نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۷۳۵-۷۲۷

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 727-735

اثر تراکم و بافت خاک بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی گندم

سحر اخوان[۱] – محمود شعبانپور[۲*] – مسعود اصفهانی[۳]

تاریخ دریافت:۹۰/۳/۹
تاریخ پذیرش:۹۰/۱۱/۱۵

چکیده

به منظور بررسی اثر تراکم خاک بر رشد ریشه و اندام هوایی گیاه گندم، یک آزمایش گلدانی در سال ۱۳۸۹در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح؛ تراکم طبیعی، ده درصد و بیست درصد تراکم و دو نوع خاک بود که مجموعاً شامل ۱۸ گلدان شد. شاخص مقاومت مکانیکی خاک اندازه گیری شده با دستگاه مقاومت سنج نفوذی تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایشی نشان داد. صفات ریشه‌ای و اندام‌های هوایی اندازه گیری شده گیاه شامل وزن تر و وزن خشک کل اندام‌های هوایی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، سطح برگ، سطح ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی، نسبت سطح برگ به سطح ریشه، چگالی طول ریشه، چگالی سطح ریشه، چگالی وزن ریشه، چگالی وزن خشک ریشه و محتوای نیتروژن ریشه، تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان دادند به طوری که بیشترین طول ریشه، سطح ریشه، چگالی طول ریشه و چگالی سطح ریشه در تیمار بدون تراکم (به ترتیب با میانگین ۳۳۳۲/۶ سانتی‌متر، ۴۲۱/۵ سانتی‌متر مربع، ۶۶۳۳/۴ کیلومتر بر مترمکعب، ۱/۲۵ کیلومترمربع بر مترمکعب) بدست آمد. نتایج کلی این آزمایش نشان داد که با افزایش تراکم خاک، صفات مربوط به اندام‌های هوایی و ریشه‌ای گیاه گندم تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در تراکم بیست درصد با مقاومت نفوذی ۱۱۵۵/۹۴ و ۷۶۲/۷۶ کیلوپاسکال به ترتیب در خاک رسی و شنی، رشد ریشه و اندام‌های هوایی نسبت به خاک طبیعی محدود شد.

واژه های کلیدی: اندام‌های هوایی، تراکم خاک، ریشه، گندم

مقدمه

کاهش حجم خاک غیراشباع و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر یک نیروی خارجی است. نیروهای وارد شده ممکن است به شکل ارتعاش دادن و کوبیدن و فشردن خاک باشند. تراکم خاک باعث افزایش مقاومت خاک در مقابل نفوذ ریشه گیاه می‌شود، در نتیجه رشد گیاه و محصول کاهش پیدا می‌کند (۲). عملیات خاک ورزی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تغییر می‌دهد و به تبع آن خصوصیات مرفولوژیکی ریشه گیاه نیز تغییر می کند (۱۶). تراکم خاک با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، رشد ریشه را کاهش می‌دهد که اولین نتیجه افزایش فشار، افزایش مقاومت مکانیکی خاک و کمبود اکسیژن در خاک است (۲۰).

تیلور و لاتلیف (۱۸) نشان دادند در شرایطی که مقاومت مکانیکی خاک ۰/۵ مگاپاسکال بود، نسبت رشد ریشه گیاهان پنبه و بادام زمینی در خاک کاهش پیدا کرد. لیپیک و همکاران (۱۲) گزارش کردند که مجموع طول ریشه گیاهان زراعی در شرایطی که جرم مخصوص ظاهری ۱۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود، به نصف کاهش پیدا کرد. واکنش سیستم ریشه به افزایش جرم مخصوص ظاهری به صورت کاهش طول ریشه در لایه‌های بالایی خاک و کاهش عمق ریشه دوانی ظاهر می‌شود. بارلی (۴) اظهار کرد که سرعت طویل شدن ریشه به طور چشمگیری تحت تاثیر مقاومت مکانیکی خاک قرار دارد. طول ریشه ذرت در معرض فشار ۴۰ کیلوپاسکال، ۷۵ درصد کاهش پیدا می کند (۲۱). گزارش شده است که تراکم خاک از گسترش جانبی ریشه گندم در لایه‌های سطحی خاک ممانعت می‌کند (۶). تیلور و برار (۱۷) نشان دادند که تراکم خاک اثر مستقیمی روی توسعه ریشه ندارد اما به طور غیر مستقیم و با تغییر شکل ساختمان و استحکام خاک، تخلخل، تعداد منافذ بزرگ، درصد رطوبت حجمی، هدایت هیدرولیکی و تخلخل تهویه‌ای خاک، توسعه ریشه تغییر می‌کند. هریک از این اثرات می توانند اثر مستقیمی روی توسعه ریشه

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
(*- نویسنده مسئول: (Email: shabanpour@guilan.ac.ir
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

داشته باشند. میرانصاری و همکاران (۱۴) گزارش کردند که تراکم خاک باعث کاهش رشد ساقه ذرت شده و در نتیجه عدم دسترسی گیاه به عناصر غذایی می‌شود درحالیکه موجودات همزیست به واسطه ریسه‌های بسیار نازک خود از منافذ ریز عبور کرده و آب و مواد غذایی به خصوص فسفر را از خاک جذب می‌کنند و در اختیار گیاه قرار می‌دهند.

