

## اثر شور و غرقاب شدن خاک بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و سدیم در بخش هوایی ذرت

نصرت اله نجفی\*<sup>۱</sup> و المیرا سرهنگ‌زاده<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۲۳

<sup>۱</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n-najafi@tabrizu.ac.ir

### چکیده

شوری و غرقاب از تنش‌های غیرزیستی مهم محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان در دنیا می‌باشند. در این پژوهش، اثر شوری و غرقاب بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم بخش هوایی ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط گلخانه‌ای مطالعه گردید. آزمایش به صورت 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، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ 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 گردید. فاکتورهای شوری و غرقاب به‌طور هم‌زمان و از مرحله پنج برگی گیاه به بعد اعمال گردید. گیاهان ۶۰ روز پس از کاشت برداشت و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم بخش هوایی آن‌ها به روش خشک‌سوزانی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم بخش هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش ولی غلظت سدیم بخش هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، غلظت کلسیم بخش هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش در حالی‌که غلظت سدیم، پتاسیم و منیزیم بخش هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با این حال، اثر شوری بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم بخش هوایی ذرت علوفه‌ای به مدت غرقاب شدن خاک بستگی داشت. غلظت پتاسیم، منیزیم و کلسیم در بخش هوایی ذرت به ترتیب ۲/۷۲، ۲/۱۷ و ۱/۶۹ برابر بیشتر از ریشه بود در حالی‌که غلظت سدیم در ریشه ۱/۵۲ برابر بیشتر از بخش هوایی بود. نتایج نشان داد که حتی دوره‌های کوتاه غرقاب شدن خاک بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم بخش هوایی ذرت علوفه‌ای در شرایط شور و غیرشور اثرهای طولانی‌مدت داشت.

واژه‌های کلیدی: تنش، ذرت، شوری، عناصر پرمصرف، غرقاب

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

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

Received: 26 August 2012 Accepted: 14 December 2013

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

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

\*Corresponding Author Email: n-najafi@tabrizu.ac.ir

### Abstract

Salinity and waterlogging are two important abiotic stresses limiting plants growth and yield in the world. In this research, the effects of soil salinity and waterlogging on the concentrations of calcium (Ca), potassium (K), magnesium (Mg) and sodium (Na) in forage corn (*Zea mays* cv. single cross 704) shoot were studied under greenhouse conditions. A factorial experiment with two factors was performed on the basis of completely randomized design with three replications. The studied factors were: waterlogging duration in five levels (0, 2, 4, 8, 20 days) and saturated soil 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 were used. The salinity and waterlogging factors were imposed simultaneously 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 shoot were determined by dry ashing method. The results showed that by increasing the level of salinity, the concentrations of K, Ca and Mg in corn shoot were decreased significantly but the Na concentration of shoot was increased significantly. By increasing the duration of soil waterlogging, the Ca concentration of shoot was decreased significantly, while the K, Mg and Na concentrations of shoot were increased significantly. However, the effect of salinity on the Ca, K, Mg and Na concentrations of shoot was dependent on the duration of soil waterlogging. The K, Ca, and Mg concentrations of corn shoot were greater than those of its root (3.72, 3.17 and 1.69 times, respectively), while the Na concentration of corn root was 1.52 times greater than that of its shoot. The results demonstrated that even short periods of soil waterlogging had considerable long-term effects on the Ca, K, Mg and Na concentrations of forage corn shoot under saline and non-saline conditions.

**Keywords:** Corn, Macronutrients, Salinity, Stress, Waterlogging

از عناصر مفید در تغذیه گیاهان و از عناصر پرمصرف  
ضروری برای تغذیه انسان و دام می‌باشد (صوفی و  
جانمحمدی ۱۳۸۸، مارشتر ۱۹۹۵). لذا، وجود غلظتی

مقدمه

پتاسیم، کلسیم و منیزیم از عناصر پرمصرف  
ضروری برای تغذیه گیاه، انسان و دام می‌باشند. سدیم

هوایی مرکبات بسته به نوع عنصر، سطح شوری و نوع پایه متفاوت بود.

یکی دیگر از عامل‌های مؤثر بر جذب و غلظت عناصر در گیاه غرقاب شدن خاک 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 (قبادی و همکاران ۱۳۸۶، مارشدر ۱۹۹۵). گاهی غرقاب شدن خاک بر اثر وقوع بارندگی شدید پس از آبیاری مزرعه اتفاق می‌افتد. رفت و آمد زیاد ماشین‌های سنگین در مزرعه سبب تشکیل سخت- لایه در خاک شده و به دلیل کاهش سرعت نفوذ آب در خاک، احتمال غرقاب شدن محیط رشد گیاه را افزایش می‌دهد (کانوار و همکاران ۱۹۸۸). همچنین، پدیده گرمایش جهانی سبب افزایش تبخیر آب از خاک‌ها و شور شدن بیشتر خاک‌ها، بالا آمدن سطح آب‌های آزاد، وقوع بارش‌ها به صورت رگبار و غرقاب شدن خاک‌ها می‌شود (روزیطلب ۱۳۸۶). بنابراین، هر سال مساحت قابل‌ملاحظه‌ای از خاک‌های جهان و ایران در معرض غرقاب قرار می‌گیرند (سیادت و سعادت ۱۳۷۷). از مشکلاتی که هنگام غرقاب شدن خاک ایجاد می‌شود، می‌توان به کمبود اکسیژن (کوزلووسکی ۱۹۸۴)، کمبود نیتروژن ناشی از آبشویی و نترات‌زدایی (کانوار و همکاران ۱۹۸۸، مارشدر ۱۹۹۵) 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 (کانوار و همکاران ۱۹۸۸). نجفی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش دادند که اثر غرقاب شدن خاک بر جذب و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در بخش هوایی آفتابگردان بسته به نوع اندام، مدت غرقاب و نوع عنصر متفاوت بود. دریو و سیسورو (۱۹۷۹) نیز مشاهده کردند که غلظت پتاسیم در گیاه جو پس از غرقاب کاهش یافت. تروت و دریو (۱۹۸۰) 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

مناسب از پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در گیاهان نه- تنها برای رشد مطلوب آن‌ها بلکه در زنجیره غذایی برای سلامتی انسان و دام اهمیت دارد. 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 مرغاری‌ها، دامداری‌ها و مزارع پرورش ماهی محسوب می‌شود. به علاوه، 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 ۲۰۱۰).

شوری آب و خاک از مشکلات عمده تولید پایدار محصولات کشاورزی در ایران است که بر جذب و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در گیاهان اثر دارد (ملکوتی و همکاران ۱۳۸۲). اراضی دارای خاک‌های با درجات مختلف شوری در ایران مساحتی حدود ۵۵/۶ میلیون هکتار (حدود ۳۴ درصد مساحت کل کشور) را شامل می‌شود و این در حالی است که بر اثر قرار گرفتن قسمت عمده ایران در اقلیم خشک و نیمه- خشک و وقوع خشک‌سالی‌ها مساحت خاک‌های شور کشور هر سال زیاد می‌شود و امنیت غذایی مردم را تهدید می‌کند (مومنی ۱۳۸۹). از طرف دیگر، منابع بزرگی از آب‌های سطحی و زیرزمینی نیمه‌شور و شور در کشور وجود دارند که احتمالاً در آینده از آن‌ها برای آبیاری استفاده خواهد شد (حیدری ۱۳۸۰). 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. اسداللهی و مظفری (۱۳۹۱) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت پتاسیم بخش هوایی دانه‌های پسته کاهش یافت. مظلومی و رونقی (۱۳۹۱) 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 (۱۳۸۶) گزارش نمودند که اثر شوری کلرید سدیم بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم بخش

