

اثرات تناوب زراعی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم دیم

مهدی رحمتی^{۱*}، محمد رضا نیشابوری^۲، شاهین اوستان^۲ و ولی فیضی اصل^۳

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۱۶

۱- دانشجوی دکترا، گروه خاکشناسی، دانشگاه تبریز

۲- استاد و استادیار، گروه خاکشناسی، دانشگاه تبریز

۳- کارشناس ارشد، موسسه تحقیقات دیم کشور (مراغه)، بخش تحقیقات مدیریت منابع

*مسئول مکاتبه E-mail:mehdirmti@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی اثرات تناوب‌های زراعی مختلف بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم دیم، سه مکان در سری‌های خاک سه‌سند، رچل آباد و داراب منطقه مراغه - هشت‌رود انتخاب گردید. در هر یک از این مکان‌ها چهار سیستم تناوبی کشت ممتد گندم (T1)، گندم - نخود (T2)، گندم - آیش - گندم - گندم - گندم (T3) و گندم - آیش (T4) به مدت پنج سال زراعی (1382-1387) اعمال شد. در خرداد ماه سال 1387 نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده خاک از تمامی تیمارها در سه عمق 0-10، 10-20 و 20-40 سانتیمتری تهیه گردید. در این نمونه‌ها، تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (بافت، K_s ، WAS، D_b ، pH، EC، CCE، OC، CEC، P، K، Fe، Mn، Cu و Zn قابل استفاده و نیتروژن کل) اندازه‌گیری شد. همچنین رطوبت خاک در چهار مرحله از دوره رشد گندم (GS21، GS32، GS54 و GS87) و عملکرد بیولوژیکی در اواخر خرداد ماه اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار K_s در تیمارهای T1 و T3 ($2/01 \text{ cm hr}^{-1}$) و بیشترین مقدار آن در تیمارهای T2 ($4/89 \text{ cm hr}^{-1}$) و T4 ($5/27 \text{ cm hr}^{-1}$) بدست آمد. بیشترین ($4/8 \text{ mg Kg}^{-1}$) و کمترین ($3/9 \text{ mg Kg}^{-1}$) مقدار آهن قابل استفاده به ترتیب در تیمارهای T4 و T1 حاصل شد که با تیمارهای T2 و T3 به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) اختلاف داشتند. بیشترین مقدار WAS (71/6%) در تیمار T4 به دست آمد که به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) با تیمارهای دیگر اختلاف نشان داد. D_b در تیمارهای T2 ($1/16 \text{ g cm}^{-3}$) و T4 ($1/15 \text{ g cm}^{-3}$) به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) در مقایسه با تیمارهای T1 ($1/29 \text{ g cm}^{-3}$) و T3 ($1/29 \text{ g cm}^{-3}$) کاهش نشان داد. مقدار بیوماس گیاهی در تیمارهای T2 ($3/10 \text{ t ha}^{-1}$) و T4 ($3/05 \text{ t ha}^{-1}$) به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) با تیمارهای T1 ($1/50 \text{ t ha}^{-1}$) و T3 ($1/57 \text{ t ha}^{-1}$) متفاوت بود. در دیگر خصوصیات اندازه‌گیری شده و رطوبت خاک اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. بر اساس نتایج حاصله، کشت ممتد گندم به جای تناوب گندم - نخود یا گندم - آیش، ریسک پس روی اراضی و به خصوص در طولانی مدت زوال کیفیت خاک را به همراه خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: بیوماس گیاهی، پایداری خاکدانه، تناوب زراعی، کیفیت خاک، هدایت هیدرولیکی

Crop Rotation Effects on Soil Physico-chemical Properties and Rain Fed Wheat Crop Yield

M Rahmati^{1*}, MR Neyshabouri¹, S Oustan¹ and V Feiziasl²

Received: 15 October 2008

Accepted: 16 March 2009

¹PhD Student, Soil Sci. Dept., University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Prof. and Assist. Prof., Soil Sci. Dept., University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Senior expert, Dry-land Agricultural Research Institute (DARI), Resour. Manag. Res. Dept., Maragheh, Iran

*Corresponding author: [E-mail:mehdirmti@gmail.com](mailto:mehdirmti@gmail.com)

