نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۳، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۲، ص ۳۱-۲۴

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 3, No. 1, Spring - Summer 2013, p. 24-31

تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک، شاخص‌های فنی و عملکرد گندم

سیدمحمدجواد افضلی[۱*] - ابراهیم جواهری[۲]

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۵
تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۸

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات روش‌های خاک‌ورزی با تأکید بر عمق نفوذ ادوات بر میزان مقاومت فروروی، شاخص‌های فنی و عملکرد گندم انجام گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار و در دو سال اجرا شد. تیمارها شامل چهار روش خاک‌ورزی گاوآهن برگردان‌دار+ دو بار دیسک+ ماله (CT)، دو بار دیسک+ ماله (RT)، زیرشکن+ دو بار دیسک+ ماله (S_1D) و زیرشکن+ روتیواتور (S_1R) بود. نتایج داده‌های برداشت شده از میزان مقاومت فروروی خاک نشان داد که در اواخر فصل رشد، خاک مجدداً تراکم خود را در عمق‌های مختلف به‌دست آورد، ولی با توجه به آنکه میزان نفوذ تجمعی آب آبیاری در اواخر دوره رشد، در تیمارهای زیرشکنی بیشتر بود می‌توان بیان داشت که زیرشکنی سبب ایجاد شیارهای باریک پایدار در خاک گشته است. همچنین در تیمارهای S_1D و S_1R میزان مصرف سوخت به میزان ۲/۲ و ۱۰/۴۴ لیتر در هکتار و زمان انجام عملیات به میزان ۰/۵۸ و ۱/۵۴ ساعت در مقایسه با تیمار CT کاهش یافت. نتایج بررسی عملکرد دانه نشان داد که اگر به صورت سالیانه عملیات زیرشکنی به جای گاوآهن برگردان‌دار به کار گرفته شود، عملکرد دانه ۸/۵ درصد افزایش خواهد یافت. روش‌های زیرشکنی را می‌توان به‌دلیل برتری در شاخص‌های فنی و همچنین حذف عملیات ماخار[۳] و کاهش تراکم کاری در زمان کشت محصول دارای برتری دانست. همچنین روش‌های زیرشکنی سبب ۲۲ درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به روش کم‌خاک‌ورزی گردید.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی، زیرشکن، فشردگی خاک، گندم

مقدمه

تراکم خاک، مهمترین عاملی است که سبب از بین بردن ساختمان خاک شده و نتیجه آن ممانعت از نفوذ عمقی ریشه می‌باشد. یازده درصد کل زمین‌های زراعی در سطح جهان دارای مشکل تراکم می‌باشند (Van Lynden, 2000). در اثر عبور چرخ‌های تراکتور و ادوات کشاورزی در سالیان متوالی در اجرای عملیات زراعی، جرم مخصوص ظاهری افزایش و فروروی خاک کاهش می‌یابد. با افزایش تراکم خاک، گنجایش رطوبتی خاک کاهش می‌یابد (Azizie agh ghaleh, 2001). این عامل باعث کاهش اکسیژن قابل دسترس گیاه و افزایش دی‌اکسیدکربن خاک و صدمه رساندن به گیاه می‌شود. در خاک‌هایی که دارای تراکم بوده‌اند با انجام عملیات زیرشکنی، طول ریشه و عملکرد محصول افزایش یافته است (Soane and Van Quwerkerk, 1994; Unger and Kaspar, 1994). شاخص‌هایی نظیر افزایش مقاومت فروروی خاک به میزان ۲ مگاپاسکال و نیز ایجاد محیطی با میزان تخلل کمتر از ۱۰ درصد، مؤید شرایط نامناسب برای توسعه ریشه گیاه است (Gupta and Larson, 1982).

بعضی تحقیقات نشان داد که کاربرد زیرشکن دارای تأثیر کوتاه‌مدت بر جرم مخصوص ظاهری خاک بود ولی بر عملکرد محصول تأثیری نداشت (Evans *et al.*, 1996). تحقیقات دیگر نشان داد که زیرشکنی در خاک با بافت لوم رسی سیلتی (silty clay loam) در زمین دارای لایه سخت، عملکرد را افزایش داد، ولی این افزایش عملکرد کمتر از میزان آن در زمین‌های فاقد لایه سخت

۱- کارشناس بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی خوزستان
(*- نویسنده مسئول: Email: moja_afzali@yahoo.com)
۲- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳- ماخار به یک مرحله آبیاری گفته می‌شود که در اراضی دارای بافت سخت قبل از عملیات تهیه زمین و به منظور قابلیت کاربرد ادوات در حداقل مقاومت خاک (ظرفیت مزرعه‌ای) و کاهش مقاومت کششی ادوات انجام می‌گردد.