این راستا، مالیک و همکاران (۲۰۰۲) بلافاصله پس از اعمال تنش کمبود اکسیژن (غرقاب) به گیاه آن را تجزیه نکرده‌اند بلکه مدتی به گیاه فرصت رشد در شرایط غیرغرقاب را داده‌اند تا ببینند اثر غرقاب در مراحل بعدی رشد باقی می‌ماند یا نه؟ 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 بخش هوایی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت 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 از جمله نجفی و همکاران (۱۳۹۱)، دریو و همکاران (۱۹۸۸)، هاولین و همکاران (۲۰۰۴)، مالیک و همکاران (۲۰۰۲)، مامتا و همکاران (۲۰۰۸) و تروت و دریو (۱۹۸۰) انجام شد. خاک مورد نظر از ایستگاه تحقیقات خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب شد و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. نمونه خاک پس از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس فسفر قابل جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر اولسن (اولسن و سامرز ۱۹۸۲)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب با عصاره‌گیر استات آمونیم (نادسن و همکاران ۱۹۸۲)، آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب با عصاره‌گیر DTPA (لیندزی و نورول ۱۹۷۸)، pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک (مکلین ۱۹۸۲) و EC آن در عصاره اشباع (گوپتا ۲۰۰۰)، بافت خاک به روش هیدرومتر با چهار قرائت (گی و اور ۲۰۰۲)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز ۱۹۸۲)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراژ با سود (ریچاردز ۱۹۵۴) 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

عناصر به‌وسیله ریشه بر اثر کمبود اکسیژن در خاک نسبت دادند. کوزلووسکی (۱۹۸۴) 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. در این مورد چند حالت ممکن است اتفاق افتد: (۱) خاک شور با آب غیرشور غرقاب شود، (۲) خاک غیرشور با آب شور غرقاب گردد، (۳) خاک شور با آب شور غرقاب شود. بررسی 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 (دریو و همکاران ۱۹۸۸، کورشی و بارت-لنارد ۱۹۹۸، بارت-لنارد ۲۰۰۳). به‌عبارت دیگر، وقتی گیاه در معرض هم‌زمان شوری و غرقاب قرار می‌گیرد، جذب و غلظت عناصر در گیاه متفاوت از وقتی است که فقط در معرض یکی از این دو تنش می‌باشد. 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 (بارت-لنارد ۲۰۰۳). 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 (دریو و همکاران ۱۹۸۸).

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 بخش هوایی ذرت اثر متقابل وجود داشته باشد. بررسی منابع نشان داد که در این زمینه کار تحقیقاتی در ایران انجام نشده است. همچنین در بررسی‌های انجام شده در خارج از کشور در اغلب موارد غلظت عناصر در گیاه بلافاصله پس از اتمام مدت غرقاب تعیین شده است و معلوم نیست که اگر به گیاه فرصت داده شود آیا گیاه توان بازیابی و اصلاح اثر غرقاب را خواهد داشت یا نه؟ در

آب شور به تدریج 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 شد 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 ۲۵ 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 (۲۰۰۲) استفاده گردید. پس از ۶۰ روز رشد، بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و با آب مقطر شسته شدند. سپس در داخل دستگاه خشک‌کن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت نگهداری تا خشک شدند. سپس خرد و آسیاب شدند و از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. غلظت K، Ca، Mg و Na بخش هوایی ذرت، به روش خشک‌سوزانی (وسترن ۱۹۹۰) 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. فاکتور انتقال از تقسیم غلظت فلز در بخش هوایی به غلظت فلز در ریشه‌های گیاه محاسبه شد. این فاکتور شاخصی است برای تعیین توانایی گیاه در انتقال فلزات از ریشه به بخش هوایی. اگر این فاکتور بیش از یک باشد، نشانگر این است که گیاه فلز را در بخش هوایی انباشته می‌کند ولی اگر این فاکتور کوچکتر از یک باشد نشان می‌دهد که گیاه فلز را بیشتر در ریشه انباشته می‌کند (داس و مایتی ۲۰۰۷). 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 گردید.

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 گردد 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  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۱۰۰ میلی‌گرم  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ، ۴۰ میلی‌گرم  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۲۰ میلی‌گرم  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۲۰ میلی‌گرم  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۱۰ میلی‌گرم  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  و ۵ میلی‌گرم  $\text{H}_3\text{BO}_3$  بر کیلوگرم خاک)، قبل از کشت گیاه به صورت 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 سینگل کراس 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 جوانه‌دار شده در عمق ۲/۵ سانتی‌متری خاک داخل گلدان‌ها کشت 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 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 پنج‌برگی و به‌طور هم‌زمان اعمال شد. برای اعمال سطوح شوری ابتدا یک محلول کلرید سدیم با غلظت معین تهیه گردید و خاک گلدان‌ها با حجم‌های مختلفی از آن به تدریج 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

## نتایج و بحث

است. این خاک دارای pH قلیایی، بافت درشت، آهک ناچیز، ماده آلی خیلی کم و غیرشور بود.

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای در جدول ۱ ارائه شده

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای.

گروه بافت خاک	شن (%)	رس (%)	CCE (%)	SP (%)	pH (۱:۱)	ECe (dS/m)
شن لومی	۷۰	۱۲	صفر	۳۲	۷/۶۳	۰/۱۱

CCE: کربنات کلسیم معادل، SP: درصد رطوبت اشباع (جرمی)، ECe: قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

## ادامه جدول ۱.

Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	N کل	کربن آلی
قابل استفاده (mg/kg)									(%)	(%)
۱/۳	۰/۸۵	۱/۱	۱/۸	۹۹/۱	۱۱۴۹/۲	۱۰۸/۸	۲۵۰/۰	۵/۷	۰/۰۸	۰/۱

## غلظت پتاسیم بخش هوایی

همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند با افزایش سطح شوری از ۰/۳ تا ۱۰ dS/m غلظت پتاسیم برگ‌ها و ساقه گیاه عناب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در مقابل چارتزولاکیس و همکاران (۲۰۰۲) کاهش غلظت پتاسیم در گیاه را در شرایط شوری NaCl گزارش نمودند. ابوطالبی و همکاران (۱۳۸۶) گزارش دادند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت پتاسیم بخش هوایی در برخی گونه‌های مرکبات کاهش و در برخی از آنها افزایش یافت. اسداللهی و مظفری (۱۳۹۱) کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی پسته با افزایش سطوح شوری را گزارش کردند.

مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم بخش هوایی ذرت تحت اثر اصلی غرقاب (جدول ۳) نشان داد که غلظت پتاسیم بخش هوایی ذرت با افزایش مدت غرقاب شدن خاک به دو روز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی پس از آن در زمان‌های بعدی افزایش یافت. افزایش غلظت پتاسیم بخش هوایی را می‌توان به افزایش غلظت پتاسیم محلول خاک و افزایش سرعت پخشیدگی پتاسیم به سطح ریشه پس از غرقاب (اسلام و اسلام ۱۹۷۳، نارته و ساهراوات ۱۹۹۹، هاولین و همکاران ۲۰۰۴) نسبت داد. به‌نظر می‌رسد عامل دیگری که در افزایش غلظت پتاسیم بخش هوایی در سطح ۲۲ روز غرقاب خاک اثر دارد، کاهش ماده خشک بخش هوایی (نجفی و سرهنگزاده ۱۳۹۱) و وقوع اثر تغلیظ می‌باشد. به‌عبارت

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر غلظت پتاسیم بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم بخش هوایی ذرت تحت اثر اصلی شوری (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطح شوری از شاهد به ۲ dS/m غلظت پتاسیم بخش هوایی تغییر معنی‌داری نکرد ولی پس از آن افزایش یافت. بیشترین غلظت پتاسیم بخش هوایی در شوری ۸ dS/m بود. به‌نظر می‌رسد این افزایش غلظت پتاسیم ناشی از کاهش ماده خشک گیاه در سطوح شوری بالا (نجفی و سرهنگزاده ۱۳۹۱) و وقوع پدیده اثر تغلیظ می‌باشد (مارشور ۱۹۹۵). به‌عبارت دیگر، در شرایط شور، سرعت جذب و انتقال پتاسیم به بخش هوایی بیشتر از سرعت رشد بخش هوایی بوده است. در نتیجه، غلظت پتاسیم بخش هوایی افزایش یافته است. مظلومی و رونقی (۱۳۹۱) مشاهده کردند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت پتاسیم در یک رقم اسفناج کاهش و در رقم دیگر افزایش یافت. مارشور (۱۹۹۵) اثر افزایش غلظت NaCl در محلول غذایی را بر جذب برخی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در دو گیاه ذرت و چغندر قند بررسی و مشاهده کرد که با افزایش غلظت NaCl از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار، غلظت پتاسیم در چغندر قند کاهش و در ذرت افزایش یافت. مامتا و

دیگر، سرعت جذب و انتقال پتاسیم به بخش هوایی در این سطح غرقاب بیشتر از سرعت رشد گیاه بوده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر شوری و غرقاب بر غلظت K, Ca, Mg و Na و نسبت Na/K در بخش هوایی ذرت.