Abstract

In order to evaluate the effects of various crop rotations on soil physical and chemical properties in drylands, three sites with Sahand (Fluventic Haploxerepts), Rajol Abad (Typic- Calcixerepts), and Darab (Calcic Haploxerepts) soil series were chosen in Maragheh and Hashtroud, North West of Iran. The treatments including continuous wheat cropping (T1), wheat–chickpea rotation (T2), wheat-fallow-wheat-wheat-wheat (T3) and wheat–fallow rotation (T4), were executed for 5 cropping years from autumn 2003 to summer 2008. Disturbed and undisturbed soil samples from 0-10, 10-20, and 20-40 cm depths were taken at these sites on June 2008. Selected soil physical and chemical properties such as texture, pH, EC, carbonate calcium equivalent (CCE), wet-aggregate stability (WAS), bulk density (D_b), organic carbon (OC), saturation hydraulic conductivity (K_s), CEC and concentration of available P, K, Mn, Fe, Cu, Zn, and total nitrogen were measured by common laboratory methods. For assessing the moisture content soil samples were taken at four growth stages of wheat. Sampling for assessing the biomass was carried out at harvest (late June 2008). The lowest K_s occurred in T1 and T3 (2.01 cm.hr^{-1}) and had significant difference with T2 and T4. The highest (4.79 mg kg^{-1}) and lowest (3.88 mg kg^{-1}) Fe concentration occurred in T4 and T1, respectively, which significantly ($p < 0.05$) differed from those of other treatments. Soil WAS in T4 (71.54%) became significantly ($p < 0.05$) greater than those of other treatments. D_b in T2 (1.16 g cm^{-3}) and T4 (1.15 g cm^{-3}) was significantly ($p < 0.05$) lower than T1 (1.29 g cm^{-3}) and T3 (1.29 g cm^{-3}). Biological yield in T2 (3.096 t. ha^{-1}) and T4 (3.052 t. ha^{-1}) significantly ($p < 0.05$) differed from that of T1 (1.501 t. ha^{-1}) and of T3 (1.573 t. ha^{-1}). In other measured properties and soil moisture content no significant differences among treatments were appeared. Based on the results, alteration from wheat-fallow or wheat-chickpea rotation to continuous wheat cropping, may gradually degrade soils of the region.

Keywords: Aggregate stability, Crop rotation, Hydraulic conductivity, Plant biomass, Soil quality

مقدمه

باروری خاک^۱ حاصل فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک آن و تاثیرپذیری آنها از اقلیم می‌باشد. تعادل بین این فرآیندها و مدیریت مناسب بهره‌برداری از خاک، موجب تداوم باروری خاک خواهد شد. هر گونه اقدام در جهت بر هم زدن این تعادل ممکن است اثرات جبران‌ناپذیری به دنبال داشته باشد. خاکورزی مکرر با ماشین آلات سنگین کشاورزی، عدم رعایت تناوب زراعی مناسب، عدم مصرف کودهای آلی و بالاخره سوزاندن بقایای گیاهی بخصوص در دراز مدت باعث افزایش تراکم خاک، کاهش نفوذپذیری خاک نسبت به آب و هوا، تخریب ساختمان خاک، افزایش رواناب و در نهایت فرسایش خاک می‌شود (بیدربک و همکاران ۱۹۸۰). تناوب زراعی یکی از مدیریت‌های مهم خاک بشمار می‌رود که بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تاثیر می‌گذارد (ویلسون و همکاران ۱۹۸۲ و هامبلین ۱۹۸۵). لال و همکاران (۱۹۹۴) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تناوب زراعی اثرات معنی‌داری بر خصوصیات فیزیکی (WAS و Db) و شیمیایی (pH، OC و CEC) خاک می‌گذارد. هرنانز و همکاران (۲۰۰۲) نیز اثر معنی‌دار تناوب زراعی بر پایداری خاکدانه‌ها را گزارش کردند. تغییر در پیوستگی، اندازه و وسعت خلل و فرج خاک از طریق نوع کشت و تناوب، هر چند ممکن است اثر پایداری در نفوذپذیری خاک نداشته باشد، اما خصوصیات هیدرولیکی سطح خاک را متاثر خواهد ساخت (آنکنی و همکاران ۱۹۹۰، داو ۱۹۹۳ و جونز و همکاران ۱۹۹۴). کشت ممتد یک محصول مثل گندم و جو اغلب به علت کاهش خالص برگشت بقایای گیاهی به خاک موجب کاهش کربن آلی و افت نفوذپذیری خاک می‌شود (کمپر ۱۹۹۳). این امر ممکن است به خاطر کاهش پایداری خاکدانه‌ها، تسریع در پراکندگی ذرات خاک و انسداد سطحی^۲ در طول بارندگی‌ها باشد. ماده

