

## اثر شوری کلرید سدیم و غرقاب خاک بر غلظت برخی عناصر کم‌مصرف در ذرت سینگل کراس 704

نصرت اله نجفی<sup>1\*</sup>، المیرا سرهنگ زاده<sup>2</sup> و شاهین اوستان<sup>1</sup>

تاریخ دریافت: 90/11/11 تاریخ پذیرش: 91/05/22

<sup>1</sup>دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>2</sup>دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبه: Email: [n-najafi@tabrizu.ac.ir](mailto:n-najafi@tabrizu.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق، اثر شوری و غرقاب خاک بر غلظت آهن، روی، مس و منگنز بخش هوایی و ریشه ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس 704 در شرایط گلخانه‌ای مطالعه گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل مدت غرقاب خاک در پنج سطح (0، 2، 4، 8 و 20 روز) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع خاک در چهار سطح (0/11، 2، 4 و 8 دسی‌زیمنس بر متر) بودند. برای بستر رشد گیاه از یک خاک شن لومی و برای ایجاد سطوح شوری در آن از نمک کلرید سدیم استفاده گردید. فاکتورهای شوری و غرقاب به‌طور هم‌زمان و در مرحله پنج برگی گیاه اعمال گردید. گیاهان پس از 60 روز رشد برداشت شدند و غلظت آهن، روی، مس و منگنز بخش هوایی و ریشه آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در شرایط غیرغرقاب، با افزودن نمک کلرید سدیم به خاک، غلظت آهن، مس و منگنز بخش هوایی و غلظت آهن، روی و مس ریشه ذرت کاهش ولی غلظت روی بخش هوایی افزایش یافت در حالی‌که غلظت منگنز ریشه تغییر معنی‌داری نکرد. در شرایط غرقاب، اثر افزودن کلرید سدیم بر غلظت آهن، روی، مس و منگنز در بخش هوایی و ریشه ذرت به مدت غرقاب خاک بستگی داشت. بدون افزودن کلرید سدیم، غلظت آهن، مس و منگنز بخش هوایی و غلظت آهن، روی و مس ریشه در شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود در حالی‌که غلظت روی بخش هوایی و منگنز ریشه در شرایط غرقاب تفاوت معنی‌داری با شرایط غیرغرقاب نداشت. در شرایط کاربرد کلرید سدیم، اثر مدت غرقاب خاک بر غلظت آهن، روی، مس و منگنز در بخش هوایی و ریشه به سطح شوری بستگی داشت. گیاه ذرت در شرایط شور (4 و 8 دسی‌زیمنس بر متر) روی را در بخش هوایی و در شرایط غیرشور (0/11 و 2 دسی‌زیمنس بر متر) در ریشه انباشته کرد. در شرایط غرقاب و غیرغرقاب، غلظت روی در بخش هوایی بیشتر از ریشه بود. در تمامی شرایط مورد مطالعه، گیاه ذرت آهن، مس و منگنز را در ریشه انباشته کرد. نتایج نشان داد که حتی دوره‌های کوتاه غرقاب خاک بر غلظت آهن، روی، مس و منگنز بخش هوایی و ریشه ذرت علوفه‌ای اثر معنی‌داری داشت.

واژه‌های کلیدی: آهن، روی، ذرت، شوری، غرقاب، مس، منگنز

## Effects of NaCl Salinity and Soil Waterlogging on the Concentrations of Some Micronutrients in Corn, Single Cross 704

N Najafi<sup>\*1</sup>, E Sarhangzadeh<sup>2</sup> and SH Oustan<sup>1</sup>

Received: 31 January 2012, Accepted: 12 August 2012

<sup>1</sup>- Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran.

<sup>2</sup>- Former M.Sc Student, Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran.

\*Corresponding Author E-mail: [n-najafi@tabrizu.ac.ir](mailto:n-najafi@tabrizu.ac.ir)

### Abstract

In this research, the effects of salinity and soil waterlogging on the concentrations of Fe, Cu, Zn and Mn in forage corn (*Zea mays* cv. single cross 704) shoot and root were studied in greenhouse conditions. A factorial experiment on the basis of completely randomized design with three replications was performed. The experimental factors were duration of waterlogging in five levels (0, 2, 4, 8, 20 days) and soil saturated extract electrical conductivity (EC) 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 were used. The salinity and waterlogging factors imposed simultaneously at the five-leaf stage of plant growth. The plants were harvested after 60 days of growth and the concentrations of Fe, Cu, Zn and Mn in shoot and root were determined. The results showed that under non-waterlogged conditions, by addition of NaCl salt, the concentrations of Fe, Cu and Mn in shoot and those of Fe, Cu and Zn in root were decreased but that of Zn in shoot was increased; while the root concentration of Mn did not change significantly. Under waterlogged conditions, the effect of NaCl addition on the concentrations of Fe, Cu, Zn and Mn in shoot and root was dependent on the duration of soil waterlogging. Without NaCl addition, the shoot concentrations of Fe, Cu and Mn and the root concentrations of Fe, Cu and Zn were lower under waterlogged conditions than non-waterlogged conditions, while the concentration of Zn in shoot and that of Mn in root under waterlogged conditions were not significantly different from non-waterlogged conditions. At NaCl added conditions, the effect of the duration of soil waterlogging on the concentrations of Fe, Cu, Zn and Mn in shoot and root was dependent on the salinity level. The corn plant accumulated Zn in shoot under saline conditions (4 and 8 dS/m) and in root under non-saline conditions (0.11 and 2 dS/m). The Zn concentration of shoot was greater than that of root under waterlogged and non-waterlogged conditions. In all studied conditions, the corn plant accumulated Fe, Cu and Mn in root. The results demonstrated that even short periods of soil waterlogging had significant effect on the Fe, Cu, Zn and Mn concentrations of shoot and root of forage corn.

**Key words:** Corn, Copper, Iron, Manganese, Salinity, Waterlogging, Zinc.

## مقدمه

آهن، منگنز، روی و مس از فلزات سنگین می‌باشند که در مقادیر کم برای رشد گیاهان ضروری می‌باشند ولی اگر مقدار قابل‌استفاده آن‌ها در خاک زیاد باشد، می‌توانند گیاهان را مسموم کنند. لذا، وجود غلظت‌های مناسبی از آن‌ها در گیاهان نه تنها برای رشد مطلوب آن‌ها بلکه در زنجیره غذایی برای سلامتی انسان و دام اهمیت دارد. عامل‌های مختلفی از قبیل pH، مواد آلی، شوری و غرقاب خاک بر قابلیت جذب این فلزات و غلظت‌های آن‌ها در گیاهان اثر دارند (هاولین و همکاران 2004).

هر سال مساحت قابل‌ملاحظه‌ای از خاک‌های جهان و ایران در معرض غرقاب قرار می‌گیرند (سیادت و سعادت 1377). از عوامل 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 (مارشور 1995). گاهی غرقاب خاک بر اثر وقوع بارندگی شدید پس از آبیاری مزرعه اتفاق می‌افتد (گیل و همکاران 1992). رفت و آمد زیاد ماشین‌های سنگین در مزرعه سبب تشکیل سخت‌لایه در خاک شده و به دلیل کاهش سرعت نفوذ آب در خاک، احتمال غرقاب محیط رشد گیاه را افزایش می‌دهد. افزایش بیش از حد آب در منطقه ریشه برای اغلب گیاهان مشکلاتی را ایجاد می‌کند و سبب کاهش محصول در بسیاری از رقم‌ها می‌شود (کنوار و همکاران 1988). از مشکلاتی که در هنگام غرقاب خاک ایجاد می‌شود می‌توان به کمبود اکسیژن (کوزلوسکی 1984)، کمبود نیتروژن ناشی از آشبویی و نیترات‌زدایی (کنوار و همکاران 1988، مارشور 1995) و تولید مواد سمی ناشی از غرقاب (کنوار و همکاران 1988) اشاره کرد. پس از غرقاب خاک، کاهش روی قابل‌استفاده گیاه در خاک به‌وسیله توفیقی و نجفی (1380)، کاهش روی محلول خاک به‌وسیله کاشم و سینگ (2001)، کاهش مس قابل‌استفاده

گیاه در خاک به‌وسیله ساها و مندال (1998)، افزایش آهن و منگنز قابل‌استفاده گیاه در خاک به‌وسیله کلباسی و حسین‌پور (1376) گزارش شده است. وان لیر و همکاران (2010) با بررسی اثر غرقاب بر روی محلول 12 نوع خاک مختلف مشاهده کردند که پس از غرقاب، غلظت روی محلول در یک خاک کاهش و در 11 خاک افزایش یافت. این تغییرات می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای گیاه را از نظر عناصر کم‌مصرف مختل نموده و بر اثر وقوع کمبود یا سمیت آن‌ها رشد و عملکرد گیاهان را کاهش دهد. به‌نظر استفنس و همکاران (2005) کمبود عناصر غذایی بیشتر از سمیت آن‌ها می‌تواند رشد گیاهان را در شرایط غرقاب کاهش دهد.

شوری آب آبیاری و خاک‌ها از مشکلات عمده تولید محصولات کشاورزی در ایران است. در خاک‌های شور و سدیمی، حل‌پذیری عناصر کم‌مصرف کم است و گیاهان در حال رشد در چنین خاک‌هایی معمولاً با کمبود آن‌ها مواجه هستند (پیچ و همکاران 1990). غرقاب خاک‌ها و شور و سدیمی شدن آن‌ها، بر اثر پدیده گرمایش جهانی تشدید می‌شود (روزیطلب 1386). گاهی دو تنش شوری و غرقاب هم‌زمان رخ می‌دهند. در این مورد چند حالت ممکن است اتفاق افتد: 1) خاک شور با آب غیرشور غرقاب شود، 2) خاک غیرشور با آب شور غرقاب گردد، 3) خاک شور با آب شور غرقاب شود. بررسی نشان می‌دهد که بیشتر خاک‌های شور دنیا تحت تأثیر غرقاب قرار می‌گیرند و غرقاب خاک اثر بازدارنده شوری بر رشد گیاه را تشدید می‌کند (کورشی و بارت-لنارد 1998). وقتی شوری و غرقاب باهم رخ می‌دهند، سمیت یون‌هایی نظیر  $Na^+$ ،  $Cl^-$  و  $SO_4^{2-}$  و کاهش پتانسیل آب خاک، اثر غرقاب بر رشد گیاه و جذب عناصر را تشدید می‌کند (دریو و همکاران 1988، بارت-لنارد 2003). به عبارت دیگر، وقتی گیاه در معرض هم‌زمان شوری و غرقاب قرار می‌گیرد، جذب و غلظت‌های عناصر در گیاه متفاوت از وقتی است که فقط در معرض یکی از این دو تنش می‌باشد.

کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیترو کردن با سود (ریچاردز 1969) اندازه‌گیری شد. برای کشت گیاه از گلدان‌های حاوی 2/5 کیلوگرم خاک با بافت شن لومی استفاده شد. علت انتخاب خاک با بافت سبک این بود که جداسازی سیستم ریشه گیاه از خاک تسهیل گردد و پس از زهکشی آب اضافی سریع‌تر خارج گردد. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول 1) کودهای شیمیایی مورد نیاز قبل از کشت گیاه به صورت مخلوط به خاک گلدان‌ها افزوده شد و خوب مخلوط گردید. برای کشت گیاه، ابتدا بذور ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس 704 با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم 5 درصد ضدعفونی و با آب مقطر شسته شدند. سپس در میان چندلایه پارچه مقالی تمیز و مرطوب قرار داده شدند تا جوانه بزنند. تعداد شش بذر جوانه‌دار شده در عمق 2/5 سانتی‌متری خاک داخل گلدان‌ها کشت گردید و در شرایط گلخانه با دمای  $25 \pm 5$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $55 \pm 5$  درصد نگهداری شدند. رطوبت خاک گلدان‌ها روزانه از طریق توزین در دامنه 0/7FC-FC 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 گردید. برای اعمال سطوح شوری ابتدا از رابطه میان EC و مقدار کل نمک محلول مقدار نمک لازم برای دستیابی به سطوح مختلف شوری محاسبه گردید. چون این رابطه تقریبی بوده و نمک افزوده شده به خاک در واکنش‌های مختلفی وارد می‌شود، یک محلول کلرید سدیم با غلظت معین تهیه گردید. آنگاه حجم‌های مختلفی از آن به جرم معینی از خاک افزوده شد به‌طوری که سطوح مختلف نمک در خاک ایجاد شود. سپس خاک اشباع گردید و یک شب به حال خود رها شد و EC عصاره اشباع تعیین گردید. سپس رابطه رگرسیونی میان حجم محلول کلرید سدیم افزوده شده و EC عصاره اشباع خاک بدست آمد و با استفاده از این رابطه حجم مورد نیاز از محلول کلرید سدیم

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 (فاجریا و همکاران 2010). با توجه به مطالب در پیش گفته شده، به‌نظر می‌رسد میان شوری و غرقاب خاک از نظر غلظت‌های عناصر کم-مصرف و کیفیت ذرت اثر متقابل وجود داشته باشد. لذا، هدف از این پژوهش، بررسی اثر شوری کلرید سدیم و غرقاب خاک بر غلظت عناصر کم‌مصرف بخش هوایی و ریشه ذرت علوفه‌ای در شرایط گلخانه‌ای بود.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی شامل EC عصاره اشباع خاک در چهار سطح (0/11، 2، 4، 8 دسی‌زیمنس بر متر) و مدت غرقاب خاک در پنج سطح (0، 2، 4، 8، 20 روز) و با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. خاک مورد نظر از ایستگاه تحقیقات خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب گردید و از عمق صفر تا 20 سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. نمونه خاک پس از هواخشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر اولسن (اولسن و سامرز 1982)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم قابل‌جذب با عصاره‌گیر استات آمونیم (نادسن و همکاران 1982)، روی، آهن، منگنز و مس قابل‌جذب با عصاره‌گیر DTPA (لیندزی و نورول 1982)، pH خاک در سوسپانسیون 1:1 آب به خاک و EC آن در عصاره اشباع (گوپتا 2000)، بافت خاک به روش هیدرومتری (دن و تاپ 2002)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز 1982)، کربنات

تعیین شد. برای تعیین وزن خشک بخش هوایی و ریشه، نمونه‌ها در داخل دستگاه خشک‌کن با دمای 70 درجه سلسیوس قرار گرفته و 72 ساعت نگهداری شدند. سپس وزن خشک آن‌ها با ترازو تعیین گردید. سپس نمونه‌های ریشه و بخش هوایی خرد و آسیاب شدند و از الک 0/5 میلی‌متر عبور داده شدند. غلظت آهن، روی، مس و منگنز بخش هوایی و ریشه ذرت، به روش خشک‌سوزانی (وسترمن 1990) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل AA-6300 ساخت شرکت شیمادزو ژاپن تعیین شد. سپس فاکتور انتقال از تقسیم غلظت فلز در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه گیاه محاسبه شد. این فاکتور شاخصی برای تعیین توانایی گیاه در انتقال فلز از ریشه به بخش هوایی می‌باشد. اگر این فاکتور بیش از یک باشد، نشانگر این است که گیاه فلز را در بخش هوایی انباشته می‌کند ولی اگر کوچکتر از یک باشد نشان می‌دهد که گیاه فلز را بیشتر در ریشه انباشته می‌کند (داس و مایتی 2007). تجزیه آماری داده‌ها از قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد) با نرم‌افزار MSTATC، تعیین همبستگی‌ها با نرم‌افزار SPSS و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

### نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول 1 ارائه شده است. این خاک دارای pH قلیایی ضعیف، بافت درشت، آهک (کربنات کلسیم معادل) ناچیز، ماده آلی خیلی کم و غیرشور بود.

برای رساندن EC عصاره اشباع خاک گلدان‌ها به سطوح مورد نظر تعیین گردید. سپس خاک گلدان‌ها با حجم‌های مختلفی از محلول کلرید سدیم به تدریج طوری آبیاری شد که قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از 0/11 در سطح شاهد به 2، 4 و 8 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 به تدریج افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که در خاک‌های شور، غلظت سدیم و کلرید در محلول خاک معمولاً از اغلب عناصر بیشتر است (گراتان و گریو 1999) و برای تفسیر بهتر نتایج، سطوح شوری در خاک با نمک کلرید سدیم ایجاد گردید. به دنبال اعمال سطوح شوری، سطوح غرقاب (صفر، 2، 4، 8 و 20 روز) اعمال گردید. ارتفاع آب غرقاب در سطح خاک گلدان‌ها سه سانتی‌متر بود. برای آبیاری گلدان‌ها از مخلوط آب شهری و آب مقطر با نسبت 1:1 استفاده شد. آب آبیاری دارای EC=0.3 dS/m و pH=7.4 بود. در پایان هر یک از دوره‌های غرقاب، گلدان‌ها با ایجاد سوراخ‌هایی در ته آن‌ها زهکشی شدند و زه‌آب آن‌ها جمع‌آوری شد و در مراحل بعدی رشد با آب زه‌آب آبیاری شد تا بر شوری و غلظت عناصر غذایی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای نداشته باشد. پس از زهکشی اجازه داده شد تا گیاهان به رشد خود ادامه دهند (حدود 35 روز) تا معلوم شود اثر غرقاب بر غلظت عناصر کم‌مصرف با گذشت زمان برطرف می‌شود یا این‌که تا مدت طولانی باقی می‌ماند. پس از 60 روز رشد، بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و ریشه نیز از خاک جدا شد. وزن تر بخش هوایی و ریشه بعد از برداشت با ترازو

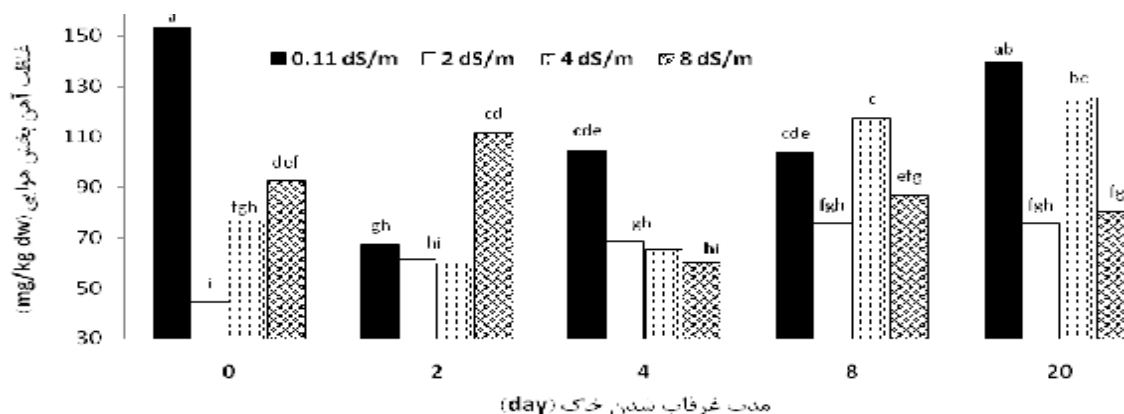
جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای

ECe (dS/m)	pH (1:1)	SP (%)	کربنات کلسیم معادل (%)	رس (%)	شن (%)	گروه بافت خاک				
0/11	7/63	32	صفر	12	70	شن لومی				
ادامه جدول 1										
Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	N	کربن آلی
(mg/kg)										
1/3	0/85	1/1	1/8	99/1	1149/2	108/8	250/0	5/7	0/08	0/1

## غلظت آهن بخش هوایی

اثر سطوح شوری بر غلظت آهن بخش هوایی در تمامی زمان‌های غرقاب معنی‌دار بود و به مدت غرقاب خاک بستگی داشت. در زمان‌های 0، 8 و 20 روز غرقاب، با افزایش سطح شوری از شاهد به 2dS/m، غلظت آهن بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش و سپس افزایش یافت. بیشترین غلظت آهن بخش هوایی در شرایط غیرغرقاب و سطح شوری شاهد بود. در 2 روز غرقاب، غلظت آهن بخش هوایی با افزایش سطح شوری از شاهد به 4dS/m، تغییر معنی‌داری نکرد ولی در سطح 8dS/m افزایش یافت. در 4 روز غرقاب، غلظت آهن بخش هوایی با افزایش EC عصاره اشباع خاک کاهش یافت (شکل 1). پیچ و همکاران (1990) اظهار داشتند در خاک‌های شور و سدیمی مقدار عناصر کم مصرف در خاک کم می‌باشد و گیاهان در این شرایط معمولاً با کمبود این عناصر مواجه‌اند. مامتا و همکاران (2008) گزارش کردند که با افزایش سطوح شوری گیاه دچار کمبود آهن می‌گردد. با این حال، پس از اعمال شوری کلرید سدیم، افزایش غلظت آهن در برگ کدو به - وسیله ویلورا و همکاران (2000)، در بخش هوایی دو رقم انبه به‌وسیله زواو و همکاران (2004) و در میوه گوجه‌فرنگی به‌وسیله صفرزاده و همکاران (1389) گزارش شده است. ابوطالبی و همکاران (1384) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت آهن در شاخساره برخی گونه‌های مرکبات افزایش یافت ولی در برخی گونه‌ها پس از افزایش کاهش یافت. ملکوتی و همکاران (1382) با جمع‌بندی نتایج سایر

