نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد نهم، شماره ۱(۳۳)، بهار ۱۳۹۴، صفحه ۴۰-۲۱

اثر شور و غرقاب شدن خاک بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه ذرت

نصرت‌اله نجفی[1*]

چکیده

شوری و غرقاب از تنش‌های غیرزیستی کاهش دهنده عملکرد گیاهان می‌باشند. در این پژوهش، اثر شوری و غرقاب شدن خاک بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ در شرایط گلخانه‌ای مطالعه گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با فاکتورهای مدت غرقاب در پنج سطح (۰، ۲، ۴، ۸ و ۲۰ روز) و شوری عصاره اشباع خاک در چهار سطح (۰/۱۱، ۲، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و در سه تکرار انجام شد. برای بستر رشد گیاه از یک خاک شن لومی و برای ایجاد سطوح شوری در آن از نمک کلرید سدیم استفاده شد. فاکتورهای شوری و غرقاب به‌طور هم‌زمان و از مرحله پنج برگی گیاه به بعد اعمال گردید. گیاهان ۶۰ روز پس از کاشت، برداشت شده و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم ریشه آنها به‌روش خشک‌سوزانی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری کلرید سدیم در خاک، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش ولی غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. غلظت منیزیم و سدیم ریشه در شرایط غرقاب به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط غیرغرقاب بود ولی غلظت پتاسیم و کلسیم ریشه در شرایط غرقاب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط غیرغرقاب به‌دست آمد. با این حال، اثر مدت غرقاب بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ذرت به سطح شوری خاک بستگی داشت. نتایج نشان داد که حتی دوره‌های کوتاه غرقاب شدن خاک بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه ذرت در شرایط شور و غیرشور اثرهای طولانی‌مدت داشت.

واژگان کلیدی: تنش، ذرت، ریشه، شوری، عناصر پرمصرف، غرقاب.

۱- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (* نگارنده‌ی مسئول)
n-najafi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۹

مقدمه

ذرت یکی از محصولات راهبردی بوده و بعد از گندم و برنج سومین غله مهم جهان محسوب می‌شود. این گیاه یکی از مواد غذایی اصلی در مرغداری‌ها، دامداری‌ها و مزارع پرورش ماهی محسوب می‌شود. به‌علاوه، انسان نیز از دانه یا بلال آن تغذیه می‌کند. بنابراین، توسعه کشت ذرت و بهبود عملکرد و کیفیت آن از نظر تأمین غذای دام، طیور و انسان از اهمیت زیادی برخوردار است (Fageria *et al.*, 2010). گیاه ذرت در برابر شوری نسبتاً حساس بوده و شوری آستانه عصاره اشباع خاک برای کاهش عملکرد نسبی آن ۱/۷ dS/m گزارش شده است. به‌ازای افزایش ۱/۰ dS/m شوری عصاره اشباع خاک از شوری آستانه، عملکرد نسبی این گیاه ۱۲ درصد کاهش می‌یابد (Homaee, 2002). پتاسیم، کلسیم و منیزیم از عناصر پرمصرف ضروری برای تغذیه گیاه، انسان و دام می‌باشند. سدیم از عناصر مفید در تغذیه گیاهان و از عناصر پرمصرف ضروری برای تغذیه انسان و دام می‌باشد (Janmohammadi and Sofi, 2008; Marschner, 1995). لذا، وجود غلظتی مناسب از پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در گیاهان نه‌تنها برای رشد مطلوب آنها بلکه در زنجیره غذایی برای سلامتی انسان و دام اهمیت دارد.

در شرایط طبیعی گیاهان با تنش‌های مختلفی مواجه می‌شوند که این تنش‌ها می‌توانند بر رشد، متابولیسم و عملکرد گیاهان اثر منفی داشته باشند. در این میان، شوری آب و خاک از مشکلات عمده تولید پایدار محصولات کشاورزی در جهان و ایران است که بر جذب و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در گیاهان و در نتیجه رشد گیاهان اثر دارد (Malakouti *et al.*, 2003). بررسی نشان می‌دهد که ۶/۸ میلیون هکتار از خاک‌های ایران به مشکل شوری مبتلا می‌باشد و این در حالی است که بر اثر قرار گرفتن قسمت عمده ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و وقوع خشک‌سالی‌ها، مساحت خاک‌های شور کشور هر سال زیاد می‌شود و امنیت غذایی مردم را تهدید می‌کند (Momeni, 2011). کشت گیاهان در خاک شور یا آبیاری آنها با آب شور می‌تواند جذب عناصر غذایی و غلظت آنها در گیاهان را از طریق سمیت یون‌هایی نظیر Na^+، Cl^- و SO_4^{2-} و کاهش پتانسیل آب خاک، تحت تأثیر قرار دهد. همچنین، شوری خاک سبب کاهش جمعیت میکروبی و فعالیت ریزجانداران در خاک شده و از این طریق بر فراهمی عناصر غذایی مختلف تأثیر می‌گذارد (Garcia and Hernandez, 1996; Zahran, 1997; Homaee, 2002).

شوری آب آبیاری یا خاک سبب تغییر ترکیب فاز محلول و تبادلی و حتی فاز جامد خاک شده و از این طریق نیز بر جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه و رشد گیاه اثر می‌گذارد؛ شدت اثر به سطح شوری، نوع نمک، نوع گیاه، حضور سایر تنش‌ها و غیره بستگی دارد (Grattan and Grieve, 1999). اسداللهی و مظفری (Asadollahi and Mozaffari, 2013) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت پتاسیم ریشه دانه‌رست‌های پسته کاهش یافت. مظلومی و رونقی (Mazloomi and Ronaghi, 2012) مشاهده کردند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم جذب کلسیم و منیزیم توسط اسفناج کاهش و جذب سدیم افزایش یافت ولی جذب پتاسیم تغییر معنی‌داری نکرد. ابوطالبی و همکاران (Aboutalebi *et al.*, 2008) گزارش نمودند که اثر شوری کلرید سدیم بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم ریشه مرکبات بسته به نوع عنصر، سطح شوری و نوع پایه متفاوت بود.

غرقاب شدن خاک، یکی دیگر از عامل‌های مؤثر بر جذب و غلظت عناصر در گیاه می‌باشد. از عامل‌های ایجاد کننده شرایط غرقاب می‌توان به بارندگی با شدت و مدت زیاد در اراضی با شیب کم، بالا آمدن سطح آب رودخانه‌ها و دریاها، سیلاب و آبیاری نادرست و بیش از حد اشاره کرد (Marschner, 1995). سیادت و سعادت (Siadat and Saadat, 1997) گزارش دادند که هر سال مساحت قابل‌ملاحظه‌ای از خاک‌های جهان و ایران در معرض غرقاب قرار می‌گیرند. از مشکلاتی که هنگام غرقاب شدن خاک ایجاد می‌شود، می‌توان به کمبود اکسیژن (Kozlowski, 1984)، کمبود نیتروژن ناشی از آب‌شویی و نیترات‌زدایی (Kanwar *et al.*, 1988؛ Marschner, 1995) و تولید مواد سمی ناشی از غرقاب اشاره کرد که سبب مختل شدن جذب عناصر، کاهش رشد و عملکرد گیاهان و افت کیفیت آنها می‌شود (Kanwar *et al.*, 1988). نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) گزارش دادند که اثر غرقاب شدن خاک بر جذب و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در ریشه آفتابگردان بسته به مدت غرقاب و نوع عنصر متفاوت بود. دریو و سیسورو (Drew and Sisworo, 1979) نیز مشاهده کردند که غلظت پتاسیم در گیاه جو پس از غرقاب کاهش یافت. تروت و دریو (Trought and Drew, 1980) گزارش دادند که غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم در بخش هوایی گندم پس از غرقاب شدن خاک کاهش یافت. آنان غلظت عناصر را بلافاصله پس از پایان دوره غرقاب تعیین کردند و این کاهش را به کاهش جذب و انتقال این عناصر به‌وسیله ریشه بر اثر کمبود اکسیژن در خاک نسبت دادند. کوزلووسکی (Kozlowski, 1984) نیز مشاهده کرد که اثر مدت غرقاب شدن خاک بر جذب کلسیم و منیزیم به‌وسیله گیاهان مورد مطالعه کمتر از جذب پتاسیم بود.

