

## اثر شوری و تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گندم

الهام شهرآیینی، محمود شعبانپور<sup>۱\*</sup> و سعید سعادت

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان؛ e\_shahrayini@yahoo.com

استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه گیلان؛ m\_shabanpur@yahoo.com

استادیار و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور؛ saeed\_saadat@yahoo.com

### چکیده

مدیریت نامناسب زراعی و استفاده طولانی مدت از ادوات کشاورزی سنگین سبب ایجاد لایه‌های متراکم در خاک می‌گردد، از طرف دیگر شوری خاک و آب افزون بر کاهش عملکرد گیاهان، اثرات نامطلوب زیادی بر تحمل گیاهان به تنش‌های مختلف می‌گذارد. با اینحال تأثیر تراکم خاک بر رشد و عملکرد محصولات در خاک‌های شور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به منظور مطالعه تأثیر متقابل تراکم و شوری خاک بر جذب عناصر پرمصرف توسط گندم، آزمایشی گلدانی با خاک لومی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح شوری خاک (خاک شور ( $EC=6 \text{ dS m}^{-1}$ ) و غیرشور) و پنج سطح تراکم (شاهد، تراکم ۵ درصد، تراکم ۱۰ درصد، تراکم ۱۵ درصد و تراکم ۲۰ درصد) بودند. سطوح مختلف تراکم در رطوبت ۱۵ درصد با استفاده از وزنه دو کیلوگرمی که از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری بر سطح خاک درون گلدان‌ها رها گردید ایجاد شد. همچنین برای اعمال شوری موردنظر ( $6 \text{ dS m}^{-1}$ ) از آب شور طبیعی استفاده شد. پس از برداشت گندم، مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد تراکم خاک تأثیر معنی‌داری بر مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه گندم (احتمال یک درصد) داشته است. به طوری که با افزایش تراکم خاک توانایی جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط دانه گندم کاهش یافته است. شوری خاک بر مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه تأثیر معنی‌داری (به ترتیب در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و یک درصد) گذاشته است، به طوری که در تیمارهای شور مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه نسبت به تیمارهای غیرشور کاهش یافته است. همچنین اثر متقابل معنی‌داری بین تیمارهای تراکم و شوری بر مقدار نیتروژن و پتاسیم دانه (در سطح یک درصد) وجود داشت و با افزایش تراکم در شرایط شور مقدار این عناصر به شدت کاهش یافته است، لیکن این اثر بر مقدار فسفر معنی‌دار نبوده است.

واژه‌های کلیدی: تراکم خاک، عناصر پرمصرف، گندم، شوری خاک

### مقدمه

به تردد ماشین‌آلات کشاورزی اشاره نمود. سوان و همکاران (۱۹۸۱) نشان دادند که جرم مخصوص ظاهری خاک در زیر یک چرخ سخت با سرعت  $1 \text{ km h}^{-1}$  در مقایسه با سرعت  $12 \text{ km h}^{-1}$  بیشتر (به ترتیب  $1/65$  و  $1/49 \text{ gr cm}^{-3}$ ) بوده است، همچنین عمق تراکم در سرعت کم تقریباً دو برابر تراکم در سرعت زیاد بوده

تراکم خاک از نظر تعریف بیان کمی رفتار خاک تحت تأثیر تنش و فشارهای مشخص می‌باشد که معمولاً این رفتار با تغییر جرم مخصوص ظاهری (BD)، درجه پوکی، تخلخل کل، تخلخل تهویه‌ای، نفوذپذیری آب به خاک و مقاومت مکانیکی خاک بروز می‌کند (برزگر، ۱۳۸۰). از جمله نیروهای مکانیکی وارده بر خاک می‌توان

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول، آدرس: رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

\* دریافت: دی ۱۳۸۹ و پذیرش: دی ۱۳۹۰

جذب خالص  $CO_2$  و رشد نسبی گیاه نیز کم می‌شود (برناردو و همکاران، ۲۰۰۰).

با افزایش شوری، عملکرد ماده خشک، نسبت وزن خشک ریشه به ساقه سطح برگ، ارتفاع بوته و مقدار تعریق کاهش می‌یابد. شوری همچنین موجب کاهش جذب فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم بوسیله ریشه و نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در اندام‌های هوایی می‌شود، به علاوه شوری سبب افزایش جذب سدیم و کلر بوسیله ریشه و ساقه می‌شود (ایلاهی و همکاران، ۱۹۹۴).