بود (Al-Adawi and Reeder, 1996). نتایج تحقیقات در یک خاک با بافت رس سیلتی نشان داده که استفاده از زیرشکن در عمق ۳۵-۳۰ سانتی‌متر جرم مخصوص ظاهری خاک و مقاومت خاک را کاهش داده و عملکرد گندم را ۳/۸ درصد افزایش داد و همچنین سبب افزایش سود هکتاری کشاورز به میزان ۵۷۵۰۰۰۰ ریال گردید (Solhjo and Niazi, 2001; Solhjo and Mohammadi, 2006). تحقیق انجام یافته در استان گلستان بر عملکرد گندم نشان داد که برای تولید گندم همراه با آبیاری در طول دوره رشد، روش خاک‌ورزی عمیق با زیرشکن و شخم و دیسک و در شرایط دیم و بدون آبیاری خاک‌ورزی سطحی با دیسک به جهت حفظ رطوبت در لایه‌های عمقی خاک، بیشترین عملکرد را تولید کردند (Sadeghnejad and Eslami, 2006).

در اکثر زمین‌های کشاورزی استان خوزستان به‌دلیل تردد ادوات و ماشین‌های کشاورزی در سالیان متوالی یک لایه سخت در زیر عمق نفوذ ادوات کشاورزی ایجاد شده است. استفاده از ادوات در رطوبت‌های نامناسب و چسبنده بودن خاک‌های رسی، تراکم خاک را تشدید نموده است. بدین منظور ممکن است استفاده از زیرشکن به‌منظور از بین بردن این لایه به‌منظور افزایش عملکرد محصول ضرورت داشته باشد. هدف از اجرای این تحقیق یافتن مناسب‌ترین روش خاک‌ورزی، در اراضی دارای بافت سنگین استان خوزستان، با توجه به شاخص‌های فنی، فشردگی خاک و عملکرد گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۷-۱۳۸۶ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاوور) اجرا شد. این منطقه دارای آب و هوای خشک، میزان متوسط بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلی‌متر و خاک آن دارای بافت رس سیلتی (silty clay) می‌باشد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) و در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار روش خاک‌ورزی گاوآهن برگردان‌دار+ دو بار دیسک+ ماله (CT)، دو بار دیسک+ ماله (RT)، زیرشکن+ دو بار دیسک+ ماله (S_1D) و زیرشکن+ روتیواتور (S_1R) بود. در سال دوم به‌منظور بررسی دوام اثر زیرشکنی، در تیمارهای S_1D و S_1R به جای زیرشکن از گاوآهن برگردان‌دار به عنوان خاک‌ورزی اولیه استفاده گردید و یک تیمار جدید به تیمارها افزوده شد که در آن تیمار، زمین در سال دوم، زیرشکن زده شد و پس از آن دو بار دیسک و ماله جهت خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح سطح خاک استفاده گردید (S_2D). ابعاد هر کرت ۳×۱۰ متر و فاصله بین تکرارها ۱۰ متر بود. عمق گاوآهن برگردان‌دار ۲۰ سانتی‌متر، عمق زیرشکن ۵۰ سانتی‌متر و عمق ادوات خاک‌ورز ثانویه ۱۰ سانتی‌متر بود. شاخه‌های زیرشکن از نوع مستقیم بودند. فاصله بین تیغه‌های زیرشکن، ۶۰ درصد بیش از عمق نفوذ آن (۷۵ سانتی‌متر) منظورگردید (Anonymous, 2003).

مقاومت فروروی خاک

این اندازه‌گیری توسط دستگاه فروسنج مخروطی (پنترولاگر) مدل Eijkelkamp ساخت کشور هلند انجام گردید. دستگاه مذکور از جدیدترین مدل‌های اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک است و قادر است تا فشار ۱۰ مگاپاسکال را اندازه‌گیری نماید. حداکثر عمق قابل استفاده از دستگاه ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. نوک این دستگاه از یک مخروط با زاویه رأس ۳۰ درجه و قطر ۱۲/۸۳ میلی‌متر ساخته شده و طبق معیار انجمن مهندسین زراعی آمریکا استفاده گردید (Anonymous, 1995). در این تحقیق اندازه‌گیری مقاومت فروروی در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر با دقت یک سانتی‌متر و در زمان گاورو بودن مزرعه انجام شد. در سال اول اندازه‌گیری، قبل از گلدهی برای هر کرت به‌طور جداگانه در ۵ نقطه عمود بر جهت حرکت ادوات و تراکتور، هر ۳۰ سانتی‌متر و تا عمق ۵۰ سانتی‌متر انجام گردید،