گاهی دو تنش شوری و غرقاب هم‌زمان رخ می‌دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش‌تر خاک‌های شور دنیا تحت تأثیر غرقاب قرار می‌گیرند و غرقاب شدن خاک اثر بازدارنده شوری بر رشد گیاه و جذب عناصر را تشدید می‌کند (Drew *et al.* 1988; Qureshi and Barrat-Lannard, 1998; Barrett-Lennard, 2003). شرایط غرقاب به همراه شوری سبب کاهش غلظت اکسیژن و افزایش غلظت یون‌های Na^+ و Cl^- در محیط می‌شود. در این شرایط، جذب بیش‌تر این یون‌ها توسط ریشه و انتقال مقادیر زیاد آنها به اندام‌های هوایی گیاه، سبب پیری زودرس برگ‌ها، تضعیف توان سازگاری گیاه در شرایط غرقاب و سرانجام مرگ گیاه می‌شود (Barrett-Lennard, 2003). با تداوم غرقاب، سرعت انتقال یون Na^+ از ریشه به بخش هوایی افزایش می‌یابد و در بسیاری از گیاهان شوری‌گریز نظیر ذرت، غرقاب اثر شوری بر گیاه را تشدید می‌کند (Drew *et al.* 1988). با توجه به مطالب در پیش گفته شده، به‌نظر می‌رسد میان شوری و غرقاب شدن خاک از نظر جذب و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در ریشه ذرت اثر متقابل وجود داشته باشد. لذا، هدف از این پژوهش، بررسی اثر شوری کلرید سدیم و مدت غرقاب شدن خاک و اثر متقابل آنها بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم ریشه ذرت رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی شامل شوری در چهار سطح (۰/۱۱، ۲، ۴، ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و مدت غرقاب شدن خاک در پنج سطح (۰، ۲، ۴، ۸، ۲۰ روز) و با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. انتخاب سطوح شوری و غرقاب با استفاده از تجربیات سایر پژوهش‌گران انجام شد (Trought and Drew, 1980;

Drew *et al.*, 1988; Homaee, 2002; Malik *et al.*, 2002; Mamta *et al.*, 2008; Najafi *et al.*, 2012). خاک مورد نظر از ایستگاه تحقیقات خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. نمونه خاک پس از هـوا خشک شـــدن، کوبیـده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس فسفر قابل جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم قابل‌جذب با عصاره‌گیر استات آمونیم (Knudsen *et al.*, 1982)، آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب با عصاره‌گیر DTPA (Lindsay and Norvell, 1978)، pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک (Mclean, 1982) و EC آن در عصاره اشباع (Gupta, 2000)، بافت خاک به‌روش هیدرومتر با چهار قرائت (Gee and Or, 2002)، کربن آلی خاک به‌روش اکسایش تر (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش خنثی‌سازی با اسیـد و تیتر کردن با سـود (Richards, 1954) اندازه‌گیری شد.

برای کشت گیاه از گلدان‌هایی به قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که حاوی ۲/۵ کیلوگرم خاک با بافت شن لومی بودند، استفاده شد. علت انتخاب خاک با بافت سبک به دو دلیل بود: ۱) جداسازی سیستم ریشه گیاه از خاک تسهیل گردد تا امکان مطالعه اثر تیمارها بر ویژگی‌های رشد ریشه و غلظت عناصر در آن نیز فراهم شود؛ ۲) پس از زهکشی آب اضافی سریع‌تر از خاک خارج شود و خاک فقط برای مدت مورد مطالعه به حالت غرقاب باشد. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) کودهای شیمیایی مورد نیاز (۳۰۰ میلی‌گرم اوره، ۱۵۰ میلی‌گرم $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$، ۱۰۰ میلی‌گرم K_2SO_4، ۴۰ میلی‌گرم $FeSO_4.7H_2O$، ۲۰ میلی‌گرم $MnSO_4.H_2O$، ۲۰ میلی‌گرم $ZnSO_4.7H_2O$، ۱۰ میلی‌گرم $CuSO_4.5H_2O$ و ۵ میلی‌گرم H_3BO_3 بر کیلوگرم خاک)، قبل از کشت گیاه به‌صورت محلول به خاک گلدان‌ها افزوده شد و خوب مخلوط شد. کود اوره در سه مرحله (پیش از کشت، سه‌برگی و ساقه‌دهی) و هر بار یک‌سوم آن مصرف شد.

برای کشت گیاه، ابتدا بذور ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد ضدعفونی و با آب مقطر شسته شدند. سپس در میان چند لایه پارچه متقالی تمیز و مرطوب قرار داده شدند تا جوانه بزنند. تعداد شش بذر جـــوانه‌دار شـــده در عمق ۲/۵ سانتی‌متری خاک داخل گلدان‌ها کشت و در شرایط گلخانه با دمای ۵±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۵۵ درصد نگهداری شدند. رطوبت خاک گلدان‌ها روزانه از طریق توزین در دامنه ۷۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شد. بعد از رشد و استقرار گیاه، بوته‌های ضعیف حذف شده و سه بوته یکنواخت و سالم ذرت در هر گلدان نگهداری شد. فاکتورهای شوری و غرقاب بعد از رسیدن گیاهان به مرحله پنج برگی و به‌طور هم‌زمان اعمال شد. برای اعمال سطوح شوری ابتدا یک محلول کلرید سدیم با غلظت معین تهیه گردید و خاک گلـدان‌ها با حجم‌های مختلفی از آن به‌تدریج طوری آبیاری شد که قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از ۰/۱۱ در سطح شاهد به ۲، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یابد. افزایش تدریجی سطح شوری خاک برای جلوگیری از وارد شدن شوک نمکی به گیاه انجام شد. در ضمن در شرایط واقعی مزرعه هم شوری خاک بر اثر آبیاری با آب شور به‌تدریج افزایش می‌یابد. سپس سطوح غرقاب (صفر، ۲، ۴، ۸ و ۲۰ روز) اعمال گردید. ارتفاع آب غرقاب در سطح خاک گلدان‌ها سه سانتی‌متر بود. در پایان هر یک از دوره‌های غرقاب، گلدان‌ها با ایجاد

سوراخ‌هایی در ته آنها زهکشی شدند و زه‌آب آنها جمع‌آوری و در مراحل بعدی رشد با آب زه‌آب آبیاری شد تا بر اثر هدررفت نمک بر شوری و غلظت عناصر غذایی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای نداشته باشد. پس از زهکشی اجازه داده شد تا گیاهان به رشد خود ادامه دهند (حدود ۳۵ روز) تا معلوم شود اثر غرقاب با گذشت زمان برطرف می‌شود یا این که تا مدت طولانی باقی می‌ماند. برای این منظور از پژوهش مالیک و همکاران (Malik *et al.*, 2002) استفاده گردید. پس از ۶۰ روز رشد، بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و ریشه‌ها نیز از خاک جدا شد. پس از تمیز کردن ریشه‌ها و شستشوی آنها با آب مقطر، ریشه‌ها در داخل دستگاه خشک‌کن فن‌دار با دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به‌مدت ۷۲ ساعت نگهداری تا خشک شدند. سپس خرد و آسیاب شدند و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. غلظت K، Ca، Mg و Na ریشه ذرت، به‌روش خشک‌سوزانی (Westerman, 1990) تعیین گردید. برای تعیین غلظت سدیم، پتاسیم موجود در عصاره‌ها از دستگاه فلیم فتومتر مدل ۴۱۰ ساخت شرکت کورنینگ انگلستان و غلظت کلسیم و منیزیم از دستگاه جذب اتمی مدل AA-6200 شرکت شیمادزو ژاپن استفاده شد. تحلیل آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد) با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

آگاهی از ویژگی‌های خاک برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و تعمیم نتایج حاصل از پژوهش به خاک‌های مشابه ضروری است. بنابراین، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و غلظت کربن آلی، نیتروژن کل و عناصر قابل‌جذب گیاه در خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای در جدول‌های ۱ و ۲ ارایه شده است. این خاک دارای pH قلیایی، بافت درشت، آهک ناچیز، ماده آلی خیلی کم و غیرشور بود (Hazelton and Murphy, 2007).