این تحقیق به منظور مطالعه آثار متقابل تراکم و شوری خاک بر جذب عناصر پرمصرف توسط دانه گندم انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تراکم خاک بر جذب عناصر کم مصرف توسط دانه گندم در خاک شور و غیرشور مطالعه ای گلخانه‌ای انجام گرفت. حدود ۳۵۰ کیلوگرم خاک با بافت لومی (جدول ۱) از ایستگاه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب از عمق ۳۰ سانتی متری خاک تهیه شد. خاکها پس از خشک شدن، از الک ۵ میلیمتری عبور داده شده و برای پر کردن گلدانها مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو نوع خاک (شور ( $EC=6 \text{ dS m}^{-1}$ ) و غیرشور) و پنج سطح تراکم شاهد، تراکم ۵ درصد، تراکم ۱۰ درصد، تراکم ۱۵ درصد و تراکم ۲۰ درصد بودند که مجموعاً در ۳۰ گلدان پیاده شدند. گلدان‌ها به شکل استوانه از جنس PVC با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و شعاع ۹/۶ سانتی‌متر بودند.

برای اعمال سطوح تراکم در گلدان‌ها نخست جرم مخصوص ظاهری خاک نمونه برداری شده از مزرعه به روش سیلندر اندازه‌گیری شد، جرم مخصوص ظاهری خاک به عنوان شاهد در نظر گرفته شد ( $1/52$  گرم بر سانتیمتر مکعب). پس از تعیین مقدار خاک مورد نیاز برای هر گلدان (با در نظر گرفتن جرم مخصوص ظاهری و حجم گلدان، خاک مورد نیاز برای هر تیمار محاسبه و توزین شد) سطوح مختلف تراکم با استفاده از وزنه‌های دو کیلوگرمی، که از ارتفاع ۳۰ سانتی متری رها می‌گردیدند در رطوبت ۱۵ درصد به صورت یکسان در همه عمق گلدانها ایجاد شد. جرم مخصوص ظاهری خاکهای متراکم به ترتیب  $1/6$ ،  $1/67$ ،  $1/74$  و  $1/82$  گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. برای اعمال تیمار شوری گلدان‌های مربوطه (۱۵ گلدان) را در چهار مرحله به فواصل زمانی ۳۶ ساعت با آب شور (آبی با هدایت الکتریکی ۶ دسی‌زیمنس بر متر)

است. تراکم خاک باعث کاهش اندازه خلل و فرج و کاهش اتصال آنها به یکدیگر شده و در نتیجه نفوذپذیری و پخشیدگی هوا و آب در خاک کاهش می‌یابد (بال، ۱۹۸۱). توزیع ریشه در خاک متراکم و غیرمتراکم کاملاً متفاوت می‌باشد، در آزمایش‌هایی که در رومانی بر روی گیاه ذرت انجام گرفته است، توزیع ریشه در این دو حالت در شرایطی که میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی بود مقایسه گردید اگرچه بیوماس کل ریشه برای هر دو مورد مشابه بود، لیکن ریشه‌های عمیق در خاک غیر متراکم بیشتر بود (بون و همکاران، ۱۹۷۸). یکی از مشکلات حاصل از تراکم خاک افزایش مقاومت خاک می‌باشد، مقاومت نفوذی  $2 \text{ MPa}$  یا بیشتر، نفوذ ریشه در خاک را به شدت محدود می‌کند، در شرایط مطلوب، خاک‌های دارای مواد آلی زیاد، در مقایسه با خاک‌های دارای مواد آلی کم، مقاومت بیشتری به تراکم دارند (لارسون، ۱۹۸۲).

