس هستند (اردی و تالیسنیک، 1993). همبستگی بالایی بین میزان تحمل شوری با بالا بودن نسبت های K/Na در برگ‌های گندم وجود دارد، که نشان می‌دهد دفع یون سدیم از برگ، یکی از ویژگی‌های مهم در تحمل به شوری است (یاواد، 1986).

کمبود روی در بسیاری از اراضی زراعی دنیا، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مشاهده شده است (برادلی و همکاران، 2007). حدود 50 درصد خاک‌هایی که در جهان برای کشت غلات استفاده می‌شوند، با کمبود روی مواجه‌اند (وی و همکاران، 2003). در ایران 55/1 درصد از اراضی کشاورزی دارای میزان عنصر روی کمتر از 0/75 میلی‌گرم در کیلوگرم (زیر سطح بحرانی) هستند (طهرانی و همکاران، 1389). کمبود روی نرخ فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد (فاروغ و همکاران، 2006). اکتاس و همکاران (2006)، به اثر مثبت روی در کاهش سمیت شوری پی بردند. خوش‌گفتارمنش و همکاران (2004)، نشان دادند که در شرایط کمبود روی، نفوذپذیری غشاء پلاسمایی سلول‌های ریشه به دلیل تولید اکسیژن فراوان، افزایش یافته و در نتیجه جذب کلر، سدیم و بور، به ویژه در شرایط تنش شوری افزایش و در نهایت عملکرد را کاهش می‌دهد.

ژنوتیپ‌هایی از گندم که توانایی بالایی در تجمع پتاسیم در اندام هوایی دارند، در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های گندم، قدرت بیشتری در جوانه زنی بذر و رشد جوانه در شرایط شور از خود نشان می‌دهند (راسیو و همکاران،2001). عمر عمر-شهید و همکاران (2011) به اثر مثبت پتاسیم در بهبود رشد گیاه، صفات فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و آسکوربات و محتوای گلوتامین و همچنین کاهش تجمع یون و صفات تنش اکسیداتیو در برگ خردل در شرایط شور پی بردند. نتایج مشابهی نیز توسط فاجریا (2009) در گیاهان مختلف زراعی گزارش شده است. با توجه به ضرورت بررسی راه‌کارهای تغذیه‌ای و بررسی نقش عناصر غذایی پتاسیم و روی در کاهش تأثیر تنش شوری این تحقیق اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، خاک به صورت نمونه مرکب از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج، تهیه گردید. نمونه‌برداری از خاک به صورت تصادفی و مرکب از عمق30-0 سانتی متری انجام و پس از هوا خشک شدن و کوبیدن جهت آزمایش‌ها و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از الک دو میلی متری (جدول 1) و برای کشت گلخانه‌ای از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (بایکاس، 1962)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با هدایت سنج مدل Jenway-4320 (پیج، 1982) ، pH عصاره اشباع خاک با استفاده از pH متر مدل Jenway-4320 (رودز ، 1982)، درصد کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (نلسون و سامرز، 1996)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (برمنر ،1996)، پتاسیم قابل جذب گیاه به روش استات آمونیوم و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل ELE (همکه و اسپارکس ، 1996)، فسفر قابل جذب خاک، از روش اولسن و با

استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل Shimadzu-UV 3100 (کو ، 1996)، میزان عناصر آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب به روش عصاره‌گیری با DTPA و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 670 انجام شد. تیمارها شامل سه سطح صفر، 5 و 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم روی خالص از منبع سولفات روی، پتاسیم شامل سه سطح صفر، 200 و 400 میلی-گرم بر کیلوگرم K_2O از منبع سولفات پتاسیم و فاکتور شوری شامل دو سطح خاک غیر شور (خاک مزرعه) و خاک شور (10 دسی زیمنس بر متر) بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران اجرا شد.

آماده سازی گلدان‌ها

جمعاً 54 گلدان چهار کیلوگرمی برای هر نمونه خاک آماده شد. جهت کشت گیاه از گلدان‌های پلاستیکی محتوی 4/6 کیلوگرم خاک هوا خشک عبور یافته از الک چهار میلی‌متری استفاده شد. کیسه های پلاستیکی سفید رنگی برای هر گلدان تهیه شد تا از خروج آب از کف گلدان جلوگیری کند. به طور مجزا برای هر گلدان بر حسب تیمار مربوطه، محلول حاوی غلظت مشخصی از سولفات روی و پتاسیم تهیه گردید و به تدریج با افزودن خاک به گلدان به سطح خاک پاشش شد و خوب مخلوط شد. برای ایجاد تعادل در خاک گلدان‌ها هشت هفته در شرایط انکوباسیون و در دمای 25 درجه سلسیوس و در 0/7 درصد رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شد ضمن آنکه با ایجاد دوره‌های تر و خشکی به ایجاد تعادل نهایی کمک گردید. پس از اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی ارقام مهدوی، تجن، ارگ، اروم و آزادی و با توجه به کشت متداول رقم مهدوی در کرج، رقم مهدوی انتخاب شد. در هر گلدان ده عدد بذر گندم رقم مهدوی در عمق 2-1 سانتی متری کشت شد. دمای گلخانه در طول دوره رشد در محدوده 35-25 درجه سلسیوس تنظیم گردید و نور گلخانه توسط ترکیبی از لامپ های هالوژن زرد و سفید به میزان متوسط 14000 لوکس و با طول دوره روشنایی 14 ساعت در روز تأمین شد.

پس از ظهور گیاهچه، بذرهای گندم به 6-5 عدد در هر گلدان کاهش یافت. پس از استقرار کامل گیاه، محلول شور تهیه شده از دو نمک NaCl و $CaCl_2$ به نسبت مولی 1:1 در طی هشت نوبت و به مدت 15 روز، همراه با آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. به طوری که در هر نوبت 100س‌ی سی از محلول تهیه شده با شوری 20dS/m به هر گلدان اضافه شد تا قابلیت هدایت الکتریکی خاک به 10 dS/m افزایش یابد. برای این منظور و کسب اطمینان لازم، با استفاده از رابطه TDS=640*EC طی آزمایش پیش تیمار با سه تکرار، شوری خاکی با همین خصوصیات و با همین شیوه اعمال شوری اندازه‌گیری شد و مقدار نمک لازم برای رسیدن به این حد از شوری تعیین شد. برای اطمینان خاطر از شور بودن خاک تا حد مورد نظر، بعد از اتمام آزمایش نیز مجدداً شوری خاک اندازه گرفته شد که نتایج قبل را تأیید کرد.

بعد از پایان دوره رویشی گیاه و قبل از ورود به مرحله زایشی در روز 68 از شروع کاشت، اندام هوایی (شامل برگ و ساقه) و ریشه گیاه برای تهیه عصاره گیاه جداسازی و جمع آوری شد. عصاره گیری با استفاده از روش سوزاندن خشک و سپس ترکیب با اسید کلریدریک یک نرمال انجام شد. مقدار یک گرم از نمونه‌های گیاهی پودر شده را با دقت 0/001 گرم توزین و پس از انتقال آنها به کروزه‌های چینی به مدت پنج ساعت در حرارت 500 درجه سلسیوس نگهداری شدند تا رنگ نمونه‌ها کاملاً سفید گردد. خاکستر حاصل از سوزاندن هر نمونه با 20 میلی لیتر اسید کلریدریک یک نرمال به درون بشر تمیز منتقل و روی هیتر برقی در دمای 80 درجه سلسیوس تا خروج اولین بخارها حرارت داده شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن 42 به داخل بالن ژوژه 100 میلی لیتری صاف گردیدند و پس از شست و شوی کامل به حجم رسانده شدند (کوتنی، 1980).