افزایش یا کاهش تراکم خاک معمولا به طور یکنواخت در عمق یا بخشی از مزرعه اتفاق نمی افتد. عبور و مرور ماشین آلات، ممکن است نقاطی با مقاومت مکانیکی بالا به صورت نواری در مزرعه ایجاد کند. این نوارهای متراکم ممکن است در خاک زیر سطحی رشد ریشه را محدود کنند. در صورتی که آب و عناصر غذایی کافی در دسترس گیاه باشد، حتی اگر توسعه ریشه با تراکم خاک تغییر کند، رشد گیاه در بالای سطح زمین ممکن است طبیعی باشد. گلب (۸) اظهار داشت که جرم مخصوص ظاهری خاک با افزایش عبور و مرور تراکتور افزایش می‌یابد و تراکم خاک با عبور مکرر تراکتور، مورفولوژی و توزیع ریشه را تغییر می‌دهد. لیپیک و همکاران (۱۳) اثر تراکم خاک را بر رشد ریشه و عملکرد گیاهان زراعی مورد بررسی قرار دادند. آنها سازوکارهای احتمالی بین ریشه و اندام‌های هوایی در شرایط تراکم خاک را ارائه دادند. نتایج آنها نشان داد که عملکرد محصول در خاک متراکم عمدتاً بستگی به شرایط آب و هوایی و تراکم اولیه خاک دارد. افزایش تراکم خاک باعث کاهش در اندازه ریشه، پراکنش بیشتر ریشه در بخش فوقانی خاک و کاهش عمق ریشه می‌شود و فراهمی آب قابل استفاده، جذب عناصر غذایی و اثر مصرف کود در خاک متراکم کاهش پیدا می کند، همچنین آن ها نتیجه گرفتند که عملکرد محصول در تراکم ملایم خاک افزایش پیدا می‌کند، اما با فشردگی بیشتر خاک، عملکرد کاهش می‌یابد. لیپیک و همکاران (۱۲) اظهار داشتند که تراکم خاک روی رشد ریشه و توانایی گیاه در جبران بخشی از سیستم ریشه که در معرض تراکم قرار دارد (با افزایش حجم ریشه در جایی که شرایط مناسب وجود دارد)، اثر می گذارد. طول ریشه در شرایط تراکم بالای خاک (جرم مخصوص ۱۵۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) در مقایسه با خاک طبیعی به نصف کاهش پیدا می‌کند. به علاوه در خاک متراکم، ریشه‌های نازک در مقایسه با ریشه های ضخیم، بیشتر به داخل منافذ خاکدانه ها نفوذ می‌کنند. لرزاده و همکاران (۳) گزارش دادند که با افزایش تراکم خاک تا حد مقاومت نفوذ سنجی ۶۵۰ کیلوپاسکال، هیچ گونه کاهش معنی داری در عملکرد کمی و کیفی نیشکر ملاحظه نشد. با افزایش تراکم خاک تا میزان ۳۲۵۰ کیلو پاسکال مقاومت فروسنجی خاک، ارتفاع بوته، عملکرد نی، تعداد پنجه‌ها در واحد سطح و وزن ماده خشک برگ، ساقه و نی، کاهش یافت. نتایج آنها نشان داد نیرویی که ریشه گیاه نیشکر اعمال می‌کند، بیش از ۹۰۰ کیلوپاسکال است. آریان نیا و همکاران (۱) تاثیر سطوح مختلف فشردگی خاک را بر عملکرد و اجزای عمکرد ذرت دانه‌ای مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که با فشرده کردن خاک در سطح ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ کیلو پاسکال، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیکی و اجزای عملکرد بطور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند. با توجه به اثر بازدارندگی میزان فشردگی و نوع بافت خاک بر رشد و نمو اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان زراعی، این آزمایش به منظور بررسی اثر تراکم و نوع بافت خاک بر خصوصیات و ویژگی‌های مرتبط با رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه گندم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر تراکم خاک بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه گندم، آزمایشی به صورت کشت گلدانی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان درسال ۱۳۸۹ به اجرا درآمد. نمونه‌های خاک از دو منطقه آبکنار (از توابع شهرستان انزلی) با بافت سبک و خاک های اطراف دانشکده کشاورزی با بافت سنگین تهیه شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح تراکم صفر، ده درصد و بیست درصد تراکم با دو نوع بافت خاک (رسی و شنی) مجموعاً شامل ۱۸ گلدان بود. گلدان‌ها از جنس PVC[1] به شکل استوانه‌ای با ارتفاع سی و پنج و قطر شانزده سانتی متر انتخاب شدند. برای اعمال سطوح تراکم در گلدان‌ها ابتدا جرم مخصوص ظاهری خاک دست نخورده به روش سیلندر اندازه گیری شد، این جرم مخصوص به عنوان شاهد برای خاک طبیعی در نظر گرفته شد. با مشخص بودن حجم گلدان و جرم مخصوص ظاهری، وزن خاک لازم که بایستی در هر گلدان ریخته شود محاسبه‌گردید. برای تعیین مقدار خاک لازم برای سطوح تراکم ده و بیست درصد، به ترتیب ده و بیست درصد به وزن خاک گلدان شاهد اضافه شد. سپس سطوح مختلف تراکم اعمال شدند. این کار با استفاده از وزنه‌های دو کیلوگرمی انجام شد که با انرژی مشخص و ثابت از ارتفاع سی سانتی متری رها می‌شدند. اعمال تراکم تا زمانی ادامه یافت که خاک تا ارتفاع گلدان شاهد در رطوبت بهینه پایین‌تر برود. برای تعیین رطوبت بهینه (رطوبتی که در آن حداکثر تراکم حاصل می‌شود)، از روش پراکتور[2] استفاده شد (۱۱). ظرفیت زراعی خاک با استفاده از صفحات فشاری (۱۱) تعیین شد و سپس به تمام گلدان‌ها یک درصد وزن خاک، ماده آلی پوسیده جهت تأمین نیتروژن آلی اضافه شد. پس از آن در هر گلدان شش عدد بذر گندم رقم شهریار (اصلاح شده داخلی با تیپ رشد زمستانه، مقاوم به سرما و ریزش دانه) در عمق دو سانتیمتری خاک کاشته شدند. پس از جوانه زنی بذور و گذشت ده روز، تعداد بوته‌ها به چهار عدد در هر گلدان کاهش داده شد. گلدان‌ها به مدت دو ماه در محیط گلخانه با دمای