آلی خاک، خاکدانه سازی و نیز سرعت نفوذ^۳ در خاک را بالا می‌برد (استونسون ۱۹۸۵). بلیر و همکاران (۲۰۰۲) در آزمایشات خود مقادیر بیشتری از پایداری ساختمان خاک، هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و اجزای مختلف کربن^۴ خاک را برای تناوب لگوم‌ها (یونجه، شبدر و برخی گیاهان دارویی) در مقایسه با تیمارهای کشت ممتد گندم یا آیش طولانی مدت ثبت کرده‌اند. تناوب زراعی اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد گیاه دارد (آزودو و همکاران ۱۹۹۹). اثرات مفید تناوب زراعی در افزایش رطوبت خاک (بنسون ۱۹۸۵، رودر و همکاران ۱۹۸۹)، عناصر غذایی (کارتر و هاتویچ ۱۹۶۲، پیترسون و وارجل ۱۹۸۹) و ساختمان خاک (باربر ۱۹۷۲، دیک و وندورن ۱۹۸۵، گریفیت و همکاران ۱۹۸۸) گزارش شده است. تناوب زراعی همچنین اثرات سودمند و شناخته شده‌ای بر بسیاری از خصوصیات شیمیایی خاک مانند فراهمی و تغییر شکل نیتروژن، pH، OC و مقادیر Mg، Ca، K و P قابل استفاده دارد (ویلسون و همکاران ۱۹۸۲ و پاور ۱۹۹۰). در یک تناوب طولانی مدت گندم با گیاهان لگوم که به مدت ده سال در آمریکا انجام گرفت (گاریا و سیمز ۱۹۹۴) به این نتیجه رسیدند که میزان نیتروژن کل خاک در تناوب‌های گندم - شبدر و گندم - ماش به ترتیب ۲۳۹ و ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار بیشتر از کاشت ممتد گندم بود. همچنین آنان گزارش کردند که رعایت تناوب زراعی صحیح، موجب اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش عملکرد کل می‌گردد. عثمان و همکاران (۱۹۹۰) به این نتیجه رسیدند که گنجاندن گیاهان تیره لگوم در تناوب‌های زراعی، باعث افزایش حاصلخیزی خاک، کاهش مصرف کودهای نیتروژنی و اصلاح برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. این پژوهشگران مهمترین دستاورد کاربرد لگوم‌ها را کاهش هزینه‌های تولید گزارش کردند. دالال و همکاران (۱۹۹۸) نیز دریافتند که تناوب نخود- گندم به

³Infiltrability⁴Organic carbon fractions¹Soil productivity²Surface sealing

کشت ممتد گندم (T1)، گندم - نخود (T2)، گندم - آیش - گندم - گندم - گندم (T3) و گندم - آیش (T4) به مدت پنج سال زراعی (۸۷-۱۳۸۲) و در سه مکان در منطقه مراغه - هشتروند به اجرا در آمد. هدف از انتخاب تیمار T3 این بود که تغییرات ایجاد شده در خصوصیات خاک در اثر تغییر تناوب گندم - آیش به گندم ممتد پس از ۲ سال (در کوتاه مدت) نیز بررسی شود. در آخرین سال زراعی پژوهش (۸۷-۸۶) تیمارهای آزمایشی در تمامی مکان‌ها، به صورت یکنواخت و با مدیریت های مشابه زیر کشت گندم دیم رفت. نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS13 و MSTATC11 مورد تجزیه آماری قرار گرفت و میانگین داده ها از طریق آزمون چند دامنه ای دانکن مقایسه شدند.