اندازه‌گیری غلظت پتاسیم

غلظت این عنصر در عصاره‌های گیاهی تهیه شده به روش خاکستر کردن خشک، توسط دستگاه فلیم فتومتر (مدلELE) تعیین گردید (رایان و همکاران، 2001). برای محاسبه جذب پتاسیم و روی، غلظت عنصر در ماده خشک ضرب و جذب بر حسب گرم در گلدان گزارش گردید.

اندازه‌گیری عناصر کم مصرف (روی، آهن، مس و منگنز)

غلظت این عناصر در عصاره‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA- 670 اندازه‌گیری و گزارش شد (رایان و همکاران، 2001).

نتایج حاصله به کمک نرم افزار SAS تجزیه و جداول تجزیه واریانس مربوطه تهیه گردید. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح پنج درصد محاسبه شد. نمودارها به کمک نرم افزارExcel 2007 ترسیم شد.

جدول 1- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت

خصوصیت	مقدار	خصوصیت	مقدار
شن (%)	64/3	کربن آلی (%)	0/34
سیلت (%)	17/5	نیتروژن کل (%)	0/05
رس(%)	18/2	فسفر قابل جذب(mg/ kg)	6/00
کلاس بافت خاک	لوم شنی	پتاسیم قابل جذب(mg/ kg)	125/00
ظرفیت مزرعه(درصد)	12/08	آهن قابل استخراج با DTPA (mg/ kg)	9/30
pH (عصاره اشباع)	8/3	روی قابل استخراج با DTPA (mg/ kg)	0/66
EC عصاره اشباع (dS/m)	0/50	منگنز قابل استخراج با DTPA (mg/ kg)	4/33
ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc/kg)	22	مس قابل استخراج با DTPA (mg/ kg)	0/75

جدول 2- نتایج میانگین مربعات اثرات تیمار ها بر خصوصیات رویشی گندم

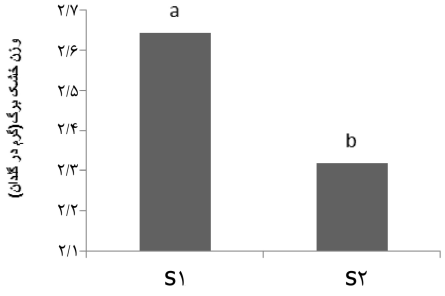
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
پتاسیم	2	ns	ns	Ns
شوری	1	*	**	**
روی	2	ns	*	Ns
پتاسیم×شوری	5	ns	**	**
شوری×روی	5	ns	**	**
پتاسیم×روی	8	ns	ns	ns
پتاسیم×شوری×روی	17	ns	**	*
خطا	36			

**معنی‌دار در سطح یک درصد، *معنی‌دار در سطح 5 درصد ، ns غیر معنی‌دار

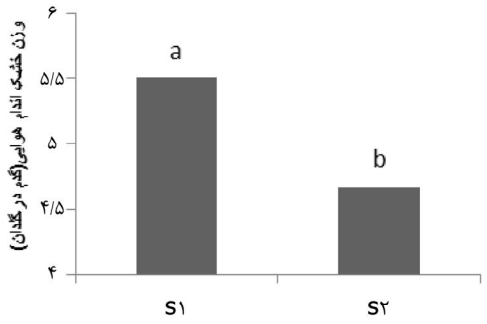
جدول 3- نتایج میانگین مربعات اثر تیمارها بر جذب عناصر غذایی در گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		اندام هوایی (میلی‌گرم در گلدان)									ریشه (میلی‌گرم در گلدان)		
		پتاسیم	سدیم	فسفر	روی	آهن	مس	منگنز	نسبت پتاسیم به سدیم	پتاسیم	سدیم	روی	نسبت پتاسیم به سدیم
پتاسیم	2	***	ns	ns	ns	ns	ns	*	***	***	ns	ns	***
شوری	1	***	***	ns	ns	ns	ns	*	***	***	***	ns	***
روی	2	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	***	ns	ns	**	***
پتاسیم×شوری	5	***	***	ns	ns	ns	ns	**	***	***	***	ns	***
شوری×روی	5	***	***	ns	ns	ns	ns	*	***	***	***	***	***
پتاسیم×روی	8	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	***	ns	ns	*	ns
پتاسیم×شوری×روی	17	***	***	*	*	ns	ns	**	***	***	***	**	***
خطا	36												

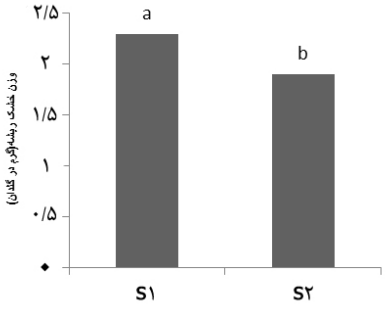
*** معنی‌دار در سطح 0/001 درصد، ** معنی‌دار در سطح0/01 درصد، * معنی‌دار در سطح 0/05 درصد و ns غیرمعنی‌دار



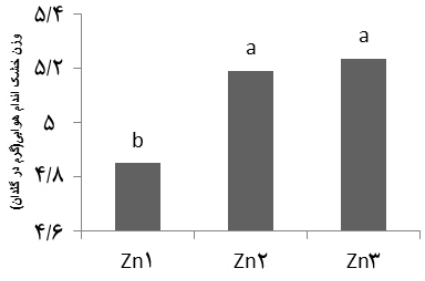
شکل 1- اثر شوری بر وزن خشک برگ (S1 و S2 به ترتیب سطح شاهد و سطح شوری)



شکل 2- اثر شوری بر وزن خشک اندام هوایی (S1 و S2 به ترتیب سطح شاهد و سطح شوری)



شکل 3- اثر شوری بر وزن خشک ریشه

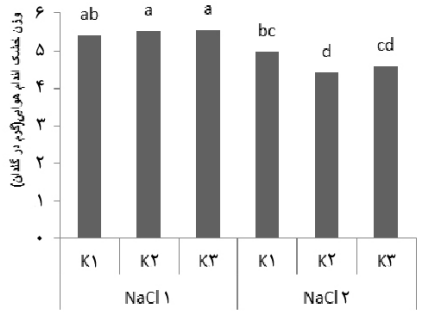


شکل 4- اثر روی بر وزن خشک اندام هوایی

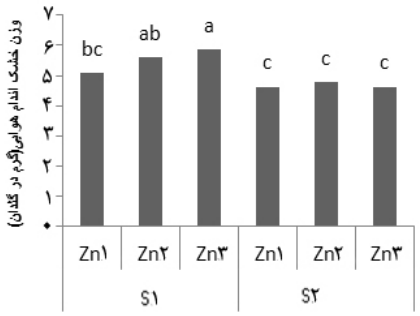
وزن خشک اندام هوایی، برگ و ریشه

وزن خشک برگ از 2/64 گرم در گلدان در خاک غیرشور به 2/31 گرم در گلدان در شوری 10 دسی-زیمنس بر متر خاک رسید و به میزان 14/1 درصد کاهش یافت (نمودار 1). وزن خشک اندام هوایی از 5/51 گرم در خاک غیر شور به 4/66 گرم در شوری 10 دسی-زیمنس بر متر خاک رسید و به میزان 18 درصد کاهش نشان داد (نمودار 2). همچنین اثر اصلی شوری در سطح یک درصد بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود ($p < 0/01$). به طوری که وزن خشک ریشه از 2/29 گرم در خاک غیرشور به 1/89 گرم در شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر خاک رسید و به میزان 21 درصد کاهش یافت (نمودار3). اثر اصلی روی در سطح 5 درصد بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود ($p < 0/05$). با افزایش سطوح روی وزن خشک اندام هوایی نیز افزایش یافت و از 4/84 گرم به 5/23 گرم رسید و 7/9 درصد افزایش نشان داد (نمودار 4).