غلظت پتاسیم ریشه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر غلظت پتاسیم ریشه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم ریشه ذرت برای اثر اصلی شوری (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطوح شوری عصاره اشباع خاک غلظت پتاسیم ریشه روند یکسانی نداشت. با این حال دو سطح شاهد و ۴dS/m در گروه با غلظت پتاسیم ریشه زیاد و دو سطح ۲ و ۸dS/m نیز در گروه با غلظت کم قرار گرفتند. ابوطالبی و همکاران (Aboutalebi *et al.*, 2008) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم، غلظت پتاسیم ریشه چهار گونه مرکبات کاهش یافت ولی در یک گونه تغییر معنی‌داری نکرد. اسداللهی و مظفری (Asadollahi and Mozaffari, 2013) کاهش غلظت پتاسیم ریشه پسته با افزایش سطوح شوری را گزارش کردند. چارتزولاکیس و همکاران (Chartzulokis *et al.*, 2002) در آزمایشی بر روی شش رقم زیتون مشاهده کردند که با افزایش سطح شوری غلظت پتاسیم در ریشه کاهش یافت و شدت کاهش در ریشه بیش‌تر از بخش هوایی بود. مامتا و همکاران (Mamta *et al.*, 2008) مشاهده کردند با افزایش سطح شوری از ۰/۳ تا ۱۰dS/m غلظت پتاسیم ریشه گیاه عناب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. آنان مشابه بودن سازوکار جذب سدیم و پتاسیم را علت این امر دانستند. مقایسه اورتوگونال نشان داد که افزودن کلرید سدیم به خاک سبب کاهش غلظت پتاسیم ریشه ذرت نسبت به شاهد شد و به‌نظر می‌رسد در این کاهش، علاوه‌بر اثر آنتاگونیستی سدیم بر جذب

پتاسیم، کاهش فعالیت میکروبی، کاهش سرعت معدنی شدن مواد آلی و در نتیجه، کاهش سرعت آزادسازی پتاسیم در شرایط شور نقش داشته باشد (Marschner, 1995; Malakouti *et al.*, 2003).

مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم ریشه ذرت برای اثر اصلی غرقاب (جدول ۴) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب، غلظت پتاسیم ریشه روند ثابتی نداشت. بیش‌ترین غلظت پتاسیم ریشه ذرت در ۴ و ۸ روز پس از غرقاب شدن خاک مشاهده شد و کمترین آن نیز ۲ و ۲۰ روز پس از غرقاب بود. چن و همکاران (Chen *et al.*, 2005) گزارش دادند که غلظت پتاسیم برگ‌های *Lepidium latifolium* تا ۳۰ روز پس از غرقاب افزایش و پس از آن کاهش یافت. افزایش غلظت پتاسیم ریشه آفتابگردان پس از غرقاب شدن خاک به‌وسیله نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) نیز گزارش شده است. آنان این افزایش را به افزایش غلظت NH_4^+، Fe^{2+} و Mn^{2+} پس از غرقاب شدن خاک نسبت دادند که این کاتیون‌ها به مکان‌های تبادلی حمله می‌کنند و سبب افزایش غلظت پتاسیم محلول خاک (Islam and Islam, 1973; Narteh and Sahrawat, 1999) و در نتیجه افزایش جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه می‌شوند. اسمتورست و همکاران (Smethurst *et al.*, 2005) کاهش غلظت پتاسیم ریشه یونجه پس از غرقاب شدن خاک را گزارش کردند. کاهش غلظت پتاسیم ریشه ذرت در دو روز غرقاب را می‌توان به رقیق شدن محلول خاک بر اثر غرقاب شدن و کاهش غلظت پتاسیم آن نسبت داد زیرا هنوز غلظت NH_4^+، Fe^{2+} و Mn^{2+} به‌حدی زیاد نشده است که به مکان‌های تبادلی حمله کرده و پتاسیم را به محلول خاک آزاد نمایند. کاهش غلظت پتاسیم ریشه ذرت در ۲۰ روز غرقاب را می‌توان به کمبود تهویه و بروز تنش کمبود اکسیژن در غرقاب طولانی‌مدت نسبت داد که سبب مختل شدن تنفس ریشه و جذب فعال پتاسیم به‌وسیله ریشه می‌شود (Marschner, 1995). در نتیجه، غلظت پتاسیم ریشه گیاه کاهش می‌یابد. پس از غرقاب شدن خاک، کاهش غلظت پتاسیم برگ‌های پنبه به‌وسیله هاکینگ و همکاران (Hocking *et al.*, 1987)، عدم تغییر معنی‌دار غلظت پتاسیم پهنک برگ انگور به‌وسیله استونس و پریور (Stevens and Prior, 1994)، کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (Smethurst *et al.*, 2005) و کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی پنبه به‌وسیله میلروی و همکاران (Milroy *et al.*, 2009) گزارش شده است.

مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم ریشه برای اثر متقابل غرقاب و شوری نشان داد که اثر سطوح شوری بر غلظت پتاسیم ریشه بسته به مدت غرقاب شدن خاک متفاوت بود. در شرایط غیرغرقاب، افزایش سطح شوری تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم ریشه ذرت نداشت (شکل ۱). در این مورد برآیند دو عامل غلظت پتاسیم ریشه ذرت را کنترل می‌کند یکی افزایش غلظت پتاسیم ریشه بر اثر کاهش رشد ریشه و وقوع پدیده اثر تغلیظ[۱] و دیگری کاهش غلظت پتاسیم ریشه بر اثر رابطه آنتاگونیستی میان سدیم و پتاسیم (Marschner, 1995). به‌نظر می‌رسد در شرایط غیرغرقاب این دو عامل تقریباً باهم برابری می‌کنند در نتیجه غلظت پتاسیم ریشه ذرت تغییر معنی‌داری نمی‌کند. در دو روز غرقاب، غلظت پتاسیم در دو سطح شوری شاهد و ۲dS/m تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (به همان دلیلی که ذکر شد) ولی با افزایش سطح شوری به ۸dS/m غلظت پتاسیم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (احتمالاً بر اثر رابطه آنتاگونیستی میان سدیم و پتاسیم). هشت روز پس از

۱- Concentration effect

غرقاب شدن خاک، غلظت پتاسیم در سطح شوری ۲dS/m به‌طور معنی‌داری کمتر از سطوح دیگر بود و در بین سایر سطوح شوری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در ۲۰ روز غرقاب نیز با افزایش سطح شوری غلظت پتاسیم کاهش یافت و غلظت پتاسیم ریشه در سه سطح ۰/۱۱، ۲ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کمترین غلظت پتاسیم ریشه پس از ۲۰ روز غرقاب شدن خاک در سطح شوری ۸dS/m مشاهده گردید هر چند که با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). کمتر بودن غلظت پتاسیم ریشه در تیمار ۲۰ روز غرقاب و شوری ۸dS/m را می‌توان به کاهش جذب پتاسیم بر اثر مختل شدن تنفس ریشه گیاه و کاهش رشد در شرایط غرقاب طولانی (Marschner, 1995) و اثر آنتاگونیستی سدیم بر جذب پتاسیم در شرایط شور (Malakouti *et al.*, 2003) نسبت داد.

غلظت سدیم ریشه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر غلظت سدیم ریشه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های غلظت سدیم ریشه ذرت برای اثر اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطح شوری، غلظت سدیم ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری که بیش‌ترین غلظت سدیم ریشه در دو سطح شوری ۴ و ۸dS/m و کمترین آن در سطح شوری شاهد بود (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های ابوطالبی و همکاران (Aboutalebi *et al.*, 2008)، وحید و همکاران (Waheed *et al.*, 2006) و مامتا و همکاران (Mamta *et al.*, 2008) مطابقت داشت. افزایش غلظت سدیم ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم را می‌توان به افزایش سرعت جذب سدیم به‌وسیله ریشه (بر اثر افزایش غلظت سدیم) و کاهش رشد ریشه و وقوع پدیده تغلیظ نسبت داد (Marschner, 1995).

مقایسه میانگین‌های غلظت سدیم ریشه ذرت برای اثر اصلی غرقاب (جدول ۴) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب تا هشت روز غلظت سدیم ریشه کاهش یافت ولی پس از آن با افزایش مدت غرقاب به ۲۰ روز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) گزارش دادند که غلظت سدیم ریشه آفتابگردان در شرایط غرقاب بیشتر از شرایط غیرغرقاب بود. آنان این افزایش را به کاهش رشد ریشه و وقوع پدیده تغلیظ نسبت دادند. کاهش غلظت سدیم ریشه ذرت در زمان‌های اولیه غرقاب احتمالاً ناشی از بیش‌تر بودن سرعت رشد ریشه (شاید به‌دلیل تشکیل ریشه‌های هوایی) از سرعت جذب سدیم می‌باشد.