جدول ۱- خلاصه عملیات ماشینی مورد نیاز برای اجرای عملیات خاک‌ورزی در تیمارهای مختلف

Table 1- Farm machinery operations required to apply different tillage treatments

تیمارها Traetments	روش خاک‌ورزی Tillage method	نوع و ترتیب عملیات Operations type and arrangement
CT	مرسوم Conventional tillage	گاوآهن+ دو بار دیسک+ ماله Moldboard plow+ 2 pass disc+ leveler
RT	کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	دو بار دیسک+ ماله 2 pass disc+ leveler
S_1D	زیرشکنی در سال اول Subsoiling in 1st year	زیرشکن در سال اول (گاوآهن در سال دوم)+ دو بار دیسک+ ماله Subsoiler in 1st year (Moldboard plow in 2nd year)+ 2 pass disc+ leveler
S_1R	زیرشکنی در سال اول Subsoiling in 1st year	زیرشکن در سال اول (گاوآهن در سال دوم)+ رتیواتور Subsoiler in 1st year (Moldboard plow in 2nd year)+ rotivator
S_2D	زیرشکنی در سال دوم Subsoiling in 2nd year	زیرشکن در سال دوم+ دو بار دیسک+ ماله Subsoiler in 2nd year+ 2 pass disc+ leveler

یعنی با توجه به اینکه از زیرشکن سه شاخه استفاده گردید و فاصله بین هر دو شاخه ۷۵ سانتی‌متر بود فاصله شاخه اول تا آخر (۱۵۰ سانتی‌متر) به پنج قسمت مساوی تقسیم شده و از هر قسمت یک نمونه برداشت گردید. با توجه به اینکه آزمون در سه تکرار انجام گردید، تعداد نمونه‌ها از هر تیمار پانزده عدد بود. در سال دوم اندازه‌گیری به همین طریق در دو مرحله شروع ساقه‌رفتن و شروع گلدهی انجام شد.

نفوذ تجمعی آب در خاک

این آزمون با استفاده از استوانه مضاعف انجام گردید. در این روش، در زمان آبیاری محصول در زمان گلدهی، ابتدا دو استوانه متحدالمرکز (به قطرهای ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر) به عمق ۲۰ سانتی‌متر در ۳ نقطه از هر کرت قرار گرفت. استوانه داخلی برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ به کار می‌رود. برای جلوگیری از حرکت افقی آب در فاصله بین دو استوانه داخلی و خارجی آب ریخته شد. سپس یک پلاستیک بر روی فضای داخلی استوانه داخلی قرار داده و پر از آب گردید. پس از آن پلاستیک به سرعت از یک سمت برداشته شد و ارتفاع آب درون استوانه داخلی قرائت گردید. سپس به‌وسیله خط‌کش در زمان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه و در جمع به مدت ۳ ساعت میزان افت آب در استوانه داخلی اندازه‌گیری شده تا سرعت نفوذ تقریباً یکنواخت گردید. سپس نمودار میزان نفوذ تجمعی خاک در واحد زمان رسم گردید.

عملکرد دانه

پس از حذف حاشیه کرت، تعداد سه نقطه تصادفی با انداختن کادر ۱×۱ متر مشخص و محصول درون آن‌ها برداشت و عملکرد دانه معین شد. سپس عملکرد دانه بر اساس رطوبت استاندارد ۱۴درصد به‌وسیله رابطه (۱) محاسبه گردید (Dehghan and Almassi, 2007).

$$Y_{ws} = \frac{y_f \times (100 - VL)}{100 - W_s} \qquad (۱)$$

Y_{ws} = وزن دانه با رطوبت استاندارد (gr)

y_f = وزن دانه با رطوبت مزرعه (gr)