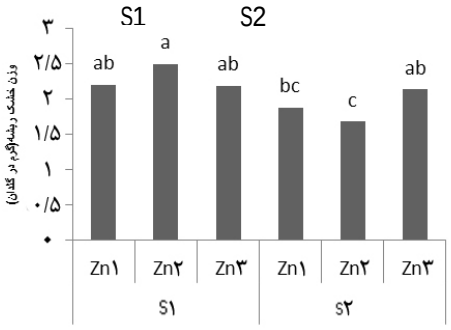
بیشترین وزن خشک اندام هوایی در خاک غیر شور و در تیمار400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و برابر 5/56 گرم در گلدان شد. کمترین وزن خشک اندام هوایی در شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر خاک و در تیمار200 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و به میزان 4/42 گرم در گلدان بدست آمد. کاربرد 200 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم در شرایط شور وزن خشک اندام هوایی را نه تنها افزایش نداد بلکه از 4/98 گرم در گلدان به 4/42 گرم در گلدان رساند و منجربه کاهش 12/6 درصدی وزن خشک اندام هوایی شد. افزایش سطوح روی در سطح اول شوری سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی شد. به طوری که بیشترین وزن خشک اندام هوایی در خاک غیر شور و در تیمار 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر 5/85 گرم در گلدان شد. کمترین وزن خشک اندام هوایی در شوری10 دسی زیمنس بر متر خاک و در تیمار10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر 4/60 گرم در گلدان شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر خاک، در تیمار 5 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر 4/77 گرم در گلدان شد که البته اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح اعمال شده روی نداشت (نمودار 6).



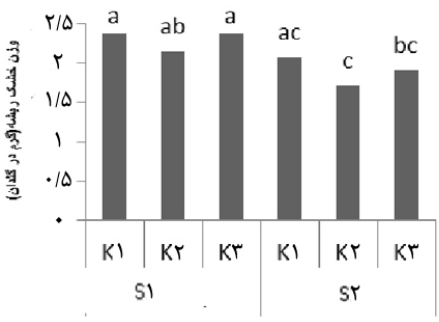
شکل 5- اثر مصرف پتاسیم (K) بر وزن خشک اندام هوایی هوایی گندم در دو خاک غیرشور (S1) و شور(S2)



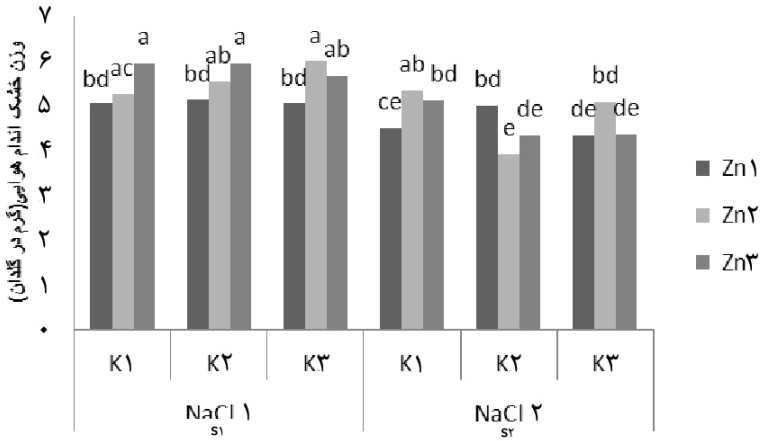
شکل 6 - اثر مصرف روی(Zn) بر وزن خشک اندام گندم در دو خاک غیر شور (S1) و شور(S2)



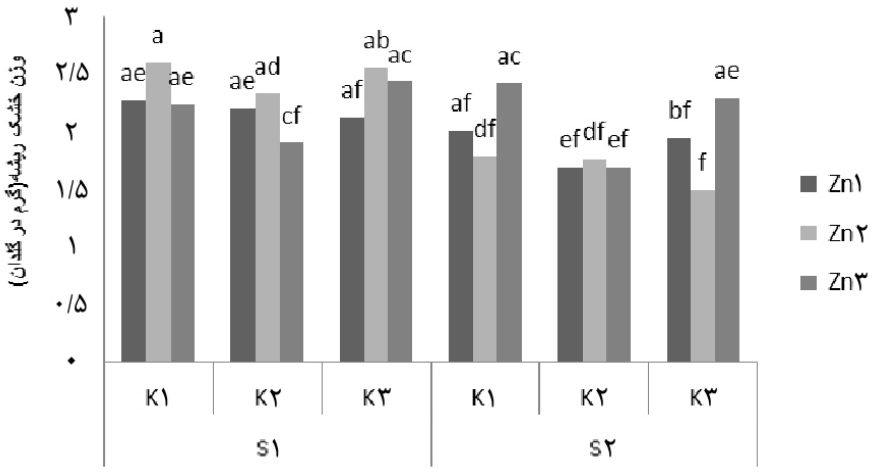
شکل 7- اثر مصرف روی(Zn) بر وزن خشک ریشه گندم در دو خاک غیر شور (S1) و شور(S2)



شکل 8- اثر مصرف پتاسیم (K) بر وزن خشک ریشه گندم در دو خاک غیر شور (S1) و شور(S2)



شکل 9- اثر مصرف پتاسیم(K) و روی(Zn) بر وزن خشک اندام هوایی گندم در دو خاک غیر شور (s_1) و شور(s_2)



شکل 10- اثر مصرف پتاسیم(K) و روی(Zn) بر وزن خشک ریشه گندم در دو خاک غیر شور (S1) و شور(S2). K1، K2 و K3 به ترتیب سطوح صفر، 200و 400 میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات پتاسیم و Zn1، Zn2 و Zn3 سطوح صفر، 5 و 10 میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی هستند.

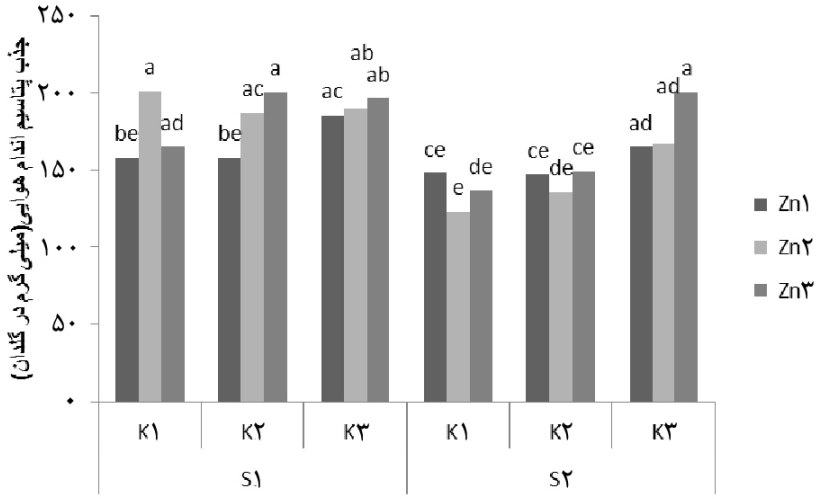
بیشترین وزن خشک ریشه در خاک غیر شور و با مصرف 400 میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم و برابر با 2/36 گرم بدست آمد و کمترین آن در شوری10 دسی زیمنس بر متر خاک و با مصرف 200 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و برابر 1/71 گرم شد. کاربرد 200 و 400 میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم در شرایط شور نه تنها وزن خشک ریشه را افزایش نداد بلکه از وزن خشک ریشه در شرایط شور به ترتیب 21 و 8/6 درصد کم کرد (نمودار 8). اثر شوری و روی بر وزن خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد ($p < 0/01$). بیشترین وزن خشک ریشه در خاک غیر شور، در تیمار 5 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر 2/49 گرم شد و کمترین آن در خاک شور، در تیمار 5 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر 1/67 گرم شد. کاربرد 10 میلی گرم در کیلوگرم روی در شرایط شور وزن خشک ریشه را از 1/87 گرم به 2/13 گرم رساند و منجربه افزایش 13/5 درصدی وزن خشک ریشه در شرایط شور شد هرچند که با سایر سطوح روی اختلاف معنی‌داری نداشت (نمودار 7).