1-Polyvinyl Chloride
2 -Practor

متوسط ۲۵ درجه سانتیگراد پرورش داده شدند. مقاومت مکانیکی خاک در رطوبت ظرفیت زراعی با استفاده از مقاومت سنج نفوذی (Cone Penetrometer EL29-3739, England) در مرحله پنجم اندازه گیری (۶۰ روز پس از کاشت بذر) اندازه‌گیری شد. محتوای کلروفیل گیاه با استفاده از دستگاه کلروفیل متر دستی (SPAD502, Minolta, Japan) در دو مرحله از رشد گیاه (۱۴ و ۶۰ روز پس از کاشت بذر) جهت بررسی روند تغییرات نیتروژن کل گیاه اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد، گیاهچه ها از گلدان‌های پلاستیکی خارج و به دو بخش ریشه و اندام‌های هوایی تقسیم شدند. تمامی ریشه ها بطور کامل و با رعایت حداقل آسیب دیدگی با استفاده از آب جاری شسته شدند. بدین منظور خاک هر گلدان درون تشتک آبی جداگانه‌ای خیسانده شد و با استفاده از محلول هگزا متافسفات سدیم[1] ذرات خاک چسبیده به ریشه‌ها از آنها جدا شدند. پس از آن ریشه‌ها روی الک ریز با استفاده از آب شسته شده و بلافاصله به یخچال با دمای چهار درجه سانتیگراد منتقل شدند. اندام‌های هوایی به سه بخش برگ، ساقه و سنبله تقسیم شدند. وزن تر کل اندام‌های هوایی و وزن تر ریشه (RFW)[2] با دقت ۰/۰۰۱ گرم با ترازوی دقیق اندازه گیری شدند. حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب با دقت ۰/۱ میلی لیتر محاسبه شد. طول ریشه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

(۱) طول ریشه = (وزن ریشه ها) × ۰/۸۹۰

سطح ریشه از روش اتکینسون[3] با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

(۲) سطح ریشه = ۲π×(حجم ریشه)/(طول ریشه)$^{0.5}$

با داشتن اطلاعات وزن تر ریشه (RFW)، وزن خشک ریشه (RDW)[4] و حجم گلدان‌ها، سطح ریشه (RA)[5] و حجم ریشه (RV)[6]، سایر صفات ریشه‌ای از قبیل نسبت وزن خشک ریشه به حجم ریشه (چگالی ریشه) (RDW/RV)، وزن تر ریشه به حجم خاک (RMD)[7]، وزن خشک ریشه به حجم خاک (DRMD)[8]، چگالی طول ریشه (RLD)[9] و چگالی سطح ریشه (RSD)[10] محاسبه شدند (۹ و ۷).

(۳) قطر ریشه = (۴× وزن تر ریشه /(طول ریشه × π))$^{0.5}$

(۴) چگالی سطح ریشه = (طول ریشه × قطر ریشه × π)

1- Sodium hexametaphosphate
2- Root Fresh Weight (REW)
3- Atkinson
4- Root Dry Weight (RDW)
5- Root Area (RA)
6- Root Volume
7- Root Mass Density (RMD)
8- Dry Root Mass Density (DRMD)
9- Root Length Density(RLD)
10- Root Surface Area Density (RSD) =TL×RD×3.14