VL = درصد رطوبت دانه در مزرعه

W_s = درصد رطوبت استاندارد

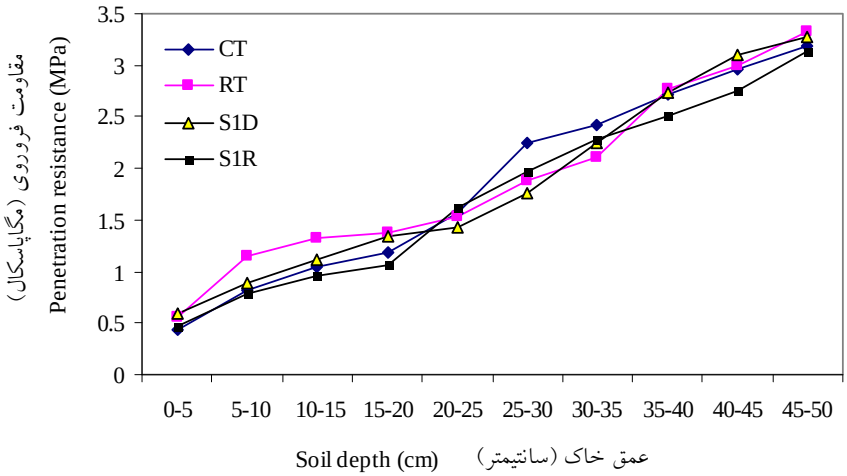
نتایج و بحث

مقاومت فروروی خاک

این پارامتر در سال اول در زمان گلدهی محصول و در زمان گاورو بودن زمین انجام گرفت. نتایج نشان‌دهنده یکسان بودن اثر تیمارها بر افزایش مقاومت فروروی خاک در زمان گلدهی محصول بود (شکل ۱). بنابراین ممکن است که خاک‌های رسی در اثر خصوصیت چسبندگی و انجام چند بار آبیاری خاک پس از مدتی نشست نموده و مقاومت فروروی خاک مجدداً افزایش یابد. به‌منظور اطمینان از این فرضیه در سال دوم اجرای پروژه، این اندازه‌گیری در دو مرحله شروع ساقه‌دهی و شروع گلدهی انجام گردید. نتایج انجام مقایسه روند افزایش مقاومت فروروی خاک با افزایش عمق خاک در زمان ساقه‌دهی محصول نشان داد که تیمارهای زیرشکنی باعث کاهش بیشتری در مقاومت فروروی خاک در این مرحله شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که تیمار S_2D در مقایسه با تیمارهای دیگر مقاومت فروروی خاک کمتری را دارا بود. دلیل این امر این است که در تیمارهای دیگر حداقل یک سال از زمان زیرشکنی آن گذشته بود و خاک مجدداً فشرده شده بود. نتایج سال دوم در خصوص تراکم طبیعی خاک در اثر آبیاری را تأیید نمود. روش‌های کم‌خاک‌ورزی به دلیل انجام فعالیت در عمق کم، مقاومت فروروی را فقط در همان محدوده کاهش دادند و در سایر عمق‌های خاک میزان مقاومت فروروی بالاتر از سایر تیمارها بود. در این زمینه اکثر محققین نشان داده‌اند که مقاومت فروروی خاک در سیستم‌های کم یا عدم خاک‌ورزی نسبت به خاک‌هایی که خاک‌ورزی معمول در آن‌ها شده است، بیشتر می‌باشد (Qrant and Laftond, 1993; Ismail *et al.*, 1994; Sadeghnejad and Eslami, 2006). با فرض آنکه فعالیت ریشه در محدوده مقاومت فروروی کمتر از ۲ مگاپاسکال انجام می‌گردد تا مرحله ساقه‌دهی به ترتیب در تیمارهای CT، RT، S_1D، S_1R و S_2D ریشه‌ها قادر به فروروی تا عمق ۳۰، ۳۳، ۳۶، ۳۵ و ۴۱ سانتی‌متری خواهند بود (شکل ۲).

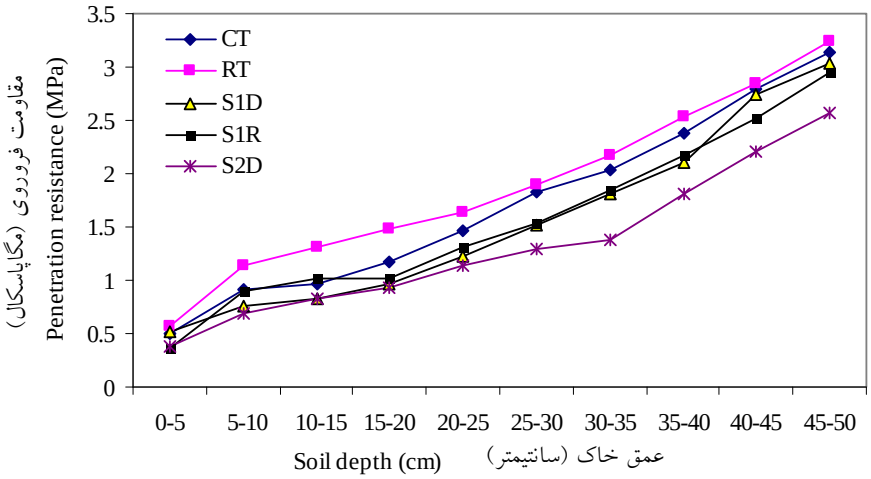
اندازه‌گیری مقاومت فروروی در زمان گلدهی در سال دوم نشان‌دهنده عدم تفاوت زیاد در بین تیمارها در عمق بیشتر از ۲۸ سانتی‌متری بود (شکل ۳). در عمق‌های کمتر نیز به‌جز تیمار RT که در آن مقدار مقاومت فروروی خاک بیش از تیمارهای دیگر بود در سایر تیمارها تفاوت زیادی مشاهده نگردید (شکل ۳). در نتیجه میزان فروروی خاک با گذشت زمان در اواخر فصل کاهش می‌یابد. در این مرحله از رشد محصول، نفوذ ریشه نیز به ترتیب (با در نظر گرفتن قدرت نفوذ ریشه تا منطقه دارای مقاومت فروروی ۲ مگاپاسکال) در تیمارهای CT، RT، S_1D، S_1R و S_2D تا عمق ۳۴، ۲۷، ۳۳، ۲۹ و ۳۳ سانتی‌متری امکان‌پذیر بود (شکل ۳).