اثرات متقابل پتاسیم، شوری و روی بر وزن خشک اندام هوایی در نمودار 9 نشان داده شده است. افزایش سطوح روی در تیمار شاهد و تیمار 200 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم وزن خشک اندام هوایی را در شرایط کنترل شده افزایش داد. اما اثرات پتاسیم و روی در خاک شور متفاوت شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط شور در تیمار شاهد پتاسیم و 5 میلی‌گرم روی و برابر 5/3 گرم در گلدان شد. که نسبت به تیمار روی و پتاسیم در شرایط شور، وزن خشک اندام هوایی را 18/1 درصد افزایش داد. اثرات متقابل پتاسیم، شوری و روی بر وزن خشک ریشه در نمودار 10 نشان داده شده است. وزن خشک ریشه در همه سطوح پتاسیم با افزایش روی از تیمار 5 به 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط کنترل شده کاهش یافت. این در حالی است که وزن خشک ریشه در خاک شور با افزایش روی از 5 به 10 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد و تیمار 400 میلی‌گرم پتاسیم، افزایش یافت. وزن خشک ریشه در تیمار 200 میلی‌گرم پتاسیم در خاک شور ثابت بود و با افزایش روی تغییر نکرد. افزایش 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی به خاک در شرایط شور، وزن خشک ریشه را به میزان 70/7 درصد افزایش داد.

جذب پتاسیم

جذب پتاسیم از 155 میلی‌گرم در گلدان در تیمار صفر پتاسیم به 183 میلی‌گرم در گلدان با مصرف 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم رسید ($p <0/001$) و 18 درصد افزایش نشان داد (جدول 3). اثر اصلی تیمار شوری نیز بر جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار بود ($p<0/001$). جذب پتاسیم از 182 میلی‌گرم در گلدان در خاک غیر شور به 152 میلی‌گرم در گلدان در خاک شور رسید و 19/7 درصد کاهش نشان داد. برهمکنش پتاسیم و شوری بر جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار شد($p<0/001$). بیشترین جذب پتاسیم در خاک غیر شور

در تیمار 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و برابر 177 میلی‌گرم در گلدان و کمترین آن نیز در تیمار شاهد پتاسیم و برابر 135 میلی‌گرم در گلدان شد. اضافه کردن 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم در شرایط شور جذب پتاسیم در اندام هوایی را 31 درصد افزایش داد. برهمکنش شوری و روی بر جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار شد (p<0/001). بیشترین جذب پتاسیم در شرایط شور در تیمار 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر 162 میلی‌گرم در گلدان شد و جذب پتاسیم را 5/9 درصد افزایش داد. هرچند که با دو تیمار شاهد و 5 میلی‌گرم در کیلوگرم روی اختلاف معنی‌داری نداشت. برهمکنش سه عامل شوری، پتاسیم و روی بر جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار شد (p<0/001). بیشترین جذب پتاسیم در خاک شور در تیمار 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر با 201 میلی‌گرم در گلدان و کمترین جذب پتاسیم در تیمار شاهد پتاسیم و 5 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و برابر با 123 میلی‌گرم در گلدان شد. کاربرد 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی در شرایط شور جذب پتاسیم را به میزان 36/7 درصد افزایش داد (نمودار11).

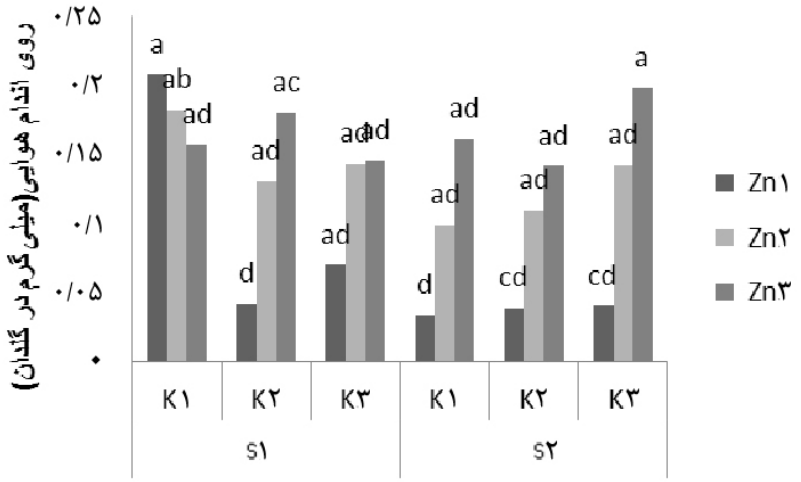


شکل 11- اثر مصرف پتاسیم(K) و روی(Zn) بر جذب پتاسیم اندام هوایی گندم در دو خاک غیر شور (s_1) و شور(s_2) K1، K2 و K3 به ترتیب سطوح صفر، 200و 400 میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات پتاسیم و Zn_1، Zn_2 و Zn_3 سطوح صفر، 5 و 10 میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی هستند.

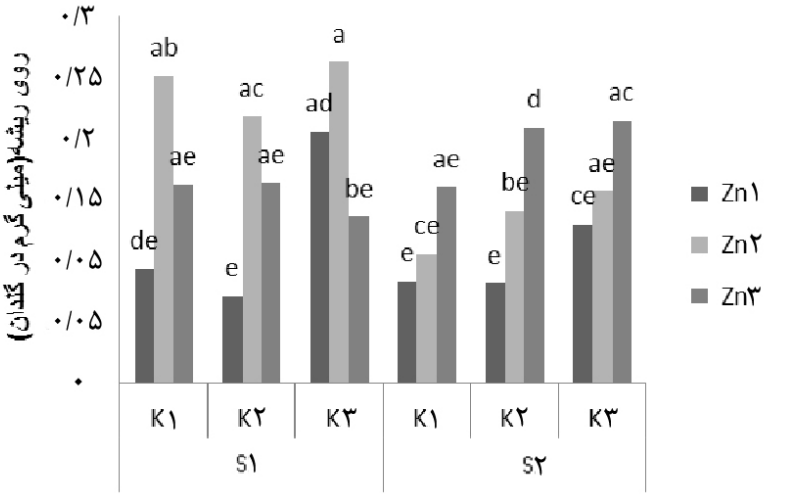
جذب روی

اثرات متقابل سه عامل پتاسیم, شوری و روی بر جذب روی اندام هوایی در سطح 5 درصد معنی‌دار شد (p<0/05). در هر دو سطح شوری و در همه سطوح پتاسیم، افزایش سطوح روی منجربه افزایش جذب روی در اندام هوایی شد. بیشترین جذب روی در شرایط شور از مصرف 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و 10 میلی-گرم در کیلوگرم روی و برابر با 0/19 میلی‌گرم در گلدان بود (نمودار 12).