سطح برگ (LA)[11] با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ رومیزی (Li Core3100, USA) اندازه‌گیری شده و نسبت سطح برگ به سطح ریشه (LA/RA) در تیمارهای مختلف محاسبه شد. در پایان نمونه‌ها برای تعیین وزن خشک در آون (دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت) خشکانده شدند و سپس وزن خشک نمونه‌ها، وزن خشک کل اندام هوایی، وزن خشک برگ (LDW)[12]، وزن خشک ساقه (SDW)[13]، وزن خشک ریشه (RDW)[14] اندازه‌گیری شدند. نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی(R/S)[15] در تیمارهای مختلف محاسبه شد. داده های حاصله با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت: تراکم ناشی از عملیات خاک‌ورزی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تغییر می‌دهد و به تبع آن خصوصیات مورفولوژیکی ریشه نیز تغییر می‌کند. به منظور بررسی اثر تراکم و بافت خاک بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی گندم ، دو نوع خاک با بافت سبک (منطقه آبکنار توابع شهرستان انزلی) و سنگین (دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان) برداشت شد. خاک منطقه اطراف دانشکده کشاورزی دارای بافت رسی و خاک منطقه آبکنار دارای بافت شنی بود. ماده آلی دو خاک تقریبا مساوی و حدود ۲ درصد بود و هر دو خاک از نظر حاصلخیزی وضعیت مناسبی داشتند. نتایج مربوط به اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

شاخص مقاومت مکانیکی خاک اندازه گیری شده بوسیله مقاومت سنج نفوذی تفاوت معنی‌داری را در سطح یک درصد در تیمارهای مختلف آزمایشی نشان داد (جدول۲).

مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم و بافت خاک نشان داد که با افزایش تراکم خاک در هر دو نوع بافت، مقاومت مکانیکی خاک به طور معنی داری افزایش یافت، به طوری که کمترین مقاومت مکانیکی خاک، در تیمار صفر درصد تراکم خاک شنی (با مقاومت ۲۳۲/۱۴ کیلوپاسکال) و بیشترین مقاومت خاک در تیمار ۲۰ درصد تراکم خاک رسی (با مقاومت ۱۱۵۵/۹۴ کیلوپاسکال) مشاهده شد، همچنین تفاوت معنی داری بین تراکم های ۱۰ و ۲۰ درصد در خاک شنی مشاهده نشد (جدول۲).

11- Leaf Area (LA)
12- Leaf Dry Weight (LDW)
13- Stem Dry Weight (SDW)
14- Root Dry Weight (RDW)
15- Root/Soot

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک قبل از کاشت

بافت خاک	رس	سیلت	شن	ρ_b ($g.cm^{-3}$)	SP	FC	OM	TN	EC $dS.m^{-1}$	pH
	(درصد)				(درصد)					
رسی	۵۰	۲۹/۴	۲۰/۶	۱/۳	۴۷/۴۱	۲۹/۱۸	۲	۰/۱۴۹	۰/۳۷	۷/۰۶
شنی	۵	۵	۹۰	۱/۶۵	۲۱/۶۴	۷/۴۳	۱/۹۸	۰/۰۹۲	۰/۵۱	۶/۹۲

ρ_b :جرم مخصوص ظاهری خاک، SP: درصد وزنی رطوبت اشباع و TN: نیتروژن کل خاک.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح تراکم در بافت خاک برای مقاومت مکانیکی خاک

بافت خاک	درصد تراکم	مقاومت مکانیکی خاک (KPa)
رسی	صفر	۴۷۲/۳۹[c]
	۱۰	۷۲۶/۰۷[b]
	۲۰	۱۱۵۵/۹۴[a]
شنی	صفر	۲۳۲ /۱۴[b]
	۱۰	۷۰۹/۰۲[a]
	۲۰	۷۶۲ /۷۶[a]

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ندارند

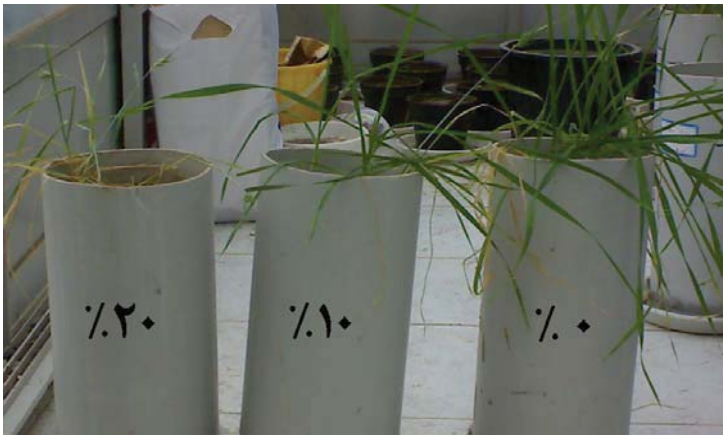
افزایش مقاومت خاک باعث کاهش محدود شدن عمق نفوذ ریشه و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود، در نتیجه اندازه‌گیری مقاومت نفوذ سنجی خاک می‌تواند شاخص خوبی از تراکم پذیری خاک باشد.