افزایش مقاومت مکانیکی و تهویه ضعیف خاک که در اثر تراکم خاک حاصل می‌شود رشد ریشه را محدود می‌کند که خصوصاً بر کاهش جذب عناصر غذایی مؤثر است (لیپیک و استپ‌نیوسکی، ۱۹۹۵). خاک‌های شور خاک‌هایی هستند که زیادی نمک‌های محلول در آنها به حدی است که رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بیشتر این نمک‌ها را نمک‌های سدیم، کلسیم، منیزیم همراه با کلرید، سولفات و بی‌کربنات تشکیل می‌دهند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۱). به طور کلی شوری از سه راه کاهش پتانسیل اسمزی، ایجاد سمیت ویژه یونی و بهم زدن تعادل تغذیه‌ای، رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. نخستین تأثیر شوری بر گیاه مربوط به کل املاح محلول در خاک است که کاهش پتانسیل اسمزی را به دنبال دارد. با کاهش پتانسیل اسمزی، انرژی آزاد آب کاهش یافته و گیاه برای بدست آوردن مقدار مشخصی آب باید انرژی بیشتری صرف کند، بنابراین بخشی از انرژی که خود گیاه برای رشد و نمو به آن نیاز دارد، صرف بدست آوردن آب شده و بدین ترتیب رشد عمومی آن کاهش می‌یابد (همایی، ۱۳۸۱). از آنجایی که نمک در خاک با جریان آب حرکت می‌کند، توزیع نمک در خاک با الگوی جریان آب در خاک تعیین می‌شود به عنوان مثال نفوذ رو به پایین آب در خاک، نمک را از سطح بالایی خاک به اعماق پایین‌تر انتقال می‌دهد. نوع خاک و یا ترکیبات شیمیایی موجود در خاک، مقدار آب بکار برده شده و روش آبیاری تماماً روی الگوی توزیع و حرکت نمک در خاک تأثیر می‌گذارند (بلین و هانسون، ۲۰۰۳). شوری خاک باعث کاهش جوانه‌زنی، توسعه سلولی برگ‌ها و رشد برگ‌ها می‌شود، همچنین در اثر شوری سطح برگ و ماده خشک تجمعی، سرعت

تا حد اشباع آبخوبی کرده تا EC آب ورودی معادل EC آب خروجی شد، حجم آب مصرفی در هر مرحله آبخوبی حدود ۷ لیتر بود.

همچنین تیمارهای غیرشور نیز به همین مقدار با آب شهر ( $EC=0.3 \text{ dS m}^{-1}$ ) آبیاری شدند. تعداد ۱۵ عدد بذر گندم رقم روشن که مقاوم به شوری می‌باشد در عمق دو سانتی متری خاک در هر گلدان در پاییز کاشته شد. پس از جوانه‌زدن بذر و گذشت ده روز تعداد بوته‌ها به ۶ عدد در هر گلدان کاهش داده شد. رطوبت گلدانها با توزین روزانه آنها تعیین و زمانی که ۳۰ درصد آب قابل استفاده گیاه مصرف می‌شد آبیاری تا رسیدن خاک به رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) انجام گرفت، برای آبیاری تیمارهای شور از آب شور طبیعی (که از دریاچه قم تهیه شده و با افزودن آب شهر به آن هدایت الکتریکی آن به ۶ دسی‌زیمنس بر متر رسیده بود) (جدول ۲) و با جزء آبخوبی (LF) ۵۰ درصد استفاده شد و برای آبیاری تیمارهای غیر شور نیز از آب شهر استفاده گردید.

نتایج آنالیز خاک نشان داد که روش انتخاب شده برای آبخوبی اولیه و آبیاری باعث شد که EC خاک در طول آزمایش نسبتاً ثابت باقی بماند. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب محاسبه و برای جلوگیری از آبخوبی، به صورت تقسیم به گلدانها اضافه گردید (در سه نوبت سه هفتگی، شش هفتگی و نه هفتگی) جمعاً ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم نیتروژن به صورت اوره، در چهار هفتگی مقدار ۳۵ میلی-گرم در کیلوگرم فسفر به صورت اسید فسفریک، ۲۵ میلی-گرم در کیلوگرم پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی به صورت سولفات روی اضافه شد. پس از خاتمه دوران رشد بوته‌ها بریده شده و گیاهان مربوط به هر گلدان داخل پاکت جداگانه قرار داده شدند و پس از جدا کردن دانه از کاه و کلش هر قسمت به طور جداگانه توزین شد و برای انجام تجزیه‌های شیمیایی آسیاب گردید. اندازه‌گیری نیتروژن کل با دستگاه کجل‌تک، فسفر به روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفوتومتر و پتاسیم بوسیله دستگاه فلیم فتومتر انجام شد (امامی، ۱۳۷۵). تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام گرفت.