با توجه به شکل‌های ۱ تا ۳ می‌توان دریافت که تراکم عمقی (و نه لایه‌ای) در زمین‌های کشاورزی استان خوزستان ممکن است به خاطر انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه در زمین‌های دارای رطوبت ماخار شده و خاصیت چسبندگی خاک‌های سنگین باشد.



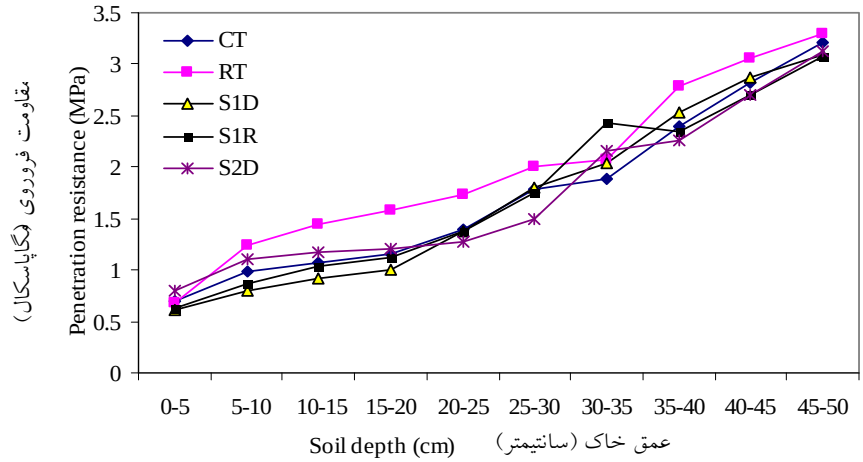
شکل ۱- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک در سال اول در زمان گلدهی

Fig. 1. Effect of tillage methods on Cone Index in 1st year on flowering stage



شکل ۲- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک در سال دوم در زمان ساقه رفتن

Fig. 2. Effect of tillage methods on Cone Index in 2nd year on stem development stage



شکل ۳- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک در سال دوم در زمان گلدهی