محققان گزارش دادند که اثر شوری بر غلظت آهن بخش هوایی بسته به نوع گیاه متفاوت بود به طوری که با افزایش سطح شوری، غلظت آهن بخش هوایی نخود، گوجه‌فرنگی، سویا، کدو، لوبیا و برنج افزایش ولی غلظت آهن بخش هوایی جو، ذرت، بادام‌زمینی و خیار کاهش یافت. تونچتورک و همکاران (2011) با بررسی اثر شوری کلرید سدیم در یک خاک لوم بر غلظت‌های عناصر کم‌مصرف در 12 رقم کلزا مشاهده کردند که اثر شوری بر غلظت آهن بخش هوایی بسته به نوع رقم متفاوت بود به طوری که غلظت آهن بخش هوایی در برخی رقم‌ها کاهش و در برخی رقم‌ها افزایش یافت و در برخی رقم‌ها تغییر معنی‌داری نکرد. آچاکزای و همکاران (2010) گزارش دادند که بر اثر شوری مقدار آهن در بخش هوایی آفتابگردان افزایش یافت. به نظر می‌رسد افزایش غلظت آهن بخش هوایی ذرت بر اثر اعمال شوری کلرید سدیم در خاک ناشی از دو عامل باشد: یکی، افزایش غلظت آهن محلول در آب خاک بر اثر فرآیند تبادل  $Na^+$  با  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  که باعث آزادسازی آهن به محلول خاک می‌شود. دیگری، کاهش ماده خشک بخش هوایی ذرت پس از اعمال شوری که بر اثر وقوع پدیده اثر تغلیظ، غلظت آهن بخش هوایی افزایش می‌یابد (مارشور 1995). بروز اختلالات تغذیه‌ای بر اثر شوری ممکن است ناشی از تغییر قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک، رقابت بر سر جذب عناصر غذایی و مختل شدن انتقال و توزیع عناصر میان اندام‌های مختلف باشد (گراتان و گریو 1999).



شکل 1- اثر متقابل مدت غرقاب و شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت آهن بخش هوایی ذرت

هوایی پس از غرقاب خاک نقش داشته است، کاهش ماده خشک بخش هوایی است که بر اثر وقوع اثر تغلیظ، غلظت آهن بخش هوایی افزایش یافته است (مارشدر 1995). در مقابل، قبادی و همکاران (1386) مشاهده کردند که غلظت آهن در دانه دو رقم گندم بهاره با افزایش مدت غرقاب خاک کاهش یافت. اسمتورست و همکاران (2005) گزارش دادند که پس از غرقاب، غلظت آهن در برگ‌های یونجه کاهش یافت. این گزارش‌ها با نتایج این تحقیق در برخی سطوح شوری عصاره اشباع خاک مطابقت داشت. به‌نظر می‌رسد کاهش غلظت آهن بخش هوایی ذرت پس از غرقاب خاک در برخی سطوح شوری، ناشی از کمبود اکسیژن، کاهش سرعت تنفس ریشه، کاهش تولید ATP و در نتیجه مختل شدن جذب فعال آهن به‌وسیله ریشه باشد (مارشدر 1995). استفنس و همکاران (2005) مشاهده کردند که پس از غرقاب، غلظت قندهای محلول در بخش هوایی گندم و جو افزایش یافت که نشان دهنده این است که کمبود محصولات فتوسنتزی جذب عناصر را کاهش نمی‌دهد. در شرایط غرقاب ممکن است تنفس ریشه و در نتیجه غلظت ATP کاهش یابد (دریو 1988). کاهش غلظت ATP در ریشه سبب مختل شدن فعالیت ناقل‌های مختلف شده و جذب و غلظت عناصر در گیاه را کاهش می‌دهد (استفنس و همکاران 2005). دامنه غلظت مطلوب آهن در

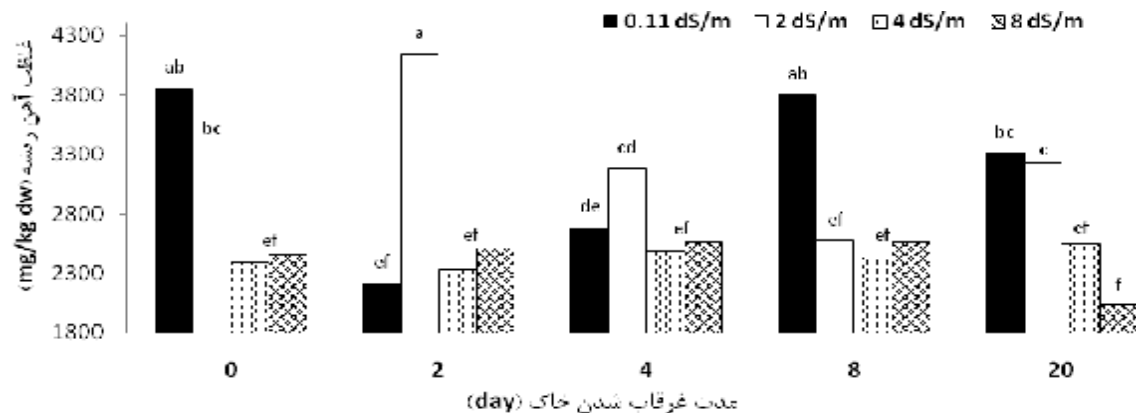
اثر غرقاب خاک بر غلظت آهن بخش هوایی در تمامی سطوح شوری معنی‌دار بود و بسته به سطح شوری عصاره اشباع خاک متفاوت بود. در سطح شوری شاهد (0/11 dS/m)، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت آهن بخش هوایی کاهش و سپس در 20 روز غرقاب افزایش یافت. به‌طور کلی، در این سطح شوری، غلظت آهن بخش هوایی در شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود. در سطوح شوری 2 و 4 dS/m با افزایش مدت غرقاب خاک، غلظت آهن بخش هوایی ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس افزایش یافت. در سطح شوری 8 dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت آهن بخش هوایی ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس کاهش یافت (شکل 1). پس از غرقاب، افزایش غلظت آهن در بخش هوایی یولاف به‌وسیله بیجری و شیراپ (1985)، در بخش هوایی گندم و جو به‌وسیله دریو (1988)، در بخش هوایی ژنوتیپ‌های گندم به‌وسیله اشتیگر و فلر (1994) و هوانگ و همکاران (1995)، در ساقه یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (2005) و در بخش هوایی گندم به‌وسیله خباز صابری و همکاران (2006) گزارش شده است و می‌تواند ناشی از افزایش آهن قابل جذب خاک پس از غرقاب باشد که با نتایج بیجری و شیراپ (1985) و کلباسی و حسین‌پور (1376) مطابقت داشت. عامل دیگری که در افزایش غلظت آهن بخش

خشک می‌باشد (ملکوتی و غیبی 1379). بنابراین، در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل 2). پس از اعمال شوری کلرید سدیم، افزایش غلظت آهن ریشه در انبه به‌وسیله زوازو و همکاران (2004)، در آفتابگردان به‌وسیله آچاکزای و همکاران (2010) و در گوجه‌فرونگی به‌وسیله صفرزاده و همکاران (1389) گزارش شده است. در مقابل، مامتا و همکاران (2008) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری غلظت آهن ریشه عناب کاهش یافت. تونچتورک و همکاران (2011) مشاهده کردند که اثر شوری بر غلظت آهن ریشه کلزا بسته به نوع رقم آن متفاوت بود به‌طوری که غلظت آهن ریشه در برخی رقم‌ها کاهش و در برخی رقم‌ها افزایش یافت و در برخی رقم‌ها تغییر معنی‌داری نکرد. ابوطالبی و همکاران (1388) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت آهن در ریشه برخی گونه‌های مرکبات کاهش و در برخی گونه‌ها افزایش یافت ولی در برخی گونه‌ها پس از کاهش افزایش یافت. در مورد تغییرات غلظت آهن در ریشه پس از اعمال شوری علاوه بر دو عامل ذکر شده در فوق، ممکن است سرعت انتقال آهن از ریشه به بخش هوایی نیز در غلظت آهن ریشه نقش داشته باشد. اگر سرعت جذب آهن به‌وسیله ریشه از سرعت انتقال آن به بخش هوایی بیشتر باشد، آهن در ریشه انباشته شده و غلظت آن افزایش می‌یابد.

بخش هوایی ذرت 50 تا 250 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده شرایط غرقاب، غلظت آهن بخش هوایی در تمامی سطوح شوری در دامنه مطلوب بود ولی در شرایط غیرغرقاب در سطح شوری 2ds/m کمتر از غلظت مطلوب و در سایر سطوح شوری در دامنه مطلوب بود. به‌نظر می‌رسد یکسان نبودن روند تغییرات غلظت آهن بخش هوایی پس از غرقاب خاک و در سطوح مختلف EC عصاره اشباع خاک ناشی از وجود اثر متقابل معنی‌دار میان شوری و مدت غرقاب، سازوکارهای سازش گیاه با شرایط غرقاب و شوری (که این سازوکارها با گذشت زمان اعمال می‌شوند مثلاً تشکیل ریشه‌های هوایی در شرایط غرقاب)، تغییرات دما و رطوبت نسبی گلخانه، تغییرات فراهمی عناصر کم مصرف در خاک و غیره باشد.

