



## اثر توأم شوری و تراکم خاک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت (*Zea mays L.*)

\* رضا حسن پور<sup>۱</sup>، محمدرضا نیشابوری<sup>۲</sup> و داود زارع حقی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز،  
<sup>۲</sup>استاد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، <sup>۳</sup>استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز  
تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۳

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر توأم شوری و تراکم خاک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ذرت انجام پذیرفت. برای این منظور آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح شوری خاک (هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۱/۵، ۲/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و سه سطح تراکم خاک (جرم مخصوص ظاهری ۱/۳، ۱/۵۵ و ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. برای ایجاد شوری، مقادیر مختلف NaCl در حجم آب مقطر لازم برای رساندن رطوبت جرمی به ۱۶ درصد، حل و سپس به خاک اضافه گردید. برای ایجاد تراکم خاک، از وزنه ۴/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری بر سطح خاک درون گلدان‌ها رها می‌شد، استفاده گردید. شوری خاک مقاومت روزنه‌ای، غلظت پرولین برگ و غلظت سدیم بخش هوایی ذرت را به‌طور معنی‌داری افزایش و وزن خشک بخش هوایی را کاهش داد. تراکم خاک باعث کاهش معنی‌دار پتانسیل آب برگ و وزن خشک بخش هوایی و افزایش معنی‌دار مقاومت روزنه‌ای برگ ذرت شد. در سطوح شوری و تراکم به‌کار رفته به‌طور متوسط شوری خاک بیش از تراکم بر خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت تأثیر گذاشت. با این‌که اثر توأم شوری و تراکم خاک از نظر آماری فقط بر مقاومت روزنه‌ای و وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار شد، اما غلظت پرولین و غلظت سدیم افزایش و پتانسیل و محتوای نسبی آب برگ، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافتند. شوری و تراکم خاک به‌صورت توأم بیش‌تر از هر یک از آن‌ها بر مقاومت روزنه‌ای و وزن خشک بخش هوایی تأثیر گذاشت. بنابراین یکی از راه‌های غیرمستقیم تعدیل اثرات سوء شوری، پایین نگه‌داشتن یا اجتناب از تراکم خاک می‌تواند باشد.

واژه‌های کلیدی: تراکم خاک، ذرت، خصوصیات فیزیولوژیکی، شوری خاک

\* مسئول مکاتبه: [rz92@yahoo.com](mailto:rz92@yahoo.com)

## مقدمه

جمعیت کره زمین پیوسته در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که اگر با این سرعت رشد افزایش یابد، در سال ۲۰۲۵ میلادی به ۸/۵ میلیارد نفر برسد (فائو، ۲۰۱۳). این مسأله موجب وخیم‌تر شدن وضعیت موجود ناامنی غذایی<sup>۱</sup> خواهد گردید. بنابراین باید میزان تولید فعلی افزایش یابد تا نیاز غذایی بشر تأمین گردیده و ناامنی غذایی کاهش یابد. تنش‌های محیطی عوامل اصلی کاهش تولید و عملکرد هستند. ۱۷ درصد کاهش محصول بالقوه در اثر خشکی، ۲۰ درصد در اثر شوری، ۴۰ درصد در اثر دمای بالا، ۱۵ درصد در اثر دمای پایین و ۸ درصد در اثر سایر عوامل اتفاق می‌افتد (اشرف و همکاران، ۲۰۰۸). شوری آب و خاک یک مسأله فراگیر و محدودکننده تولید پایدار کشاورزی است. در حدود ۹۵۵ میلیون هکتار از اراضی دنیا متأثر از شوری هستند (پسراکلی و اسزبولکس، ۲۰۱۱). در ایران وسعت اراضی شور حدود ۴۴/۵ میلیون هکتار می‌باشد که به درجات مختلف دچار مشکل شوری و قلیائیت هستند (بنایی و همکاران، ۲۰۰۵). آمار طویل‌مدت بیانگر آن است که سطح زیر کشت سالانه محصولات کشاورزی در کشور از ۱۰ تا ۱۸ میلیون هکتار در نوسان است (وزارت جهاد کشاورزی، ۲۰۱۱-۱۹۹۶). در نقشه مطالعات خاکشناسی که از سال ۸۸-۱۳۳۲ انجام شده است، ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشور، مبتلا به درجات مختلف شوری تشخیص داده شده‌اند (مومنی، ۲۰۱۰). اثر شوری بر رشد گیاه، متأثر از اقلیم، شرایط خاک، عملیات زراعی، مدیریت آبیاری، نوع محصول و رقم آن، مرحله رشد و نوع نمک است (اوستان، ۲۰۱۰). پیامدهای منفی شوری بر رشد گیاه از اثر پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک (تنش اسمزی)، اثر ویژه یونی<sup>۲</sup> و اثر عدم تعادل تغذیه‌ای<sup>۳</sup> یا مجموعه این عوامل ناشی می‌شود (خان و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات متعددی در ارتباط با تأثیر شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان صورت گرفته است. گرینوی و مونس (۱۹۸۰) دریافتند که کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر تنش شوری از موارد مهمی است که موجب کاهش فتوسنتز می‌شود. در شرایط شوری خاک، به دلیل کاهش پتانسیل آب خاک مقدار جذب آب کاهش می‌یابد (لویت ۱۹۸۰). در مطالعه توران و همکاران (۲۰۰۹) افزایش شوری خاک از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای از ۰/۹۵ به ۳/۲۵ ثانیه بر سانتی‌متر شد. چایوان و کیردمانی (۲۰۰۹) مشاهده کردند که در اثر افزایش غلظت NaCl در خاک

- 1- Food Insecurity
- 2- Specific Ion Effect
- 3- Imbalance Nutrition

غلظت پرولین در ذرت افزایش یافت. به گونه‌ای در تیمار ۴۰۰ میلی مولار NaCl نسبت به تیمار شاهد (صفر میلی مولار NaCl) غلظت پرولین در حدود ۷۳ درصد افزایش یافت. از مهم‌ترین اثرات شوری در محیط، افزایش غلظت سدیم در داخل گیاه است. کمبود پتاسیم می‌تواند ناشی از کمبود آن در محیط ریشه یا کاهش جذب آن توسط سلول‌های ریشه در اثر رقابت با سدیم در شرایط شور باشد. در مطالعه توران و همکاران (۲۰۰۹) غلظت سدیم در بخش هوایی ذرت افزایش معنی‌دار و غلظت پتاسیم کاهش معنی‌دار نشان داد. در این مطالعه نسبت پتاسیم به سدیم در اثر افزایش شوری از صفر به ۱۰۰ میلی مولار NaCl، از ۸۴/۹ به ۴/۰۲ گرم بر کیلوگرم رسید.