اثرات متقابل سه عامل پتاسیم، شوری و روی بر جذب روی ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (p<0/01). بیشترین جذب روی در خاک غیر شور از مصرف 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی به میزان با 0/26 میلی‌گرم در گلدان بدست آمد به طوری که جذب روی را نسبت به تیمار شاهد 2/8 برابر افزایش داد. در خاک شور، همواره افزایش روی در هر یک از سطوح پتاسیم سبب افزایش جذب روی شد. به طوری که بیشترین جذب روی در خاک شور در تیمار 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی برابر با 0/21 میلی‌گرم در گلدان بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد 2/6 برابر افزایش داشت (نمودار13).



شکل 12- ثر مصرف پتاسیم(K) و روی(Zn) بر جذب روی در اندام هوایی گندم در دو خاک غیر شور (S1) و شور(S2)

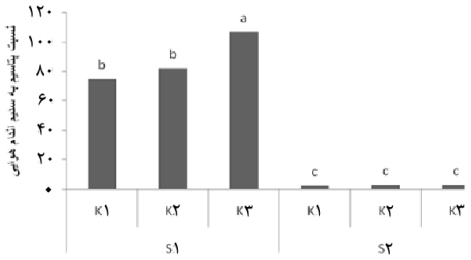


شکل 13- اثر مصرف پتاسیم (K) و روی (Zn) بر جذب روی در ریشه گندم در دو خاک غیر شور (S1) و شور(S2)

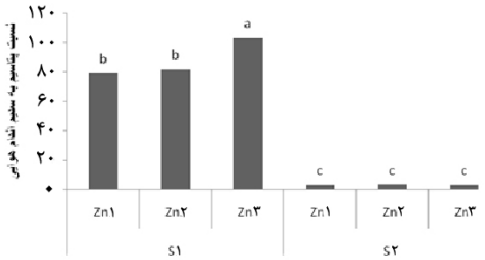
نسبت پتاسیم به سدیم

از بین تیمارهای اعمال شده به استثنای برهمکنش پتاسیم و روی، همگی بر نسبت پتاسیم به سدیم اثر معنی‌داری داشتند (جدول3). اثر اصلی شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار شد($p<0/001$). نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی از 87 در سطح اول شوری به 3 در سطح دوم شوری رسید و 29 برابر کاهش نشان داد. اثر اصلی پتاسیم بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار شد ($p<0/001$). نسبت پتاسیم به سدیم از 38/7 در تیمار شاهد پتاسیم به 54/9 در تیمار 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم رسید 41/5 درصد افزایش نشان داد. اثر اصلی روی بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار شد ($p<0/001$). نسبت پتاسیم به سدیم از 40/8 در تیمار شاهد روی به 52/9 در تیمار 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی رسید و 29/6 درصد افزایش نشان داد. برهمکنش پتاسیم و شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار شد ($p<0/001$). کمترین نسبت پتاسیم به سدیم در سطح اول شوری، در تیمار شاهد پتاسیم و برابر 74/9 شد. کاربرد 400 میلی‌گرم

در کیلوگرم پتاسیم در سطح اول شوری، نسبت پتاسیم به سدیم را 42/2 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. اعمال سطوح مختلف پتاسیم در سطح دوم شوری تأثیر معنی‌داری بر نسبت پتاسیم به سدیم نداشت (نمودار 14). اثرات متقابل شوری و روی بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار شد ($p<0/001$). کمترین نسبت پتاسیم به سدیم در سطح اول شوری در تیمار شاهد روی, برابر با 78/89 بود. کاربرد 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی در سطح اول شوری، نسبت پتاسیم به سدیم را به 103رساند و 42/2 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. سطوح مختلف روی در سطح دوم شوری تأثیر معنی‌داری بر نسبت پتاسیم به سدیم نداشت (نمودار 15). برهمکنش اثرات متقابل پتاسیم، شوری و روی بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار شد ($p<0/001$). نسبت پتاسیم به سدیم در سطح اول شوری، از 76/6 در تیمار شاهد پتاسیم و روی به 139/2 در تیمار 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و 10 میلی‌گرم در کیلوگرم رسید و 87/7 درصد افزایش نشان داد. اختلاف سطوح پتاسیم و روی در سطح دوم شوری، بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار نشد.



شکل 14- اثر شوری و پتاسیم بر نسبت پتاسیم به سدیم



شکل 15- اثر شوری و روی بر نسبت پتاسیم به سدیم

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول 2، اثرات متقابل شوری و پتاسیم، شوری و روی، بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی و اثرات متقابل شوری*پتاسیم*روی بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی معنی‌دار شد. وزن خشک ریشه از 2/29 گرم در سطح اول شوری به 1/89 گرم در سطح دوم شوری رسید و 21 درصد کاهش نشان داد (نمودار3). اثر اصلی روی در سطح 5 درصد بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دارشد ($p < 0/05$). با افزایش سطوح روی وزن خشک اندام هوایی نیز افزایش یافته و از 4/84 گرم به 5/23 گرم رسیده و 7/9 درصد افزایش نشان داد (نمودار 4). بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته، تنش شوری یک پدیده پیچیده است که شامل تنش اسمزی، اثر سمیت یک یون خاص و کمبود عناصر غذایی می‌شود و سازوکارهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با رشد و توسعه گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سایرام و همکاران، 2002). درودی و سیادت (1387) گزارش دادند اثر متقابل املاح و فرایندهای فیزیولوژیکی گندم بسیار پیچیده می‌باشد و انواع املاح اثرات متفاوتی بر روی رشد می‌گذارند و نیز مکانیسم‌های متعددی درگیر این فرایندها می‌باشند. اندام-ها، بافت‌ها و سلول‌های مختلف عکس العمل متفاوتی نسبت به شوری نشان می‌دهند. مهمترین دلایل ارائه شده برای کاهش عملکرد و خسارت وارده به بافت‌های گیاهی را می‌توان کاهش جذب آب یا خشکی فیزیولوژیکی، صدمه به غشاء سلولی یا غشاء واکوئلی، اثرات متقابل یون‌های سدیم و کلسیم، انتخابی بودن، انتقال و تراوش یون‌های پتاسیم و سدیم، فرایند تنظیم اسمزی در داخل سیمپلاست با تجمع املاح، خسارت به بافت‌های رشد کرده که موجب کاهش سطح فتوسنتز و کمبود متابولیت‌ها برای رشد بافت‌ها می‌شود، هزینه تنظیم اسمزی قسمت به قسمت و دفع، تنظیم هورمونی در گیاه و کمبود عناصر غذایی به خصوص نیتروژن و پتاسیم نام برد (درودی و سیادت، 1387). همچنین هیو و اشمیدهالتر (2001) یکی از دلایل کاهش عملکرد در شرایط وجود تنش شوری را کوتاه شدن دوره رشد گیاه اعلام کردند.

بر اساس نتایج این تحقیق، اثر اصلی تیمار شوری نیز بر جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار بود و جذب پتاسیم از 182 میلی‌گرم در گلدان در سطح اول شوری به 152 میلی‌گرم در گلدان در سطح دوم شوری رسید و 19/7 درصد کاهش نشان داد. همچنین برهمکنش پتاسیم و شوری بر جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار شد (نمودار11). ارنر و همکاران (2003) نشان دادند که کاربرد پتاسیم در محلول غذایی در شرایط شور از طریق

افزایش جذب نیتروژن و بهبود متابولیسم آن سبب کاهش اثرات سوء شوری در رشد و عملکرد دانه ذرت شد. زنگ و همکاران (2008) گزارش کردند که کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در شاخساره و ریشه گندم زمستانه، از اثرات سوء نمک می‌کاهد. هر چند که نسبت بالای پتاسیم به سدیم، به خودی خود برای گندم مضر است. ثواقبی و همکاران (1378)، تأثیر بذور غنی شده و روی در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گندم در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای گزارش دادند. کاربرد روی منجربه افزایش کلروفیل گیاه شد. تولایی و همکاران (2009) نشان دادند که شوری سبب کاهش غلظت روی در گیاه می‌شود.