نمونه برداری و اندازه گیری ها

در خرداد ماه سال ۱۳۸۷ نمونه های دست خورده و دست نخورده از تیمارها در سه عمق ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتیمتری تهیه گردید. نمونه های دست خورده، پس از هوا خشک شدن و الک شدن با غربال ۲ میلیمتری جهت انجام آزمایشات به آزمایشگاه خاک منتقل شدند. رطوبت خاک در چهار مرحله پنجه زنی (GS21)، ساقه رفتن (GS32)، ظهور برگ پرچم (GS54) و رسیدگی فیزیولوژیکی (GS87) گندم دیم از عمق ۰-۵۰ و از لایه - های ۱۰ سانتیمتری خاک به روش وزنی اندازه گیری شد. در هفته پایانی خرداد ماه اقدام به برداشت اندام های هوایی گندم و اندازه گیری عملکرد بیولوژیک گردید. بافت خاک به روش هیدرومتر (گی ۲۰۰۲)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر (گروسمن و رینچ ۲۰۰۲)، پایداری خاکدانه ها به روش الک خیس (جان و کیم ۲۰۰۲)، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار افتان (کلوت و دایرکسن ۱۹۸۶)، واکنش خاک (ون لیورپ ۱۹۹۰) و قابلیت هدایت الکتریکی (رودز ۱۹۹۶) در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک، ماده آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل

مدت ۸ سال در مقایسه با کشت ممتد گندم علاوه بر بالا بردن تولید، باعث افزایش ۱۴ درصدی پروتئین دانه شد. همچنین نیتروژن خاک و کارآیی مصرف آب، به طور چشمگیری افزایش یافت. در سال های اخیر تغییر تناوب های زراعی متداول به کشت ممتد گندم در اراضی دیم مراغه و هشتروند به دلایل اقتصادی رایج شده است اما قرائن و شواهد دلالت بر افت تدریجی عملکرد دارد (نتایج منتشر نشده). هدف این تحقیق بررسی اثرات تغییر تناوب زراعی به کشت ممتد بر یکسری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بوده تا علل افت عملکرد گندم مشخص شود.

مواد و روش ها

انتخاب مکان های آزمایش

برای انجام این پژوهش، سه مکان در منطقه مراغه - هشتروند انتخاب شد (شکل ۱). این منطقه در ارتفاعات کوه سهند، در جنوبی ترین قسمت استان آذربایجان - شرقی، در شمال غرب ایران، بین 37° تا 30° و 37° عرض شمالی و بین 45° تا 30° و 46° طول شرقی واقع شده است. بر اساس آمار بلند مدت ایستگاه هواشناسی تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، میانگین حداکثر دمای منطقه $28/4$ درجه سانتی گراد در مرداد ماه و میانگین حداقل $8/1$ - درجه سانتی گراد در دی ماه می باشد. رژیم حرارتی و رطوبتی منطقه به ترتیب مزیک و زیریک است (بنائی ۱۳۷۷). مشخصات عمومی، نام سری خاک، شیب اراضی و مقادیر بارندگی در سه مکان انتخاب شده (بلوک های ۱، ۲ و ۳) در جدول ۱ ارائه شده است (سید قیاسی ۱۳۷۰ و حکیمی ۱۳۶۸). مکان ها به ترتیب در ۱۵، ۲۵ و ۵۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان مراغه و در مسیر جاده مراغه - هشتروند قرار دارند (شکل ۱).

تیمارها و قالب آماری طرح

آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و به صورت چند مشاهده ای با ۴ تیمار تناوب زراعی، شامل:

هوموس ماده آلی در تیمار T4 و T2 (اندازه گیری نشد) می‌تواند علت کاهش D_b در این تیمارها محسوب شود.