خاک به دلیل تأمین غذا و دیگر نیازهای ضروری بشر، نقش حیاتی در توسعه و بقا تمدن بشری بازی می‌کند. اما خاک یک منبع تجدیدناپذیر<sup>۱</sup> است. به خاطر این که سرعت تخریب آن بالا، اما سرعت تشکیل و فرآیندهای تشکیل دوباره<sup>۲</sup> آن بیش از حد کند است (ون کمب و همکاران، ۲۰۰۴). تراکم خاک یکی از اشکال فیزیکی تخریب خاک است که باعث کاهش تخلخل کل و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک (پاگیلیای و همکاران، ۲۰۰۳)، محدودیت رشد ریشه، کاهش فراهمی عناصر غذایی و افزایش انتشار گازها به اتمسفر می‌گردد و بدین طریق باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (بیتی، ۲۰۰۹). تخمین زده شده که تراکم خاک ناشی از تردد ماشین‌آلات و ادوات در حدود ۶۸ میلیون هکتار از زمین‌های جهان را تحت تأثیر قرار داده است.

مطالعات انجام شده نشان‌دهنده تحت تأثیر قرار گرفتن خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان مختلف در اثر تراکم خاک است. گرزسیاک (۲۰۰۹) بیان داشت که در شرایطی که مقاومت مکانیکی خاک باعث کاهش تعداد و طول ریشه در گیاه شود، پتانسیل آب (Ψ) برگ با کاهش همراه خواهد بود. وی گزارش کرد که در دو گیاه مطالعه شده (ذرت و تریتیکاله) در تیمارهای CS<sub>۲</sub> (جرم مخصوص ظاهری ۱/۴۷ گرم بر سانتی متر مکعب) و CS<sub>۳</sub> (جرم مخصوص ظاهری ۱/۵۸ گرم بر سانتی متر مکعب)، مقادیر پتانسیل آب برگ در مقایسه با تیمار CS<sub>۱</sub> (جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب) پایین تر بود. در تیمار CS<sub>۱</sub> پتانسیل آب برگ ۰/۵۸- مگاپاسکال در تریتیکاله و ۰/۵۲- مگاپاسکال در ذرت بود. در تیمارهای CS<sub>۲</sub> و CS<sub>۳</sub> به ترتیب ۰/۸۰- و ۰/۸۱- مگاپاسکال در تریتیکاله و به ۰/۸۵- و ۱/۰۷- مگاپاسکال در ذرت کاهش یافت. لیبیک و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که مقاومت روزنه‌ای ذرت و تغییرات آن در طول فصل رشد در خاک با درجه تراکم شدید نسبت به

1- Nonrenewable Resource

2- Regeneration Processes

درجه تراکم متوسط و پایین، به طور قابل توجهی بالا بود. به طوری که با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱/۲۸ به ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب، مقاومت روزنه‌ای ذرت در حدود از ۴ به ۲۵ ثانیه بر سانتی متر افزایش یافت. در مطالعه گرزسیاک (۲۰۰۹) در اثر افزایش جرم مخصوص ظاهری از ۱/۳ به ۱/۵۸ گرم بر سانتی متر مکعب، وزن خشک بخش هوایی ذرت ۳۸ درصد کاهش یافت.

اثرات منفی شوری و تراکم خاک بر خاک و گیاه قابل انکار نیست. بنابراین انتظار می‌رود که اثر متقابل یا توأم این دو منجر به اختلال شدیدتر و توقف بیش‌تر رشد گیاه شود. در ارتباط با تأثیر توأم شوری و تراکم خاک مطالعات چندانی صورت نگرفته و یا گزارش نشده است؛ به خصوص در ایران اطلاعاتی در خصوص تأثیر تراکم خاک بر رشد و عملکرد محصول در خاک‌های شور وجود ندارد که بتوان به عنوان منابع به آن‌ها رجوع کرد. به هر حال با توجه به این که شوری و تراکم خاک از مهم‌ترین محدودیت‌های رشد گیاهان زراعی به حساب می‌آیند و به عنوان مشکل بزرگ در تولیدات کشاورزی در منابع گزارش شده‌اند. کنترل این دو پدیده یکی از کلیدهای مدیریت تولید محصول است که پایداری و ثبات تولید و استفاده بهینه از زمین را تضمین می‌نماید. پس در چنین شرایطی برای دستیابی به عملکرد مطلوب، بعد از شناخت ویژگی‌های آب و خاک، اطلاع از رفتار گیاهان مختلف در مقابل شوری و تراکم خاک، کاری بنیادی محسوب می‌شود. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر توأم شوری و تراکم خاک روی مقاومت روزنه‌ای، پتانسیل آب ( $\psi$ ) و مقدار نسبی آب برگ (RWC)، غلظت پرولین و غلظت عناصر سدیم و پتاسیم در ذرت، انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در بهار سال ۱۳۹۲ در گلخانه واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با میانگین دمای ۲۵-۳۵ درجه سلسیوس در روز و ۲۰-۲۵ درجه سلسیوس در شب و رطوبت نسبی ۳۰-۴۰ درصد و به صورت گلدانی انجام شد. برای تهیه خاک لازم برای آزمایش از قسمت سطحی (۲۰-۰ سانتی متر) خاک مزرعه در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز نمونه برداری شد و نمونه مرکب تهیه گردید که پس از هوا خشک کردن از الک ۴/۷۵ میلی متری گذرانده شد. سپس بافت خاک مورد مطالعه به روش هیدرومتر و با چهار قرائت (گی و بادر، ۱۹۷۹)، مقدار ماده آلی نمونه‌های خاک به روش اکسایش تر (نلسون و سامرس، ۱۹۹۶)، درصد کربنات کلسیم معادل خاک به روش ختنی سازی با اسید و تیتراسیون (جکسون، ۱۹۵۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به وسیله روش سه مرحله‌ای باور (۱۹۵۲)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH عصاره اشباع خاک به ترتیب توسط دستگاه

EC متر و pH متر اندازه‌گیری شد (ریچارد، ۱۹۶۹). فسفر قابل جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر اولسن (اولسن و سامرس، ۱۹۸۲)، پتاسیم و سدیم قابل جذب با عصاره‌گیر استات آمونیوم (جونز، ۲۰۰۱) و روی، آهن، منگنز و مس قابل جذب با دستگاه جذب اتمی مدل Shimdzu, AA-6300 اندازه‌گیری گردید. از لوله‌های پی‌وی‌سی به قطر ۱۵ سانتی‌متر (۶ اینچ) و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر به‌عنوان گلدان استفاده شد.