خصوصیات مورفولوژیک گیاه

اندام‌های هوایی

وزن تر و وزن خشک کل اندام‌های هوایی و وزن خشک برگ (LDW) (سطح ۱ درصد) و وزن خشک ساقه (SDW) (سطح ۵ درصد) در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول۳). اثر متقابل تراکم در بافت خاک نیز بر صفات فوق معنی دار بود، اما وزن خشک سنبله تفاوت معنی‌داری در هیچکدام از تیمارها نشان نداد (جدول۳). اثر متقابل تراکم در بافت خاک نشان داد که تراکم خاک منجر به کاهش وزن کل تر اندام‌های هوایی در هر دو نوع بافت خاک شد، به طوری که تراکم صفر درصد در خاک رسی و شنی (به ترتیب با میانگین ۱۵/۸۵و ۷/۳۷ گرم)، بالاترین مقدار وزن کل تر اندام‌های هوایی را در مقایسه با تیمارهای متراکم شده خاک داشتند (جدول۴). بالاترین وزن خشک اندام‌های هوایی نیز مربوط به تیمار شاهد (صفر درصد تراکم) به ترتیب با میانگین ۲/۷۴ و ۱/۴۱ گرم در خاک رسی و شنی بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند (جدول۴). بالاترین وزن خشک برگ مربوط به تراکم صفر درصد در خاک رسی (با میانگین۱/۸۱گرم) بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (جدول۴). اثر متقابل تراکم در بافت خاک برای وزن خشک ساقه نشان داد که بالاترین وزن خشک ساقه مربوط خاک رسی با تراکم صفر درصد (با میانگین ۰/۶۴گرم) بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت، اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تراکم خاک برای وزن خشک ساقه در خاک شنی مشاهده نشد (جدول۴). اثر متقابل تراکم در بافت خاک روی نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی (Root/Soot) در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار است (جدول۵)، به طوری که نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی در تیمارهای متراکم خاک رسی افزایش دارد (جدول۵). علت این موضوع را می‌توان ناشی از اثر بیشتر تراکم خاک بر رشد ساقه نسبت به ریشه دانست. نتایج مشابهی توسط پاردو و همکاران (۱۵) و میرانصاری و همکاران (۱۴) گزارش شده است.

سطح برگ تک بوته (LA) در تیمارهای تراکم خاک (در سطح احتمال ۱ درصد) و در تیمارهای نوع خاک و اثر متقابل تراکم در نوع خاک (در سطح احتمال ۵ درصد) تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول۵). بیشترین سطح برگ مربوط به تیمار صفر درصد تراکم خاک رسی (با میانگین ۲۰/۶۴ سانتی متر مربع) بود. تراکم خاک باعث کاهش سطح برگ شد، به طوری که تراکم ۲۰ درصد در خاک رسی و شنی (به ترتیب با میانگین ۱۰/۶۸ و ۱۰/۸۶ سانتی متر مربع) کمترین میزان سطح برگ را داشتند (جدول۴).



شکل۱- اثر تراکم خاک بر رشد اندام‌های هوایی گیاه

محتوای کلروفیل برگ‌ها نیز در بین تیمارهـای آزمایـشی تفـاوت معنی‌داری را (سطح احتمال ۱ درصد) نشان دادند (جدول۵). تیمار ۲۰ درصد تراکم با میانگین ۳۲/۷۸ کمترین و تیمار صفر درصد تـراکم بـا میانگین ۴۱/۳۶، بیشترین مقدار کلروفیل برگ را داشـتند (جـدول۶). این نتایج با گزارش کریستوفرسن و ریلی (۱۰) و برزگـر (۵) مطابقـت دارد. میزان کلروفیل برگ در خاک رسی (با میانگین ۳۹/۴۳) بیشتر از خاک شنی (با میانگین ۳۵/۰۲)، بود (جدول۷). نسبت سطح بـرگ بـه سطح ریشه فقط در تیمار بافت خاک، تفاوت معنی‌داری را (احتمـال ۱ درصد) نشان داد (جدول۵)، به طوری که نسبت سطح برگ بـه سـطح ریشه خاک شنی بیشتر از خاک رسی بـود و بـا ثابـت فـرض نمـودن سطح برگ، می توان اظهار داشت که سطح ریشه خاک شنی کمتـر از خاک رسی است (جدول ۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندام‌های هوایی گندم در تیمارهای تراکم و نوع خاک

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر کل اندام هوایی	وزن خشک کل اندام هوایی	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک سنبله
تراکم	۲	۵۷/۹۷**	۲/۷۰**	۱/۵۲**	۰/۰۸۸*	۰/۰۲۸
بافت خاک	۱	۲۴۱/۴۸**	۰/۹۰**	۰/۳۰	۰/۰۵۲	۰/۰۳۵
تراکم × بافت خاک	۲	۷۰/۴۱**	۰/۸۷**	۰/۲۹*	۰/۰۹۲*	۰/۰۱۴
خطا	۱۰	۰/۸۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (%)		۱۸/۵۷	۱۹/۳۴	۲۹/۴۱	۴۲/۹۲	۱۱۱/۷۵

* و **: به ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تراکم و نوع خاک بر صفات اندام‌های هوایی گندم