Fig. 3. Effect of tillage methods on Cone Index in 2nd year on flowering stage

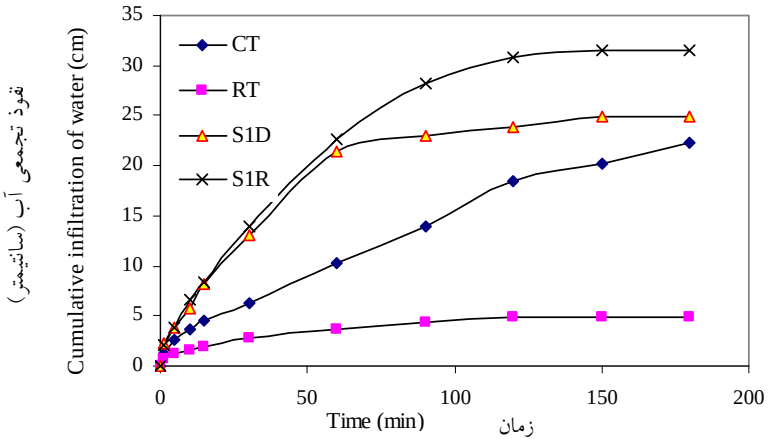
نفوذ تجمعی آب در خاک

همان‌گونه که عنوان گردید در اواخر فصل رشد، وضعیت فشردگی خاک در تیمارهای مختلف یکسان بود. از آنجا که نفوذ تجمعی آب در تیمارهای زیرشکنی اختلاف زیادی را نسبت به تیمارهای دیگر نشان داد (شکل ۴)، شاید بتوان نتیجه گرفت در اواخر فصل رشد اثرات باقیمانده زیرشکنی فقط محدود به محل عبور شاخه‌های زیرشکن بوده و در نتیجه فقط هدایت آب را تسریع داده و در فاصله بین شاخه‌ها در اثر بافت سنگین خاک و چند مرحله آبیاری، تراکم خاک مجدداً ایجاد گردید. این امر می‌تواند در جذب آب بیشتر توسط ریشه گیاه مؤثر بوده و عملکرد دانه را افزایش دهد (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مؤید نظرات دیگر محققین بوده است که نشان دادند عملیات زیرشکن نسبت به اجرای عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار، باعث افزایش نفوذ آب در خاک در حدود دو برابر شد و دلیل آن را شکستن لایه سخت و خرد شدن خاک‌دانه‌ها دانستند (Majidi Iraj and Raoufat, 1997).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها برای روش‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه به میزان ۴۳۰۷ و ۳۵۱۷ کیلوگرم بر هکتار به ترتیب متعلق به روش‌های خاک‌ورزی S_1R و RT بود (جدول ۲).

بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد دانه در سال‌های مختلف نشان داد که در سال اول تیمارهای زیرشکنی عملکرد دانه را به‌طور معنی‌دار افزایش داد (جدول ۲). در سال دوم تیمار اضافه شده خاک‌ورزی عمیق که در آن زیرشکنی در سال دوم اجرا شد به عنوان تیمار برتر شناخته شد ولی تأثیرات زیرشکنی که در سال اول انجام شده بود کم شد.



شکل ٤– تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر روند میزان نفوذ تجمعی آب در خاک در سال اول در زمان گلدهی

Fig.4. Effect of tillage methods on cumulative infiltration of water at 1st year on flowering stage

جدول ۲– مقایسه میانگین عملکرد دانه به روش چند دامنه‌ای دانکن، در سطح ۵ درصد

Table 2- Comparison of grain yield, using Duncan's Multiple Range Test ($p<0.05$)

تیمارها Treatments	سال اول 1st year	سال دوم 2nd year	دو سال Mean of 2 year
گاوآهن برگردان‌دار+ دو بار دیسک (CT)	4083 b	4251 ab	4167 a
دو بار دیسک (RT)	3753 b	3407 b	3517 b
زیرشکن در سال اول+ دو بار دیسک (S_1D)	4568 a	3817 ab	4192 a
زیرشکن در سال اول+ رتیواتور (S_1R)	4520 a	4094 ab	4307 a
زیرشکن در سال دوم+ دو بار دیسک (S_2D)		4462 a	

CT= Moldboard plow +2 pass disc, RT= 2 pass disc (reduced tillage), S_1D= Subsoiler in 1st year +2 pass disc, S_1R= Subsoiler in 1st year + Rotivator, S_2D= Subsoiler in 2nd year + 2 pass disc

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

به‌نحوی که تفاوت آماری بین آن‌ها و روش خاک‌ورزی مرسوم (CT) مشاهده نگردید (جدول ۲). این نتیجه منطبق با نتیجه تحقیقات دیگر محققین بود که گزارش دادند به‌منظور افزایش عملکرد دانه در سال دوم اجرای عملیات، باید در سال اول پس از زیرشکنی، خاک توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شود تا بقایا به عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک منتقل شده و رطوبت خاک را حفظ نمایند و انجام زیرشکنی بدون انجام شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار فقط در سال اول عملکرد دانه گندم را به میزان ۱۷ درصد افزایش داد (Sadeghinejad and Eslami, 2006). در نتیجه می‌توان عنوان داشت در شرایط خاک‌های خوزستان اثر زیرشکنی حداقل تا یک سال پس از آن قادر به افزایش عملکرد دانه گندم خواهد بود. از آنجا که مصرف آب در تیمارهای زیرشکنی در اواخر دوره رشد بالاتر بوده است (شکل ۴)، لذا احتمالاً اثر شیارهای ایجاد شده توسط زیرشکن تا پایان دوره رشد باقی مانده است. با توجه به اینکه تفاوت عملکرد تیمارها در سال دوم در بین تیمارهای بکارگیری زیرشکنی در سال اول و روش‌های مرسوم کاهش یافت، می‌توان بیان داشت که با توجه به بافت سنگین خاک در اراضی جنوب استان خوزستان، این اراضی قابلیت فشردگی طبیعی در اثر افزایش دفعات آبیاری را داشته و در طی حدود یک سال مجدداً در عمق‌های پایین به تدریج متراکم می‌گردند.

شاخص‌های فنی

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های فنی نشان داد که روش‌های مختلف خاک‌ورزی تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۱ درصد از نظر شاخص‌های مصرف سوخت، زمان مورد نیاز و ظرفیت مزرعه‌ای دارند (جدول ۳).