مقایسه میانگین‌های غلظت سدیم ریشه برای اثر متقابل غرقاب و شوری (شکل ۲) نشان داد که اثر مدت غرقاب شدن خاک بر غلظت سدیم ریشه بسته به سطوح شوری متفاوت بود. در سطوح شوری ۰/۱۱ و ۸dS/m، با افزایش مدت غرقاب غلظت سدیم ریشه ابتدا کاهش سپس افزایش یافت ولی پیوسته کمتر از شرایط غیرغرقاب بود. در سطح شوری ۲dS/m، غلظت سدیم ریشه با افزایش مدت غرقاب کاهش یافت. کمتر بودن غلظت سدیم ریشه در شرایط غرقاب از شرایط غیرغرقاب را می‌توان به رقیق شدن محلول خاک بر اثر غرقاب شدن (افزایش مقدار آب خاک) و کاهش غلظت سدیم محلول خاک و در نتیجه کاهش سرعت جذب سدیم به‌وسیله ریشه نسبت داد. در سطح شوری ۴dS/m، غلظت سدیم ریشه با افزایش مدت غرقاب روند یکسانی نداشت که دلیل آن را می‌توان به پیچیده بودن اثر متقابل سه‌جانبه شوری× غرقاب×پاسخ ریشه از نظر اثر بر غلظت سدیم ریشه نسبت داد. بیش‌ترین غلظت سدیم ریشه در سطح شوری ۸dS/m و در شرایط غیرغرقاب بود (شکل ۲). کوپر (Cooper, 1981) مشاهده کرد

که در گیاه *Juncus gerardii* غرقاب سبب افزایش غلظت سدیم بخش هوایی گردید و توأم بودن غرقاب با شوری این افزایش را تشدید کرد. همچنین، وی مشاهده کرد که در گیاه *Aster tripolium* غرقاب تأثیری بر غلظت سدیم بخش هوایی نداشت ولی غرقاب توأم با شوری سبب افزایش غلظت سدیم بخش هوایی گردید. اختر و همکاران (Akhtar *et al.*, 2000) نشان دادند که میزان جذب سدیم به‌وسیله ژنوتیپ‌های گندم در شرایط غرقاب افزایش یافت و اعمال توأم غرقاب و شوری اثر شوری را تشدید کرد.

نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه: تالوار و همکاران (Talwar *et al.*, 2011) بیان داشتند که در خاک‌هایی که شوری آنها غالباً ناشی از کلرید سدیم می‌باشد، می‌توان از نسبت غلظت پتاسیم به سدیم گیاه به‌عنوان شاخصی از تحمل گیاه در برابر شوری استفاده کرد. در شرایط یکسان، هر قدر این نسبت بیش‌تر باشد، تحمل گیاه در برابر شوری بیش‌تر خواهد بود. برای مثال، اگر در شرایط شور، با غرقاب شدن خاک این نسبت افزایش یابد، تحمل گیاه در برابر شوری افزایش می‌یابد. تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر نسبت غلظت سدیم به پتاسیم ریشه ذرت در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه ذرت برای اثر اصلی مدت غرقاب شدن خاک نشان داد که نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه در ۲ روز غرقاب تغییر معنی‌داری نکرد ولی در ۴ و ۸ روز غرقاب به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و در ۲۰ روز غرقاب مجدداً کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که در ۴ و ۸ روز غرقاب سرعت جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه بیش‌تر از سرعت جذب سدیم بوده است. بنابراین، غرقاب کوتاه‌مدت تحمل گیاه را در برابر شوری کلرید سدیم افزایش می‌دهد ولی غرقاب طولانی‌مدت با کاهش نسبت پتاسیم به سدیم ریشه می‌تواند اثر منفی شوری کلرید سدیم بر گیاه را تشدید نماید. به‌نظر می‌رسد در غرقاب طولانی‌مدت، به‌دلیل کمبود اکسیژن و مختل شدن ناقل‌های موجود در غشاهای سلولی و مختل شدن جذب پتاسیم و سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تحمل گیاه در برابر شوری کاهش می‌یابد. یکی از این ناقل‌ها ناقل پادبر K^+-Na^+ می‌باشد که در شرایط شوری کلرید سدیم، سدیم را از سلول‌های ریشه خارج و پتاسیم را به آنها وارد می‌کند (Marschner, 1995). تامسون و همکاران (Thomson *et al.*, 1989) نیز گزارش دادند که غرقاب شدن محیط رشد گیاه، سبب کاهش نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه و کاهش انتقال پتاسیم به بخش هوایی گیاه می‌شود.

مقایسه میانگین‌های نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه ذرت برای اثر اصلی شوری خاک نشان داد که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم در خاک این نسبت در ریشه ذرت کاهش یافت (جدول ۴) که با نتایج ابوطالبی و همکاران (Aboutalebi *et al.*, 2008) مطابقت داشت. این کاهش را می‌توان به کاهش رشد ریشه و افزایش سرعت جذب سدیم بر اثر افزایش سطوح کلرید سدیم در خاک نسبت داد. در یک بررسی دیگر نیز کاهش نسبت غلظت پتاسیم به سدیم، شش رقم زیتون با افزایش سطوح شوری مشاهده شد (Chartzulokis *et al.*, 2002). تعادل بین سدیم و پتاسیم در بافت‌ها یکی از سازوکارهای ویژه تحمل به نمک در گیاهان است. کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در بافت‌ها سبب کاهش تحمل گیاهان در برابر شوری می‌شود (Zuazo *et al.*, 2004). گریو و والکر (Grieve and Walker, 1983) اظهار داشتند که رقابت بین پتاسیم و سدیم بر سر استفاده از ناقل‌های موجود در ریشه هنگام جذب، مهم‌ترین عامل کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در

سطوح شوری زیاد می‌باشد و انتخاب ژنوتیپ مناسب، با تغییر نسبت جذب به نفع پتاسیم و دفع بیش‌تر سدیم، گزینش‌پذیری پتاسیم به سدیم را بهبود می‌بخشد.

مقایسه میانگین‌های نسبت پتاسیم به سدیم ریشه برای اثر متقابل غرقاب و شوری نشان داد که اثر سطوح شوری خاک بر این نسبت بسته به مدت غرقاب متفاوت بود. در زمان‌های صفر و ۲۰ روز غرقاب با افزایش سطوح شوری این نسبت کاهش یافت که با توجه به افزایش غلظت سدیم در محلول خاک مطابق انتظار بود. در ۲ روز غرقاب این نسبت تا سطح شوری dS/m ۴ تغییر معنی‌داری نکرد ولی در سطح dS/m ۸ افزایش یافت. در زمان‌های ۴ و ۸ روز غرقاب، این نسبت با فزایش سطوح شوری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۳). این نتایج با گزارش چارتزولاکیس و همکاران (Chartzulokis *et al.*, 2002) مطابقت داشت. همچنین، اثر مدت غرقاب شدن خاک بر نسبت پتاسیم به سدیم ریشه به سطح شوری خاک بستگی داشت. در سطوح ۰/۱۱ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر این نسبت با افزایش مدت غرقاب ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت که نشان می‌دهد در این سطوح شوری، غرقاب شدن کوتاه‌مدت خاک سرعت جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه را بیش‌تر از سدیم افزایش داد. در سطوح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر این نسبت ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت که نشان می‌دهد غرقاب کوتاه‌مدت با افزایش سرعت جذب پتاسیم نسبت به سدیم سبب افزایش این نسبت شده است. این نتایج حاکی از پیچیده بودن اثر متقابل سه‌جانبه شوری× غرقاب× پاسخ ریشه گیاه از نظر اثر بر نسبت پتاسیم به سدیم ریشه می‌باشد. میانگین این نسبت در ریشه ذرت ۰/۶۵ بود که نشان دهنده این است که میانگین غلظت سدیم ریشه ۲/۶ برابر میانگین غلظت پتاسیم بود. بیش‌تر بودن غلظت سدیم ریشه از غلظت پتاسیم آن ناشی از مصرف کلرید سدیم برای ایجاد سطوح شوری می‌باشد که غلظت سدیم محلول خاک را به‌شدت افزایش می‌دهد. ملکوتی و همکاران (Malakouti *et al.*, 2003) بیان داشتند که علی‌رغم قدرت جذب بیش‌تر پتاسیم نسبت به سدیم به‌وسیله ریشه گیاه، نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های مختلف گیاه به نسبت پتاسیم به سدیم عصاره اشباع خاک، درصد سدیم قابل‌تبادل خاک و گونه گیاه بستگی دارد.