بافت خاک	درصد تراکم	وزن تر اندام هوایی (gr)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	LDW (g)	SDW (g)	LA (cm^2)	R/S
رسی	صفر	۱۵/۸۵^{a}	۲/۷۴^{a}	۱/۸۱^{a}	۰/۶۴^{a}	۲۰/۶۴^{a}	۰/۱۰۳^{a}
	۱۰	۶/۸۴^{b}	۱/۱۸^{b}	۰/۸۷^{b}	۰/۲۵^{b}	۱۸/۹۴^{a}	۰/۲۳۷^{b}
	۲۰	۳/۲۰^{c}	۰/۷۵^{b}	۰/۳۹^{c}	۰/۲۱^{b}	۱۰/۶۸^{b}	۰/۲۱۸^{b}
شنی	صفر	۷/۳۷^{a}	۱/۴۱^{a}	۱/۰۶^{a}	۰/۲۵^{a}	۱۹/۸۵^{a}	۰/۲۳۷^{a}
	۱۰	۴/۴۷^{b}	۱/۱۴^{ab}	۰/۷۳^{ab}	۰/۳۲^{a}	۱۲/۵۸^{b}	۰/۱۴۶^{a}
	۲۰	۳/۳۵^{b}	۰/۷۸^{b}	۰/۵۰^{b}	۰/۲۰^{a}	۱۰/۸۶^{b}	۰/۲۳۰^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات اندام‌های هوایی گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک ریشه به اندام هوایی	سطح برگ تک بوته	عدد کلروفیل متر	سطح برگ به سطح ریشه
تراکم	۲	۰/۰۰۴۳	۱۳۴/۷۹**	۱۱۰/۹۳**	۰/۰۰۰۷
بافت خاک	۱	۰/۰۰۱۲	۲۴/۲۹*	۸۷/۵۶**	۰/۰۷۸۶**
تراکم × بافت خاک	۲	۰/۰۱۸۲*	۱۸/۶۸*	۱/۱۳	۰/۰۰۱۵
خطا	۱۰	۰/۰۰۲۹	۳/۲۶	۶/۴۹	۰/۰۰۳۱
ضریب تغییرات (%)		۲۷/۶۴	۱۱/۵۸	۶/۸۴	۴۶/۷۱

* و **: به ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است.

جدول ٦- مقایسه میانگین عدد کلروفیل‌متر و نسبت سطح برگ به سطح ریشه گندم

درصد تراکم	عدد کلروفیل متر	سطح برگ به سطح ریشه
صفر	۴۱/ ۳۶ a	۰/۱۳ a
۱۰	۳۷ / ۵۳ a	۰/۱۱ a
۲۰	۳۲/۷۸ b	۰/ ۱۲ a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۷- مقایسه میانگین عدد کلروفیل‌متر و نسبت سطح برگ به سطح ریشه گندم

بافت خاک	عدد کلروفیل متر	سطح برگ : سطح ریشه
شنی	۳۵/ ۰۲ b	۰/۱۸a
رسی	۳۹/۴۳ a	۰/۰۵b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ندارند

صفات ریشه‌ای

تیمارهای آزمایشی از نظر تأثیر بر صفات وزن تر ریشه (RFW)، حجم ریشه (RV)، وزن تر ریشه به حجم خاک (RMD)، وزن خشک ریشه به حجم خاک (DRMD)، وزن ساقه به وزن ریشه (RDW/SDW)، طول ریشه (TL)، سطح ریشه (RA)، چگالی طول ریشه (RLD)، چگالی سطح ریشه (RSD) (سطح ۱ درصد) و وزن خشک ریشه (RDW) و نیتروژن کل ریشه (سطح ۵ درصد)، تفاوت معنی‌داری با هم داشته، اما از نظر چگالی ریشه (RDW/RV) تفاوت معنی‌داری نداشتند (جداول ۸ و ۱۱). تراکم خاک باعث کاهش کلیه صفات ریشه‌ای در بوته‌های گندم شد اما این افزایش تفاوت معنی‌داری با نوع خاک نشان نداد. بالاترین وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه مربوط به تیمار شاهد (به ترتیب با میانگین ۳/۷۴ و ۰/۳ گرم) بود. بیشترین حجم ریشه نیز مربوط به تیمار بدون تراکم (با میانگین ۴/۲۵ سانتیمتر مکعب) بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای متراکم شده داشت. بالاترین RMD و DRMD مربوط به تیمار صفر درصد تراکم (به ترتیب با میانگین ۰/۷۴ و ۰/۰۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود (جدول۹).

جدول ۸- تجزیه واریانس صفات ریشه‌ای گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		RFW	RDW	RV	RMD	DRMD	نیتروژن کل ریشه
تراکم	۲	۷/۵۴**	۰/۰۲۷۰*	۷/۲۹**	۰/۲۹۹**	۰/۰۰۱۰۸**	۰/۰۹۷
بافت خاک	۱	۲/۴۱	۰/۰۰۱۴	۲/۰۰	۰/۰۹۶	۰/۰۰۰۰۵	۰/۱۹۹*
تراکم × بافت خاک	۲	۱/۰۱	۰/۰۱۰۲	۰/۷۹	۰/۰۴۰	۰/۰۰۰۴۶*	۰/۱۳۸*
خطا	۱۰	۰/۵۶	۰/۰۰۳۷	۰/۷۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۳۲
ضریب تغییرات (%)		۱۸/۵۷	۱۹/۳۴	۲۹/۴۱	۴۲/۹۲	۱۱۱/۷۵	۱۲/۲۷

* و **: به ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است.