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور هر کدام در سه سطح و با سه تکرار در خاک نام‌برده اجرا شد. فاکتور اول میزان شوری خاک بود که در سه سطح ۱/۵ (سطح شوری خاک مورد استفاده)، ۲/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اعمال گردید. این سطوح شوری براساس معادله ماس و هافمن (۱۹۹۷) و با توجه به آستانه تحمل ذرت به شوری خاک در نظر گرفته شد. برای تهیه خاک‌هایی با EC ذکر شده با اضافه کردن مقادیر متفاوت NaCl به‌صورت محلول به یک کیلوگرم خاک و اندازه‌گیری EC عصاره اشباع، ابتدا یک رابطه خطی بین مقدار NaCl اضافه شده و EC عصاره اشباع در خاک مورد مطالعه مطابق شکل ۱ به‌دست آمد، سپس از روی آن مقادیر مورد نیاز NaCl برای رسیدن به سطح EC مورد نظر در خاک، در آب لازم برای رساندن خاک به رطوبت ۱۶ درصد جرمی حل شده و به خاک اضافه گردید. فاکتور دوم تراکم خاک بود که سطوح آن براساس آزمایش‌های مقدماتی و با توجه به مقاومت مکانیکی ایجاد شده در رطوبت ۱۶ درصد جرمی (رطوبتی که در کم‌تر از آن در این خاک جرم مخصوص‌های بالاتر ایجاد نمی‌شود و در بیش‌تر از آن مقاومت مکانیکی ایجاد شده برای جرم مخصوص‌های بالا، تفاوت زیادی با جرم مخصوص‌های پایین نمی‌کند)، در مقادیر جرم مخصوص ظاهری ۱/۳، ۱/۵۵ و ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب ایجاد شد. ارتفاع خاک در داخل همه گلدان‌ها مساوی و ۳۰ سانتی‌متر بود. مقدار خاک مورد نیاز در رطوبت جرمی ۱۶ درصد در هر سطح شوری با توجه به حجم گلدان و جرم مخصوص ظاهری مورد نظر، از رابطه‌های زیر محاسبه گردید:

$$m_w = Db_w \times V_t \quad (1)$$

$$Db_w = Db_d (1 + \theta_m) \quad (2)$$

$$V_t = \pi r^2 h \quad (3)$$

که در آن‌ها،  $m_w$ : وزن خاک مرطوب (گرم)،  $Db_d$  و  $Db_w$ : به ترتیب جرم مخصوص ظاهری خشک و مرطوب (گرم بر سانتی متر مکعب)،  $V_t$ : حجم گلدان (سانتی متر مکعب)،  $\theta_m$ : رطوبت جرمی خاک (گرم بر گرم)،  $z$ : شعاع گلدان (سانتی متر) و  $h$ : ارتفاع گلدان می‌باشد.



شکل ۱- رابطه بین مقدار NaCl اضافه شده (به صورت محلول) به خاک و EC<sub>e</sub> خاک.

خاک مورد نیاز محاسبه شده ( $m_w$ ) برای هر گلدان به ۵ قسمت مساوی تقسیم شد تا تراکم خاک در آن در ۵ مرحله صورت پذیرد تا در حد امکان تراکم به نسبت یکنواختی در خاک گلدان‌ها ایجاد شود. سطوح تراکم با استفاده از وزنه ۴/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۴۵ سانتی متری به صورت سقوط آزاد بر سطح خاک گلدان‌ها رها می‌شد، ایجاد گردید.

بعد از ایجاد سطوح شوری و تراکم در هر گلدان ۶ بذر ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ قرار داده شد و برای این‌که گیاه بتواند به راحتی جوانه زده و با تنش شوری و محدودیت جرم مخصوص ظاهری مواجه نشود، روی بذور موجود در داخل هر گلدان، ۵ سانتی متر خاک معمولی ریخته شد. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر صورت گرفت. بعد از سبز شدن ۴ تا از بوته‌ها حذف شده و ۲ بوته سالم و شاداب تر حفظ شد که بر روی این دو بوته اندازه‌گیری‌های گیاهی صورت گرفت. بعد از رشد گیاه و در مرحله سه‌برگی اندازه‌گیری خصوصیات مورد نظر شروع و در مرحله قبل از گلدهی از نظر

فنولوژی خاتمه یافت. پتانسیل آب برگ در وسط ظهر و از برگی که به طور کامل در معرض شرایط آب و هوایی گلخانه قرار داشت توسط دستگاه محفظه فشار<sup>۱</sup> ساخت کارخانه SOIL MOISTURE EQUIPMENT CORP. SANTA BARBARA, CA, U.S.A. مدل 3005 اندازه گیری شد.

برای اندازه گیری مقدار نسبی آب برگ (RWC) از رابطه زیر استفاده شد:

$$RWC (\%) = (W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100$$

که در آن،  $W_t$ ،  $W_f$ ،  $W_d$  وزن نمونه برگ به ترتیب در حالت خشک، تر و آماس می باشد. اندازه گیری مقاومت روزنه ای توسط دستگاه پورومتر انتشاری<sup>۲</sup> (AP4 porometer Delta Devices, Cambridge, UK) و اندازه گیری پرولین به روش ایریگوئن و همکاران (۱۹۹۲) صورت گرفت. غلظت سدیم و پتاسیم در کل اندام هوایی گیاه به صورت خشک سوزانی و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل Corning 410 و وزن خشک بخش هوایی به وسیله ترازوی حساس ( $\pm 0.001$  گرم) تعیین گردید. تجزیه واریانس داده ها با نرم افزارهای SPSS و MSTATC انجام شد و نمودارها با نرم افزار EXCEL ترسیم گردید. برای مقایسه میانگین های شاخص های مورد اندازه گیری از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است. براساس جدول ۱ بافت خاک مورد آزمایش لوم شنی است که جزء گروه خاک های به نسبت درشت بافت به شمار می رود (بای بوردی، ۱۹۹۴). غلظت فسفر، پتاسیم، روی، منگنز و مس بیش تر از حد بحرانی و غلظت آهن کم تر از حد بحرانی است (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۵). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک خیلی زیاد است و pH آن در محدوده قلیایی قوی قرار دارد (نیشابوری و ریحانی تبار، ۲۰۱۱).