غلظت کلسیم ریشه: تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر غلظت کلسیم ریشه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم ریشه ذرت برای اثر اصلی شوری (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ۸dS/m غلظت کلسیم ریشه افزایش یافت؛ به‌طوری که بیش‌ترین غلظت کلسیم ریشه در شوری ۸dS/m و کمترین آن در سطح شوری شاهد مشاهده گردید. این نتایج، با گزارش‌های وحید و همکاران (Waheed *et al.*, 2006) در مورد گیاه *Cajanus cajan* L. و زوازو و همکاران (Zuazo *et al.*, 2004) در مورد گیاه انبه (*Mangifer indica* L.) مطابقت داشت. کنت و لاچی (۱۹۸۵) بیان نمودند که افزایش غلظت کلسیم ریشه در شرایط شور اثر منفی شوری بر رشد ریشه را کاهش می‌دهد. ابوطالبی و همکاران (Aboutalebi *et al.*, 2008) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت کلسیم ریشه ۴ گونه مرکبات کاهش و یک گونه افزایش یافت. افزایش غلظت کلسیم ریشه با افزودن کلرید سدیم در خاک به چند دلیل می‌تواند باشد: یکی، افزایش غلظت Na^{+} در محلول خاک و حمله این کاتیون به مکان‌های تبادلی و آزادسازی Ca^{2+} به محلول و افزایش سرعت جذب کلسیم به‌وسیله ریشه، دیگری، کاهش رشد ریشه بر

اثر تنش شوری و افزایش غلظت کلسیم در آن بر اثر پدیده تغلیظ (Marschner, 1995). بنابراین، مصرف کلرید سدیم در خاک سبب افزایش سرعت جذب کلسیم نسبت به سرعت رشد ریشه می‌شود و در نتیجه غلظت کلسیم ریشه زیاد می‌شود (جدول ۴).

مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم ریشه ذرت برای اثر اصلی غرقاب (جدول ۴) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب از صفر به دو روز، غلظت کلسیم ریشه کاهش یافت و سپس تغییر معنی‌داری نکرد. مقایسه‌های مستقل (اورتوگونال) نشان داد که غلظت کلسیم ریشه در شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود. کاهش غلظت کلسیم ریشه ذرت بر اثر غرقاب شدن خاک را می‌توان به صدمه ناشی از غرقاب (Najafi and Sarhangzadeh, 2012) و اثر رقابت یون‌های آمونیوم، پتاسیم و سدیم با کلسیم در جذب مربوط دانست. در شرایط غرقاب، غلظت یون‌های آمونیوم، پتاسیم، سدیم و منیزیم محلول خاک افزایش می‌یابد (Islam and Islam, 1973; Narteh and Sahrawat, 1999)؛ افزایش غلظت این یون‌ها می‌تواند به کاهش جذب کلسیم به‌وسیله گیاه منجر شود. به‌نظر می‌رسد کم بودن نقاط جذب کلسیم در ریشه، که محدود به قسمت‌های نوک ریشه می‌باشد (Marschner, 1995)، در این پدیده تأثیر داشته باشد. اسمتورست و همکاران (Smethurst *et al.*, 2005) نیز گزارش دادند که غلظت کلسیم ریشه یونجه پس از غرقاب شدن خاک کاهش یافت. نتایج بررسی نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) نشان داد که با غرقاب شدن خاک، غلظت کلسیم ریشه آفتابگردان در ۲ روز غرقاب افزایش و پس از یک کاهش در ۴ روز غرقاب، مجدداً افزایش یافت و در ۲۲ روز غرقاب به حداکثر مقدار خود رسید. آنان این افزایش را به کاهش رشد و وقوع پدیده تغلیظ نسبت دادند.

مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم ریشه ذرت برای اثر متقابل غرقاب و شوری (شکل ۴) نشان داد که اثر سطوح شوری بر غلظت کلسیم ریشه بسته به مدت غرقاب متفاوت بود. در شرایط غیرغرقاب، غلظت کلسیم ریشه با افزایش سطوح شوری عصاره اشباع خاک ابتدا کاهش و سپس به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در مورد کاهش غلظت کلسیم ریشه در حضور کلرید سدیم، لاچی و لینچ (Lauchi and Lynch, 1985) بیان داشتند که احتمالاً سدیم از حرکت شعاعی کلسیم از محلول بیرونی به آوند چوبی ریشه با اشغال نمودن مکان‌های تبادل کاتیونی در آپوپلاست جلوگیری می‌کند. جانزن و چنگ (Janzen and Chang, 1987) کاهش غلظت کلسیم در شرایط شوری کلرید سدیم را به اثر آنتاگونیستی یون سدیم بر جذب کلسیم و افزایش قدرت یونی محلول خاک نسبت دادند. دلایل افزایش غلظت کلسیم ریشه در حضور کلرید سدیم قبلاً ذکر شد. در شرایط غرقاب (به‌مدت ۲، ۴ و ۸ روز)، با افزایش سطوح شوری غلظت کلسیم ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در شرایط غرقاب (به‌مدت ۲۰ روز) با افزایش سطوح شوری غلظت کلسیم ریشه ابتدا افزایش و سپس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، اثر مدت غرقاب بر غلظت کلسیم ریشه بسته به سطوح شوری خاک متفاوت بود. در سطوح شوری ۰/۱۱ و ۴dS/m، غلظت کلسیم ریشه با افزایش مدت غرقاب ابتدا کاهش سپس افزایش یافت. در سطح شوری ۲dS/m غلظت کلسیم ریشه با افزایش مدت غرقاب ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در سطح شوری ۸dS/m با افزایش مدت غرقاب، غلظت کلسیم ریشه تا ۲ روز غرقاب تغییر معنی‌داری نکرد ولی در ۴ روز غرقاب کاهش یافته و سپس تغییر معنی‌داری نکرد.

غلظت منیزیم ریشه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر

غلظت منیزیم ریشه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های غلظت منیزیم ریشه ذرت برای اثر اصلی شوری (جدول ۴) نشان داد که با افزایش سطوح شوری غلظت منیزیم ریشه کاهش و سپس افزایش یافت. بیش‌ترین غلظت منیزیم ریشه در سطح شوری ۸dS/m و کمترین آن در سطوح شوری ۲ dS/m و ۴dS/m بود. ابوطالبی و همکاران (Aboutalebi *et al.*, 2008) نیز گزارش دادند که غلظت منیزیم ریشه گونه‌های مختلف مرکبات با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم افزایش یافت. زوازو و همکاران (Zuazo *et al.*, 2004) مشاهده کردند با افزایش سطح شوری غلظت منیزیم در ساقه گیاه انبه افزایش یافت ولی غلظت منیزیم در برگ‌ها و ریشه کاهش یافت. رویز و همکاران (Ruiz *et al.*, 1997) گزارش دادند که شوری NaCl سبب کاهش غلظت منیزیم برگ‌های مرکبات گردید.

مقایسه میانگین‌های غلظت منیزیم ریشه ذرت برای اثر اصلی غرقاب (جدول ۴) نشان داد که غلظت منیزیم ریشه ذرت در شرایط غرقاب نسبت به شرایط غیرغرقاب کاهش یافت و میزان کاهش با افزایش مدت غرقاب بیش‌تر شد. این کاهش را می‌توان به افزایش غلظت کاتیون‌های آمونیوم، پتاسیم و سدیم محلول خاک پس از غرقاب (Islam and Islam, 1973; Narteh and Sahrawat, 1999) و اثر آنتاگونیستی آنها روی جذب منیزیم، مختل شدن تنفس ریشه گیاه بر اثر تنش کمبود اکسیژن در شرایط غرقاب و مختل شدن جذب فعال منیزیم به‌وسیله ریشه ذرت نسبت داد (Marschner, 1995). با این حال، در یک بررسی دیگر نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) گزارش دادند که غلظت منیزیم ریشه آفتابگردان با افزایش مدت غرقاب شدن خاک افزایش یافت. آنان این افزایش را به کاهش رشد و وقوع پدیده تغلیظ نسبت دادند.