میانگین مربعات					درجه آزادی	منبع تغییر
Na/K	Na	Mg	Ca	K		
۰/۲۵**	۶۸/۹۴**	۰/۰۳**	۲۱/۱۴**	۱۵/۷**	۳	شوری
۰/۰۱**	۴/۴۱**	۰/۰۲**	۱/۷۰**	۲۹/۹**	۴	غرقاب
۰/۰۲**	۶/۲۵**	۰/۰۲**	۰/۵۹**	۲۲/۱**	۱۲	شوری × غرقاب
۰/۰۰۱	۰/۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۱/۰	۴۰	خطای آزمایشی
۱۳/۶۵	۱۲/۹۵	۷/۵۹	۵/۰۹	۷/۳		ضریب تغییرات (%)

\*\* معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مراحل بعدی رشد برطرف می‌شود یا اینکه تا پایان دوره رشد باقی می‌ماند در حالی که در مطالعات مذکور بلافاصله پس از اعمال غرقاب غلظت پتاسیم بخش هوایی گیاهان تعیین شده است. همچنین، متفاوت بودن گونه و رقم گیاه، مدت غرقاب، ویژگی‌های خاک، دما و مرحله رشد گیاه نیز در این اختلاف نتایج می‌تواند مؤثر باشد. مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم بخش هوایی ذرت تحت اثر متقابل غرقاب و شوری (شکل ۱) نشان داد که اثر مدت غرقاب بر غلظت پتاسیم بخش هوایی بسته به سطوح شوری متفاوت بود. در سطوح شوری ۰/۱۱، ۰/۴ و ۸ dS/m غلظت پتاسیم بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. بیشترین غلظت پتاسیم بخش هوایی در سطح شوری شاهد و ۲۰ روز غرقاب بود. در شوری ۲ dS/m، غلظت پتاسیم بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب به چهار روز به‌طور معنی‌داری افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین، اثر سطوح شوری بر غلظت پتاسیم بخش هوایی بسته به مدت غرقاب متفاوت بود. در سطوح صفر و ۲۰ روز غرقاب غلظت پتاسیم بخش هوایی با افزایش سطوح شوری ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. در سطح دو روز غرقاب با افزایش سطح شوری به ۴ dS/m تغییر معنی‌داری نکرد ولی در سطح ۸ dS/m افزایش یافت. اثر سطوح شوری بر غلظت پتاسیم بخش هوایی در ۸ روز غرقاب معنی‌دار نبود. در سطح ۴ روز غرقاب غلظت پتاسیم بخش هوایی با افزایش سطح شوری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۱). کوپر (۱۹۸۱) در آزمایشی که بر روی چند گونه گیاهی انجام داد مشاهده

نجفی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش دادند که غلظت پتاسیم بخش هوایی آفتابگردان در شرایط غرقاب بیشتر از شرایط غیرغرقاب بود. کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی در سطح ۲ روز غرقاب خاک را می‌توان به افزایش ماده خشک گیاه به‌ویژه در شرایط شور نسبت داد که بر اثر وقوع اثر رقت غلظت پتاسیم را کاهش داده است که با نتایج دریو و سیسورو (۱۹۷۹) مطابقت داشت. آنان مشاهده کردند که بعد از دو روز غرقاب غلظت پتاسیم در بخش هوایی گیاه جو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و ادامه شرایط غرقاب این کاهش را شدیدتر نمود. قبادی و همکاران (۱۳۸۶) مشاهده کردند غلظت پتاسیم در گیاه گندم با غرقاب شدن خاک کاهش یافت. چن و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که غلظت پتاسیم برگ‌های *Lepidium latifolium* تا ۳۰ روز پس از غرقاب افزایش و پس از آن کاهش یافت. پس از غرقاب شدن خاک، کاهش غلظت پتاسیم برگ‌های پنبه به‌وسیله هاکنینگ و همکاران (۱۹۸۷)، عدم تغییر معنی‌دار غلظت پتاسیم پهنک برگ انگور به‌وسیله استونس و پریور (۱۹۹۴)، کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۲۰۰۵) و کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی پنبه به‌وسیله میلروی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل متفاوت بودن نتایج بررسی‌های مذکور با نتایج ما این است که در بررسی ما، تنش غرقاب در مرحله پنج برگی گیاه ذرت اعمال شد و پس از زهکشی نمودن گلدان‌ها اجازه داده شد تا گیاهان به رشد خود ادامه دهند تا مشخص شود آیا اثر زمان‌های مختلف غرقاب در

توان گفت درجه انتخاب‌پذیری پتاسیم و سدیم به گونه گیاه بستگی دارد و حتی درون رقم‌های یک گونه هم می‌تواند متفاوت باشد (ملکوتی و همکاران ۱۳۸۲).

کرد که در گیاه *Festuca rubra* در شرایط غرقاب و شوری غلظت پتاسیم بخش هوایی بیشتر از شاهد بود در حالی‌که در گیاه *Juncus gerardii* در شرایط مذکور غلظت پتاسیم نسبت به شاهد کاهش یافت. بنابراین، می-

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های غلظت (mg/g dw) پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم بخش هوایی نرت تحت اثر اصلی غرقاب و شوری.

عامل	سطوح	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	نسبت سدیم به پتاسیم
مدت غرقاب (روز)	۰	۱۴/۱ b	۵/۱ a	۰/۵۰ c	۳/۱ b	۰/۲۱ b
	۲	۱۱/۷ d	۴/۱ d	۰/۵۴ b	۳/۵ a	۰/۲۷ a
	۴	۱۳/۱ c	۴/۴ c	۰/۶۲ a	۲/۷ c	۰/۲۲ b
	۸	۱۳/۶ bc	۴/۵ c	۰/۶۳ a	۲/۲ d	۰/۱۶ c
شوری عصاره اشباع خاک (dS/m)	۰/۱۱	۱۳/۲ bc	۴/۶ b	۰/۵۹ b	۱/۹ c	۰/۱۴ c
	۲	۱۲/۶ c	۴/۱ c	۰/۵۴ c	۱/۶ c	۰/۱۲ c
	۴	۱۴/۰ b	۴/۸ a	۰/۶۴ a	۲/۵ b	۰/۱۹ b
	۸	۱۵/۰ a	۴/۹ a	۰/۵۴ c	۶/۲ a	۰/۴۱ a

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

#### غلظت سدیم بخش هوایی

ابتدا افزایش و سپس کاهش و دوباره افزایش یافت. کمترین غلظت سدیم بخش هوایی در ۸ روز غرقاب و بیشترین آن در ۲ و ۲۰ روز غرقاب بود. نجفی و همکاران (۱۳۹۱) نیز گزارش دادند که با افزایش طول دوره غرقاب شدن خاک، غلظت سدیم بخش هوایی آفتابگردان افزایش یافت. بارت-لنارد (۲۰۰۳) گزارش داد که غرقاب سبب توقف کامل رشد بخش هوایی گیاه نرت گردید ولی سرعت انتقال سدیم همچنان پایدار باقی ماند به طوری که حتی یک روز پس از غرقاب غلظت سدیم بخش هوایی ۱۳ درصد افزایش یافت. پس از غرقاب، افزایش غلظت سدیم در آفتابگردان به وسیله مارشدر (۱۹۹۵)، در پنبه به وسیله هاکینگ و همکاران (۱۹۸۷) و میلیروی و همکاران (۲۰۰۹)، در انگور به وسیله استونس و پریور (۱۹۹۴) و در یونجه به وسیله اسمتورست و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است. با غرقاب شدن خاک غلظت سدیم محلول در آب خاک افزایش می‌یابد؛ زیرا غلظت  $\text{NH}_4^+$ ،  $\text{Fe}^{2+}$  و  $\text{Mn}^{2+}$  در محلول خاک در شرایط غرقاب زیاد شده و به جایگاه‌های تبدیلی حمله کرده و سدیم‌ها را به محلول خاک آزاد می‌کند. در نتیجه، غلظت سدیم محلول خاک افزایش