#### غلظت آهن ریشه

اثر سطوح شوری بر غلظت آهن ریشه در تمامی زمان‌های غرقاب معنی‌دار بود و به مدت غرقاب خاک بستگی داشت. در زمان‌های 0، 8 و 20 روز غرقاب، غلظت آهن ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم کاهش یافت. در زمان‌های 2 و 4 روز غرقاب، غلظت آهن ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم



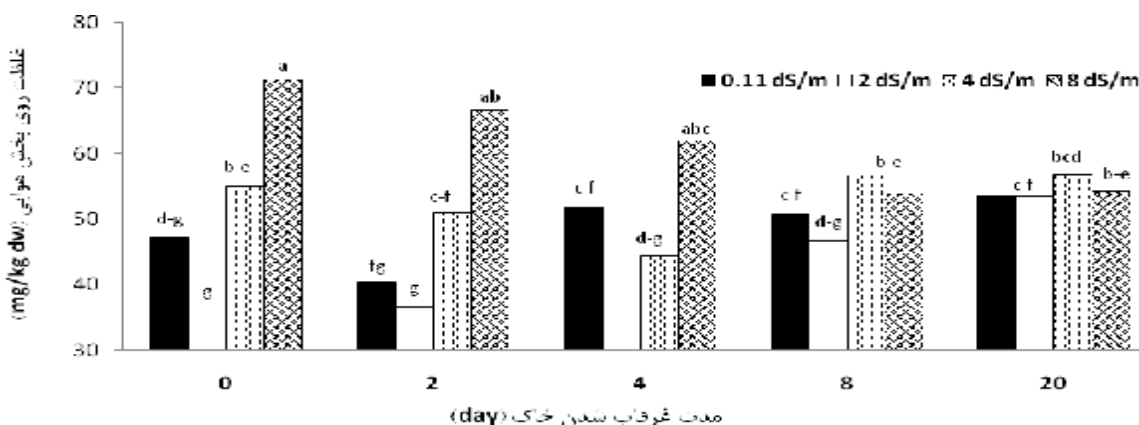


برخی رقم‌ها کاهش و در برخی رقم‌ها افزایش یافت و در برخی رقم‌ها تغییر معنی‌داری نکرد. پس از اعمال شوری، افزایش غلظت روی در بخش هوایی ذرت به-وسیله رحمان و همکاران (1993)، در بخش هوایی مرکبات به‌وسیله رویز و همکاران (1997)، در بخش هوایی برنج و گندم به‌وسیله الپاسلان و همکاران (1998)، در برگ کدو به‌وسیله ویلورا و همکاران (2000)، در برگ انبه به‌وسیله زوازو و همکاران (2004)، در بخش هوایی یونجه به‌وسیله ونگ و هان (2007) و در بخش هوایی آفتابگردان به‌وسیله آچاکزای و همکاران (2010) گزارش شده است. در مقابل، پس از اعمال شوری، کاهش غلظت روی در ساقه انبه به‌وسیله زوازو و همکاران (2004) و در برگ و ساقه انبه به-وسیله مامتا و همکاران (2008) گزارش شده است. ابوطالبی و همکاران (1384) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت روی در شاخساره برخی گونه‌های مرکبات افزایش و در برخی گونه‌ها کاهش و در برخی گونه‌ها تغییر معنی‌داری نکرد. به‌نظر می‌رسد افزایش غلظت روی بخش هوایی پس از اعمال شوری می‌تواند ناشی از دو عامل باشد: یکی، افزایش روی قابل‌استفاده گیاه در خاک بر اثر جایگزینی روی قابل‌تبادل با سدیم (ملکوئی و همکاران 1382) و دیگری، کاهش رشد گیاه و ماده خشک آن و وقوع اثر تغلیظ (مارشتر 1995).

اثر غرقاب خاک بر غلظت آهن ریشه بسته به سطح شوری کلرید سدیم متفاوت بود. در سطح شوری شاهد (0/11dS/m)، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت آهن ریشه کاهش و سپس افزایش یافت. در سطح شوری 2dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت آهن ریشه افزایش و سپس کاهش یافت. در سطوح 4 و 8dS/m، اثر مدت غرقاب خاک بر غلظت آهن ریشه معنی‌دار نبود (شکل 2). اسمتورست و همکاران (2005) گزارش دادند که پس از غرقاب، غلظت آهن ریشه یونجه افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد دلایل ذکر شده در مورد تغییرات غلظت آهن بخش هوایی پس از غرقاب در مورد ریشه نیز صادق باشد. همچنین، ممکن است سرعت انتقال آهن از ریشه به بخش هوایی نیز در غلظت آهن ریشه نقش داشته باشد. به عبارت دیگر، برآیند عامل‌های فوق روند تغییر غلظت آهن ریشه را تعیین می‌کند.

#### غلظت روی بخش هوایی

اثر سطوح شوری بر غلظت روی بخش هوایی بسته به مدت غرقاب خاک متفاوت بود. در زمان‌های صفر و 2 روز غرقاب، غلظت روی بخش هوایی با افزایش سطوح شوری ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس افزایش یافت. در زمان‌های 4، 8 و 20 روز غرقاب، اثر سطوح شوری کلرید سدیم بر غلظت روی بخش هوایی معنی-دار نبود (شکل 3). تونچتورک و همکاران (2011) با بررسی اثر شوری کلرید سدیم در یک خاک لوم بر غلظت روی بخش هوایی 12 رقم کلزا مشاهده کردند که اثر شوری بر غلظت روی بخش هوایی بسته به نوع رقم متفاوت بود به‌طوری که غلظت روی بخش هوایی در



شکل 3- اثر متقابل مدت غرقاب و شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت روی بخش هوایی ذرت

بخش هوایی ژنوتیپ‌های گندم به‌وسیله هوآنگ و همکاران (1995)، تارکگن و همکاران (2000) و استفنس و همکاران (2005)، در بخش هوایی جو به‌وسیله استفنس و همکاران (2005)، در بخش هوایی یولاف به‌وسیله بیجری و شیراپ (1985) و در برگ‌ها و ساقه یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (2005) گزارش شده است. کاهش غلظت روی بخش هوایی در سطح شوری 8dS/m ممکن است ناشی از چند عامل باشد: یکی، کاهش روی قابل جذب گیاه در خاک پس از غرقاب (توفیقی و نجفی 1380)؛ دیگری، کمبود اکسیژن، کاهش سرعت تنفس ریشه، کاهش تولید ATP و در نتیجه مختل شدن جذب فعال روی به‌وسیله ریشه (مارشدر 1995). دامنه غلظت نرمال روی در بخش هوایی گیاهان 150-25 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و حد سمیت آن 100-500 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک است (پایس و جونز 1997، کاباتا پندیاس و پندیاس 2001). با توجه به این غلظت‌ها، غلظت روی بخش هوایی در تمامی تیمارهای مورد مطالعه در دامنه غلظت عادی بود.

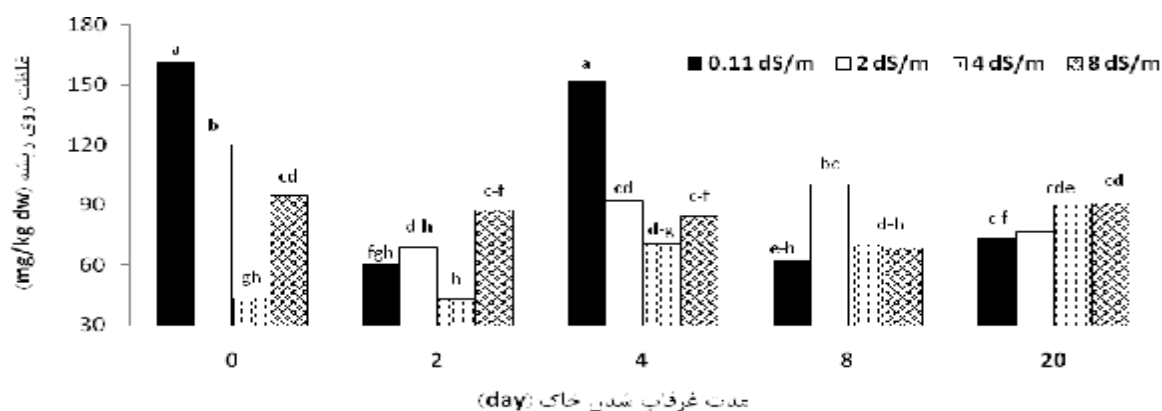
#### غلظت روی ریشه

اثر سطوح شوری بر غلظت روی ریشه به مدت غرقاب خاک بستگی داشت. در زمان‌های صفر و 4 روز غرقاب، غلظت روی ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم کاهش یافت. در 2 روز غرقاب، غلظت روی ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم کاهش یافت. در 2 روز غرقاب، غلظت روی ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم کاهش یافت.

اثر غرقاب خاک بر غلظت روی بخش هوایی بسته به سطح شوری کلرید سدیم متفاوت بود. در دو سطح شوری شاهد و 4dS/m، اثر مدت غرقاب خاک بر غلظت روی بخش هوایی معنی‌دار نبود. در سطح شوری 2dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت روی بخش هوایی ذرت ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس افزایش یافت (شکل 3). در این سطح شوری میان غلظت روی بخش هوایی ( $Zn_{Shoot}$ ) برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و مدت غرقاب خاک (T) بر حسب روز رابطه  $r^2=0.9613^{**}$  با  $Zn_{Shoot}=35.261+1.8278(T)-0.0461(T)^2$  وجود داشت. افزایش غلظت روی بخش هوایی در مدت زیاد غرقاب خاک را می‌توان به کاهش رشد و ماده خشک گیاه و وقوع اثر تغلیظ (مارشدر 1995) نسبت داد. در سطح شوری 8dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت روی بخش هوایی ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس کاهش یافت (شکل 3). در این سطح شوری، میان غلظت روی بخش هوایی ( $Zn_{Shoot}$ ) و مدت غرقاب خاک (T) رابطه  $r^2=0.9957^{**}$  با  $Zn_{Shoot}=71.899-3.0414(T)+0.1077(T)^2$  وجود داشت. با استفاده از این روابط می‌توان غلظت روی بخش هوایی ذرت را در زمان‌های مختلف غرقاب پیش‌بینی کرد. پس از غرقاب، کاهش غلظت روی در دانه گندم به‌وسیله اشتیگر و فلر (1994) و قبادی و همکاران (1386)، در

های مرکبات کاهش و در برخی افزایش یافت ولی در برخی گونه‌ها پس از کاهش افزایش یافت. تونچتورک و همکاران (2011) نیز گزارش دادند که اثر شوری بر غلظت روی ریشه کلزا بسته به نوع رقم آن متفاوت بود. به‌نظر می‌رسد دلایل افزایش غلظت روی ریشه مشابه آهن می‌باشد که قبلاً ذکر شد. معنی‌دار نشدن اثر شوری بر غلظت روی ریشه در سطح 20 روز غرقاب شاید به این دلیل باشد که در این شرایط غرقاب محدود کننده‌تر از شوری بوده و طبق قانون حداقل لیبیک اثر شوری به‌طور معنی‌داری در غلظت روی ریشه ظاهر نشده است.