## نتایج و بحث

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف را بر ویژگیهای اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. تراکم خاک تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر مقدار نیتروژن موجود در دانه گندم داشته است (جدول ۳) به طوری که با افزایش تراکم خاک مقدار نیتروژن دانه

گندم کاهش یافته است، کمترین مقدار نیتروژن در تراکم ۲۰ درصد و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۱)، شوری خاک تأثیر معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بر مقدار نیتروژن دانه داشته است. در تیمارهای شور مقدار نیتروژن نسبت به تیمارهای غیرشور کاهش یافته است، همچنین اثر متقابل تراکم و شوری بر مقدار نیتروژن دانه معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بوده است، بطوری که در خاک شور تأثیر تراکم‌های زیاد (۲۰ درصد) بر کاهش محصول بسیار بیشتر از خاک غیرشور است (جدول ۳ و شکل ۱).

تراکم خاک تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر مقدار فسفر دانه گندم داشته است (جدول ۳) به طوری که با افزایش تراکم خاک مقدار فسفر دانه گندم کاهش یافته است (شکل ۲).

کمترین مقدار فسفر در تراکم ۲۰ درصد و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد. شوری خاک تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر مقدار فسفر دانه گندم داشته است (جدول ۳) به طوری که در تیمارهای شور مقدار فسفر دانه نسبت به تیمارهای غیرشور کاهش یافته است، لیکن اثر متقابل تراکم و شوری بر مقدار فسفر موجود در دانه گندم معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۳ و شکل ۲).

تراکم خاک تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر مقدار پتاسیم دانه گندم داشته است (جدول ۳) به طوری که با افزایش درصد تراکم خاک (در شرایط شور) مقدار پتاسیم دانه کاهش یافته است (شکل ۳). کمترین مقدار پتاسیم در تراکم ۲۰ درصد و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد بوده است (شکل ۳). شوری خاک تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر مقدار پتاسیم دانه گندم داشته است به طوری که در تیمارهای شور مقدار پتاسیم دانه گندم نسبت به تیمارهای غیرشور کاهش یافته است. همچنین اثر متقابل تراکم و شوری بر مقدار پتاسیم دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است و در تیمارهای شور با افزایش درصد تراکم خاک مقدار پتاسیم دانه گندم به شدت کاهش یافته است (شکل ۳).

ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک زیرین بر جذب نیتروژن و سایر عناصر غذایی از لایه‌های پایینی تأثیر می‌گذارد. رشد ریشه گیاهان در خاک متراکم زیرین به‌طور مستقیم با افزایش مقاومت مکانیکی خاک و به‌طور غیرمستقیم به واسطه کمبود اکسیژن محدود می‌شود که این امر سبب تجمع نیتروژن معدنی در خاک زیرین و ممانعت از جذب آن توسط گیاه می‌شود (کاستیلو و همکاران، ۱۹۸۲). ورهیس و همکاران (۱۹۸۶) نیز

رشد گیاهان در خاک‌های متراکم (که دارای مشکل تهویه‌اند) به علت ایجاد شرایط نامناسب برای رشد ریشه این گیاهان وضعیت مطلوبی نخواهد داشت اما به دلیل کاهش آب‌گذری و در نتیجه کاهش آبشویی پتاسیم در خاکهای متراکم، مقدار پتاسیم جذب شده کاهش نمی‌یابد (دجان هوگست و همکاران، ۲۰۰۱). در خاک‌های شور، جذب پتاسیم به دلیل غلظت بالای سدیم و رقابت سدیم و پتاسیم در هنگام جذب کاهش می‌یابد (بهره و دارفلینگ، ۱۹۹۳).

با توجه به نتایج این تحقیق مشخص گردید که در خاکهای غیر شور، گیاه می‌تواند تا حدی در برابر تراکم خاک مقاومت کند اما در خاکهای شور تراکم افزون بر اینکه جذب عناصر توسط گیاه در اثر شوری کاهش می‌یابد، تراکم خاک نیز این امر را تشدید نموده و باعث کاهش بیشتر جذب عناصر می‌شود.

دنیتریفیکاسیون نیتروژن ناشی از تهویه ضعیف خاک متراکم را در کاهش جذب نیتروژن موثر دانستند.