- 1- Pressure Chamber
- 2- Diffusion Porometer

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

رطوبت جرمی (درصد) معادل ۱۰ kPa	EC <sub>e</sub> (دسی‌زیمنس بر متر)	CCE (درصد)	pH <sub>e</sub>	CEC (cmol <sub>e</sub> .kg <sup>-1</sup> )	OC (درصد)	کلاس بافتی (USDA)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۱۸/۹	۱/۵	۲۰/۵	۸/۷	۷۵/۵	۲/۱	لوم شنی	۱۴/۷	۲۲/۵	۶۲/۸

ادامه جدول ۱-

Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Na
میلی‌گرم بر کیلوگرم						
۱	۱/۸	۹	۳	۲۷	۳۳۵	۱۹۵

پتانسیل آب برگ: با این‌که اثر شوری بر پتانسیل آب برگ معنی‌دار نشد (جدول ۲) ولی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده منفی‌تر شدن پتانسیل آب برگ در اثر بالا رفتن شوری خاک است (جدول ۳) دلیل آن می‌تواند کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک در اثر بالا رفتن غلظت املاح در خاک باشد. اثر تراکم خاک بر پتانسیل آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در جرم مخصوص ظاهری ۱/۵۵ و ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نسبت به جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، پتانسیل آب برگ پایین‌تر شده و کم‌ترین مقدار آن در جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۵ و بیش‌ترین آن در جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۳). در مطالعه گرزسیاک (۲۰۰۹) نیز به دنبال افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، پتانسیل آب برگ هم در ذرت و هم در تریتیکاله کاهش یافت. ماسله و پسیورا (۱۹۸۷) بیان کردند که افزایش مقاومت مکانیکی خاک برای ریشه، تأمین آب از سیستم ریشه به بخش هوایی را کاهش داد که این مسئله می‌تواند یکی از دلایل کاهش پتانسیل آب برگ در اثر تراکم خاک باشد. در این مطالعه اثر متقابل شوری و تراکم خاک بر پتانسیل آب برگ ذرت از نظر آماری معنی‌دار نشد.

مقدار نسبی آب برگ: شوری و تراکم خاک و همچنین اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌دار آماری روی RWC نگذاشتند (جدول ۲). با این‌که اثر شوری و تراکم خاک بر RWC از نظر آماری معنی‌دار نشد ولی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده کم‌تر شدن RWC در اثر افزایش شوری و جرم مخصوص ظاهری خاک است. بیش‌ترین مقدار RWC در جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کم‌ترین مقدار آن در جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، است (جدول ۳).



جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و تراکم خاک بر صفات فیزیولوژیک اندازه گیری شده ذرت.

میانگین مربعات									
منبع تغییر	درجه آزادی	پتانسیل آب برگ	RWC	مقاومت روزنه‌ای	غلظت پرولین	غلظت سدیم	غلظت پتاسیم	K/Na	وزن خشک بخش هوایی
شوری خاک	۲	۵/۷۲ <sup>NS</sup>	۱۸/۲۱ <sup>NS</sup>	۵۷/۳۹ <sup>**</sup>	۱/۱۲ <sup>*</sup>	۰/۹۲ <sup>**</sup>	۷/۴۲ <sup>NS</sup>	۷۹۷/۲۴ <sup>**</sup>	۳۰/۱۱ <sup>**</sup>
تراکم خاک	۲	۱۷/۹۵ <sup>**</sup>	۷/۶۸ <sup>NS</sup>	۲۶/۷۳ <sup>**</sup>	۰/۴۱ <sup>NS</sup>	۰/۲۰ <sup>NS</sup>	۱۷/۳۲ <sup>NS</sup>	۲۸۰/۳۱ <sup>*</sup>	۳۳/۹۵ <sup>**</sup>
شوری × تراکم	۴	۳/۳۷ <sup>NS</sup>	۱/۴۶ <sup>NS</sup>	۵/۳۵ <sup>*</sup>	۰/۲۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۶/۳۸ <sup>NS</sup>	۵۲/۴۸ <sup>NS</sup>	۱۰/۱۶ <sup>*</sup>
خطای آزمایشی	۱۸	۲/۰۵	۱۳/۴۳	۱/۵۵	۰/۱۸	۰/۱۰	۸/۸۷	۹۰/۴۴	۳/۰۰
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۹۰	۳/۹۷	۱۹/۲۱	۱۲/۷۹	۲۶/۴۴	۱۲/۴۷	۲۸/۹۵	۱۳/۸۰

\* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>NS</sup> غیر معنی دار.

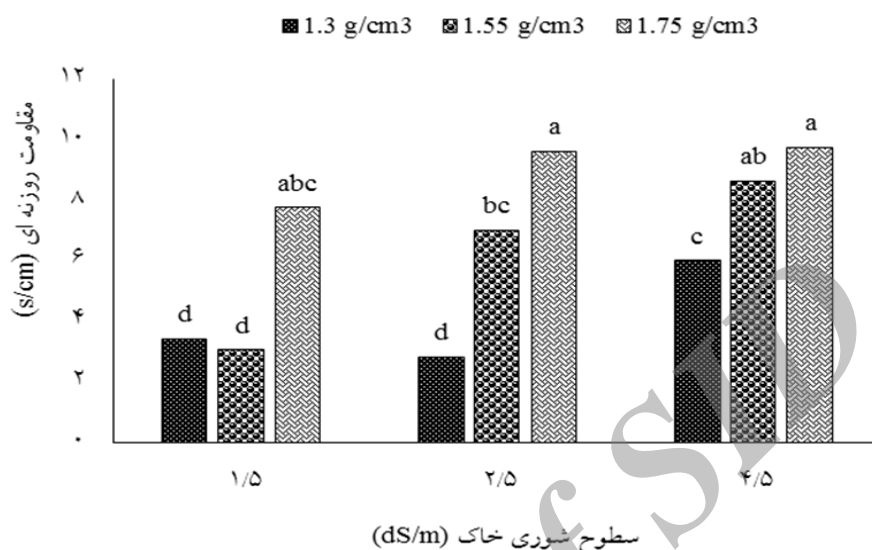
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک اندازه گیری شده ذرت تحت تأثیر شوری و تراکم خاک.