کاهش غلظت روی در بذر گندم و برنج با افزایش شوری توسط جمال امیدی و همکاران، (2006) و خوش گفتارمنش، (2006) نیز گزارش شد. احتمالاً اثرات مضر کمبود روی تحت تنش شوری، محدودیت بزرگتری از سمیت NaCl در کاهش رشد گیاه باشد. افزایش روی به خاک نه تنها غلظت روی در اندام هوایی را افزایش داد، بلکه غلظت سدیم را نیز در برگ و شاخساره کاهش داد (تولایی و همکاران، 2009). گیاه دچار کمبود روی یکپارچگی غشایی خود را از دست می‌دهد و نفوذ پذیری غشای آن افزایش می‌یابد که در بسیاری از گونه‌های گیاهی رایج است (کاک ماک، 2000). از دست دادن یکپارچگی غشا در کمبود روی منجربه جذب و تجمع سدیم تا حد سمیت در گیاه می‌شود. در شرایط کمبود روی در خاک نفوذپذیری غشاء سلولی سلول‌های ریشه زیاد شده، که در این حالت جذب یون‌های اضافی موجود در محیط ریشه در خاک‌های شور مثل (Na، Cl و B) زیاد شده، رشد و عملکرد گیاهان کاهش می‌یابد (مارشنر، 1995).

اثر تیمارها بر جذب روی

رابطه بین شوری و عناصر کم مصرف بسیار پیچیده است. سوهایدا و همکاران (1992) اعلام کردند که به دلیل کم بودن حلالیت عناصر کم مصرف در خاک‌های شور و سدیمی، در این خاک‌ها معمولاً گیاهان دچار کمبود عناصر کم مصرف می‌شوند ولی با این حال غلظت عناصر کم مصرف ممکن است، افزایش یابد، کم شود و یا تغییری نکند.

یئو (1999) گزارش نمود که جذب عناصر غذایی در شرایط شور به دلایل مختلف از جمله کاهش حجم ریشه و خاصیت آنتاگونسیتی بین عناصر غذایی و یون‌های سمی کاهش می‌یابد. کاهش جذب عناصر کم مصرف در شرایط شور به دلیل جذب بیشتر Na و Mg می‌باشد. احمدی و همکاران (2001)، نشان دادند که جذب عناصر کم مصرف تا حدی تابع تحمل گونه‌های گیاهی به شوری است. در گیاهانی که به شوری متحمل تر هستند جذب بیشتری نیز انجام می‌شود. جو در شرایط شور نسبت به دیگر گونه‌های گیاهی عناصر کم مصرف (بویژه روی و آهن) بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر چاودار و ذرت جذب نمود. اگر چه میزان جذب نسبی روی حدود 20% کاهش یافت. همچنین اعلام کردند جذب منگنز و مس در جو در شرایط شور تغییری نمی‌کند. شوری باعث کاهش جذب منگنز شد ($p<0/001$) ولی اثر معنی‌داری بر جذب روی در اندام هوایی و ریشه نداشت. دوران زازو و همکاران (2004) نشان دادند که با افزایش شوری غلظت آهن، منگنز و مس در ریشه گیاه انبه افزایش یافته و عنصر روی عمدتاً در ریشه و برگ گیاه تجمع یافته‌است.

ییلدیریم و همکاران (2008) اظهار داشتند که شوری باعث افزایش غلظت روی در ریشه نخود می‌شود. آن‌ها همچنین بیان داشتند که شوری منجربه کاهش غلظت آهن، مس و افزایش روی در شاخساره نخود گردید، اما غلظت منگنز تغییری نکرد. پژوهشگران در بررسی تأثیر تغذیه روی بر کاهش اثرات تنش شوری گزارش کردند وزن خشک اندام هوایی با افزایش مصرف روی به میزان 8/3 درصد افزایش یافت، در حالی که شوری موجب کاهش وزن خشک به میزان 61/5 درصد شد همچنین مصرف کود محتوی روی در شرایط شور سبب افزایش خشک اندام هوایی گردید (کشاورز و ملکوتی، 1384). نتایج این تحقیق نشان داد در شرایط تنش شوری، وزن خشک ریشه بطور معنی‌داری کاهش یافت. در مقابل مصرف روی اگرچه وزن ریشه را به میزان 4/3 درصد افزایش داد ولی این افزایش از نظر آماری، معنی‌دار نبود. علاوه براین غلظت و جذب روی در اندام هوایی گندم بر اثر مصرف روی افزایش و با افزایش سطح شوری، کاهش یافت. در تیمارهای مورد مطالعه حمزه پور و همکاران (1389) مصرف روی در خاک باعث افزایش غلظت منگنز در خوشه و کاهش آن در ساقه و ریشه گردید. علت این امر به دلیل افزایش انتقال منگنز در حضور روی، از ریشه و ساقه به خوشه می‌باشد.

پس این دو عنصر با هم برهمکنش مثبت دارند. برهم کنش منفی روی و منگنز به این دلایل می‌باشد: اثر رقت؛ با افزایش عملکرد دانه در ازای کاربرد یک عنصر، غلظت سایر عناصر کاهش می‌یابد. احتمالاً عناصر غذایی برای اشغال موضع و مکان مشابه در روی حامل‌های مشابه با هم رقابت می‌کنند. مقدار نیاز گندم به آهن و

منگنز نسبت به روی بیشتر است. ماس و همکاران (1972) نشان دادند که با افزایش سطوح شوری غلظت روی در ریشه و اندام هوایی گوجه فرنگی افزایش می‌یابد. آنجوم (2008) گزارش کرد که غلظت عناصر کم مصرف آهن، روی، مس و منگنز در برگ و ریشه مرکبات با افزایش سطوح شوری کاهش می‌یابد. در شرایط شور با مصرف سولفات روی، جذب روی در اندام هوایی و ریشه به طور معنی‌داری افزایش نشان داد. عبدالهادی (2007) دریافت که با افزایش روی در سطوح شوری جذب روی افزایش یافت و بیشتری جذب روی در تیمار 15 میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک و در شوری mg/kg 3000 بدست آمد.

اثر تیمارها بر جذب پتاسیم

شوری با کاهش فعالیت پتاسیم در محلول خاک، به طور قابل توجهی میزان پتاسیم قابل دسترس گیاه را کاهش می‌دهد. همچنین سدیم با پتاسیم بر سر مکان‌های جذب غشای پلاسمایی، رقابت می‌کند و در نهایت شوری به طرز چشمگیری سبب نشت پتاسیم از طریق دپلاریزاسیون فعال می‌شود (شابالا، 2007). احتمالاً روی با افزایش پراکنش و طول ریشه‌ها و در نتیجه افزایش سطح جذب عناصر غذایی، بهبود تشکیل آوندهای آبکش و جلوگیری از تخریب آوندها در شرایط شور، بهبود وضعیت غشاء و حفظ انتخاب پذیری آن سبب افزایش جذب پتاسیم در گیاه می‌شود (کشاورز و همکاران، 1384؛ چاک ماک و همکاران، 2000). کشاورز و ملکوتی (1384) در بررسی تأثیر کاربرد روی بر فیزیولوژی و ترکیب شیمیایی گیاه و سیستم آوندی گزارش کردند شوری سبب کاهش 60 و 56/8 درصدی پتاسیم و کلسیم در اندام هوایی گندم گردید. با افزایش سطح شوری، غلظت سدیم 56 درصد زیاد گردید، ولی با کاربرد سولفات روی در حدود 44 درصد از جذب سدیم، کاسته شد. روی همچنین با محدود نمودن جذب سدیم، سبب بهبود و ارتقای نسبت های K^+/Na^+ و Ca^{2+}/Na^+ در اندام هوایی گندم گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که شوری بر ساختمان و آرایش سیستم آوندی نیز تأثیر گذاشته و باعث تخریب و آسیب به این سیستم مهم انتقال عناصر غذایی در گیاه گندم می‌شود.