مقایسه میانگین‌های غلظت منیزیم ریشه ذرت برای اثر متقابل شوری و غرقاب (شکل ۵) نشان داد که اثر مدت غرقاب بر غلظت منیزیم ریشه بسته به سطوح شوری متفاوت بود. در سطح شوری شاهد، غلظت منیزیم ریشه با افزایش مدت غرقاب به دو روز تغییر معنی‌داری نکرد ولی پس از آن کاهش یافت و ثابت ماند. در سطح شوری ۲dS/m، غلظت منیزیم ریشه با افزایش مدت غرقاب ابتدا کاهش سپس افزایش و دوباره کاهش یافت. در سطح شوری ۴dS/m، غلظت منیزیم ریشه با افزایش مدت غرقاب ابتدا کاهش سپس افزایش یافت و ثابت ماند. در سطح شوری ۸dS/m، غلظت منیزیم ریشه با افزایش مدت غرقاب ابتدا افزایش سپس کاهش یافت و ثابت ماند. اثر سطوح شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت منیزیم ریشه بسته به مدت غرقاب متفاوت بود. در سطوح صفر و دو روز غرقاب غلظت منیزیم ریشه با افزایش سطح شوری ابتدا کاهش سپس افزایش یافت. در سطح چهار روز غرقاب غلظت منیزیم ریشه با افزایش سطوح شوری افزایش یافت. در سطح هشت روز غرقاب، غلظت منیزیم ریشه با افزایش سطوح شوری ابتدا افزایش سپس کاهش و دوباره افزایش یافت. در سطح ۲۰ روز غرقاب، غلظت منیزیم ریشه میان دو سطح ۲ dS/m و ۴dS/m تفاوت معنی‌دار داشت ولی سایر سطوح تفاوت معنی‌داری نداشتند. این نتایج حاکی از پیچیده بودن اثر متقابل سه‌جانبه شوری×غرقاب×پاسخ ریشه از نظر اثر بر غلظت منیزیم ریشه ذرت می‌باشد. کوپر (Cooper, 1981) مشاهده کرد که اعمال شوری، غرقاب و شوری توأم با غرقاب سبب افزایش غلظت منیزیم بخش هوایی گیاه *Juncus gerardii* شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که اثرهای اصلی و متقابل شوری و مدت غرقاب بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و

سدیم و نسبت سـدیم به پتاسیم در ریشه ذرت علوفه‌ای معنی‌دار بودند. با افزایش سطح شوری کلرید سدیم در خاک، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش ولی غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. غلظت منیزیم و سدیم ریشه در شرایط غرقاب به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط غیرغرقاب بود ولی غلظت پتاسیم و کلسیم ریشه در شرایط غرقاب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط غیرغرقاب بود. با این حال، اثر مدت غرقاب بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه ذرت به سطح شوری خاک بستگی داشت. نتایج حاکی از پیچیده بودن اثر متقابل سه‌جانبه شوری×غرقاب×پاسخ ریشه از نظر اثر بر غلظت عناصر مورد مطالعه در ریشه ذرت بود. به‌نظر می‌رسد افزایش غلظت کلسیم ریشه در شرایط شور و غرقاب، می‌تواند تحمل ریشه ذرت را در برابر تنش‌های شوری و غرقاب بهبود بخشـد. نتـایج نشـان داد که حتی دوره‌های کوتاه غرقاب شدن خاک (به‌مدت دو روز) بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه ذرت در شرایط شور و غیرشور اثرهای طولانی‌مدت داشت. پیشنهاد می‌شود اثر متقابل شوری و مدت غرقاب بر ویژگی‌های رشد و غلظت عناصر در ذرت و سایر گیاهان مهم زراعی و باغی در خاک‌های با بافت سنگین و در شرایط واقعی مزرعه نیز مطالعه شود.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Some chemical and physical characteristics of studied soil

هدایت الکتریکی	pH	رطوبت اشباع	کربنات کلسیم معادل	رس	شن	کلاس بافت خاک
Saturate extract electrical conductivity	(1:1)	Saturation percentage	Calcium carbonate equivalent	Clay	Sand	Soil texture class
(dS/m)	-	(%)	(%)	(%)	(%)	-
0.11	7.63	32	0	12	70	Sandy loam

جدول ۲- غلظت کربن آلی، نیتروژن کل و عناصر قابل‌جذب گیاه در خاک مورد مطالعه

Table 2- Concentrations of organic carbon, total N and available elements in studied soil

Organic Carbon	Total N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
(٪)		Available (mg/kg)								
0.1	0.08	5.7	250	109	1149	99	1.8	1.1	0.9	1.3

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر شوری و غرقاب بر غلظت K، Ca، Mg و Na و نسبت K:Na ریشه ذرت

Table 3- Analysis of variance of the effects of salinity and waterlogging on the concentrations of K, Ca, Mg, and Na and K:Na ratio in corn root

منبع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares) K	Ca	Mg	Na	K:Na
شوری Salinity	3	5.6**	18.7**	0.03**	322**	3.6**
غرقاب Waterlogging	4	4.1**	0.38**	0.01**	75**	0.6**
شوری× غرقاب Salinity× Waterlogging	12	3.1**	2.2**	0.02**	36.5**	0.2**
خطای آزمایشی Error	40	0.3	0.05	0.001	0.759	0.04
C.V ضریب تغییرات (٪)		14.30	4.58	8.12	9.33	30.6

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**significant at the 1% probability level

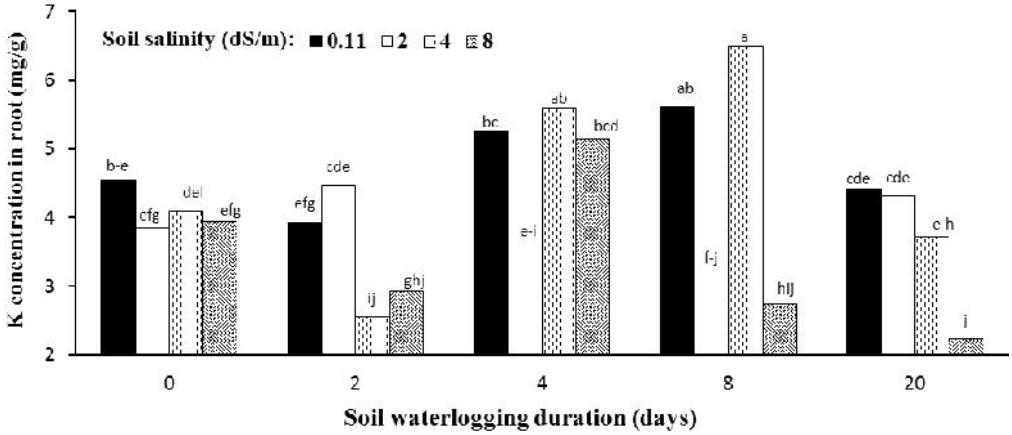
جدول ۴- مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه ذرت برای اثر اصلی غرقاب و شوری

Table 4- Means comparison of the concentrations of K, Ca, Mg, and Na and K:Na ratio in corn root for the main effects of salinity and waterlogging

عامل Factor	سطوح Levels	K (mg/g dw)	Ca (mg/g dw)	Mg (mg/g dw)	Na (mg/g dw)	K:Na ratio
مدت غرقاب (روز) Soil waterlogging duration (days)	0	4.1bc	5.0b	0.43a	12.7a	0.44b
	2	3.4d	5.0b	0.38b	8.7c	0.49b
	4	4.8a	5.0b	0.33c	8.4c	0.86a
	8	4.4ab	5.1b	0.37b	6.1d	0.92a
	20	3.6cd	5.40a	0.34c	10.5b	0.54b
شوری عصاره اشباع خاک (dS/m) Soil saturate extract salinity (dS/m)	0.11	4.7a	4.0d	0.39b	3.9c	1.36a
	2	3.8b	4.4c	0.35c	7.0b	0.57b
	4	4.4a	5.5b	0.32c	13.2a	0.37c
	8	3.3b	6.4a	0.43a	13.1a	0.31c

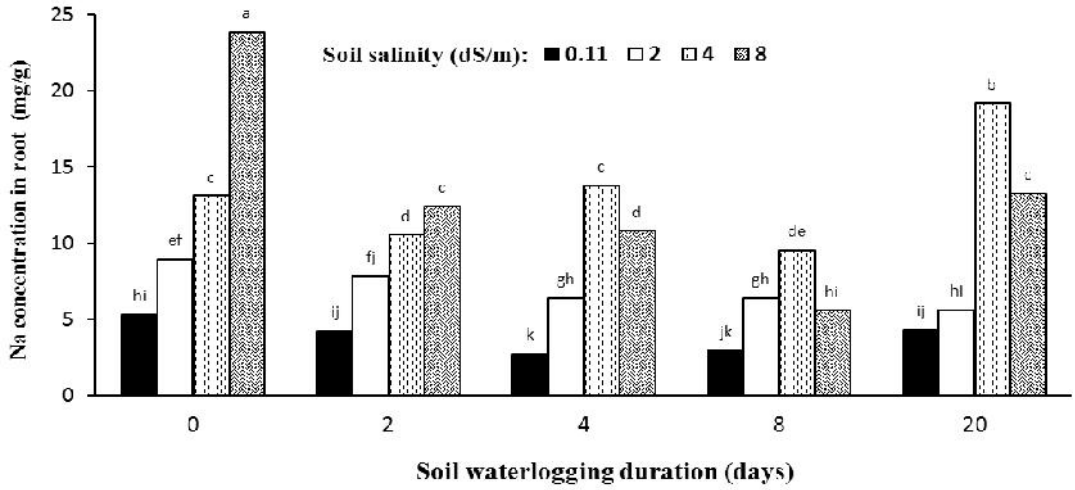
در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means at each column and factor followed by the same letters are not significantly different by Duncans test ($p \leq 0.05$).