کربن آلی و نسبت C/N

تیمارهای تناوب زراعی پس از گذشت پنج سال زراعی تاثیر معنی‌داری بر مقدار کربن آلی و نسبت C/N خاک نداشت (جدول ۲ و ۴). این یافته‌ها مغایر با نتایج گزارش شده توسط لال و همکاران (۱۹۹۴) است که نشان داده‌اند که کشت ممتد ذرت سبب افزایش کربن آلی خاک در مقایسه با تناوب های ذرت - سویا و ذرت - یولاف - انواع چمن در طول مدت ۲۸ سال شد. آزدو و همکاران (۱۹۹۹) نیز در پژوهش خود که به مدت ۷ سال ۹ تناوب مختلف از پنبه، سورگوم و سویا را در مزرعه اعمال کردند، نشان دادند که اعمال تناوب‌های مختلف منجر به افزایش کربن آلی و ماده آلی خاک می‌شود. انتظار می‌رفت که در تحقیق حاضر نیز مقدار کربن آلی خاک در تیمار کشت ممتد گندم به دلیل کاهش خالص برگشت بقایای گیاهی به خاک نسبت به دو تیمار گندم - آیش و گندم - نخود کاهش نشان دهد. از دلایل احتمالی مغایرت یافته‌ها می‌تواند کوتاه بودن مدت زمان اعمال تیمارها (۵ سال) و همچنین کم بودن مقدار بقایای گیاهی به صورت طبیعی در شرایط دیم اشاره کرد. به نظر می‌رسد که مقدار ماده آلی در تناوب زراعی با مقدار بقایای محصول برگردانده شده در ارتباط باشد. هر چه مقدار بقایای برگردانده شده بیشتر، مقدار ماده آلی بیشتر خواهد بود (دیک و همکاران ۱۹۸۶). البته در مقابل گزارش محققین مذکور، فیضی اصل (۱۳۸۷) نشان داد که افزایش کود سبز چاودار در سه دوره تناوبی با گندم دیم (چاودار - گندم دیم) در شرایطی مشابه با این پژوهش تاثیری بر میزان کربن آلی خاک نداشت، که در واقع مشابه یافته تحقیق جاری می‌باشد.

(CCE) به روش خنثی سازی با اسید (جکسون ۱۹۵۸)، گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در pH برابر ۸/۲ (سامنر و میلر ۱۹۹۶)، عناصر کم مصرف (Fe, Mn, Cu, Zn) قابل استفاده با روش DTPA (لیندزی و نورول ۱۹۷۸) با استفاده از دستگاه جذب اتمی، مقدار نیتروژن کل به روش کجلدال (برمنر و مولونی ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم در pH برابر ۷ (نادسن و پیترسون ۱۹۸۲) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و فسفر قابل استفاده با روش اولسن (اولسن و همکاران ۱۹۵۴) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

بافت و جرم مخصوص ظاهری خاک

بافت خاک سه مکان (بلوک‌های ۱، ۲ و ۳) در جدول ۱ ارائه شده است. کلاس بافت در بلوک ۱ لوم رسی و در دو بلوک دیگر رسی می‌باشد. مقایسه کلاس بافت خاک بین تیمارها در هر بلوک نشان داد که مزارع (تیمارها) از لحاظ کلاس بافت خاک با هم تفاوت ندارند. این یافته به عنوان یک نقطه قوت به این معنی است که وجود تفاوت احتمالی در صفات اندازه‌گیری شده بین تیمارها که متعاقباً بحث می‌شود، صرفاً ناشی از اعمال تناوب‌ها و نه از تفاوت در بافت بوده است. تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشانگر افزایش در D_b در تیمارهای T1 ($1/29 \text{ g cm}^{-3}$) و T3 ($1/29 \text{ g cm}^{-3}$) می‌باشد و اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) با تیمارهای T2 ($1/16 \text{ g cm}^{-3}$) و T4 ($1/15 \text{ g cm}^{-3}$) دارند (شکل ۲). این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط لال و همکاران (۱۹۹۴) که نشان دادند تناوب زراعی بر D_b تاثیر می‌گذارد، مشابه بوده ولی با نتایج راجمن و همکاران (۲۰۰۳) که نشان دادند تناوب زراعی بر D_b بی‌تاثیر است، مغایرت دارد. گرچه ماده آلی (کربن آلی) بین تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما بالا رفتن جزء

پایداری خاکدانه‌ها

می باشد. در بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری از لحاظ K_s وجود نداشت که این امر با توجه به اینکه D_b و WAS ، به عنوان مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در K_s ، تفاوت معنی‌داری در بین بلوک‌ها نداشتند و همچنین مشابهت بافت خاک بلوک‌ها قابل تفسیر می باشد.