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات ریشه‌ای گندم

درصد تراکم	RFW (g)	RDW (g)	RV (cm^3)	RMD ($kg.m^{-3}$)	DRMD ($kg.m^{-3}$)
صفر	^{a}۳/۷۴	۰/۳۰ ^{a}	۴/۲۵ ^{a}	۰/ ۷۴ ^{a}	۰/ ۰۶۱ ^{a}
۱۰	^{b}۲/۳۵	۰/۲۲ ^{ab}	۲/۵۸ ^{b}	۰/۴۶ ^{b}	۰/ ۰۴۵ ^{ab}
۲۰	^{b}۱/۵۲	۰/۱۷ ^{b}	۲/۱۶ ^{b}	۰/ ۳۰ ^{b}	۰/ ۰۳۵ ^{b}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح تراکم در بافت خاک برای نیتروژن کل ریشه

نوع خاک	درصد تراکم	نیتروژن کل ریشه (%)
رسی	صفر	۱/۷۰^{a}
	۱۰	۱/۵۸^{a}
	۲۰	۱/۳۵^{a}
شنی	صفر	۱/۵۷^{a}
	۱۰	۱/۰۱^{b}
	۲۰	۱/۵۲^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۱۱- تجزیه واریانس صفات ریشه‌ای گندم در تیمارهای تراکم و نوع خاک

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن ساقه به وزن ریشه	طول ریشه	سطح ریشه	چگالی ریشه	چگالی طول ریشه	چگالی سطح ریشه
تراکم	۲	۰/۱۷	۵۹۷۶۸۳۳**	۸۶۱۳۳**	۱۰۲۳	۲۳۶۷۹۴۲۷**	۰/۸۴**
بافت خاک	۱	۰/۲۱	۱۹۱۸۶۲۵	۲۳۲۹۵	۱۱۵۶	۷۶۰۱۳۴۷	۰/۲۷
تراکم × بافت	۲	۲/۵۰**	۸۰۹۴۲۰	۱۰۱۲۶	۶۶/۵۰	۳۲۰۶۸۱۸	۰/۱۱
خطا	۱۰	۰/۳۱	۴۵۷۴۰۷	۵۴۵۸	۳۹۹	۱۷۸۹۳۷۹	۰/۰۶
ضریب تغییرات (%)		۳۹/۸۷	۲۹/۴۱	۲۵/۵۳	۲۴/۲۳	۲۹/۷۱	۲۹/۷۰

* و **: به ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین صفات ریشه‌ای گندم

تراکم	وزن ساقه به وزن ریشه	طول ریشه (cm)	سطح ریشه (cm^2)	چگالی ریشه ($kg.m^{-3}$)	چگالی طول ریشه ($km.m^{-3}$)	چگالی سطح ریشه ($km^2.m^{-3}$)
صفر	۱/ ۵۶ ^{a}	۳۳۳۲ ^{a}	۴۲۱/۵۰ ^{a}	۷۱/ ۳۰ ^{a}	۶۶۳۳/۴ ^{a}	۱/ ۲۵ ^{a}
۱۰	۱/۴۵ ^{a}	۲۰۹۳^{b}	۲۵۸/۴۲ ^{b}	۹۶/ ۸۳ ^{a}	۴۱۶۷/ ۴ ^{b}	۰/ ۷۸ ^{b}
۲۰	۱/ ۲۳ ^{a}	۱۳۵۷^{b}	۱۸۷/۹۱ ^{b}	۷۹/ ۲۸ ^{a}	۲۷۰۲/۴ ^{b}	۰/ ۵۱ ^{b}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ندارند.

ارزیابی اثر متقابل تراکم در بافت خاک برای محتوای نیتروژن ریشه نشان داد که نیتروژن ریشه در تیمار صفر درصد تراکم خاک شنی با میانگین ۱/۵۷ درصد، از سایر تیمارها بیشتر بود، در حالی که میزان نیتروژن ریشه در تیمار صفر درصد تراکم خاک رسی با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۱۰). تراکم خاک باعث کاهش طول ریشه، سطح ریشه، چگالی طول ریشه و چگالی سطح ریشه شد. بیشترین طول ریشه، سطح ریشه، چگالی طول ریشه و چگالی سطح ریشه در تیمار بدون تراکم (به ترتیب با میانگین ۳۳۳۲/۶ سانتی‌متر ، ۴۲۱/۵ سانتی‌متر مربع ، ۶۶۳۳/۴ کیلومتر بر مترمکعب، ۱/۲۵ کیلومترمربع بر مترمکعب) بدست آمدند (جدول۱۲). نتایج حاصله با گزارش گلب (۸)، وین (۲۱) و تیلور و راتلیف (۱۸) مطابقت داشت. آنها گزارش کردند در شرایطی که مقاومت مکانیکی

خاک، فشار ۵۰۰ کیلو پاسکال است، میزان رشد ریشه گیاهان فسکیوی بلند، پنبه و بادام زمینی در خاک کاهش پیدا می کند.

نتیجه گیری

نتایج کلی این آزمایش نشان داد که با افزایش تراکم خاک، صفات مربوط به اندام‌های هوایی و ریشه‌ای گیاه گندم تحت تاثیر قرار گرفته و در تراکم ۲۰ درصد با مقاومت نفوذی ۱۲۰۰ کیلو پاسکال در خاک رسی و ۷۶۲/۷۶ کیلوپاسکال در خاک شنی، رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه محدود شد.

منابع

۱- آریان نیا ن.، نادیان ح. و سیادت س.ع. ۱۳۸۱. تأثیر سطوح مختلف فشردگی خاک و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. مجله علمی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز. جلد ۲۵ شماره ۲.