اثر اصلی	سطح آب	پتانسیل آب	RWC (درصد)	مقاومت روزنه‌ای (s/cm)	غلظت پرولین (μmol/g)	غلظت سدیم (mg/g)	غلظت پتاسیم (mg/g)	K/Na	وزن خشک بخش هوایی (g/pot)
شوری	۱/۵	۱۲/۴۴ <sup>a</sup>	۹۳/۶۹ <sup>a</sup>	۴/۰۹ <sup>c</sup>	۳/۰۵ <sup>b</sup>	۰/۶۷ <sup>c</sup>	۲۴/۹۳ <sup>a</sup>	۳۸/۹۵ <sup>a</sup>	۱۳/۶۴ <sup>a</sup>
(دسی‌زیمنس بر متر)	۲/۵	۱۲/۹۲ <sup>ab</sup>	۹۰/۸۴ <sup>a</sup>	۶/۲۴ <sup>b</sup>	۳/۲۷ <sup>b</sup>	۰/۹۶ <sup>b</sup>	۲۳/۴۷ <sup>a</sup>	۲۷/۶۳ <sup>b</sup>	۱۳/۵۸ <sup>a</sup>
تراکم (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۴/۵	۱۴/۰۰ <sup>b</sup>	۹۲/۲۷ <sup>a</sup>	۹/۱۳ <sup>a</sup>	۳/۷۴ <sup>a</sup>	۱/۲۳ <sup>a</sup>	۲۳/۲۶ <sup>a</sup>	۲۰/۲۶ <sup>b</sup>	۱۰/۴۴ <sup>b</sup>
	۱/۳	۱۱/۵۸ <sup>a</sup>	۹۲/۱۴ <sup>a</sup>	۴/۷۶ <sup>c</sup>	۳/۲۶ <sup>a</sup>	۰/۷۸ <sup>b</sup>	۲۴/۷۹ <sup>a</sup>	۳۴/۱۸ <sup>a</sup>	۱۴/۳۶ <sup>a</sup>
	۱/۵۵	۱۳/۴۲ <sup>b</sup>	۹۲/۳۷ <sup>a</sup>	۶/۴۹ <sup>b</sup>	۳/۱۹ <sup>a</sup>	۰/۹۹ <sup>ab</sup>	۲۴/۵۸ <sup>a</sup>	۲۹/۵۸ <sup>ab</sup>	۱۲/۸۰ <sup>a</sup>
	۱/۷۵	۱۴/۳۶ <sup>b</sup>	۹۱/۳۰ <sup>a</sup>	۸/۲۱ <sup>a</sup>	۳/۵۹ <sup>a</sup>	۱/۰۷ <sup>a</sup>	۲۱/۲۹ <sup>a</sup>	۲۳/۰۸ <sup>b</sup>	۱۰/۴۹ <sup>b</sup>

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند.

**مقاومت روزنه‌ای:** اثر شوری و تراکم خاک بر مقاومت روزنه‌ای از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۲). در اثر افزایش شوری خاک از ۱/۵ به ۲/۵ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر، مقاومت روزنه‌ای به ترتیب حدود ۳۴ و ۵۵ درصد افزایش یافت که بسیار قابل توجه است. مقاومت روزنه‌ای حاصل شده در هر سه سطح شوری خاک با همدیگر اختلاف معنی دار نشان دادند. به طوری که بالاترین مقاومت روزنه‌ای در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن در شوری

۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. این نتایج با نتایج سولتاننا و همکاران (۱۹۹۹) و توران و همکاران (۲۰۰۹) مبنی بر کاهش هدایت روزنه‌ای یا افزایش مقاومت روزنه‌ای برنج و ذرت در اثر افزایش شوری خاک، مطابقت دارد. این افزایش مقاومت روزنه‌ای ممکن است به خاطر کاهش پتانسیل آب در خاک در اثر شور شدن خاک باشد. به دنبال کاهش پتانسیل آب در خاک، جذب آب توسط گیاه با مشکل مواجه شده و گیاه برای جلوگیری از تنش کم‌آبی مجبور به بستن جزئی یا کامل روزنه‌های خود می‌شود و بدین ترتیب هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد (مقاومت روزنه‌ای افزایش می‌یابد). مقاومت روزنه‌ای تحت تأثیر تراکم خاک نیز قرار گرفت و با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، مقدار آن بیش‌تر شد. افزایش جرم مخصوص ظاهری از ۱/۳ به ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب مقاومت روزنه‌ای ذرت را حدود ۴۲ درصد افزایش داد که بسیار چشم‌گیر به نظر می‌رسد. نتیجه به دست آمده با یافته‌های لیبیک و همکاران (۱۹۹۶) مطابقت دارد. در مطالعه آنان با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱/۲۸ به ۱/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب، مقاومت روزنه‌ای ذرت از ۴ به ۲۵ ثانیه بر سانتی‌متر افزایش یافت. این افزایش مقاومت روزنه‌ای می‌تواند به دلیل کند شدن رشد و حتی توقف رشد سیستم ریشه‌ای در خاک‌های متراکم باشد. کاهش رشد سیستم ریشه‌ای منجر به از بین رفتن توانایی ریشه در جذب آب از خاک می‌شود و ریشه در تأمین آب بخش‌های هوایی گیاه با مشکل روبه‌رو می‌شود و گیاه برای جلوگیری از مبتلا شدن به کم‌آبی روزنه‌های خود را می‌بندد و از تعرق خود می‌کاهد. اثر متقابل شوری و تراکم خاک در سطح احتمال ۵ درصد بر مقاومت روزنه‌ای معنی‌دار گردید (شکل ۲). در اینجا نیز مقاومت‌های روزنه‌ای بالا در سطوح بالای شوری و تراکم خاک و مقاومت‌های روزنه‌ای پایین در سطوح پایین شوری و تراکم خاک مشاهده شد. به گونه‌ای که بین ترکیب تیماری با EC برابر با ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب و EC برابر با ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب از نظر مقاومت روزنه‌ای، حدود ۶۵ درصد اختلاف حاصل گردید. بنابراین تراکم خاک اثر شوری خاک را در افزایش مقاومت روزنه‌ای ذرت تشدید کرده است که می‌توان گفت شوری خاک با کاستن پتانسیل آب برگ و تراکم خاک با کاستن جذب آب توسط ریشه‌ها، در این مسأله اثرگذار بوده‌اند.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های مقاومت روزه‌ای ذرت در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک.