افزایش یافت. در 8 روز غرقاب، غلظت روی ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. اثر سطوح شوری بر غلظت روی ریشه در 20 روز غرقاب معنی‌دار نبود (شکل 4). پس از اعمال شوری کلرید سدیم، افزایش غلظت روی ریشه در یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (2005) و ونگ و هان (2007)، در ژنوتیپ‌های گندم به‌وسیله هوآنگ و همکاران (1995) و در گوجه‌فرنگی به‌وسیله صفرزاده و همکاران (1389) گزارش شده است. ابوطالبی و همکاران (1388) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت روی در ریشه برخی گونه-



شکل 4- اثر متقابل مدت غرقاب و شوری عناصر اشباع خاک بر غلظت روی ریشه ذرت

خاک (T) رابطه  $Zn_{Root} = 42.289 + 5.0295(T) - 0.1332(T)^2$  با  $r^2 = 0.875^{**}$  وجود داشت. در سطح شوری 8dS/m، اثر مدت غرقاب خاک بر غلظت روی ریشه معنی‌دار نبود (شکل 4).

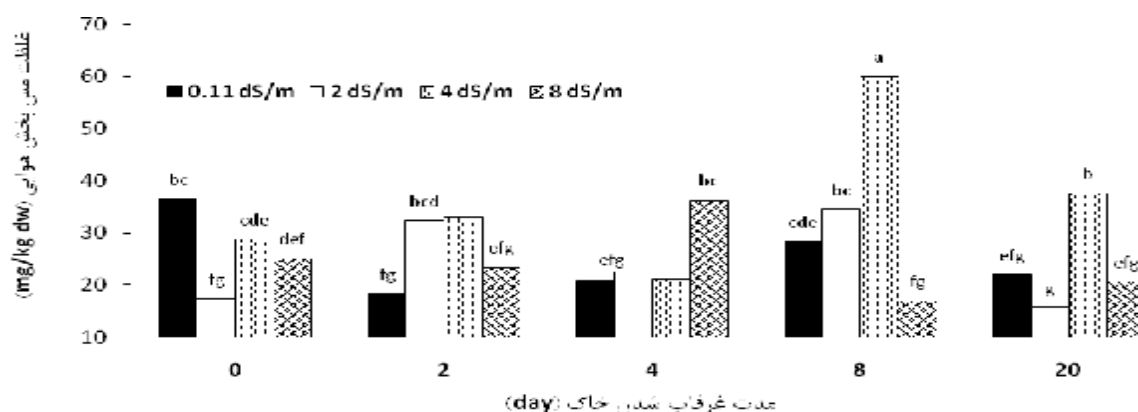
#### غلظت مس بخش هوایی

در شرایط غیرغرقاب، غلظت مس بخش هوایی با افزایش سطوح شوری ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. در 4 روز غرقاب، با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم تا 4dS/m غلظت مس بخش هوایی تغییر معنی‌داری نکرد ولی پس از آن افزایش یافت. در 2، 8 و 20 روز غرقاب، غلظت مس بخش هوایی با افزایش سطوح شوری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بنابراین، اثر

اثر غرقاب خاک بر غلظت روی ریشه بسته به سطح شوری کلرید سدیم متفاوت بود. در سطح شوری شاهد، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت روی ریشه کاهش و سپس افزایش و مجدداً کاهش یافت. با این حال، غلظت روی ریشه در شرایط غیرغرقاب بیشتر از شرایط غرقاب بود. در سطح شوری 2dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک، غلظت روی ریشه کاهش یافت. به‌طور کلی، در هر دو سطح 0/11 و 2dS/m، غلظت روی ریشه در شرایط غیرغرقاب بیشتر از شرایط غرقاب بود. در سطح شوری 4dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت روی ریشه افزایش یافت. در این سطح شوری، با افزایش مدت غرقاب، غلظت روی ریشه (Zn<sub>Root</sub>) در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت.

ذرت به‌وسیله ایزو و همکاران (1991) و رحمان و همکاران (1993) گزارش شده است. در مقابل، پس از اعمال شوری، افزایش غلظت مس بخش هوایی گیاهان برنج و گندم به‌وسیله الپاسلان و همکاران (1998)، افزایش مقدار مس بخش هوایی آفتابگردان به‌وسیله آچاکزای و همکاران (2010) و افزایش غلظت مس میوه گوجه‌فرنگی به‌وسیله صفرزاده و همکاران (1389) گزارش شده است. ابوطالبی و همکاران (1384) گزارش دادند که اثر سطوح شوری کلرید سدیم بر غلظت مس شاخساره گونه‌های مرکبات بسته به نوع گونه متفاوت بود.

سطوح شوری بر غلظت مس بخش هوایی بسته به مدت غرقاب خاک متفاوت بود (شکل 5). بیشترین غلظت مس بخش هوایی در سطح شوری کلرید سدیم تا 4dS/m و 8 روز غرقاب بود. تونچتورک و همکاران (2011) مشاهده کردند که اثر شوری بر غلظت مس بخش هوایی کلزا بسته به نوع رقم آن متفاوت بود به‌طوری که غلظت مس بخش هوایی در برخی رقم‌ها کاهش و در برخی رقم‌ها افزایش یافت و در برخی رقم‌ها تغییر معنی‌داری نکرد. پس از اعمال شوری، کاهش غلظت مس در برگ کدو به‌وسیله ویلورا و همکاران (2000)، در بخش هوایی یونجه به‌وسیله ونگ و هان (2007)، در بخش هوایی



شکل 5- اثر متقابل مدت غرقاب و شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت مس بخش هوایی ذرت

در ژنوتیپ‌های مختلف گندم پس از غرقاب کاهش یافت و میزان کاهش در ژنوتیپ‌های متحمل غرقاب کمتر از ژنوتیپ‌های حساس بود. اسمتورست و همکاران (2005) گزارش دادند که پس از غرقاب، غلظت مس در برگ‌ها و ساقه یونجه کاهش یافت. دامنه کفایت یا غلظت نرمال مس در بخش هوایی 30-5 میلی‌گرم بر کیلوگرم است (پایس و جونز 1997، کاباتا پندیاس و پندیاس 2001). بنابراین، غلظت مس بخش هوایی ذرت در تمام تیمارها در محدوده کفایت قرار داشت.

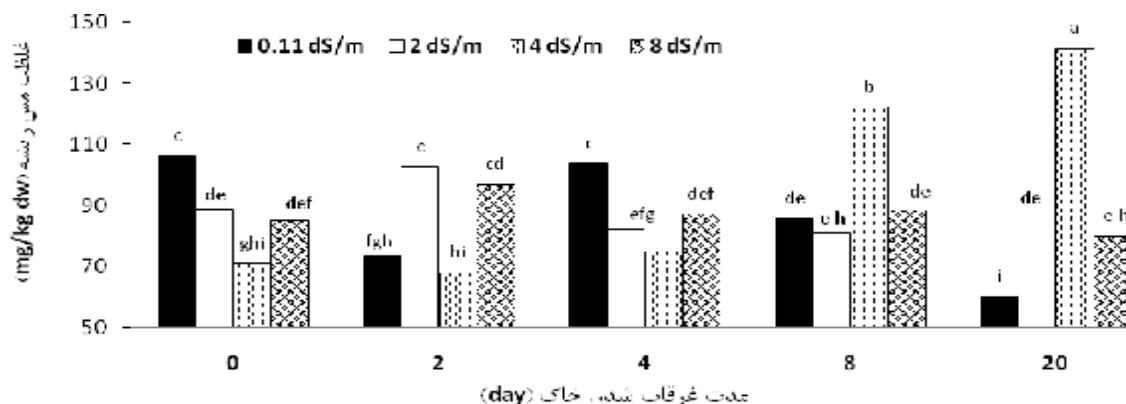
اثر مدت غرقاب خاک بر غلظت مس بخش هوایی به سطح شوری کلرید سدیم بستگی داشت. در سطح شوری شاهد، غلظت مس بخش هوایی در شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود. در سطوح شوری 2 و 4dS/m، تغییرات غلظت مس بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب خاک روند ثابتی نداشت. در سطح شوری 8dS/m، غلظت مس بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب خاک افزایش و سپس کاهش یافت (شکل 5). تارکگن و همکاران (2000) گزارش دادند که غلظت مس

## غلظت مس ریشه

اثر سطوح شوری بر غلظت مس ریشه به مدت غرقاب خاک بستگی داشت. در زمان‌های صفر و 4 روز غرقاب، غلظت مس ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم کاهش یافت که با نتایج ونگ و هان (2007) مطابقت داشت. آنان کاهش غلظت مس ریشه یونجه را بر اثر اعمال شوری کلرید سدیم گزارش دادند. در سطح 2 روز غرقاب، غلظت مس ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم ابتدا افزایش سپس کاهش و دوباره افزایش یافت. در 8 و 20 روز غرقاب، غلظت مس ریشه با افزایش سطوح شوری عصاره اشباع خاک افزایش و سپس کاهش یافت (شکل 6). بیشترین غلظت مس ریشه در شوری 4dS/m و 20 روز غرقاب بود. تونچتورک و همکاران (2011) با بررسی اثر شوری کلرید سدیم در یک خاک لوم بر غلظت‌های عناصر کم‌مصرف در 12 رقم کلزا مشاهده کردند که اثر شوری بر غلظت مس ریشه بسته به نوع رقم متفاوت بود به طوری که غلظت مس ریشه در برخی رقم‌ها کاهش و در برخی رقم‌ها افزایش یافت و در برخی رقم‌ها تغییر معنی‌داری نکرد. پس از اعمال شوری، افزایش مقدار مس ریشه آفتابگردان به وسیله آچاکزای و همکاران (2010) و افزایش غلظت مس ریشه در انبه به وسیله زواو و همکاران (2004) و در گوجه‌فرنگی به وسیله صفرزاده و همکاران (1389) گزارش شده است. ابوطالبی و همکاران (1388) گزارش دادند که اثر سطوح شوری کلرید سدیم بر غلظت مس ریشه بسته به گونه مرکبات متفاوت بود. به نظر می‌رسد تغییرات غلظت مس ریشه پس از اعمال شوری ناشی از برآیند اثر چند عامل باشد: 1- مختل شدن جذب فعال مس توسط ریشه به دلیل کاهش تولید ATP بر اثر کاهش شدت فتوسنتز گیاه در شرایط شور، 2- سرعت انتقال مس از ریشه به بخش هوایی، 3- تغییرات ماده خشک ریشه، 4- فرآیند

تبادل کاتیونی میان مس قابل‌تبادل و سدیم افزوده شده به خاک.