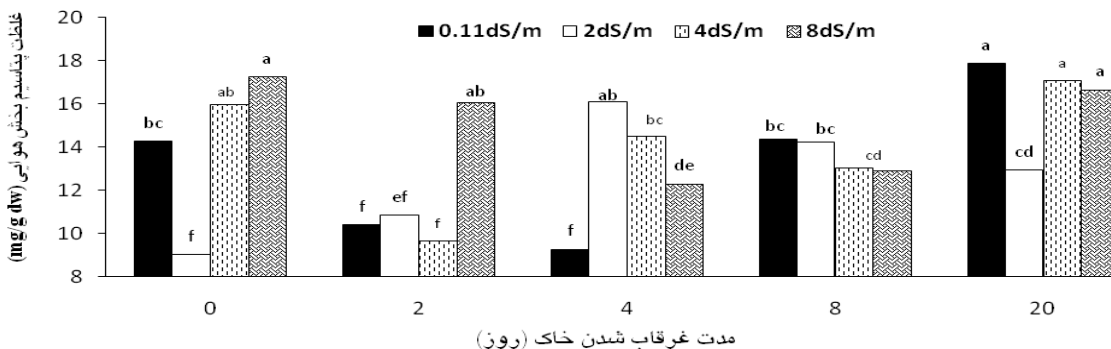
تجزیه و آریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر غلظت سدیم بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های غلظت سدیم بخش هوایی نرت تحت اثر اصلی شوری (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطح شوری غلظت سدیم بخش هوایی افزایش یافت و بیشترین غلظت سدیم بخش هوایی در شوری ۸ dS/m بود. با توجه به ایجاد سطوح شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم این افزایش قابل‌انتظار بود. این نتایج با گزارش‌های ابوطالبی و همکاران (۱۳۸۶)، مظلومی و رونقی (۱۳۹۱)، هو و آدامز (۱۹۹۵)، چارتزولاکیس و همکاران (۲۰۰۲) و وحید و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت داشت. مامتا و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که با افزایش سطح شوری کلرید سدیم، غلظت سدیم در بخش هوایی گیاه عناب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

مقایسه میانگین‌های غلظت سدیم بخش هوایی نرت تحت اثر اصلی غرقاب (جدول ۳) نشان داد که اثر مدت غرقاب بر غلظت سدیم بخش هوایی روند یکسانی نداشت. با افزایش مدت غرقاب غلظت سدیم بخش هوایی



غرقاب شاید بیشتر بودن سرعت جذب و انتقال سدیم به بخش هوایی از سرعت رشد بخش هوایی باشد (مارشدر ۱۹۹۵).

می‌یابد (اسلام و اسلام ۱۹۷۳، نارته و ساهراوات ۱۹۹۹) و به دنبال آن جذب سدیم به وسیله گیاه افزایش می‌یابد. دلیل دیگر برای افزایش غلظت سدیم پس از



شکل ۱- اثر متقابل شوری و غرقاب بر غلظت پتاسیم بخش هوایی ذرت.

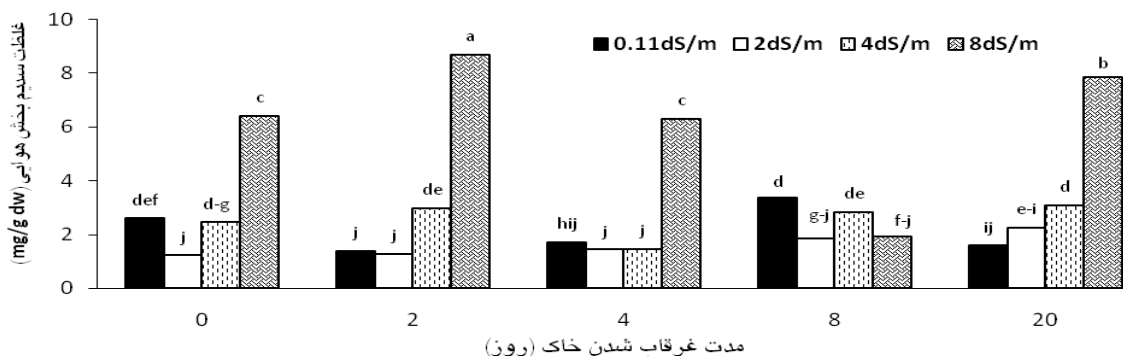
دو گونه گندم مشاهده کردند که غرقاب سبب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم بخش هوایی نسبت به شرایط غیرغرقاب شد. دریو و همکاران (۱۹۸۸) بیان کردند که در شرایط شوری NaCl و غرقاب غلظت یون‌های Cl<sup>-</sup> و Na<sup>+</sup> در بخش هوایی افزایش یافت؛ این افزایش به کاهش رشد بخش هوایی (نجفی و سرهنگزاده ۱۳۹۱) و وقوع اثر تغلیظ و افزایش سرعت خالص انتقال یون‌های مذکور به بخش هوایی نسبت داده شد (مارشدر ۱۹۹۵).

#### نسبت غلظت سدیم به پتاسیم بخش هوایی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر نسبت غلظت سدیم به پتاسیم بخش هوایی ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک به دو روز نسبت غلظت سدیم به پتاسیم بخش هوایی افزایش و پس از آن کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که دو روز غرقاب تحمل گیاه را در برابر شوری احتمالاً به دلیل رقیق شدن محلول خاک افزایش می‌دهد ولی زمانهای غرقاب بیشتر به دلیل کمبود اکسیژن و مختل شدن ناقل‌های موجود در غشاهای سلولی و مختل شدن جذب پتاسیم و سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تحمل گیاه را در برابر شوری کاهش می‌دهد. یکی از این ناقل‌ها پادبر K<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> می‌باشد که در شرایط شوری کلرید سدیم، سدیم را از سلول‌های ریشه خارج و

مقایسه میانگین‌های غلظت سدیم بخش هوایی تحت اثر متقابل غرقاب و شوری (شکل ۲) نشان داد که اثر سطوح شوری بر غلظت سدیم بخش هوایی بسته به مدت غرقاب متفاوت بود. بیشترین غلظت سدیم بخش هوایی در شوری ۸ dS/m و پس از دو روز غرقاب بود. دریو و همکاران (۱۹۸۸) گیاه ذرت را به مدت هفت روز همراه با ۵۰ mmol NaCl/L در شرایط غرقاب نگهداری و مشاهده کردند که غلظت سدیم گیاه در شرایط غرقاب حدود ۰/۵۵ mmol/g dw بود در حالی که غلظت سدیم در همان گیاه و با همان غلظت نمک ولی شرایط بدون غرقاب حدود ۰/۰۹ mmol/g dw بود. این نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان جذب سدیم در شرایط غرقاب و تشدید اثر شوری در این شرایط بود. بارت-لنارد (۱۹۸۶) و اختر و همکاران (۲۰۰۰) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. کوپر (۱۹۸۱) مشاهده کرد که در گیاه *Juncus gerardii* غرقاب به تنهایی سبب افزایش غلظت سدیم بخش هوایی گردید و توأم بودن غرقاب با شوری این افزایش را تشدید کرد به طوری که غلظت سدیم در این حالت بیشتر از شرایط شوری و غیرغرقاب بود. همچنین وی مشاهده کرد که در گیاه *Aster tripolium* غرقاب به تنهایی تأثیری بر غلظت سدیم بخش هوایی نداشت ولی غرقاب توأم با شوری سبب افزایش غلظت سدیم بخش هوایی گردید. تیکلی و همکاران (۲۰۰۶) با اعمال شوری ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl و شرایط غرقاب بر

ساقه‌ها و انباشتگی سدیم در گیاهان می‌شود. همچنین، با افزایش سطوح شوری این نسبت افزایش یافت که با توجه به شوری کلرید سدیم قابل انتظار بود (جدول ۳).