اثر تیمارها بر جذب روی

سینگ و همکاران (2005) با آزمایش روی دو گیاه گندم و برنج، سیف الله وهمکاران (2002) به این نتیجه رسیدند که در شرایط شور مصرف کودهای پتاسیمی منجر به افزایش میزان پتاسیم در اندام مختلف گیاه می‌شود. عموماً خاک‌های شور دارای مقادیر متوسط تا فراوان پتاسیم هستند. اما از آنجایی که برای حفظ شوری خاک در حدی معین مقدار بیشتری آب آبیاری مصرف می‌شود، بخش زیادی از پتاسیم محلول طی فرایند آبشویی از نیم رخ خاک و در نتیجه از دسترس گیاه خارج می‌شود. در نتیجه اغلب گیاهان کشت شده در شرایط شور دچار کمبود پتاسیم هستند. در این شرایط نسبت Na^+/K^+ و Ca^{++}/K^+ در محلول خاک‌های شور مختل شده و از این طریق نیز جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد. رقابت یونی در داخل بافت‌های گیاهی، اثر فیزیولوژیکی یک یون را داخل سلول تحت تأثیر قرار می‌دهد (طباطبایی، 2006). اثر پتاسیم بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌داری شد ($p<0/001$) که با نتایج اهنو و گرونس (1985) و وکیل و همکاران (1382)در گندم و اندریس و محمد (2007) در جو مطابقت داشت.

در گیاهان غشای پلاسمایی دیواره‌های کورتکس ریشه، قدرت جذب بالایی برای پتاسیم در مقابل سدیم دارد. البته این انتخاب پذیری بین گونه‌های گیاهی کاملاً متفاوت است. وقتی غلظت سدیم در محلول خاک محیط ریشه افزایش می‌یابد غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد. تیمار پتاسیم با حذف اثر رقابتی سدیم در جذب، عملکرد را در شرایط شوری بهبود می‌بخشد (سویتپ و همکاران، 1995). بر اساس گزارش موسسه بین المللی برنج در فیلیپین ارقام مقاوم به شوری مقدار کمتری Na^+ جذب می‌کنند و نسبت K^+/Na^+ در آنها بزرگتر است. لذا به نظر می‌رسد که نسبت بین عناصر مثلاً K^+/Na^+ در گیاهان مهم‌تر از مقادیر مطلق آنها باشد (میرمحمدی‌میبدی و قره‌یاضی، 1381). آزمایش‌های انجام شده توسط محققان بر روی ارقام مختلف گیاهان نشان می‌دهد که تنش شوری موجب کاهش نسبت K^+/Na^+ در گیاهان می‌شود که نمایانگر سمیت زیاد سدیم می‌باشد. در گیاهان غیر شورپسند با افزایش شوری نسبت K^+/Na^+ کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توان بالا بودن نسبت K^+/Na^+ را در اندام‌های هوایی گیاه تحت شرایط تنش شوری یک معیار در تحمل به شوری دانست.

یئو (1999) گزارش نمود که جذب عناصر غذایی در شرایط شور به دلایل مختلف از جمله کاهش حجم ریشه و خاصیت آنتاگونسیتی بین عناصر غذایی و یون-های سمی کاهش می‌یابد. کاهش جذب عناصر کم مصرف در شرایط شور به دلیل جذب بیشتر Na^+ و Mg^{++} می‌باشد. ال-فولی و همکاران (2010) در بررسی تأثیر برگ‌پاشی عناصر کم مصرف بر گیاه باقالی سبز به منظور افزایش تحمل شوری به این نتیجه رسیدند که کلرید سدیم از رشد و جذب مواد غذایی جلوگیری می‌کند. آنها

همچنین نتیجه گرفتند که برگ‌پاشی عناصر کم مصرف می‌تواند بر وزن خشک و جذب عناصر غذایی قبل و بعد از اعمال شوری اثر مثبت داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

شوری، هر یک از صفات وزن خشک برگ، اندام هوایی و ریشه را به ترتیب به میزان 14/1، 18 و 20/9 درصد کاهش داد. کاربرد 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی در شرایط شور وزن خشک اندام هوایی را نسبت به تیمار شاهد 70 درصد افزایش داد. تیمار شوری جذب پتاسیم اندام هوایی را 19/7 درصد نسبت به شاهد کاهش داد. ولی کاربرد 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی در شرایط شور جذب پتاسیم را به میزان 36/7 درصد افزایش داد. شوری نسبت پتاسیم به سدیم را کاهش داد. کاربرد 400 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم در سطح اول شوری، نسبت پتاسیم به سدیم را 42/2 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. کاربرد 10 میلی‌گرم در کیلوگرم روی در سطح اول شوری، نسبت پتاسیم به سدیم 42/2 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. لذا به منظور تعدیل اثر شوری بر پاسخ های گیاهی می توان تا حدی با کاربرد مناسب عناصر غذایی به ویژه پتاسیم و روی این تنش را مدیریت نمود. تداوم این تحقیقات در شرایط مزرعه و در مورد سایر ارقام گیاهی توصیه می‌شود.

فهرست منابع:

1. ثواقبی، غ ر. ملکوتی، م .ج .و معز اردلان، م .1378 . بر همکنش پتاسیم و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی گندم. مجله خاک. و آب، 12 (6): 112-101.
2. حمزه پور، ن.، ملکوتی، م. ج. و مجیدی، ع. 1389. برهمکنش عناصر روی، آهن و منگنز در اندام‌های مختلف گندم مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 24 (1): 8-1.
3. درودی، م. س. و سیادت، ح. 1378. تأثیر شوری آب آبیاری، کوددهی سولفات پتاسیم و اوره بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در گندم. خاک و آب. ویژه نامه گندم. 12(6): 208-197
4. طهرانی، م. م. بلالی، م. ر. مشیری، ف. و دریاشناس، ع. م. 1389. توصیه و برآورد کود در ایران: چالش‌ها و راهکارها، اولین کنگره چالش‌های کود در ایران، صفحات 2 الی 25، تهران، ایران.
5. کشاورز، پ و ملکوتی. م. ج. 1384. اثر روی و شوری بر رشد، ترکیب شیمیایی و بافت آوندی گندم. علوم خاک و آب، 19(1): 123- 115.
6. میرمحمدی‌میبدی، س. ع. . و ب. قره‌یاضی. 1381. جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری‌گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
7. وکیل، ر. خوشگفتارمنش، ا. ح.، میرزاپور، م. ه. و پ. مهاجر میلانی.1382. بررسی کارآیی مدل جامع توصیه کودی گندم در اراضی شور قم. سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده از کود و سم. کرج، ایران.
8. Abd El-Hady, B.A. 2007. Effect of zinc application on growth and nutrient uptake of barley plant irrigated with saline water. J. Applied Sci. Res., 3: 431-436.
9. Aktax, H., K. Abak, L. Oztur and I. Cakmak. 2006. The effect of zinc on growth and shoot concentrations of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. Turk J. Agric For. 30: 407-412.
10. Anjum, M. A. 2008. Effect of NaCl concentrations in irrigation water on growth and polyamine metabolism in two citrus rootstocks with different levels of salinity tolerance. Acta Physiol. Plant, 30: 43-52.
11. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total.In: Bigham, J. M. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. SSSA, pp. 1085-1121.
12. Broadley, M. R. P., J. White, J. P. Hammond, I. Zelko and A. Lux. 2007. Zinc in plants. New Phytologist 173: 677–702.