اثر غرقاب خاک بر غلظت مس ریشه بسته به سطح شوری کلرید سدیم متفاوت بود. در سطح شوری شاهد (0/11dS/m)، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت مس ریشه ابتدا کاهش سپس افزایش و مجدداً کاهش یافت. با این حال، غلظت مس ریشه در شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود. در سطح شوری 2dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت مس ریشه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در سطح شوری 4dS/m غلظت مس ریشه با افزایش مدت غرقاب خاک تا 4 روز تغییر معنی‌داری نکرد ولی در 8 و 20 روز غرقاب افزایش یافت (شکل 6). در این سطح شوری، میان غلظت مس ریشه ( $Cu_{Root}$ ) و مدت غرقاب خاک (T) رابطه  $r^2=0.8953^{**}$  با  $Cu_{Root}=60.701+7.6494(T)-0.1773(T)^2$  وجود داشت. اسمتورست و همکاران (2005) گزارش دادند که پس از غرقاب، غلظت مس ریشه یونجه افزایش یافت. در سطح شوری 8dS/m، با افزایش مدت غرقاب خاک تا 8 روز تغییر معنی‌داری نکرد ولی در 20 روز غرقاب (نسبت به 2 روز) کاهش یافت (شکل 6). کاهش غلظت مس پس از غرقاب را می‌توان به 1- بیشتر بودن سرعت رشد ریشه از سرعت جذب مس به وسیله آن، 2- کاهش غلظت مس قابل‌جذب گیاه پس از غرقاب خاک (ساحا و مندال 1998)، 3- مختل شدن جذب فعال مس توسط ریشه نسبت داد. بررسی ما نیز نشان داد که با غرقاب خاک، غلظت مس قابل‌جذب گیاه در خاک کاهش یافت (داده‌ها ارائه نشده است). افزایش غلظت مس ریشه پس از غرقاب را می‌توان به کاهش ماده خشک ریشه و وقوع اثر تغلیظ (مارشتر 1995) و کاهش سرعت انتقال مس به بخش هوایی نسبت داد.



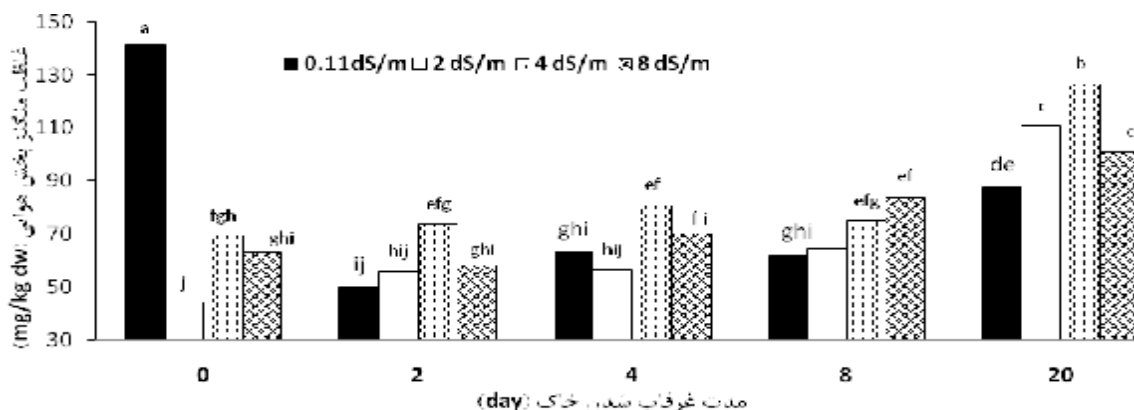
شکل 6- اثر متقابل مدت غرقاب و شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت مس ریشه ذرت

#### غلظت منگنز بخش هوایی

وسيله ونگ و هان (2007)، در بخش هوایی عناب به- وسيله مامتا و همکاران (2008) و در بخش هوایی آفتابگردان به وسيله آچاکزای و همکاران (2010) گزارش شده است. در مقابل، کاهش غلظت منگنز بخش هوایی ذرت پس از اعمال شوری به وسيله ایزو و همکاران (1991) و رحمان و همکاران (1993) گزارش شده است. غیرمعنی دار بودن اثر شوری بر غلظت منگنز بخش هوایی در گوجه فرنگی و خیار به وسيله الحربی (1995) و در توت فرنگی به وسيله تورهان و اریش (2005) گزارش شده است. ابوطالبی و همکاران (1384) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت منگنز در شاخساره برخی گونه های مرکبات افزایش و در برخی گونه ها کاهش یافت. ملکوتی و همکاران (1382) با جمع بندی نتایج سایر محققان بیان داشتند که اثر شوری بر غلظت منگنز بخش هوایی بسته به نوع گیاه متفاوت است به طوری که پس از اعمال شوری غلظت منگنز بخش هوایی در جو، برنج، چغندر قند و گوجه فرنگی افزایش ولی در نخود، ذرت، بادام زمینی و خیار کاهش می یابد. به نظر می رسد دلایل تغییر غلظت منگنز بخش هوایی پس از اعمال شوری مشابه آهن باشد که قبلاً بحث شد. دامنه غلظت مطلوب منگنز در بخش هوایی ذرت 20 تا 300 میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک می باشد (ملکوتی و غیبی 1379).

در شرایط غیر غرقاب، غلظت منگنز بخش هوایی با افزایش سطوح شوری ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. بیشترین غلظت منگنز بخش هوایی (mg/kg dw) در شرایط غیر غرقاب و بدون کلرید سدیم (شاهد) مشاهده گردید. در زمان های 2، 4 و 8 روز غرقاب، با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم، غلظت منگنز بخش هوایی افزایش یافت. در سطح 8 روز غرقاب، میان سطوح شوری عصاره اشباع خاک بر حسب dS/m و غلظت منگنز بخش هوایی رابطه  $Mn_{Shoot} = 60.735 + 2.9907(EC_e)$  با  $r^2 = 0.966^{**}$  مشاهده گردید. در 20 روز غرقاب، غلظت منگنز بخش هوایی با افزایش سطوح شوری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در این سطح غرقاب، میان سطوح شوری و غلظت منگنز بخش هوایی رابطه  $Mn_{Shoot} = 84.729 + 18.117(EC_e) - 2.0078(EC_e)^2$  با  $r^2 = 0.9896^{**}$  مشاهده گردید. بنابراین، اثر سطوح شوری بر غلظت منگنز بخش هوایی بسته به مدت غرقاب خاک متفاوت بود (شکل 7). کوپر (1981) گزارش داد که غلظت منگنز بخش هوایی گیاه *Armeria maritima* با افزایش سطوح شوری در شرایط غیر غرقاب کاهش و در شرایط غرقاب افزایش یافت. پس از اعمال شوری، افزایش غلظت منگنز در برگ کدو به- وسيله ویلورا و همکاران (2000)، در برگ انبه به وسيله زهرا و همکاران (2004)، در بخش هوایی به نحه به-

بنابراین، در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، غلظت منگنز بخش هوایی در دامنه مطلوب بود.



شکل 7- اثر متقابل مدت غرقاب و شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت منگنز بخش هوایی ذرت

و فلر (1994) و هوآنگ و همکاران (1995)، کاهش غلظت منگنز بخش هوایی گندم و جو به وسیله استفنسن و همکاران (2005) و کاهش غلظت منگنز دانه رقم‌های گندم به وسیله قبادی و همکاران (1386) گزارش شده است. بنابراین، انتظار این بود که جذب منگنز به وسیله ریشه زیاد شده و غلظت منگنز در بخش هوایی افزایش یابد. این انتظار در مورد اغلب سطوح شوری برآورده شد ولی در سطح شوری شاهد کاهش غلظت منگنز بخش هوایی در شرایط غرقاب نسبت به شرایط غیرغرقاب ممکن است به کمبود اکسیژن و مختل شدن فرآیند جذب فعال منگنز مربوط باشد (مارشدر 1995). به نظر می‌رسد سایر دلایل تغییر غلظت منگنز بخش هوایی پس از غرقاب خاک مشابه آهن می‌باشد که قبلاً ذکر شده است.

اثر مدت غرقاب خاک بر غلظت منگنز بخش هوایی به سطح شوری عصاره اشباع خاک بستگی داشت. در سطح شوری شاهد (0/11dS/m)، غلظت منگنز بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب خاک ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. در این سطح شوری، غلظت منگنز بخش هوایی در شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود. در سطوح شوری 2، 4 و 8dS/m، غلظت منگنز بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب خاک افزایش یافت (شکل 7). در این سطوح شوری، میان غلظت منگنز بخش هوایی ( $Mn_{Shoot}$ ) و مدت غرقاب خاک (T) روابط رگرسیونی معنی‌داری وجود داشت (جدول 2). با استفاده از این روابط می‌توان غلظت منگنز بخش هوایی را در زمان‌های مختلف غرقاب برآورد کرد. پس از غرقاب بستر رشد گیاه، افزایش غلظت منگنز بخش هوایی ژنوتیپ‌های گندم به وسیله دریو (1988)، اشتیگر

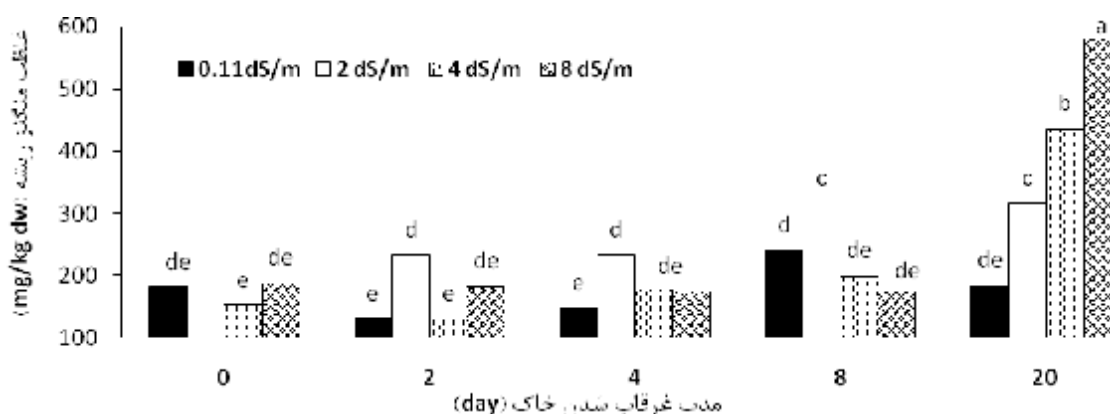
جدول 2- رابطه میان مدت غرقاب (T روز) و غلظت منگنز بخش هوایی (mg/kg dw) در سطوح مختلف شوری