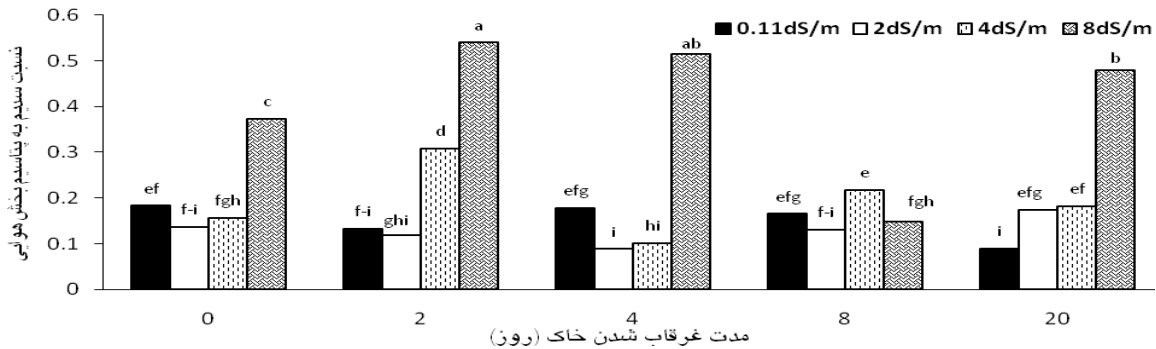
شکل ۲- اثر متقابل شوری و غرقاب بر غلظت سدیم بخش هوایی ذرت.

میانگین این نسبت در بخش هوایی ذرت ۰/۲ بود که نشان دهنده این است که میانگین غلظت پتاسیم بخش هوایی پنج برابر میانگین غلظت سدیم بود. با توجه به جدول ۱ بخشی از این تفاوت به بیشتر بودن غلظت پتاسیم قابل‌استفاده گیاه در خاک از غلظت سدیم قابل‌استفاده مربوط است (بیش از دو برابر) ولی با توجه به افزودن سدیم به خاک در شرایط شور انتظار این بود که غلظت پتاسیم بخش هوایی کمتر از ۵ برابر غلظت سدیم باشد. این نتایج نشان می‌دهد که گیاه ذرت پتاسیم را به‌طور انتخابی جذب و به بخش هوایی انتقال می‌دهد (ترجیح جذب و انتقال پتاسیم نسبت به سدیم) که با گزارش مارشدر (۱۹۹۵) مطابقت داشت. در زمان‌های صفر، ۲، ۴ و ۲۰ روز غرقاب، نسبت سدیم به پتاسیم بخش هوایی در سطح شوری ۸ dS/m نسبت به سایر سطوح شوری افزایش یافت (شکل ۳). افزایش نسبت سدیم به پتاسیم بخش هوایی شش رقم زیتون با افزایش سطوح شوری به‌وسیله چارتزولاکیس و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش شده است. ملکوتی و همکاران (۱۳۸۲) بیان داشتند که علی‌رغم قدرت جذب بیشتر پتاسیم نسبت به سدیم توسط گیاهان، نسبت سدیم به پتاسیم در اندام‌های مختلف گیاه به نسبت Na/K عصاره اشباع خاک، درصد سدیم قابل‌تبادل خاک و گونه گیاه بستگی دارد.

پتاسیم را به آنها وارد می‌کند (مارشدر ۱۹۹۵). تامسون و همکاران (۱۹۸۹) نیز گزارش دادند که غرقاب شدن محیط رشد گیاه، سبب کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه می‌شود و این امر سبب کاهش انتقال پتاسیم به

تالوار و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که در خاک‌هایی که شوری غالباً ناشی از کلرید سدیم می‌باشد، می‌توان از نسبت غلظت سدیم به پتاسیم بخش هوایی به‌عنوان شاخصی از تحمل گیاه در برابر شوری استفاده کرد. در شرایط یکسان هرچه این نسبت کمتر باشد، تحمل گیاه در برابر شوری بیشتر است. برای مثال اگر در شرایط شور، با غرقاب شدن خاک این نسبت کاهش یابد، تحمل گیاه در برابر شوری افزایش می‌یابد. بررسی ما نشان داد که در شرایط مورد مطالعه، با افزایش نسبت غلظت سدیم به پتاسیم بخش هوایی، ماده خشک بخش هوایی ذرت کاهش یافت ( $r = -0.62^*$ ).

مقایسه میانگین‌های نسبت غلظت سدیم به پتاسیم بخش هوایی تحت اثر متقابل غرقاب و شوری (شکل ۵) نشان داد که اثر مدت غرقاب بر این نسبت بسته به سطح شوری عصاره اشباع خاک متفاوت بود. در سطح شوری شاهد، این نسبت تا ۸ روز غرقاب تغییر معنی‌داری نکرد ولی در ۲۰ روز غرقاب کاهش یافت. این کاهش ناشی از افزایش غلظت پتاسیم (شکل ۱) و کاهش غلظت سدیم (شکل ۲) می‌باشد. در سطح شوری ۲ dS/m، این نسبت فقط میان ۴ و ۲۰ روز غرقاب متفاوت بود. در سطوح شوری ۴ و ۸ dS/m این نسبت ابتدا افزایش سپس کاهش و مجدداً افزایش یافت.



شکل ۳- اثر متقابل شوری و غرقاب بر نسبت غلظت سدیم به پتاسیم در بخش هوایی ذرت.

#### غلظت کلسیم بخش هوایی

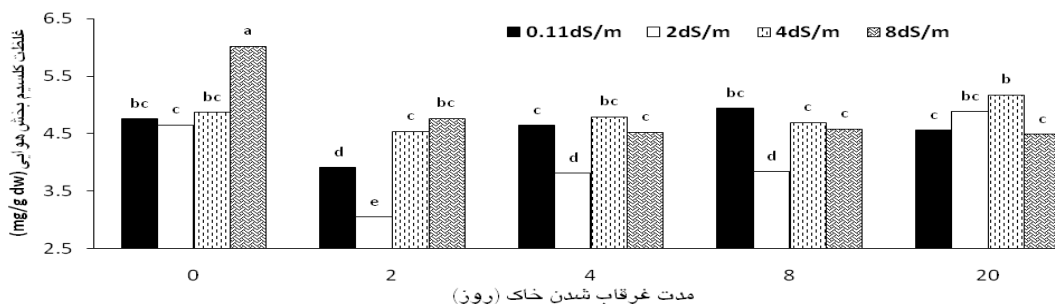
شوری کلرید سدیم غلظت کلسیم بخش هوایی گونه‌های مختلف مرکبات کاهش یافت. مظلومی و رونقی (۱۳۹۱) مشاهده کردند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت کلسیم در دو رقم اسفناج کاهش یافت. سولومن و همکاران (۱۹۸۶) مشاهده نمودند که در محیط غذایی شامل  $120 \text{ mmol NaCl/L}$ ، رشد ظاهری ریشه و بخش هوایی نخود غیرطبیعی می‌شود که از علل آن کمبود کلسیم در این شرایط بود. مامتا و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که با افزایش سطح شوری غلظت کلسیم در بخش هوایی گیاه عناب کاهش یافت و این کاهش در برگ‌ها شدیدتر از ساقه بود. این نتیجه رابطه منفی بین شوری و کلسیم را نشان می‌دهد. از علل کاهش غلظت کلسیم در بخش هوایی می‌توان به اثر رقابتی با یون سدیم و افزایش قدرت یونی در شرایط شوری اشاره کرد (جانزن و چنگ ۱۹۸۷).

مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم بخش هوایی ذرت تحت اثر اصلی غرقاب (جدول ۳) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب غلظت کلسیم بخش هوایی ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. به‌طور کلی، غلظت کلسیم بخش هوایی در شرایط غرقاب کمتر از شرایط غیرغرقاب بود. کاهش غلظت کلسیم بخش هوایی را می‌توان به صدمه ناشی از غرقاب (نجفی و سرهنگزاده ۱۳۹۱) 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 (اسلام و اسلام ۱۹۷۳، نارته و

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر غلظت کلسیم بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم بخش هوایی ذرت تحت اثر اصلی شوری (جدول ۳) نشان داد که غلظت کلسیم بخش هوایی با افزایش سطح شوری عصاره اشباع خاک از شاهد به  $2 \text{ dS/m}$  به‌طور معنی‌داری کاهش سپس افزایش یافت. بیشترین غلظت کلسیم در سطوح شوری  $4 \text{ dS/m}$  و کمترین آن در سطح شوری  $2 \text{ dS/m}$  بود. افزایش غلظت کلسیم در بخش هوایی ذرت در سطوح بالای شوری را می‌توان به کاهش رشد بخش هوایی (نجفی و سرهنگزاده ۱۳۹۱) و وقوع اثر تغلیظ (مارشنر ۱۹۹۵) نسبت داد. افزایش غلظت کلسیم بخش هوایی بر اثر افزایش سطوح شوری و مدت زمان اعمال شوری در انبه به‌وسیله دوران-زوازو و همکاران (۲۰۰۴) و در لوبیای سودانی به‌وسیله وحید و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. لاچی و لینچ (۱۹۸۵)، سولومن و همکاران (۱۹۸۶) و هو و آدامز (۱۹۹۵) گزارش دادند که با افزایش غلظت  $\text{Na}^+$  محلول خاک، به‌دلیل رقابت  $\text{Na}^+$  با  $\text{Ca}^{2+}$ ، غلظت کلسیم بخش هوایی کاهش یافت. لاچی و لینچ (۱۹۸۵) 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. ابوطالبی و همکاران (۱۳۸۶) گزارش دادند که با افزایش سطوح

غرقاب کاهش یافت ولی دوباره در سطح ۲۲ روز غرقاب افزایش یافت.

مقایسه میانگین‌های غلظت کلسیم بخش هوایی ذرت تحت اثر متقابل غرقاب و شوری (شکل ۴) نشان داد که اثر سطوح شوری بر غلظت کلسیم بخش هوایی بسته به مدت غرقاب متفاوت بود. در شرایط غیرغرقاب، غلظت کلسیم بخش هوایی با افزایش سطح شوری تا ۴ dS/m تغییر معنی‌داری نکرد ولی در شوری ۸ dS/m به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در شرایط غرقاب (به مدت ۲، ۴ و ۸ روز)، غلظت کلسیم بخش هوایی با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری کاهش و سپس افزایش یافت. کمترین غلظت کلسیم بخش هوایی در سطح شوری ۲ dS/m و در شرایط غرقاب (به مدت ۲۰ روز) مشاهده گردید. در شرایط غرقاب (به مدت ۲۰ روز)، غلظت کلسیم بخش هوایی با افزایش سطوح شوری تا ۴ dS/m به‌طور معنی‌داری افزایش و سپس در سطح شوری ۸ dS/m کاهش یافت.



شکل ۴- اثر متقابل شوری و غرقاب بر غلظت کلسیم بخش هوایی ذرت.

شوری کلرید سدیم غلظت منیزیم بخش هوایی گونه‌های مختلف مرکبات کاهش یافت. مظلومی و رونقی (۱۳۹۱) مشاهده کردند که با افزایش سطوح شوری کلرید سدیم غلظت منیزیم در یک رقم اسفناج کاهش یافت ولی در رقم دیگر تغییر معنی‌داری نکرد. دوران‌زوزو و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند با افزایش سطح شوری غلظت منیزیم در ساقه گیاه انبه افزایش یافت ولی غلظت منیزیم در برگ‌ها و ریشه کاهش یافت. در مقابل مامتا و همکاران (۴۰) مشاهده کردند که با افزایش سطح شوری غلظت منیزیم بخش هوایی گیاه عناب کاهش یافت و این

سأهراوات (۱۹۹۹)؛ 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 (مارشدر ۱۹۹۵)، در این پدیده تأثیر داشته باشد. افزایش غلظت کلسیم بخش هوایی با افزایش مدت غرقاب ممکن است به کاهش ماده خشک بخش هوایی (نجفی و سرهنگزاده ۱۳۹۱) و وقوع اثر تغلیظ مربوط باشد (مارشدر ۱۹۹۵). پس از غرقاب شدن خاک، افزایش غلظت کلسیم برگ‌های پنبه به‌وسیله هاکینگ و همکاران (۱۹۸۷)، کاهش غلظت کلسیم پهنک برگ انگور به‌وسیله استونس و پریور (۱۹۹۴)، کاهش غلظت کلسیم بخش هوایی یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۲۰۰۵) و افزایش مقدار کلسیم موجود در برگ‌های یک گیاه دارویی به‌وسیله نیکام و چوان (۲۰۰۹) گزارش شده است. نتایج بررسی نجفی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، غلظت کلسیم بخش هوایی آفتابگردان ابتدا در دو سطح ۴ و ۸ روز

#### غلظت منیزیم بخش هوایی

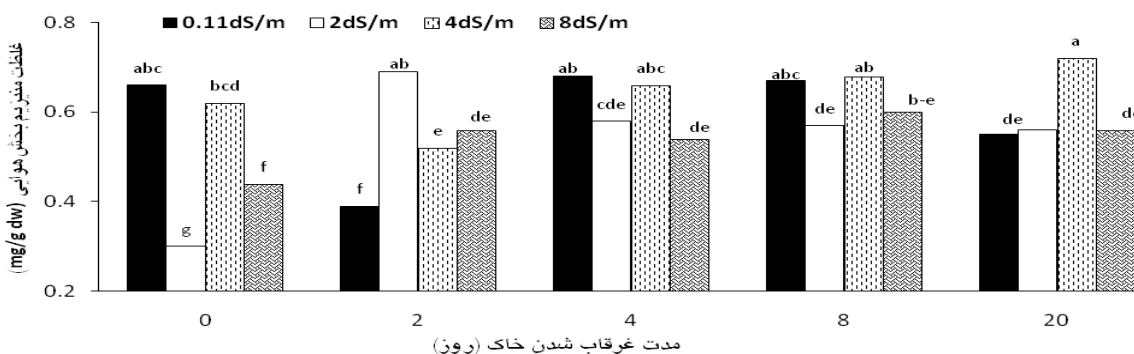
تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری و غرقاب و اثر متقابل آنها بر غلظت منیزیم بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های غلظت منیزیم بخش هوایی ذرت تحت اثر اصلی شوری (جدول ۳) نشان داد که غلظت منیزیم بخش هوایی ابتدا کاهش سپس افزایش و مجدداً کاهش یافت. بین غلظت منیزیم بخش هوایی در دو سطح ۲ و ۸ dS/m تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. ابوطالبی و همکاران (۱۳۸۶) گزارش دادند که با افزایش سطوح

داد که اثر مدت غرقاب بر غلظت منیزیم بخش هوایی ذرت بسته به سطوح شوری متفاوت بود. در سطح شوری شاهد، با افزایش مدت غرقاب غلظت منیزیم بخش هوایی ابتدا کاهش سپس افزایش و مجدداً کاهش یافت. در سطح شوری ۲ dS/m، با افزایش مدت غرقاب غلظت منیزیم بخش هوایی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و میان زمان‌های ۴، ۸ و ۲۰ روز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در سطح شوری ۴ dS/m، با افزایش مدت غرقاب غلظت منیزیم بخش هوایی ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت و میان زمان‌های ۴، ۸ و ۲۰ روز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در سطح شوری ۸ dS/m، با افزایش مدت غرقاب غلظت منیزیم بخش هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و سپس ثابت باقی ماند. همچنین، اثر سطوح شوری بر غلظت منیزیم بخش هوایی بسته به مدت غرقاب متفاوت بود. در سطوح ۰، ۴ و ۸ روز غرقاب، غلظت منیزیم بخش هوایی با افزایش سطوح شوری ابتدا کاهش سپس افزایش و دوباره کاهش یافت. در سطوح ۲ و ۲۰ روز غرقاب غلظت منیزیم بخش هوایی با افزایش سطوح شوری افزایش و سپس کاهش یافت. کوپر (۱۹۸۱) مشاهده کرد که اعمال شوری، غرقاب و شوری توأم با غرقاب سبب افزایش غلظت منیزیم بخش هوایی گیاه *Juncus gerardii* گردید.