**غلظت پرولین:** غلظت پرولین برگ به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) تحت تأثیر شوری خاک قرار گرفت ولی تراکم خاک و همچنین اثر متقابل شوری و تراکم خاک بر میزان پرولین برگ اثر معنی‌دار نداشتند (جدول ۲). با افزایش شوری از ۱/۵ به ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر غلظت پرولین افزایش یافت ولی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد اما با افزایش شوری به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر غلظت پرولین به‌صورت معنی‌داری زیاد شد (جدول ۳). افزایش غلظت پرولین فراوان‌ترین و عمومی‌ترین عکس‌العملی است که به‌محض آب کشیدگی ناشی از کمبود آب یا کاهش پتانسیل اسمزی (در اثر تنش شوری) نه تنها در گیاهان بلکه در جلبک‌ها، باکتری‌های آلی، بی‌مهرگان دریایی و پروتوزوا مشاهده شده است (مک‌کیو و هانسون، ۱۹۹۰). اشرف و مک‌نیل (۲۰۰۴) تجمع اسمولیت‌هایی نظیر پرولین و کربوهیدرات‌های محلول را یکی از راهکارهای افزایش تحمل به شوری در گیاهان خانواده براسیکا<sup>۱</sup> عنوان نمودند. با منفی‌تر شدن پتانسیل آب برگ تجمع پرولین افزایش می‌یابد و این چیزی است که در این پژوهش نیز مشاهده شد. غلظت پرولین تحت تأثیر معنی‌دار تراکم خاک قرار نگرفت نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده افزایش غلظت پرولین در اثر افزایش جرم مخصوص ظاهری است (جدول ۳). در بحث اثر

1- Brassica

متقابل شوری و تراکم خاک بر غلظت پرولین، با این که اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد ولی نتایج مقایسه میانگین بیانگر افزایش غلظت پرولین با افزایش سطوح شوری و تراکم خاک است. در هر سه سطح شوری با افزایش جرم مخصوص ظاهری غلظت پرولین افزایش یافت.

**غلظت سدیم در بخش هوایی:** غلظت سدیم در سطح احتمال ۱ درصد بین سطوح شوری تفاوت معنی داری نشان داد (جدول ۲). اختلاف معنی دار آماری بین غلظت سدیم در شوری های ۱/۵ و ۲/۵ دسی زیمنس بر متر مشاهده نشد ولی با افزایش شوری به سطح ۴/۵ دسی زیمنس بر متر اختلاف بین غلظت ها معنی دار گردید. به گونه ای که بین شوری ۱/۵ و ۴/۵ دسی زیمنس بر متر حدود ۴۵ درصد از نظر غلظت سدیم تفاوت حاصل شد (جدول ۳). البته با توجه به منبع نمک مورد استفاده در این پژوهش، انتظار می رفت چنین نتیجه ای به دست آید. شوری خاک ناشی از NaCl علاوه از اثرات اسمزی باعث افزایش تجمع سدیم در گیاه نیز می گردد. این نتیجه با نتایج هاکیو و همکاران (۲۰۰۲) در گونه های براسیکا و با نتایج فاستینو و همکاران (۲۰۰۰) در ذرت مینی بر افزایش غلظت سدیم در اثر افزایش شوری در خاک، مطابقت دارد. در مورد اخیر افزایش شوری از صفر به ۱۰۰ میلی مولار NaCl سبب افزایش غلظت سدیم از ۰/۴۹ به ۷/۳۱ درصد شد. با این که تراکم خاک بر غلظت سدیم اثر معنی داری نداشت ولی نتایج به دست آمده نشان دهنده افزایش غلظت سدیم در اثر بالا رفتن جرم مخصوص ظاهری خاک است. در بین سطوح جرم مخصوص ظاهری، کم ترین غلظت سدیم در جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب و بیش ترین آن در جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۵ مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل شوری و تراکم خاک بر غلظت سدیم معنی دار نشد (جدول ۲).

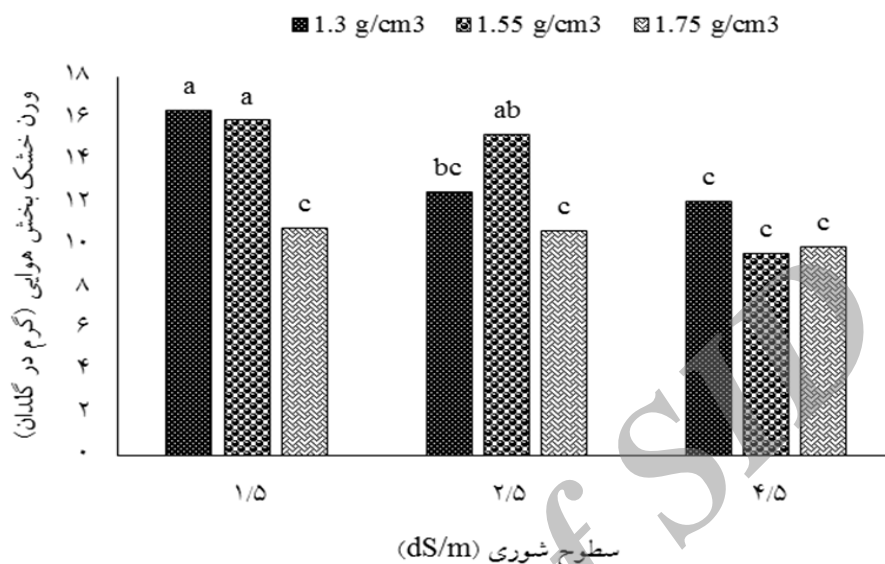
**غلظت پتاسیم در بخش هوایی:** شوری و تراکم خاک به طور معنی دار بر غلظت پتاسیم تأثیر نداشتند (جدول ۲). اثر متقابل شوری و تراکم خاک نیز بر غلظت پتاسیم معنی دار نشد. با این که اثر شوری بر غلظت پتاسیم در حدی نبود که از نظر آماری معنی دار شود، ولی نتایج به دست آمده بیانگر کاهش غلظت پتاسیم در شوری های بالا است. در این مطالعه در بین سطوح شوری بیش تری و کم ترین غلظت پتاسیم به ترتیب در سطوح شوری ۱/۵ و ۴/۵ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. (جدول ۳). در مطالعه فاستینو و همکاران (۲۰۰۰) نیز غلظت پتاسیم ذرت در اثر شوری کاهش یافت. اثر تراکم خاک نیز بر غلظت پتاسیم در حدی نبود که معنی دار باشد ولی در اینجا نیز بیش ترین غلظت پتاسیم در جرم

مخصوص ظاهری کم (۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب) و کمترین غلظت آن در جرم مخصوص ظاهری زیاد (۱/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب) حاصل شد (جدول ۳). همانند اثرات اصلی شوری و تراکم خاک، اثر متقابل آن‌ها نیز بر غلظت پتاسیم معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده کاهش غلظت پتاسیم در سطوح بالای شوری و تراکم خاک است. در ساکیب و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که اثر متقابل شوری و تراکم خاک بیش‌تر از اثرات اصلی آن‌ها بر غلظت پتاسیم گندم تأثیر گذاشت و منجر به کاهش آن شد.