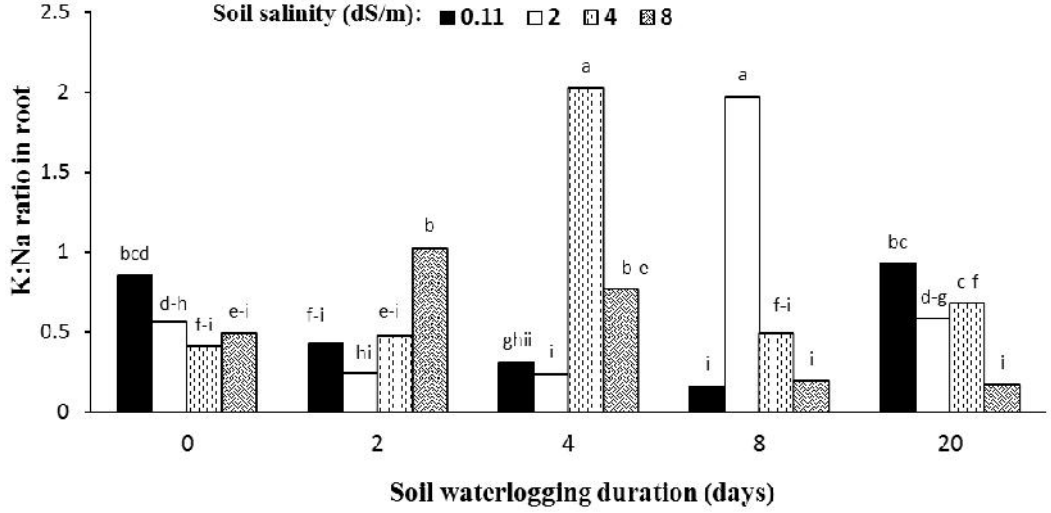
شکل ۱- ترکیب تیماری شوری و غرقاب بر غلظت پتاسیم ریشه ذرت

Figure 1- Treatment combination of salinity and waterlogging on the K concentration in corn root



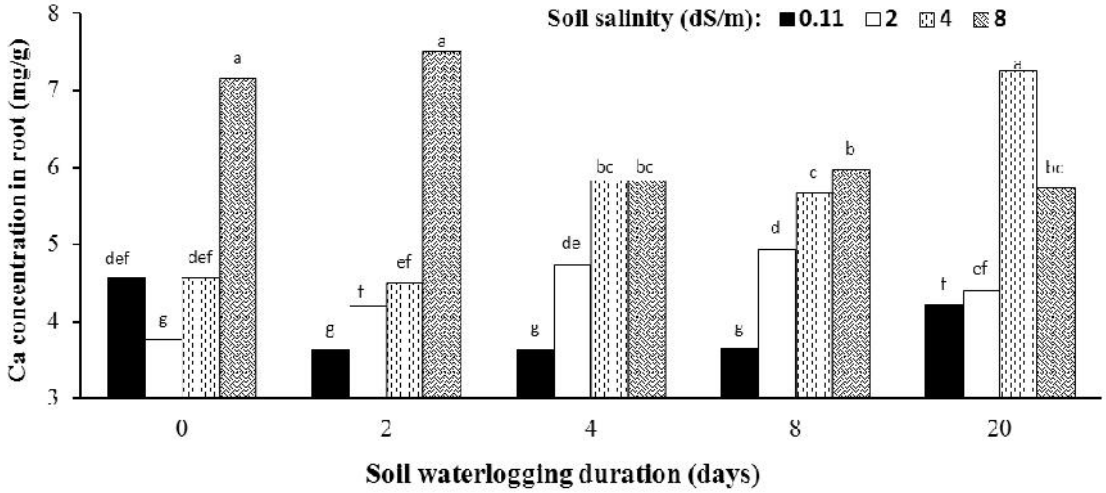
شکل ۲- ترکیب تیماری شوری و غرقاب بر غلظت سدیم ریشه ذرت

Figure 2- Treatment combination of salinity and waterlogging on the Na concentration in corn root



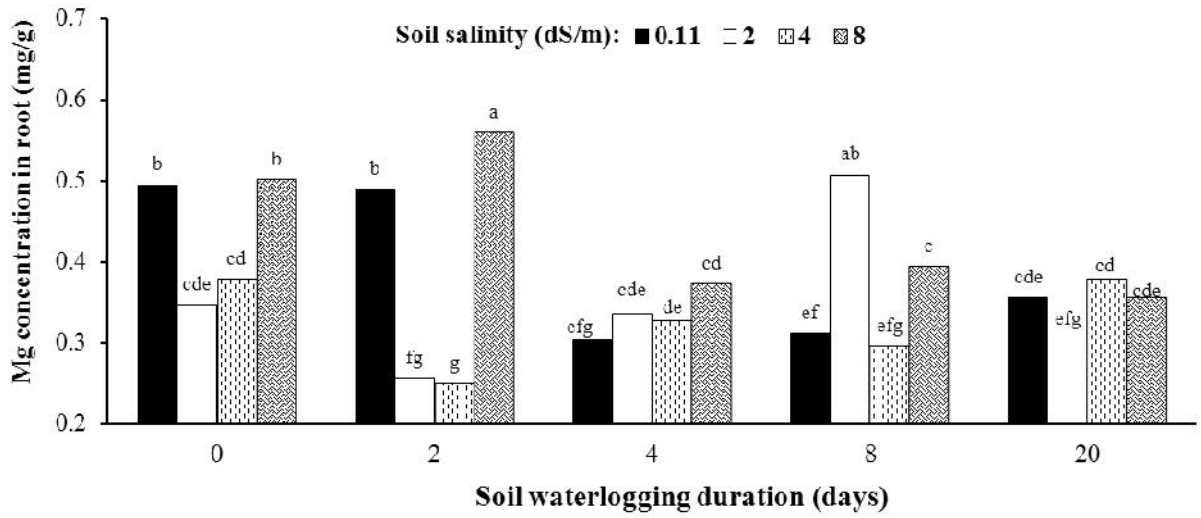
شکل ۳- ترکیب تیماری شوری و غرقاب بر نسبت غلظت پتاسیم به سدیم در ریشه ذرت.

Figure 3- Treatment combination of salinity and waterlogging on the K:Na ratio of corn root



شکل ۴- ترکیب تیماری شوری و غرقاب بر غلظت کلسیم ریشه ذرت

Figure 4- Treatment combination of salinity and waterlogging on the Ca concentration in corn root



شکل ۵- ترکیب تیماری شوری و غرقاب بر غلظت منیزیم ریشه ذرت

Figure 5- Treatment combination of salinity and waterlogging on the Mg concentration in corn root

References

منابع مورد استفاده

- Aboutalebi, A., V. Hassanzadeh, and M.S. Arabzadegan. 2008. Effect of salinity on macronutrients and sodium concentrations in five species of citrus root. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource.* 15 (1): 1-10. (In Persian).
- Akhtar, J., A. Shahzad, R.H. Qureshi, A. Nasseem, and K. Mahmood. 2000. Testing of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes against salinity and waterlogging. *Pakistan Journal of Botany.* 3: 1134-1137.
- Asadollahi, Z., and V. Mozaffari. 2013. Effects of salinity and manganese on growth and chemical composition of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings in perlite medium. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.* 3 (12): 13-28. (In Persian).
- Barrett-Lennard, E.G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: Causes, consequences and implications. *Plant and Soil.* 253: 35-54
- Chartzulokis, K., M. Loupassaki, M. Bertki, and I. Androulakis. 2002. Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO_2 assimilation rate of six olive cultivars. *Scientia Horticulturae*. 96: 235-247.
- Chen, H., R.G. Qualls, and R.R. Blank. 2005. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. *Aqua Botany.* 82: 250-268.
- Cooper, A. 1981. The effects of salinity and waterlogging on the growth and cation uptake of salt marsh plants. *New Phytologist.* 90: 263-275.