روند کاهشی در ریشه نیز مشاهده گردید. رویز و همکاران (۱۹۹۷) گزارش دادند که شوری NaCl سبب کاهش غلظت منیزیم در برگ‌های مرکبات گردید.

مقایسه میانگین‌های غلظت منیزیم بخش هوایی ذرت تحت اثر اصلی غرقاب (جدول ۳) نشان داد که با افزایش مدت غرقاب غلظت منیزیم بخش هوایی افزایش یافت و سپس ثابت ماند. این افزایش را می‌توان به افزایش غلظت منیزیم محلول خاک پس از غرقاب (اسلام و اسلام ۱۹۷۳) و کاهش ماده خشک بخش هوایی (نجفی و سرهنگ‌زاده ۱۳۹۱) و وقوع اثر تغلیظ (مارشور ۱۹۹۵) نسبت داد. پس از غرقاب شدن خاک، افزایش غلظت منیزیم برگ‌های پنبه به‌وسیله هاکینگ و همکاران (۱۹۸۷)، افزایش غلظت منیزیم پهنک برگ انگور به‌وسیله استونس و پریور (۱۹۹۴)، کاهش غلظت منیزیم بخش هوایی یونجه به‌وسیله اسمتورست و همکاران (۲۰۰۵) و افزایش مقدار منیزیم موجود در برگ‌های یک گیاه دارویی به‌وسیله نیکام و چوان (۲۰۰۹) گزارش شده است. نجفی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش دادند که غلظت منیزیم بخش هوایی آفتابگردان با افزایش مدت غرقاب شدن خاک تا ۸ روز تغییر معنی‌داری نکرد ولی در ۲۲ روز غرقاب افزایش یافت.

مقایسه میانگین‌های غلظت منیزیم بخش هوایی ذرت تحت اثر متقابل شوری و غرقاب (شکل ۵) نشان



شکل ۵- اثر متقابل شوری و غرقاب بر غلظت منیزیم بخش هوایی ذرت.

نیز تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها انجام شد. برای کاهش حجم مقاله فقط نتایج مربوط به مقایسه میانگین-های فاکتور انتقال تحت اثر اصلی غرقاب و شوری ارائه

#### فاکتور انتقال

برای مقایسه غلظت عناصر در ریشه و بخش هوایی از فاکتور انتقال استفاده شد و برای این فاکتور

افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که اثر سطوح شوری بر غلظت پتاسیم ریشه و بخش هوایی تا سطح  $4 \text{ dS/m}$  روند یکسانی داشته است. افزایش فاکتور انتقال پتاسیم در سطح  $8 \text{ dS/m}$  ناشی از افزایش غلظت پتاسیم بخش هوایی و کاهش غلظت پتاسیم ریشه می‌باشد (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری فاکتور انتقال کلسیم و سدیم ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. فاکتور انتقال منیزیم فقط در سطح  $4 \text{ dS/m}$  با سایر سطوح تفاوت معنی‌دار داشت. اثر مدت غرقاب شدن خاک بر فاکتور انتقال پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم معنی‌دار بود (جدول ۶) که نشان دهنده این است که اثر مدت غرقاب بر غلظت این عناصر در ریشه و بخش هوایی روند متفاوتی داشته است.

گردید (جدول ۶). نتایج نشان داد که میانگین فاکتور انتقال پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم به ترتیب  $3/72$ ،  $2/17$ ،  $1/69$  و  $0/66$  بود. به عبارت دیگر، غلظت پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم در بخش هوایی به ترتیب  $3/72$ ،  $2/17$ ،  $1/69$  و  $0/66$  برابر ریشه بود که نشان دهنده این است که گیاه ذرت در شرایط آزمایش پتاسیم، منیزیم و کلسیم را در بخش هوایی و سدیم را در ریشه انباشته کرد. این نتایج با گزارش مامتا و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت داشت.

مقایسه میانگین‌های فاکتور انتقال سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم برای اثر اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری، فاکتور انتقال پتاسیم تا سطح  $4 \text{ dS/m}$  تغییر معنی‌داری نکرد ولی در سطح  $8 \text{ dS/m}$

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های فاکتور انتقال پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در ذرت تحت اثر اصلی غرقاب و شوری.

عامل	سطوح	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سدیم
مدت غرقاب (روز)	۰	۳/۵b	۱/۹۶a	۳/۲۴b	۰/۵۰b
	۲	۳/۷b	۱/۵۲b	۳/۰۰a	۰/۶۸a
	۴	۲/۹c	۱/۶۹ ab	۳/۴۰a	۰/۷۰a
	۸	۳/۵b	۱/۶۱b	۳/۰۸a	۰/۷۳a
	۲۰	۵/۰a	۱/۶۸ab	۳/۱۵a	۰/۶۹a
شوری	۰/۱۱	۲/۹b	۱/۹۷a	۲/۷۶b	۰/۸۷a
	۲	۳/۴b	۱/۵۲b	۲/۸۲b	۰/۳۹b
	۴	۳/۵b	۱/۶۰b	۳/۵۵a	۰/۳۵b
	۸	۵/۱a	۱/۶۸ ab	۲/۸۲b	۱/۰۴a

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

### نتیجه‌گیری کلی

بنابراین، آب زیاد در محیط رشد ذرت علوفه‌ای که سبب غرقاب شدن خاک شود و شوری آب آبیاری یا شوری خاک می‌تواند غلظت عناصر پرمصرف و در نتیجه کیفیت علوفه تولیدی را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج نشان داد که در شرایط شور و غیرشور، حتی دوره‌های کوتاه غرقاب شدن خاک (به مدت دو روز) از طریق اثر بر غلظت عناصر بر کیفیت علوفه تولیدی ذرت اثرهای طولانی‌مدت دارد. به طور کلی، ذرت علوفه‌ای پتاسیم، منیزیم و کلسیم را در بخش هوایی و سدیم را در ریشه انباشته کرد. نتایج حاکی از نقش فعال گیاه در تنظیم نسبت پتاسیم به سدیم بخش هوایی برای تحمل شرایط نامناسب شوری بود. پیشنهاد می‌شود اثر متقابل

نتایج نشان داد که اثرهای اصلی و متقابل شوری و مدت غرقاب بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم بخش هوایی ذرت علوفه‌ای معنی‌دار بود. با افزایش سطح شوری غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش ولی غلظت سدیم بخش هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. با این حال، اثر شور شدن خاک بر غلظت عناصر مورد مطالعه به مدت غرقاب شدن خاک بستگی داشت. با افزایش مدت غرقاب شدن خاک، غلظت کلسیم بخش هوایی به طور معنی‌داری کاهش در حالی که غلظت سدیم، پتاسیم و منیزیم بخش هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت.

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.