نسبت پتاسیم به سدیم در بخش هوایی: نسبت پتاسیم به سدیم در سطح احتمال ۱ درصد بین سطوح شوری و در سطح احتمال ۵ درصد بین سطوح تراکم خاک اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). کاهش نسبت پتاسیم به سدیم از شوری ۱/۵ به ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، زیاد و معنی‌دار و از شوری ۲/۵ به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر، کم و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به این‌که منبع نمک مورد استفاده در این پژوهش، NaCl بود بنابراین باعث افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم در بخش هوایی شد. بین سطوح جرم مخصوص ظاهری نیز از نظر نسبت پتاسیم به سدیم اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نسبت پتاسیم به سدیم در جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ با ۱/۵۵ گرم بر سانتی متر مکعب و در جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۵ با ۱/۵۵ گرم بر سانتی متر مکعب باهم اختلاف معنی‌دار نشان ندادند ولی بین جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۵ و ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب از نظر نسبت پتاسیم به سدیم تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده شد (جدول ۳). با این‌که اثر متقابل شوری و تراکم خاک بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار نشد ولی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده کاهش نسبت پتاسیم در سطوح بالای شوری و تراکم خاک است. بیش‌ترین مقدار نسبت پتاسیم به سدیم در ترکیب تیماری EC، ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب و کم‌ترین آن در ترکیب تیماری EC، ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب حاصل شد. ساکیب و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که اثر متقابل شوری و تراکم خاک بیش‌تر از اثرات اصلی آن‌ها، نسبت پتاسیم به سدیم را تحت تأثیر قرار داد و منجر به کاهش آن شد.

وزن خشک بخش هوایی: اثر شوری خاک در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار گردید (جدول ۲). کم‌ترین وزن خشک بخش هوایی در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و

بیشترین آن در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید (جدول ۳). در اثر افزایش شوری خاک از ۱/۵ به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک بخش هوایی در حدود ۲۳ درصد کاهش یافت. وزن خشک بخش هوایی در شوری ۱/۵ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار آماری نشان نداد ولی در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌دار مشاهده شد که در جدول ۳ نیز ملاحظه می‌شود. در اثر بالا رفتن شوری خاک ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ و سطح برگ کاهش می‌یابد که این مسئله باعث کاهش وزن بخش هوایی می‌گردد. اثر تراکم خاک نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار گردید. در اثر متراکم شدن خاک وزن بخش هوایی ذرت کاهش یافت به طوری که با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب، وزن خشک بخش هوایی ذرت ۲۷ درصد کاهش یافت. بیشترین وزن بخش هوایی در جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب و کم‌ترین آن در جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب مشاهده شد (جدول ۳). این نتایج با نتایج تویبیله و همکاران (۲۰۰۳) مشابهت دارد. در مطالعه آنان افزایش جرم مخصوص ظاهری از ۱/۳ به ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب باعث کاهش وزن بخش هوایی ذرت از ۱/۳۱ به ۱/۰۵ گرم شد. همان‌طور که در تفسیر اثر شوری خاک نیز ذکر شد، افزایش تراکم باعث کاهش رشد ساقه، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ می‌گردد و بنابراین وزن خشک بخش هوایی کم‌تر می‌شود (لیپیک و همکاران، ۱۹۹۶). در این پژوهش در سطوح شوری و تراکم به کار رفته به طور متوسط تراکم خاک بیش از شوری خاک باعث تقلیل در وزن خشک بخش هوایی شد. همانند اثرات جداگانه شوری و تراکم خاک، اثر متقابل آن‌ها نیز بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) گردید. اثر توأم این دو عامل موجب کاهش وزن خشک بخش هوایی شد. به طوری که افزایش توأم شوری از EC ۱/۵ به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و تراکم خاک از جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ به ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب باعث کاهش ۴۰ درصد در وزن خشک بخش هوایی شد (شکل ۳). این کاهش وزن خشک بخش هوایی نسبت به حالتی که کاهش وزن در اثر شوری و تراکم خاک به تنهایی ایجاد شد، به ترتیب ۱۷ و ۱۳ درصد بیش‌تر شد. در مطالعه ساکیب و همکاران (۲۰۰۴) نیز کم‌ترین وزن کاه و کلش گندم در تیمار خاک شور متراکم مشاهده گردید.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های وزن خشک بخش هوایی در سطوح مختلف شوری و تراکم خاک.

### نتیجه‌گیری

با افزایش سطح شوری خاک، مقاومت روزنه‌ای، غلظت پرولین و غلظت سدیم افزایش و نسبت پتاسیم به سدیم و وزن خشک بخش هوایی ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش سطح تراکم خاک مقادیر پارامترهای پتانسیل آب برگ و نسبت پتاسیم به سدیم و وزن خشک بخش هوایی کاهش و مقاومت روزنه‌ای افزایش معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل شوری و تراکم خاک بر مقاومت روزنه‌ای و وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار ولی بر بقیه صفات اندازه‌گیری شده غیرمعنی‌دار شد. به‌گونه‌ای که افزایش توأم شوری از EC ۱/۵ به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و تراکم خاک از جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ به ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب، باعث ۶۵ درصد افزایش در مقاومت روزنه‌ای و ۴۰ درصد کاهش در وزن خشک بخش هوایی گردید. بنابراین یکی از راه‌های غیرمستقیم تعدیل شوری، پایین نگه‌داشتن یا اجتناب از تراکم خاک می‌تواند باشد.