- Drew, M.C., J. Guenther, and A. Lauchli. 1988. The combined effects of salinity and root anoxia on growth and net Na^+ and K^+ accumulation in *Zea mays* L. grown in solution culture. *Annals of Botany*. 61: 41-53.
- Drew, M.C., and E.J. Sisworo. 1979. The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. *New Phytologist.* 82: 301-314.
- Fageria N.K., V.C. Baligar, and C.A. Jones. 2010. Growth and mineral nutrition of field crops. Third Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL. USA.
- Garcia, C., and T. Hernandez. 1996. Influence of salinity on the biological and biochemical activity of a Calciorthid soil. *Plant and Soil.* 178: 255-263.
- Gee, G.W., and D. Or. 2002. Particle-size analysis. pp. 255-295. In: Dane, J.H. and G.C. Topp (eds). Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.
- Grattan, S.R., and C.M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae.* 78: 127-157.
- Grieve, A.M., and R.R. Walker. 1983. Uptake and distribution of chloride, sodium and potassium ions in salt-treated citrus plants. *Australian Journal of Agriculture Research.* 34: 133-143.
- Gupta, P.K. 2000. Soil, plant, water, and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India.
- Hazelton, P.A., and B.W. Murphy. 2007. Interpreting soil test results: what do all the numbers mean? CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Hocking, P.J., D.C. Reicosky and W.S. Meyer. 1987. Effects of intermittent waterlogging on the mineral nutrition of cotton. *Plant and Soil.* 101(2): 211-221.
- Homaee, M. 2002. Plant response to salinity. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), Tehran, Iran. (In Persian).
- Islam, A., and W. Islam. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice. I. Benefits from submergence. *Plant and Soil.* 39: 555-565.
- Janmohammadi, H., and S. Sofi. 2008. Animal nutrition. Sixth Edition, Amidi Press, Tabriz, Iran. (In Persian).
- Janzen, H.H., and C. Chang. 1987. Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 67: 619-629.
- Kanwar, R.S., J.L. Baker, and S. Mukhtar. 1988. Excessive soil water effect at various stage of development on the growth and yield of corn. *American Society of Agricultural Engineers (ASAE).* 31: 133-141.
- Kent, L.M., and A. Lauchi.1985. Germination and seedling growth of cotton salinity-calcium interactions. *Plant, Cell and Environment.* 8: 155-159.
- Knudsen D., G.A. Peterson, and P.F. Pratt 1982. Lithium, sodium, and potassium. pp. 225-246. In: In: Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part

2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.

- Kozlowski, T.T. 1984. Plant response to flooding of soil. *BioScience.* 34(3): 162-167.
- Lauchi, A., and J. Lynch. 1985. Salt stress disturbs the Ca nutrition of barely. *New Phytologist.* 99: 345-354.
- Lindsay W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal.* 42: 421-428.
- Malakouti, M.J., P. Keshavarz, S. Saadat, and B. Kholdbarin. 2003. Plant nutrition under saline conditions. Sana Press, Tehran, Iran. (In Persian).
- Malik A.I., T.D. Colmer, H. Lambers, T.L. Seher, and M. Schortemeyer. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist.* 153: 225-236.
- Mamta J.B., D.P. Ashish, M.B. Pranali, and A.N. Pandey. 2008. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauitiana* (Rhamnaceae). *Journal of Fruit and Ornamental Plants Research.* 16: 383-401.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- Mazloomi, F., and A. Ronaghi. 2012. Effect of salinity and phosphorus on growth and chemical composition of two varieties of spinach. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.* 3 (9): 85-96. (In Persian).
- Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. pp. 199-224. In: Page A.L., R.H. Miller and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.
- Milroy, S.P., M.P. Bange, and P. Thongbai. 2009. Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions. *Field Crops Research.* 113: 246-255.
- Momeni, A. 2011. Gographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. *Iranian Journal of Soil Research.* 24 (3): 203-215. (In Persian).
- Najafi, N., and E. Sarhangzadeh. 2012. Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.* 3 (10): 1-15. (In Persian).
- Najafi, N., S. Mardomi, and Sh. Oustan. 2012. The effect of waterlogging, sewage sludge and manure on selected macronutrients and sodium uptake by sunflower plant in a loamy sand soil. *Journal of Water and Soil.* 26 (3): 619-636. (In Persian).
- Narteh, L.T., and K.L. Sahrawat. 1999. Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. *Geoderma.* 87: 179-207.
- Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 539-579. In: Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.

- Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page A.L., R.H. Miller and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.
- Qureshi, R.H., and E.G. Barrat-Lannard. 1998. Saline agriculture for irrigated land in Pakistan. A Handbook Monograph No. 50. Australian Centre for International Agriculture Research, Chanberra, Australia.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Laboratory Staff, Agricultural Handbook No 60. USDA, USA.
- Ruiz, D., V. Martinez, and A. Cerda. 1997. Citrus response to salinity growth and nutrient uptake. *Tree Physiology.* 17: 141-150.
- Siadat, H., and S. Saadat. 1997. Effects of waterlogging and poor soil aeration on wheat production. *Journal of Zeitun.* 18 (137-138): 51-53. (In Persian).
- Smethurst, C.F., T. Garnett, and S. Shabala. 2005. Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. *Plant and Soil.* 270: 31-45.
- Stevens, R.M., and L.D. Prior. 1994. The effect of transient waterlogging on the growth, leaf gas exchange, and mineral composition of potted Sultana grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture.* 45: 285-290.
- Talwar, H.S., A. Kumari, A. Surwenshi, and N. Seetharama. 2011. Sodium: potassium ratio in foliage as an indicator of tolerance to chloride-dominant soil salinity in oat. *Indian Journal of Agricultural Science.* 85(5): 481-484.
- Thomson, C.J., B.J. Atwell, and H. Greenway. 1989. Response of wheat seeding to low oxygen concentration in nutrient solution. 2. K: Na selectivity of root tissue of different age. *Journal of Experimental Botany.* 40: 995-999.
- Trought, M.C.T., and M.C. Drew. 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedlings *(Triticum aestivum* L.*).* II. Accumulation and redistribution of nutrients by the shoot. *Plant and Soil.* 56: 187-199.
- Waheed, A., I.A. Hafiz, G. Qadir, G. Murtaza, T. Mahmood, and M. Ashraf. 2006. Effect of salinity on germination, growth, yield, ionic balance and solute composition of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Pakistan Journal of Botany.* 38(4): 1103-1117.
- Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and plant analysis. Soil Science Society of America Book Series, Number 3, Madison, WI. USA.
- Zahran, H.H. 1997. Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline environments. *Biology and Fertility of Soils.* 25: 211-223.
- Zuazo, V.H.D., A.M. Raya, J.A. Ruiz, and D.F. Tarifa. 2004. Impact of salinity on macro- and micro nutrient uptake in mango *(Mangifer indica* L. CV. Osteen) with different root stocks. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 2 (1): 121-133.

Effects of Soil Salinization and Waterlogging on the Concentrations of Some Macronutrients and Sodium in Corn Root

Najafi, N.[1 *]

Received: April 2014, Accepted: 28 February 2015

Abstract

Salinity and waterlogging are two abiotic stresses decrease plants yield. In this research, the effects of soil salinization and waterlogging having concentrations of calcium (Ca), potassium (K), magnesium (Mg) and sodium (Na) and K:Na ratio in corn (*Zea mays* cv. single cross 704) root were studied under greenhouse conditions. A factorial experiment with two factors on the basis of completely randomized design with three replications was performed. The factors under study were: waterlogging duration in five levels (0, 2, 4, 8, 20 days) and soil saturate extract salinity in four levels (0.11, 2, 4, 8 dS/m). A loamy sand soil for plant growth substrate and NaCl salt for establishing the levels of salinity was used. The salinity and waterlogging factors were imposed simultaneously to the plants from the five-leaf stage of plant growth period. The plants were harvested 60 days after sowing and the concentrations of Ca, K, Mg and Na in corn root were determined by dry ashi method. The results showed that by increasing the level of NaCl salinity in the soil, the K concentration and K:Na ratio of corn root were decreased significantly but concentrations of Ca, Mg and Na in corn root were increased significantly. The Mg and Na concentrations of root in waterlogged conditions were significantly lower than that of non-waterlogged conditions but the K and Ca concentrations of root in waterlogged conditions were significantly greater than non-waterlogged conditions. However, the effects of soil waterlogging duration on the Ca, K, Mg and Na concentrations and Na:K ratio of root were dependent on the level of NaCl salinity in the soil. The results demonstrated that even short periods of soil waterlogging had considerable long-term effects on the concentrations of Ca, K, Mg and Na and K:Na ratio in corn root under saline and non-saline conditions.

Key words: Corn, Macronutrients, Root, Salinity, Stress, Waterlogging.

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
**** Corresponding Author:*** *n-najafi@tabrizu.ac.ir*