#### منابع مورد استفاده

- ابوطالبی ع، تفضلی ع، خلدبرین ب، کریمیان ن، و امام ی، ۱۳۸۶. اثر شوری بر غلظت عناصر پر مصرف در شاخساره پنج گونه مرکبات. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۸، شماره ۴، صفحه‌های ۶۶۵ تا ۶۷۳.
- اسداللهی ز و مظفری و، ۱۳۹۱. تأثیر شوری و منگنز بر رشد و ترکیب شیمیایی دانه‌های پسته در محیط کشت پرلیت. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، جلد ۳، شماره ۱۲، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۸.
- حیدری شح، ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران.
- روزیطلب مح، ۱۳۸۶. اثر تغییر اقلیم در کشاورزی و پایداری خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران. صفحه‌های ۵ تا ۷. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. ۴ تا ۶ شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج.
- سیادت ح و سعادت س، ۱۳۷۷. اثر سوء آب ماندگی سطحی و تهویه ضعیف خاک در تولید گندم. مجله زیتون، جلد ۱۸، شماره ۱۳۷-۱۳۸، صفحه‌های ۵۱ تا ۵۳.
- صوفی رس و جانمحمدی ح، ۱۳۸۸. تغذیه دام. ویرایش ششم، انتشارات عمیدی، تبریز.
- قبادی م، بخشنده ع، نادریان ح، و قبادی م، ۱۳۸۶. اثرات ماندابی خاک بر برخی عناصر در دانه ارقام گندم بهاره. صفحه‌های ۳۸۶ تا ۳۸۷. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. ۴ تا ۶ شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج.
- مظلومی ف و رونقی ع، ۱۳۹۱. اثر شوری و فسفر بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم اسفناج. مجله علوم و فنون کشت-های گلخانه‌ای، جلد ۳، شماره ۹، صفحه‌های ۸۵ تا ۹۵.
- ملکوتی مح، کشاورز پ، سعادت س، و خلدبرین ب، ۱۳۸۲. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا، تهران.
- مؤمنی ع، ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، صفحه‌های ۲۰۳ تا ۲۱۵.
- نجفی ن و سرهنگزاده ا، ۱۳۹۱. اثر شوری کلرید سدیم و غرقاب شدن خاک بر ویژگی‌های رشد ذرت علوفه‌ای در شرایط گلخانه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، جلد ۳، شماره ۱۰، صفحه‌های ۱ تا ۱۵.
- نجفی ن، مردمی س و اوستان ش، ۱۳۹۱. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر جذب برخی عناصر پرمصرف و سدیم در گیاه آفتابگردان در یک خاک شن لومی. نشریه آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۳، صفحه‌های ۶۱۹ تا ۶۳۶.
- Akhtar J, Shahzad A, Qureshi RH, Nasseem A and Mahmood K, 2000. Testing of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes against salinity and waterlogging. *Pakistan J Bot* 3:1134-1137.
- Barrett- Lennard EG, 1986. Effect of waterlogging on the growth and NaCl uptake by vascular plants under saline conditions. *Reclam Reveg Res* 5: 245-261.
- Barrett-Lennard EG, 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: Causes, consequences and implications. *Plant Soil* 253: 35-54
- Chartzulokis K, Loupassaki M, Bertki M, and Androulakis I, 2002. Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO<sub>2</sub> assimilation rate of six olive cultivars. *Sci Horticul* 96: 235-247.
- Chen H, Qualls RG and Blank RR, 2005. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. *Aqua Bot* 82: 250-268.
- Cooper A, 1981. The effects of salinity and waterlogging on the growth and cation uptake of salt marsh plants. *New Phytol* 90: 263-275.
- Gee GW and Or D, 2002. Particle-size analysis. Pp. 255-295. In: Dane JH and Topp GC (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Sci Soc Am, Madison, WI. USA.
- Das M and Maiti SK, 2007. Metal accumulation in 5 native plants growing on abandoned CU-tailings ponds. *Appl Ecol and Environ Res* 5(1): 27-35.

- Drew MC and Sisworo EJ, 1979. The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. *New Phytol* 82: 301-314.
- 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* L. grown in solution culture. *Annals Bot* 61: 41-53.
- Duran Zuazo VH, Raya AM, Ruiz JA and Tarifa DF, 2004. Impact of salinity on macro- and micro nutrient uptake in mango (*Mangifera indica* L. CV. Osteen) with different root stocks. *Spanish J Agricul Res* 2(1):121-133.
- 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. USA.
- 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*. 7th Edition, Prentice Hall, USA.
- Hocking PJ, Reicosky DC and W.S. Meyer. 1987. Effects of intermittent waterlogging on the mineral nutrition of cotton. *Plant Soil* 101(2): 211-221.
- Ho LC and Adams P, 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. *Acta Horticult* 396: 33-39.
- Islam A and Islam W, 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice. I. Benefits from submergence. *Plant Soil* 39: 555-565.
- Janzen, H.H., and C. Chang. 1987. Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline soil. *Canadian J Soil Sci* 67: 619-629.
- 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.
- Knudsen D, Peterson GA and Pratt PF, 1982. Lithium, sodium, and potassium. Pp. 225-246. In: Page AL, Miller RH and Keeny DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Sci Soc Am, Madison, WI. USA.
- Kozłowski TT, 1984. Plant response to flooding of soil. *BioSci* 34(3): 162-167.
- Lauchi A and Lynch J, 1985. Salt stress disturbs the Ca nutrition of barley. *New Phytol* 99: 345-354.
- 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.
- Malik AI, Colmer TD, Lambers H, Seher TL and Schortemeyer M, 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytol* 153: 225-236.
- Mamta JB, Ashish DP, Pranali MB and Pandey AN, 2008. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). *J Fruit Ornam Plant Res* 16: 383-401.
- Marschner H, 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
- Mclean EO, 1982. Soil pH and lime requirement. Pp. 199-224. In: Page AL, Miller RH and Keeny DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Sci Soc Am, Madison, WI. USA.
- Milroy SP, Bange MP and Thongbai P, 2009. Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions. *Field Crops Res* 113: 246-255.
- 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 Keeny DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Sci Soc Am, Madison, WI. USA.
- Nikam VK and Chanav PD, 2009. Influence of water deficit and waterlogging on the mineral status of a medicinal plant *Chlorophytum borivilianum*. *Acta Bot Hung* 51: 105-113.
- Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page AL, Miller RH and Keeny DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Sci Soc Am, Madison, WI. 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, Australia.
- Richards LA, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. US Salinity Laboratory Staff, Agricultural Handbook No 60. USDA, USA.
- Ruiz D, Martinez V and Cerda A, 1997. Citrus response to salinity growth and nutrient uptake. *Tree Physiol* 17: 141-150.
- 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.
- Soloman M, Geldalovich E, Mayer AM and Poljakoff MA, 1986. Changes induced by salinity to the anatomy and morphology of excised pea roots in culture. *Ann Bot* 57: 811-818.
- Stevens RM and Prior LD, 1994. The effect of transient waterlogging on the growth, leaf gas exchange, and mineral composition of potted Sultana grapevines. *Am J Enol Viticul* 45: 285-290.
- Talwar HS, Kumari A, Surwenshi A and Seetharama N, 2011. Sodium: potassium ratio in foliage as an indicator of tolerance to chloride-dominant soil salinity in oat. *Indian J Agric Sci* 85(5): 481-484.



- Teakle NL, Real D and Colmer TD, 2006. Growth and ion relations in response to combined salinity and waterlogging in the perennial forage legumes *Lotus corniculatus* and *Lotus tenuis*. *Plant Soil* 289: 369-383.
- Thomson CJ, Atwell BJ and Greenway H, 1989. Response of wheat seedling to low oxygen concentration in nutrient solution. 2. K/Na selectivity of root tissue of different age. *J Exp Bot* 40: 995-999.
- Trought MCT and Drew MC, 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). II. Accumulation and redistribution of nutrients by the shoot. *Plant Soil* 56: 187-199.
- Waheed A, Hafiz IA, Qadir G, Murtaza G, Mahmood T and Ashraf M, 2006. Effect of salinity on germination, growth, yield, ionic balance and solute composition of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Pakistan J Bot* 38(4): 1103-1117.
- Westerman RL, 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Sci Soc Am Book Series, Number 3, Madison, WI. USA.