منابع

1. Ashraf, M., and McNeilly, T. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Crit. Rev. Plant Sci.* 23: 2. 157-174.
2. Ashraf, M., Athar, H.R., Harris, P.J.C., and Kwon, T.R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Adv. Agron.* 97: 45-110.
3. Banaei, M.H., Bybordi, M., Moameni, A., and Malakooti, M.J. 2005. The soils of Iran, new achievements in perception, management and use. Soil and Water Research Institute. Sana Press. Tehran.
4. Batey, T. 2009. Soil compaction and soil management-A review. *Soil Use and Management.* 25: 335-345.
5. Bower, C.A. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 730: 251-261.
6. Bybordi, M. 1994. *Soil Physics*. Tehran Uni. Press, 671p. (In Persian)
7. Cha-um, S., and Kirdmanee, C. 2009. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pak. J. Bot.* 41: 1. 87-98.
8. FAO. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations Production Yearbook. Rome, Italy.
9. Faustino, F.C., Garcia, R.N., Agtarap, M.L., Tecson-Mendoza, E.M., and Lips, S.H. 2000. Salt tolerance in corn: growth responses, ion accumulation, nitrate reductase and PEP-Carboxylase activities. *Philipp. J. Crop Sci.* 25: 1. 17-26.
10. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1979. Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measured parameters. *Soil Sci Soc. Am. J.* 43: 1004-1007.
11. Greenway, H., and Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
12. Grzesiak, M.T. 2009. Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. *Plant Root.* 3: 10-16.
13. Haq, T.U., Akhtar, J., Haq, M.A.U., and Hussain, M. 2002. Effect of Soil Salinity on the Concentration of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in the Leaf Sap of the Four Brassica species. *Inter. J. Agric. Biol.* 3: 385-388.
14. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Physiol. Plant.* 84: 55-60.
15. Jackson, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliff, 480p.
16. Jones, B.J. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC, Press, USA.
17. Khan, M.A., Von, S., Witzke-Ehbrecht, B., Maass, L., and Becker, H.C. 2009. Relationships among different geographical groups, agromorphology, fatty acid composition and RAPD marker diversity in Safflower (*Carthamus tinctorius*). *Genet. Resour. Crop. Evol.* 56: 19-30.



18. Levit, J. 1980. Response of plants to environmental stresses. Vol. 2. Academic Press Inc.
19. Lipiec, J., Ishioka, T., Szustak, A., Pietrusiewicz, J., and Stepniewski, W. 1996. Effects of soil compaction and transient oxygen deficiency on growth, water use and stomatal resistance of maize. *Acta. Agric. Scand., B Soil Plant Sci.* 46: 186-191.
20. Malakouti, M.J., Moshiri, F., Ghaibi, M.N., and Molavi, S. 2005. Optimum Level of Some Nutrients in Soil and Some Agronomic and horticultural (Part 2: Horticultural crops). Sana Publication. Tehran. (In Persian)
21. Masle, J., and Passioura, J.B. 1987. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 14: 643-656.
22. Mass, E.V., and Hoffman, G.J. 1997. Crop salt tolerance current assessment. *J. Irrig.* 103: 115-134.
23. Mc Cue, K.F., and Hanson, A.D. 1990. Drought and salt tolerance: towards understanding and application. *Biotech.* 8: 358-362.
24. Ministry of Jihad-e-Agriculture. 1996-2011. Statistics of agriculture. Office of Statistics and Information Technology, Tehran. (In Persian)
25. Momeni, A. 2010. Geographical distribution and salinity levels of Iran's soil resource. *Iran. J. Soil Res.* 24: 3. 203-215.
26. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter, P 961-1010. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2<sup>nd</sup> ed.* Agronomy. Am. Soc. Agron. Inc. Madison, WI.
27. Neyshabouri, M.R., and Reyhanitabar, A. 2011. Interpreting Soil Test Results (what do all the numbers mean?). Tabriz University Press. First Edition. 216p. (In Persian)
28. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorous, P 403-430. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods, 2nd ed.* Agronomic Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, USA.
29. Oustan, S.H. 2010. Environmental Soil Chemistry. Tabriz Uni. Press. Second Edition, 454p. (In Persian)
30. Pagliai, M., Marsili, A., Servadio, P., Vignozzi, N., and Pellegrini, S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil Till. Res.* 73: 119-129.
31. Pessarakli, M., and Szaboles, I. 2011. Soil Salinity and Sodicity as Particular Plant/Crop Stress Factors, P 3-21. In: Pessarakli, M. (ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress, 3rd edn.* CRC Press, Boca Raton.
32. Richard, L.A. 1969. Diagnosis and improvements of saline and alkali soils. *Agric. Handbook No. 60.* USDA, WA. DC.

33. Saqib, M., Akhtar, J., and Qureshi, R. 2004. Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil II. Root growth and leaf ionic relations. *Soil and tillage Research*. 77: 179-187.
34. Sultana, N., Ikedo, T., and Itoh, R. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany*. 42: 211-220.
35. Tubeileh, A., Groleau-Renaud, V., Plantureux, S., and Guckert, A. 2003. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. *Soil and Tillage Research*. 71: 151-161.
36. Turan, M.A., Elkarim, A.H.N., Taban, N., and Taban, S. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *Afric. J. Agric. Res.* 4: 9. 893-897.
37. Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., and Selvaradjou, S.K. 2004. Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection, EUR 21319 EN/3. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 872p.



## **Effect of soil salinity and compaction on some physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.)**

**\*R. Hassanpour<sup>1</sup>, M.R. Neyshabouri<sup>2</sup> and D. Zarehaggi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Tabriz, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, University of Tabriz, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz

Received: 11/16/2013; Accepted: 02/22/2014

### **Abstract**

This research was performed to investigate the combined effect of soil salinity and soil compaction on some physiological characteristics of corn. For this purpose a factorial pot experiment on the basis of completely randomized design with three replications was performed. The experimental factors were three levels of soil salinity (saturated paste extract electrical conductivity of 1.5, 2.5 and 4.5 dS/m) and three levels of soil compaction (bulk density of 1.3, 1.55 and 1.75 g/cm<sup>3</sup>). For creating salinity, different amounts of NaCl was dissolved in the required volume of distilled water to increase the gravity soil water content to 16% and then added to soil. For creating soil compaction a cylinder with 4.5 kg weight was allowed to fall freely to the soil surface in the pots from 45 cm elevation. Soil salinity led to significant increase in stomatal resistance, proline concentration and Na concentration of corn shoots and caused significant decrease in shoot dry matter. Soil compaction significantly decreased leaf water potential and aerial dry matter and increased stomatal resistance. At the applied range of soil salinity and compaction, soil salinity caused more adverse effects than the soil compaction on physiological characteristics of corn. Despite the fact that the combined effect of soil salinity and compaction became statistically significant only on stomatal resistance and shoot dry matter, combination of soil salinity and compaction led to increase in proline and Na concentration and to decline leaf water potential, relative water content, K concentration and K/Na in corn shoots. Combined effect of salinity and compaction led to more drastic effects than their individual effect on the stomatal resistance and shoot dry matter. Therefore, one of the approaches of soil salinity alleviation could be to avoid or reduce soil compaction.

**Keywords:** Corn, Physiological characteristics, Soil compaction, Soil salinity

---

\* Corresponding Authors; Email: [rzh92@yahoo.com](mailto:rzh92@yahoo.com)