عوامل زیادی در کاهش قابلیت استفاده نیتروژن توسط گیاه در شرایط شور مؤثرند که می‌توان به کاهش جذب نیتروژن در محیط شور به علت کاهش تراوایی ریشه گیاه، کاهش فعالیت میکروبی خاک و به دنبال آن کاهش معدنی شدن ترکیبات آلی و کاهش جذب نیترات در اثر عرضه زیاد آنیون کلر در محیط ریشه گیاه اشاره نمود (کافکافی و همکاران، ۱۹۸۲). با توجه به اینکه فسفر یک عنصر غیرمتحرک در خاک می‌باشد و در اثر تراکم خاک رشد و گسترش ریشه گیاهان محدود می‌شود در نتیجه میزان جذب فسفر توسط گیاه به شدت کاهش می‌یابد (آرودیسون، ۱۹۹۷). کاهش فعالیت فسفر محلول به دلیل افزایش قدرت یونی محلول و کاهش غلظت فسفر محلول خاک به دلیل ایجاد کانی‌های کلسیم - فسفر از جمله دلایل کاهش جذب فسفر توسط گیاهان در شرایط شور می‌باشد (گراتان و گریو، ۱۹۹۲).

جدول ۱- ویژگیهای شیمیایی خاک اولیه قبل از کاشت

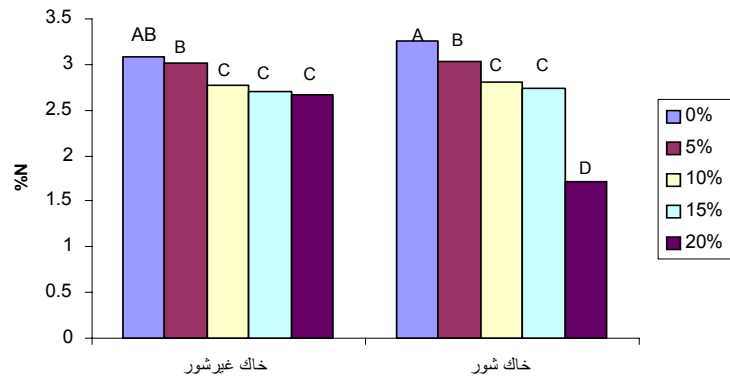
Clay	Silt	Sand	K available	P available	N Total	SP	TNV	OC	EC	pH
	%		mg kg <sup>-1</sup>				%		dS m <sup>-1</sup>	
۱۹	۳۸	۴۳	۲۷۳	۵/۱	۰/۰۷۸	۲۴	۱۳/۲	۰/۳۸۷	۰/۵۹	۸

جدول ۲- ویژگیهای شیمیایی آب شور استفاده شده

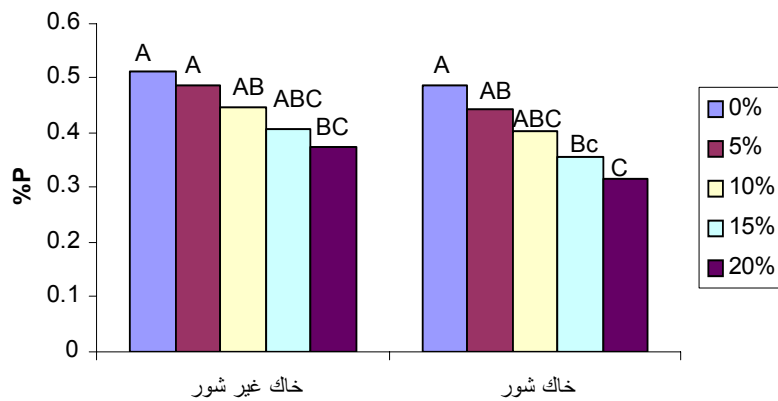
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	EC	pH
meq lit <sup>-1</sup>								dS m <sup>-1</sup>	
۵/۱۵	۵/۶۵	۵۲/۵	۲/۶	۵۵/۵	۰/۳۷۵	۲/۴۴	۷/۶	۶/۲	۸/۲

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر تراکم و شوری خاک بر مقدار جذب عناصر پرمصرف دانه گندم