۲- برزگر ع. ۱۳۸۳. فیزیک خاک پیشرفته. انشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران. ۳۰۹ صفحه.

۳- لرزاده ش.، نادیان ح. و بخشنده ع.م. ۱۳۸۱. اثر سطوح مختلف تراکم خاک بر عملکرد کیفی و خصوصیات فیزیولوژیکی رشد گیاه نیشکر در استان خوزستان. هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر، ۹-۱۳ شهریور، کرج.

4- Barley K.P. 1970. The configuration of root system in relation to nutrient uptake. Adv. Agron. 22:159-201.

5- Barzegar A.R., Nadian H., Heidari F., Herbert S.J., and Hashemi A.M. 2006. Interaction of soil compaction, phosphorus and zinc on clover growth and accumulation of phosphorus. Soil and Till. Res. 87, 155–162.

6- Chaudhary M.R., and Prihar S.S. 1974. Root development and growth response of corn following mulching, cultivation, or interrow compaction. Agron. J. 66:350-355.

7- Ganjali A., Kafi M., Bagheri A.R., and Shahriari Ahmadi F. 2003. Allometric relationship for root and shoot characteristics of chickpea seedlings (*Cicer arietinum*) J. Agri. Sci. Thech. 18: 1.67-80.

8- Glab T. 2007. Effect of soil compaction on root system development and yields of tall fescue. Int. Agrophysics, 21: 233-239.

9- Hajabbasi M.A. 2001. Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. J. Agric. Sci. Tech. 3: 67-77.

10- Kristoffersen A., and Riley H. 2005. Effects of soil compaction and moisture regime on the root and shoot growth and phosphorus uptake of barley plants growing on soils with varying phosphorus status. Nutr. Cycl. Agroecosys. 72: 135–146.

11- Klute A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Madison, Wisconsin, USA.

12- Lipiec J., Hakansson I., Tarkiewicz S., and Kossowski J. 1991. Soil physical properties and growth of spring barley related to the degree of compactness of two soils. Soil Till. Res. 19, 307-317.

13- Lipiec J., Medvedev V.V., Birkas M., Dumitru E., Lyndina T.E., and Rousseva S. 2003. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe. Int. Agrophysics, 17: 61–69.

14- Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F., and Malakouti M.J. 2008. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. Soil & Till. Res. Soil Sci. 103: 282–290.

15- Pardo A., Amato M., and Chiaranda F.Q. 2000. Relationship between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. Eur. J. Agron. 13, 39–45.

16- Russell R.S. 1981. Root Growth in Relation to Maximizing Yields. In: "Agricultural Yield Potentials in Continental Climates". Proc. Colloq. Int. Potash Institute, 16th , Poland. Warsaw. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland. Pp. 23-47.

17- Taylor H.M., and Brar G.S. 1969. Effect of soil compaction on root development. Agronomy, Horticulture and Entomology Department, Texas Tech. Universtiy, Lubbock, TX 79409, U.S.A.

18- Taylor H.M., and Ratliff L.F. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. Soil Sci. 108, 113-119.

19- Taylor H.M., Huck M.G., Klepper B., and Lund Z.F. 1970. Measurement of soil-grown roots in a rhizotron. Agron. J. 62:807-809.

20- Trouse A.C. 1971. Soil Conditions as they Affect Plant Establishment, Root Development and Yield. In: Ed., "Compaction of Agricultural Soils", ASAE Monograph, Am. Soc. Ag. Eng, St. Joseph Ml. pp. 241-268.

21- Veen B.W. 1982. The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. Plant Soil, 66:101-109.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 727-735

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۷۳۵-۷۲۷

Soil Compaction and Texture Effects on the Growth of Roots and Shoots of Wheat

S. Akhavan[1]- M. Shabanpour[2*]- M. Esfahani[3]

Received: 30-5-2011
Accepted: 4-2-2012

Abstract

In order to study the effect of soil compaction on root and shoot growth of wheat plants (Shahriar variety), a greenhouse pot experiment was conducted in Guilan University. The study design was factorial with completely randomized in three replications. Treatments included three compaction levels; (normal compaction, compaction of ten percent and twenty percent) and two type of soil texture (clay and sand) will include 18 pots. Soil mechanical resistance index measured with the device influence the resistance gauge significant differences among treatments indicated. Root and shoot traits measured included plant fresh weight and total shoot dry weight, leaf dry weight (LDW), stem dry weight (SDW), root fresh weight (RFW), root dry weight (RDW), leaf area (LA), root area (RA), root volume (RV), root length (TL), root dry weight ratio of shoots, leaf area to root ratio (LA/RA), root length density (RLD), root surface area density (RSD), root mass density (RMD), dry root mass density (DRMD) and nitrogen content of roots, significant difference in the levels indicated treatments. The results showed that increasing the compaction of soil are affected characteristics related to the shoot and root of wheat plants, and twenty percent of the compaction (influence resistance 1200 KPa in the clay soil and 762.76 Kpa in the sandy soil) is limited roots and shoots growth than the natural soil.

Keywords: Shoots of plant, Soil compaction, Roots, Wheat

1,2- Former MSc Student and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan
(* Corresponding Author Email: shabanpour@guilan.ac.ir)
3-Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Guilan