مصرف سوخت

نتایج مقایسه روش‌های خاک‌ورزی از نظر مصرف سوخت در واحد سطح نشان داد که بیشترین مصرف سوخت با ۴۱/۲۴ لیتر بر هکتار به تیمار CT و کمترین آن با ۱۹/۹۰ لیتر بر هکتار به تیمار RT اختصاص داشت (جدول ۴). علت افزایش مصرف سوخت در تیمار RT، بالاتر بودن تعداد عملیات و عرض کم گاوآهن برگردان‌دار و پایین بودن سرعت کار با این وسیله بود. البته تیمار S_1R از نظر میزان مصرف سوخت با ۳۰/۸۰ لیتر، با تیمار RT تفاوت معنی‌دار نشان نداده است و در صورت افزایش میزان عملکرد محصول و کاهش زمان انجام عملیات می‌تواند جایگزین آن شود (جدول۴). میزان مصرف سوخت در روش کم‌خاک‌ورزی حدود ۴۶ درصد مقدار

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر روش‌های خاک‌ورزی بر شاخص‌های فنی

Table 3- Analysis of variance of the effect of tillage methods on technical indices

MS		df	
زمان مورد نیاز required time (h ha^{-1})	مصرف سوخت Fuel consumption (lit ha^{-1})		
0.83	20.58	2	Replication
28.21 **	280.57 **	3	Treatment
0.08	23.71	6	Error
		11	Total
13.28	14.87		c.v

** = Significant at 1%

جدول ٤– تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر شاخص‌های فنی

Table 4- Effect of tillage methods on technical indices

روش‌های خاک‌ورزی Tillage methods	مصرف سوخت Fuel consumption (lit ha^{-1})	زمان عملیات Operations time (h ha^{-1})
گ. برگردان‌دار+ دو بار دیسک+ ماله (CT)	41.24 a	3.20 a
دو بار دیسک+ ماله (RT)	19.90 b	1.25 b
زیرشکن+ دو بار دیسک+ ماله (S_1D)	39.04 a	2.62 a
زیرشکن+ روتیواتور (S_1R)	30.80 ab	1.66 b

CT= Moldboard plow+2 pass disc+leveler, RT= 2 pass disc+Leveler (reduced tillage), S_1D= Subsoiler 2 pass disc+Leveler, S_1R= Subsoiler+Rotivator

آن در روش خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد که مشابه با نتایج تحقیقات سایر محققین بود. مثلاً بوناری و همکاران (Bonari *et al.*, 1995) گزارش دادند که زمان کار، مصرف سوخت، انرژی مورد نیاز و هزینه در شرایط کم‌خاک‌ورزی ۵۵ درصد کاهش می‌یابد.

زمان مورد نیاز

نتایج بررسی زمان انجام عملیات در روش‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که تیمارهای CT و RT به ترتیب دارای بیشترین و کمترین زمان انجام عملیات با میزان ۳/۲۰ و ۱/۲۵ ساعت برای آماده‌سازی یک هکتار زمین می‌باشند (جدول ۴). در نتیجه روش‌های کم‌خاک‌ورزی با توجه به سرعت بالای آماده‌سازی زمین و مصرف سوخت کمتر و در نتیجه امکان کشت زمین‌های بیشتر در زمان محدود، در صورت عدم کاهش قابل توجه در عملکرد برای اراضی وسیع استان مناسب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تیمارهای زیرشکنی ضمن افزایش عملکرد محصول برای حداقل یکسال باعث کاهش میزان مصرف سوخت و زمان انجام عملیات گردیدند. همان‌گونه که عنوان گردید دلیل این امر نفوذپذیری آب در اثر به کارگیری زیرشکن در محل عبور شاخه‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه عملیات زیرشکنی در فصل تابستان و در زمین خشک انجام می‌گردد در نتیجه با جایگزینی این روش با خاک‌ورزی مرسوم، عملیات ماخار حذف گردیده و تراکم کاری در زمان کشت (فصل پاییز) کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد که روش‌های زیرشکنی سبب ۲۲ درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به روش کم‌خاک‌ورزی گردید.

پیشنهادها

۱- با توجه به عدم دسترسی کشاورزان به آب در اوایل فصل رشد، با توسعه به کارگیری زیرشکن در استان، انجام عملیات شخم در اواخر فصل تابستان امکان‌پذیر شده و تراکم کاری در زمان کشت، کاهش خواهد یافت. همچنین با توجه به اینکه عملیات زیرشکنی در سال دوم انجام نشده و فقط خاک‌ورزی ثانویه اعمال می‌گردد و همچنین نتایج نشان داد که عملکرد محصول نیز کاهش نیافت، این روش سبب صرفه‌جویی در زمان آماده‌سازی زمین گشته و بنابراین امکان کشت به موقع در سطوح وسیع امکان‌پذیر می‌گردد.