ضریب تبیین ( $R^2$ )	مدل رگرسیونی	سطح شوری (dS/m)
0/9872**	$Mn_{Shoot}=47.315+1.889(T)+0.0634(T)^2$	2
0/9625**	$Mn_{Shoot}=72.786-0.2904(T)+0.148(T)^2$	4
0/9400**	$Mn_{Shoot}=58.618+3.303(T)-0.0586(T)^2$	8

## غلظت منگنز ریشه

اثر سطوح شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت منگنز ریشه به مدت غرقاب خاک بستگی داشت. در شرایط غیرغرقاب، اثر سطوح شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت منگنز ریشه ذرت معنی‌دار نبود (شکل 8) که با نتایج تورهان و اریش (2005) در توت فرنگی مطابقت داشت. در زمان‌های 2، 4 و 8 روز غرقاب، غلظت منگنز ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در سطح 20 روز غرقاب، غلظت منگنز ریشه با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم افزایش یافت. بیشترین غلظت منگنز ریشه (mg/kg dw) در شرایط 20 روز غرقاب و شوری 8dS/m (141/3) مشاهده گردید. افزایش غلظت منگنز ریشه پس از اعمال

شوری، در انبه به‌وسیله زوازو و همکاران (2004)، در گونه‌های مرکبات به‌وسیله ابوطالبی و همکاران (1388)، در آفتابگردان به‌وسیله آچاکزای و همکاران (2010) و در گوجه‌فرنگی به‌وسیله صفرزاده و همکاران (1389) نیز گزارش شده است. در سطح 20 روز غرقاب، میان غلظت منگنز ریشه ذرت (mg/kg dw) و سطوح شوری عصاره اشباع خاک (ds/m) رابطه  $Mn_{Root}=183.07+75.197(ECe)-3.1636(ECe)^2$  با  $r^2=0.9997^{**}$  مشاهده گردید. با استفاده از این رابطه می‌توان با دقت خیلی خوبی غلظت منگنز ریشه را در سطوح مختلف شوری کلرید سدیم پیش‌بینی کرد (شکل 8).



شکل 8- اثر متقابل مدت غرقاب و شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت منگنز ریشه ذرت

افزایش مدت غرقاب خاک غلظت منگنز ریشه ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس افزایش یافت (شکل 8). در این سطوح شوری، غلظت منگنز ریشه در شرایط غیرغرقاب کمتر از شرایط غرقاب بود و میان غلظت منگنز ریشه ( $Mn_{Root}$ ) و مدت غرقاب خاک (T) روابط رگرسیونی معنی‌داری وجود داشت (جدول 3). با استفاده از این روابط می‌توان غلظت منگنز ریشه ذرت را زمان‌های مختلف غرقاب پیش‌بینی کرد.

اثر مدت غرقاب خاک بر غلظت منگنز ریشه بسته به سطح شوری عصاره اشباع خاک متفاوت بود. در سطح شوری شاهد (0/11dS/m)، با افزایش مدت غرقاب خاک غلظت منگنز ریشه تا 4 روز غرقاب تغییر معنی‌داری نکرد ولی در 8 روز غرقاب نسبت به 2 و 4 روز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با این‌حال، غلظت منگنز ریشه در شرایط غیرغرقاب تفاوت معنی‌داری با شرایط غرقاب نداشت. در سطوح شوری 2، 4 و 8dS/m، با



جدول 3- رابطه میان مدت غرقاب (T روز) و غلظت (mg/kg dw) منگنز ریشه ذرت در سطوح مختلف شوری

ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )	مدل رگرسیونی	سطح شوری (dS/m)
0/9475**	$Mn_{Root}=182.19+21.24(T)-0.7228(T)^2$	2
0/9877**	$Mn_{Root}=144.56+2.3201(T)+0.6131(T)^2$	4
0/9966**	$Mn_{Root}=198.43-15.544(T)+1.7325(T)^2$	8

معنی‌دار وجود داشت که با توجه به اینکه رفتار شیمیایی نسبتاً مشابهی در شرایط مختلف (غرقاب و غیرغرقاب) دارند، این نتیجه مورد انتظار بود چون برای مثال در شرایط غرقاب با زیاد شدن غلظت آهن، غلظت منگنز هم زیاد می‌شود و باعث می‌شود رابطه مثبت میان آنها وجود داشته باشد. میان غلظت آهن ریشه و غلظت روی بخش هوایی رابطه منفی معنی‌دار وجود داشت. این نتیجه شاید به اثر متفاوت غرقاب بر غلظت قابل‌جذب این دو عنصر در خاک مربوط باشد. بر اثر غرقاب غلظت روی قابل‌جذب گیاه در خاک کاهش و آهن قابل‌جذب افزایش می‌یابد (توفیقی و نجفی 1380، کلباسی و حسین‌پور 1376). میان غلظت روی بخش هوایی و ماده خشک بخش هوایی رابطه منفی معنی‌دار وجود داشت که نشان دهنده این است که در شرایط آزمایش سرعت رشد بخش هوایی از سرعت جذب روی بیشتر بوده است. در نتیجه، با وقوع پدیده اثر رقت غلظت روی در بخش هوایی کاهش یافته است (مارشور 1995). میان ماده خشک ریشه و بخش هوایی رابطه مثبت وجود داشت. به نظر می‌رسد رابطه منفی میان ماده خشک ریشه و غلظت روی بخش هوایی به اثر غیرمستقیم ماده خشک بخش هوایی مربوط باشد؛ چون با افزایش ماده خشک بخش هوایی ماده خشک ریشه نیز زیاد شده است (جدول 4).

روی در بین ریشه و بخش هوایی گیاه شدیداً تحت تأثیر سطوح شوری عصاره اشباع خاک قرار گرفت به طوری که گیاه ذرت در شرایط شور روی را در بخش هوایی و در شرایط غیرشور در ریشه انباشته کرد. در تمامی شرایط مورد مطالعه (شور، غیرشور، غرقاب،

نسبت غلظت فلز در بخش هوایی به ریشه (فاکتور انتقال) برای چهار عنصر مورد مطالعه در تمامی تیمارها و تکرارها محاسبه و سپس میانگین فاکتور انتقال هر عنصر برای سطوح شوری و غرقاب تعیین شد. میانگین فاکتور انتقال روی در شرایط شور 1/56 و در شرایط غیرشور 0/87 بود. بنابراین، گیاه ذرت در شرایط شور (4 و 8 دسی‌زیمنس بر متر) روی را در بخش هوایی و در شرایط غیرشور (0/11 و 2 دسی‌زیمنس بر متر) در ریشه انباشته کرد. میانگین فاکتور انتقال روی در شرایط غرقاب 1/2 و در شرایط غیرغرقاب 1/3 بود. بنابراین، در هر دو شرایط مذکور گیاه ذرت روی را در بخش هوایی انباشته نمود. فاکتور انتقال سایر عناصر در سطوح مختلف شوری و غرقاب کمتر از یک بود. لذا، میانگین کل فاکتور انتقال این عناصر محاسبه شد که به صورت  $Cu=0.54 < Mn=0.66 < Fe=0.03$  بود. این نتایج نشان می‌دهد که در تمامی شرایط مورد مطالعه (شور، غیرشور، غرقاب، غیرغرقاب) گیاه ذرت آهن، مس و منگنز را در ریشه انباشته کرد. تونجتورک و همکاران (2008) گزارش دادند که در شرایط شور، غلظت آهن، روی، مس و منگنز در ریشه بیشتر از برگ و ساقه سویا بود.

ضرایب همبستگی میان غلظت‌های عناصر و ماده خشک بخش هوایی و ریشه ذرت در جدول 4 ارائه شده است. میان غلظت آهن و منگنز بخش هوایی رابطه مثبت

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که اثر سطوح شوری عصاره اشباع خاک بر غلظت عناصر کم‌مصرف در گیاه ذرت علوفه‌ای بسته به نوع عنصر، مدت غرقاب خاک و نوع اندام گیاه (ریشه یا بخش هوایی) متفاوت بود. توزیع

شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود ولی غلظت روی بخش هوایی و منگنز ریشه در شرایط غرقاب تفاوت معنی‌داری با شرایط غیرغرقاب نداشت. نتایج نشان داد که اگر مزرعه ذرت علوفه‌ای در یک مرحله از دوره رشد آن حتی برای مدت کوتاهی غرقاب شود، بر غلظت عناصر کم‌مصرف در گیاه و در نتیجه کیفیت آن اثر معنی‌داری خواهد داشت.

غیرغرقاب) گیاه ذرت آهن، مس و منگنز را در ریشه انباشته کرد. اثر غرقاب خاک بر غلظت عناصر کم-مصرف در گیاه ذرت علوفه‌ای بسته به نوع عنصر، سطح شوری عصاره اشباع خاک و نوع اندام گیاه (ریشه یا بخش هوایی) متفاوت بود و تعمیم نتایج عناصر مختلف به یکدیگر ممکن نبود. با این حال، در شرایط بدون کاربرد کلرید سدیم، غلظت آهن، مس و منگنز بخش هوایی و غلظت آهن، روی و مس ریشه در

جدول 4- ضرایب همبستگی میان غلظت‌های عناصر و ماده خشک بخش هوایی و ریشه ذرت

Fe Shoot	Fe Root	Mn Shoot	Mn Root	Zn Shoot	Zn Root	Cu Shoot	Cu Root	DM Shoot	DM Root	
1	0/17 <sup>ns</sup>	0/59 <sup>**</sup>	0/07 <sup>ns</sup>	0/38 <sup>ns</sup>	0/36 <sup>ns</sup>	0/33 <sup>ns</sup>	0/42 <sup>ns</sup>	-0/03 <sup>ns</sup>	-0/03 <sup>ns</sup>	Fe-Shoot
	1	0/07 <sup>ns</sup>	-0/12 <sup>ns</sup>	-0/45 <sup>*</sup>	0/27 <sup>ns</sup>	-0/02 <sup>ns</sup>	0/13 <sup>ns</sup>	0/53 <sup>*</sup>	0/5 <sup>*</sup>	Fe-Root
		1	0/45 <sup>*</sup>	0/19 <sup>ns</sup>	0/27 <sup>ns</sup>	0/18 <sup>ns</sup>	0/37 <sup>ns</sup>	-0/09 <sup>ns</sup>	-0/14 <sup>ns</sup>	Mn-Shoot
			1	0/07 <sup>ns</sup>	0/07 <sup>ns</sup>	0/01 <sup>ns</sup>	0/27 <sup>ns</sup>	-0/53 <sup>*</sup>	-0/34 <sup>ns</sup>	Mn-Root
				1	-0/07 <sup>ns</sup>	0/18 <sup>ns</sup>	0/13 <sup>ns</sup>	-0/56 <sup>**</sup>	-0/80 <sup>**</sup>	Zn-Shoot
					1	-0/05 <sup>ns</sup>	0/38 <sup>ns</sup>	0/14 <sup>ns</sup>	0/33 <sup>ns</sup>	Zn-Root
						1	0/53 <sup>*</sup>	-0/22 <sup>ns</sup>	-0/02 <sup>ns</sup>	Cu-Shoot
							1	-0/23 <sup>ns</sup>	-0/05 <sup>ns</sup>	Cu-Root
								1	0/74 <sup>**</sup>	DM-Shoot
									1	DM-Root

#### منابع مورد استفاده

ابوطالبی ع، تفضلی ع، خلدبرین ب، کریمیان ن، 1384. اثر شوری بر غلظت عناصر کم‌مصرف در شاخساره گونه‌های مختلف مرکبات. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال 9، شماره 4، صفحه‌های 45 تا 54.