13. Cakmak, I. 2000. Possible role of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytol. 146:185-205.
14. Cottenie A. 1980. Soil testing and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. FAO Soils, Bull. 38: 70- 73.
15. Dell'aqulia, A. and P. Spada. 1992. Regulation of protein synthesis in germinating wheat embryos under polyethylene glycol and salt stress. Seed Science Research. 2: 75-80.
16. Duran Zuazo, V. H., A. Martinez-Raya, J. Aguilar Ruiz and D. Franco Tarifa. 2004. Impact of salinity on macro-and micronutrient uptake in mango (*Mangifera indica* L. cv. Osteen) with different rootstocks. Spanish J. Agric. Res. 2: 121-133.
17. El-Fouly, M. M., Z. M. Mobarak and Z. A. Salama. 2010. Improving tolerance of faba bean during early growth stages to salinity through micronutrients foliar spray. Not. Sci. Biol., 2: 98-102.
18. Endris, S and M. J. Mohammed. 2007. Nutrient acquisition and yield response of barley exposed to salt stress under different levels of potassium nutrition. int.J. Environ. Sci.Tech. 4: 323-330.
19. Erdei, L. and E. Taleisnik. 1993. Changes in water relation parameters under osmotic and salt stress in maize and sorghum. Physiologia Plantarum, 89: 381–387.
20. Erner Y, B. Artzi, E. Tagari and M. Homou. 2002. Use of Potassium Nitrate as Alternative For Urea Foliar Spray in Citrus. Alonhanotea, 56: 138-142.
21. Fageria, N. K. 2002. The Use of Nutrients in Crop Plants, CRC Press. 90 p.
22. Farooq, M., S. M. A. Basra, and A. Wahid. 2006. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. Plant Growth Regul. 49: 285-294.
23. Fournier, J. MA., Rolda´n, N.M., Sanchez, C., Ghinas, A., and M. Benlloch. 2005. K^+ starvation increases water uptake in whole sunflower plants. Plant Science.168: 823-829.
24. Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology, 31: 149–190.
25. Hameed, A., S. Naseer, T. Iqbal, H. Syed, and M. A. Haq. 2008. Effects of NaCl salinity on seedling growth, senescence, catalase and protease activities in two wheat genotypes differing in salt tolerance. Pakistan Journal Botany, 40: 1043-1051.
26. Hemeke, P.H. and D.L. Sparks. 1996. Potassium. In Sparks, D.L. et al., Method of Soil Analysis. Published By: Soil Science Society Of America, Inc. American Society Of Agronomy. Inc. Madison, Wisconsin, USA. 551- 574.
27. Hu, Y. and V. Schmidhalter. 2001. Effect of salinity and macronutrient levels on micronutrient in wheat. J. Plant Nutr. 24: 273-281.
28. Khoshgoftarmanesh, A.H., H. Shariat Madari, N. Karimian, M. Kalbasi and M.R. Khajepour. 2004. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a salin calcareous soil. J. Plant Nutr. 27: 1953-1962.
29. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In Sparks, D.L. Et Al., Method of Soil Analysis. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.1996: 869- 920.
30. Marschner, H.1995. Mineral Nutrition of Higher Plant. Second Edition, Academic Press, Londen.
31. Mass, E. V., G. Ogata, and M. J. Garber. 1972. Influence of salinity on Fe, Mn and Zn uptake by plants. Agron. J. 64: 793-795.
32. Nelson, E.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In Methods Of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3. D. L. Sparks, Editor. Soil Sci. Soc. Of Am. Madison, WI.

33. Netondo, G. W., j. C., Onyango JC, and E. Beck. 2004. Sorghum and salinity: I. response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Science, 44: 797–805.
34. Ohnot, T., and D.L. grunes. 1985. Potassium–Magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage. Soil Sci. Am. J. 49: 685-690.
35. Omidi, J., M. Esfahani and M. Carapetion. 2006. Zinc and salinity interaction on agronomical traits, cholorophyll and prolin content in lowland rice (Oryza sative L.) Genotypes. Pak. J. Biol. Sci. 9: 1315-1319.
36. Page, A. L., Miller, Keeney, 1982. Methods of soil analysis. Part 1.Chemical and microbiological properties. 2nd Edition. Madison. WI. USA.
37. Parida, A. K. and A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and environmental safety, 60: 324-349 .
38. Rascio, A., M. Russo, L. Mazzucco, C. Platani, G. Nicastro and N. D. Fonzo. 2001. Enhanced osmotolerance of a wheat mutant selected for potassium accumulation. Plant Science, 160: 441-448.
39. Rayan J., G. Estefan and A. Rashid. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Second edition. ICARDA, Aleppo, Syria.
40. Rhodes, J. D. 1982. Cation Exchange Capacity', in A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (2nd eds), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, WI, U.S.A., pp. 149–157.
41. Saifullah, A., M. Ranjha, M. Yaseen and M. F. Akhtar. 2002. Response of wheat to potassium fertilization under field conditions. Pak. J. Agric. Sci. 39: 269-272.
42. Sairam, R.K., K. Veerabhadra Rao and G.C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci. 163: 1037-1046.
43. Sing, B., S.A. Kumar, B. Natesan, K. Singh and K. Usha. 2005. Improving zinc use efficiency of cereals under zinc deficiency. Curr. Sci. 88: 36-44.Singh, K.N., 2005. Major nutrient management for sustaining rice-wheat productivity in reclaimed sodic soils. Proceeding of the International Conference on Soil, Water and Environmental Quality-Issues and Strategies, Organized by Indian Society Soil Science, January 28-February 1, 2005, IARI, New Delhi, India, pp: 255.
44. Sivvitepe, H. O. and A.M Dourado. 1995. The effect of priming treatment on the viability and accumulation of chromosomal damage in aged pea seeds .Annals of Botany. 75: 165-171.
45. Suhayda, C. G., X. Wang, R. and E. Redmann. 1992. Trace metal composition of *Hordeum spesies* as altered by salinity. In: Stepohn, H., Curtin, D. (Eds) Salinity and Sustainable Agriculture Swift Current Research Station, Saskatchewn.
46. Tabatabaeis, J. 2006. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Oleaeuro paea* L.) trees. Scientia hort. 108: 432-438.
47. Tavallali, V., M. Rahemi, M. Maftoun, B. Panahi, S. Karimi, A. Ramezanian and M. Vaezpour. 2009. Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio .Scientia Horti. 123: 272–279.
48. Umar-Shahid, I. D., A. Naser, M. Anjum, M. Iqbal and E. Pereira. 2011. Potassium-induced alleviation of salinity stress in *Brassica campestral* L. Cent. Eur. J. Biol. 6: 1054-1063.
49. Wei, W., P. E. Bilsborrow, P. Hooley, D. Fincham, A. E. Lombi, and B. P. Forster. 2003. Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar May Thorpe and its derived mutant Golden Promise. Plant and Soil, 250: 183–191.

50. Yavad, U. 1986. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. Hort Science. 21: 1449- 1450.
51. Yeo, A. 1999. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate on crop plants. Seienta Hort. 78:159-174.
52. Yildirim, B., F. Yasar, O. Terzioglu, A. Tamkoc and D. TurkOzu. 2008. Effect of salinity stress on nutrient composition of field pea genotypes (*Pisum sativum. sp. Arvense* L.*)*. J. Anim. Veterin. Advance. 7: 944-948.