۲- با توجه به اینکه تراکتورهای کمتر از ۱۰۰ اسب بخار قادر به کشش زیرشکن در عمق پایین‌تر از ۴۰ سانتی‌متر نمی‌باشد، توسعه استفاده از این دستگاه در استان منوط به افزایش این تراکتورها می‌باشد.

۳- استفاده از دستگاه‌هایی که مانند زیرشکن در خاک‌ها شیار ایجاد نموده و بقایا را در سطح خاک حفظ می‌نماید (مانند چیزل-پیلر) و همچنین با تراکتورهای متداول قابل کشیدن می‌باشند، باید مورد توجه خاص قرار گیرد.

۴- با اینکه کم‌خاک‌ورزی سبب ایجاد عملکرد دانه کمتری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم گردید، ولی لازم است با توجه به حفظ بقایا و عدم برگردان‌نمودن آن‌ها در این روش، به وسیله مقایسات چند ساله نتیجه قطعی را در زمینه تأثیر طولانی‌مدت کم‌خاک‌ورزی بر میزان عملکرد محصول به‌دست آورد.

۵- به‌منظور کاهش زمان انجام عملیات و مصرف سوخت در هکتار و همچنین حذف عملیات ماخار و حفظ بقایای محصول قبلی در سطح خاک، استفاده از زیرشکن نسبت به گاوآهن برگردان‌دار برتری دارد.

منابع

1. Al-Adawi, S. S., and R. C. Reeder. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. Trans. ASAE 39:1641-1649.
2. Anonymous. 1995. Soil cone penetrometer. ASAE standard S313.2. Agricultural Engineering Year Book, P. 683.
3. Anonymous. 2003. Soil compaction: Detection, Prevention and alleviation. Available from: http://policy.nrcs.Usda.gov/scripts/lpsris.dll/TN/TN-Agronomy-7.a. Accessed: 11 may 2010.
4. Azizi Agh Ghaleh, B. 2001. Effect of mixture of three types organic materials and soil on maximum specific dry bulk density and soil critical capacity during compaction.
5. Bonari, E., M. Mazzoncini, and A., Peruzzi. 1995. Effect of conservation and minimum tillage on winter oilseed rape in a sand soil. Soil and Tillage Research, 33:91-108.
6. Dehghan, E., and M. Almassi. 2007. Effects of tillage methods on yield and yield components of two rice cultivars (Oryza Sativa L.) in drybed seeding at Shavoor, Khuzestan. J. of Agric. Eng. Res. 7(29): 89-100. (In Farsi).

7. Evans, S. D., M. J. Lindstrom, W. B. Voorhees, J. F. Moncrief, and G. A. Nelson. 1996. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield. Soil and Tillage Research, 38:35-46.
8. Gupta, S. C., and W. E. Larson. 1982. Modeling soil mechanical behavior during tillage. In P. W. Unger and D. M. Van Doren Jr (eds.) predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA Spec Pub. 44. ASA, Madison, WI. 151-178.
9. Ismail, I., R. L. Blevin, and W. W. Frge. 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties sunflower yields. Soil Sic. Soc, Am. J. 58: 193-198.
10. Majidi Iraj, H., and M. H. Raoufat. 1997. Power requirement of a bentleg plow and its effects on soil physical conditions. Iran Agric. Res. 16: 1-16.
11. Qrant, C. A., and G. P. Laftond. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance of a clay soil in southern Saskatchewan. Can. J. Soil. Sci. 73: 223-232.
12. Sadeghnejad, H. R., and K. Eslami. 2006. The comparison of wheat yield under different tillage methods. J. of Agric. Science. Islamic Azad University. 12(1): 103-112. (In Farsi).
13. Soane, B. D., and C. Van Quwerkerk. 1994. Soil compaction in crop production. Elsevier, P. 662.
14. Solhjou, A. A., and D. Mohammadi. 2006. Economical comparison of subsoiling and conventional tillage in different irrigation duration on sugar beet production. Research and Building, 77:182-191. (In Farsi).
15. Solhjou, A. A., and j. Niazi. 2001. Effect of subsoiling on soil physical properties and irrigated wheat yield. J. Ag. Eng. Res. 2(7): 65-78. (In Farsi).
16. Unger, P. W., and T. C. Kaspar. 1994. Soil compaction and root growth: a review. Agron. J. 86, 759-766.
17. Van Lynden, G. W. J. 2000. The assessment of the status of human-induced degradation. FAO Report. No. 37.