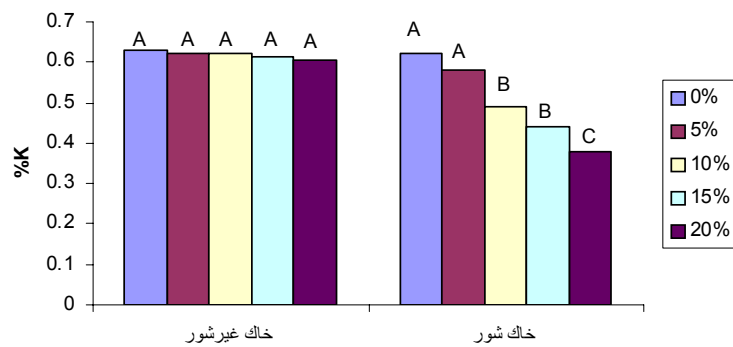
منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد نیتروژن	درصد فسفر	درصد پتاسیم
تراکم خاک (C)	۴	۰/۶۴۳**	۰/۰۲۳**	۰/۰۱۷**
شوری خاک (S)	۱	۰/۱۸۸*	۰/۰۱۳**	۰/۰۹۹**
اثر متقابل (C * S)	۴	۰/۴۴۵**	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۲**
خطا	۱۸	۰/۰۳۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
درصد ضریب تغییرات (%CV)	—	۶/۵	۲/۴	۴/۰



شکل ۱- مقایسه میانگین درصد نیتروژن دانه گندم در خاک شور و غیرشور



شکل ۲- مقایسه میانگین درصد فسفر دانه گندم در خاک شور و غیرشور



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد پتاسیم دانه گندم در خاک شور و غیرشور

فهرست منابع:

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه جلد اول. نشریه ۹۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۰ صفحه.
۲. برزگر، ع. ۱۳۸۰. فیزیک خاک پیشرفته، نشر دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز، ایران.
۳. ملکوتی، م.ج.، پ. کشاورز، س. سعادت و ب. خلدبرین. ۱۳۸۱. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا. تهران. ایران.
۴. همایی، م.، ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. نشریه شماره ۵۸. تهران. ایران.
5. Arvidsson, J. 1997. Nutrient uptake in compacted soil in field and laboratory experiments- Doctoral Thesis. Soil Compaction in Agriculture-From Soil stress to Plant stress. Swedish university of Agricultural Sciences, Uppsala, Paper 7.
6. Ball, B.C. 1981. Pore Characteristics of soil from two cultivated experiments as Shown by gas diffusivity and Permeability of air filled porosities. J. Soil Sci. 32: 483-498.
7. Bernadro, M.A., E.T. Diegvez, H.G. Jones, F.A. Chairez, C.L.T. Janguren and A.L. Cortes. 2000. Screening and classification of cow pea genotypes for salt tolerance during germination. Int. J. Exp. Bot. 67: 71-84.
8. Blaine, R. and K. Hanson. 2003. Agricultural salinity and drainage. University of California.
9. Bohra, J.S. and K. Doerffling. 1993. Potassium nutrition of rice (*oryza Sativa* L.) Varieties under NaCl salinity. Plant and Soil. 152: 299-303.
10. Boune, F., R.J. Bouma and L.A. desmet. 1978. A Case study on the effect of compaction on potato growth in a loamy sand soil. I Physical measurements and rooting patterns. Netherlands Journal of Agricultural Sciences, 26: 405-420.
11. Castillo, S.R., R.H. Dowdy, J.M. Bradford and W.E. Larson. 1982. Effect of applied mechanical Stress on plant growth and nutrient uptake. Agron. J. 74: 526-530.
12. Dejong-Hughest, J., J.F. Moncrief, W.B. Voorhees and J.B. Swan. 2001. Soil compaction causes, effect and control. Extension educator, University of Minnesota.
13. Grattan, S.R. and C.M. Grieve. 1992. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in Saline environments. In: Pessaraki, M. (Ed). Handbook of plant and cold stress. pp. 203-226.
14. Ilahi, I., F. Hossain and M. Khan. 1994. The effect of salinity and macronutrient level on Wheat. I. Composition. J. plant Nutrition, 20 (9): 1169-1182.
15. Kafkafi, U., N. Valores and J. Letery. 1982. Chloride interaction with nitrate and P nutrition in tomato. J. Plant Nutrition. 5:1369-1385.
16. Larson, W.E. 1982. Predicting soil mechanical behavior during tillage, p.151-155. In Unger et al., Eds. American Society of Agronomy. Madison, WI.
17. Lipiec, J. and W. Stepniewski. 1995. Effect of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. Soil Tillage Research. 35: 37-52.
18. Soane, B.D., P.S. Blackwell, J.W. Dickson and D.J. Painter. 1981. Compaction by agricultural vehicle: a review. 1. Soil and Wheel Characteristics. Soil Tillage Research, 1: 207-237.
19. Voorhees, W.B., W.W. Nelson and G.W. Randal. 1986. Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:428-433.