ابوطالبی ع، حسن‌زاده و، عرب‌زادگان م ص، 1388. تغییرات غلظت عناصر کم‌مصرف در ریشه گونه‌های مختلف مرکبات در تنش شوری. مجله پژوهش در علوم کشاورزی، جلد 5، شماره 1، صفحه‌های 81 تا 89.

توفیقی ح و نجفی ن، 1380. بررسی تغییرات بازیافت و قابلیت استفاده روی خاک و روی اضافه شده به خاک در شرایط غرقابی و غیرغرقابی در خاکهای شالیزاری شمال ایران. صفحه‌های 382 تا 384. مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، 4-7 شهریور، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.

روزیطلب م ح، 1386. اثر تغییر اقلیم در کشاورزی و پایداری خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک ایران. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، 4 تا 6 شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

سیادت ح و سعادت س، 1377. اثر سوء آب ماندگی سطحی و تهویه ضعیف خاک در تولید گندم. مجله زیتون، شماره 137-138، صفحه‌های 51 تا 53.

صفرزاده ص، رونقی ع، غلامی ع و زاهدی فر م، 1389. اثر شوری و نیتروژن بر کیفیت میوه و غلظت عناصر کم مصرف گوجه‌فرنگی در کشت هیدروپونیک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال 1، شماره 3، صفحه‌های 11 تا 22.

قبادی م، بخشنده ع، نادریان ح و قبادی م، 1386. اثرات ماندابی خاک بر برخی عناصر موجود در دانه ارقام گندم بهاره. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، 4 تا 6 شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

کلباسی م و حسین‌پور ع، 1376. اثر مانداب شدن موقت سه خاک آهکی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و تغییرات آنها پس از زهکشی. مجله علوم کشاورزی ایران جلد 28، شماره 3، صفحه‌های 49 تا 58.

ملکوتی م ج و غیبی من، 1379. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور. چاپ دوم، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

ملکوتی م ج، کشاورز پ، سعادت س و خلدبرین ب، 1382. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا، تهران.

- Achakzai AKK, Kayani SA, and Hanif A, 2010. Effect of salinity on uptake of micronutrients in sunflower at early vegetable stage. *Pak J Bot* 42: 129-139.
- Al-Harbi AR, 1995. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemented calcium. *J Plant Nutr* 18: 1403-1408.
- Alpaslan M, Gunes A, Taban S, Erdal I, Tarakcioglu C, 1998. Variations in calcium, phosphorus, iron, copper, zinc and manganese contents wheat and rice varieties under salt stress. *Turk J Agric For* 22: 227-233.
- Barrett-Lennard EG, 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants. Causes, consequences and implication. *Plant Soil* 253: 35-54.
- Bjerre GK and Schierup HH, 1985. Influence of waterlogging on availability and uptake of heavy metals by oat grown in different soils. *Plant Soil* 88: 45-56.
- Cooper A, 1981. The effects of salinity and waterlogging on the growth and cation uptake of salt marsh plants. *New Phytol* 90:263-275.
- Dane JH and Topp GC, 2002. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods.* Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Das M and Maiti SK, 2007. Metal accumulation in 5 native plants growing on abandoned CU-tailings ponds. *Appl Ecol Environ Res* 5: 27-35.
- Drew MC, 1988. Effects of flooding and oxygen deficiency on plant mineral nutrition. *Advan Plant Nutr* 3: 115-159.
- Drew MC, Guenther J, and Lauchli A, 1988. The combined effects of salinity and root anoxia on growth and net Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> accumulation in *Zea mays* grown in solution culture. *Ann Bot* 61:41-53.
- Fageria NK, Baligar VC, and Jones CA, 2010. *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops.* Third Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Gill KS, Qadar A, Singh KN, 1992. Effect of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes to sodicity in association with waterlogging at different stages of growth. *Indian J Agr Sci* 62: 124-128.
- Grattan SR and Grieve CM, 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci Hort* 78: 127-157.
- Gupta PK, 2000. *Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis.* Agrobios, New Delhi, India.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL, and Nelson WL, 2004. *Soil Fertility and Fertilizers an Introduction to Nutrient Management.* 7<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall, USA.
- Huang B, Johnson JW, Smith DSN and Bridges DC, 1995. Nutrient accumulation and distribution of wheat genotypes in response to waterlogging and nutrient supply. *Plant Soil* 173: 47-54.

- Izzo R, Navari-Izzo F and Quartacci MF, 1991. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. *J Plant Nutr* 14: 687-699.
- Kabata-Pendias A and Pendias H, 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. 3<sup>rd</sup> Edition, CRC Press, New York, USA.
- Kanwar RS, Baker JL, and Mukhtar S, 1988. Excessive soil water effect at various stage of development on the growth and yield of corn. *Am Soc Agri Eng* 31:133-141.
- Kashem MA, and Singh BR, 2001. Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn. *Nutr Cycl Agreco Syst* 61: 247-255.
- Khabaz-Saberi H, Setter TL, and Waters I, 2006. Waterlogging induces high to toxic concentrations of iron, aluminum, and manganese in wheat varieties on acidic soil. *J Plant Nutr* 29: 899-911.
- Knudsen D, Peterson GA, and Pratt PF, 1982. Lithium, sodium, and potassium. Pp. 225-246. In: Page AL, Miller RH, and Keeney DR, (eds). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Mineralogical Properties*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Kozłowski TT, 1984. Plant response to flooding of soil. *Bio Sci* 34:162-167.
- Lindsay WL, and Norvell WA, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci Soc Am J* 42: 421-428.
- Mamta JB, Patel AD, Bhatti PM and Pandey AN, 2008. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). *J Fruit and Ornam Plant Res* 16: 383-401.
- Marshner H, 1995. *Mineral Nutrient of Higher Plants*. Academic press, London.
- Narteh LT and Sahrawat KL, 1999. Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. *Geoderma* 87: 179-207.
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539-579. In: Page AL, Miller RH, and Keeney DR, (eds). *Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties*. 2<sup>nd</sup> Edition, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Olsen SR, and Sommers LE, 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page AL, Miller RH, and Keeney DR, (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2<sup>nd</sup> Edition, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Page AL, Chang AC and Adriano DC, 1990. Deficiencies and Toxicities of Trace Elements. Pp. 138-160. In: Tanji KK (Ed). *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE Manuals and Reports on Eng Practice No 71, ASCE,
- Pais IJ and Jones JB, 1997. *The Handbook of Trace Elements*. St Luice Press, Boca Raton, FL., USA.
- Qureshi RH and Barrat-Lannard EG, 1998. *Saline Agriculture for Irrigated Land in Pakistan*. A Handbook Monograph No 50. Australian Centre for International Agriculture Research, Chanberra, 142p.
- Rahman S, Vance GF and Munn LC, 1993. Salinity induced effects on the nutrient status of soil, corn leaves and kernels. *Comm Soil Sci Plant Anal* 24: 2251-2269.
- Richards LA, 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook No 60. USDA. USA.
- Ruiz D, Martínez V and Cerdá A, 1997. Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. *Tree Physiol* 17: 141-150.
- Saha JK, and Mandal B, 1998. Effect of submergence on copper fractions in Alfisols. *J Indian Soc Soil Sci* 46: 32-36.
- Smethurst CF, Garnett T, and Shabala S, 2005. Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. *Plant Soil* 270: 31-45.

- Steffens D, Hütsch BW, Eschholz T, Lošák T, Schubert S, 2005. Waterlogging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. *Plant Soil Environ* 51: 545-552.
- Stieger PA and Feller U, 1994. Nutrient accumulation and translocation in maturing wheat plants grown on waterlogged soil. *Plant Soil* 160: 87-95.
- Tarekegne A, Bennie ATP and Labuschagne MT, 2000 Effects of soil waterlogging on the concentration and uptake of selected nutrients in wheat genotypes differing in tolerance. Pp. 253-263. The Eleventh Regional Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa, Addis Abeba, Ethiopia.
- Tunçtürk M, Tunçtürk R, Yıldırım B and Çiftçi V, 2011. Changes of micronutrients, dry weight and plant development in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under salt stress. *African J Biotech* 10: 3726-3730.
- Turhan E, Eris A, 2005. Changes of micronutrients, dry weight, and chlorophyll contents in strawberry plants under salt stress conditions. *Comm Soil Sci Plant Anal* 36: 1021-1028.
- Van Laer L, Degryse F, Leynen K and Smolders E, 2010. Mobilization of Zn upon waterlogging riparian Spodosols is related to reductive dissolution of Fe minerals. *Europ J Soil Sci* 61: 1014-1024.
- Villora G, Moreno DA, Pulgar G and Romero L, 2000 Yield improvement in zucchini under salt stress: Determining micronutrient balance. *Sci Hort* 86: 175-183.
- Wang XS and Han JG, 2007. Effects of NaCl and silicon on ion distribution in the roots, shoots and leaves of two alfalfa cultivars with different salt tolerance. *Soil Sci Plant Nutr* 53: 278-285.
- Westerman RL, 1990. Soil Testing and Plant analysis. 3rd Edition, Soil Science Society of America Book Series, Number 3, Madison, Wisconsin, USA.
- Zuazo VHD, Martínez-Raya A, Ruiz JA and Tarifa DF, 2004. Impact of salinity on macro- and micronutrient uptake in mango (*Mangifera indica* L. cv. Osteen) with different rootstocks. *Spanish J Agr Res* 2: 121-133.