رطوبت خاک

تجزیه‌های آماری نشان داد که اختلاف معنی‌داری از لحاظ رطوبت خاک در بین تیمارها و بلوک‌ها در هر چهار مرحله رشد گندم وجود نداشت (جدول ۳ و ۴). این نتیجه با نتایج بنسون (۱۹۸۵) و رودر و همکاران (۱۹۸۹) که نشان دادند تناوب زراعی بر رطوبت خاک و حفظ آن تاثیر گذار می‌باشد مغایرت دارد. دلیل آن به احتمال قوی شرایط خشکسالی حاکم بر منطقه در آخرین فصل زراعی (پاییز و زمستان ۸۶ و بهار ۸۷) است که باعث شده تاثیر احتمالی نوع تناوب بر ذخیره‌سازی رطوبت عملا نتواند خود را نشان دهد و نهایتاً اختلاف رطوبت‌ها بین تیمارها معنی دار نشود.

 pH ، EC ، CCE و CEC خاک

در بین تیمارها اختلاف معنی‌داری از لحاظ pH ، قابلیت هدایت الکتریکی، CCE و گنجایش تبادل کاتیونی خاک وجود نداشت (جدول ۲ و ۴). این یافته‌ها با گزارشات دیگر محققان (ویلسون و همکاران ۱۹۸۲ و پاور ۱۹۹۰) مغایرت دارد. البته معنی‌دار نشدن اثر تیمارها بر این چهار ویژگی، به دلیل کوتاه بودن زمان اعمال تیمارها (۵ سال) دور از انتظار نیست. اختلاف موجود در بین بلوک‌ها از نظر pH و مقدار CCE خاک (جدول ۲) نیز به دلیل متفاوت بودن نوع خاک در بین بلوک‌ها قابل تفسیر است.

عناصر پر مصرف

تجزیه‌های آماری عدم وجود اختلاف معنی‌دار در مقادیر درصد نیتروژن کل و فسفر و پتاسیم قابل

پایداری خاکدانه‌ها در تیمار T4 (گندم - آیش) در مقایسه با سه تیمار دیگر به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش نشان داد (جدول ۳ و شکل ۲). این یافته با نتایج به دست آمده توسط راجمن و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد. علت افزایش WAS در تیمار گندم - آیش می‌تواند بالا رفتن بخش سبک^۱ ماده آلی خاک باشد، هر چند که مقدار ماده آلی کل اندازه گیری شده اختلاف معنی‌داری را در بین تیمارها نشان نداد. عدم وجود اختلاف معنی‌دار در مقدار ماده آلی کل خاک یا به عبارت دیگر در بین تیمارها لزوماً به معنای یکسان بودن بخش‌های مختلف ماده آلی نمی باشد. در تناوب‌های گندم - آیش و گندم - نخود، بخش سبک ماده آلی که بیشترین تاثیر را در خصوصیات ساختمانی خاک دارد، می‌تواند بیشتر از تناوب کشت ممتد گندم باشد. در تناوب گندم - آیش وجود زمان کافی (فصل آیش) و در تناوب گندم - نخود فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها می‌تواند سبب افزایش بخش سبک ماده آلی در خاک شود. البته با این استدلال انتظار می‌رفت که این افزایش در پایداری خاکدانه‌ها در تیمار گندم - نخود نیز دیده شود که این چنین نشد (شکل ۲) و دلیل آن بر ما روشن نیست.

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

تجزیه‌های آماری نشان داد که اعمال تیمارها اثر معنی‌داری ($p < 0.01$) بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) خاک داشت (جدول ۳). کمترین مقدار K_s در تیمارهای T1 و T3 به دست آمد (شکل ۲). این نتیجه با نتایج کاستاوایرو و همکاران (۲۰۰۲) مشابه می‌باشد. علت کاهش K_s در T1 و T3 نسبت به T2 و T4 می‌تواند به خاطر پس رفت ساختمان خاک و فشرده شدن خاک در اثر کشت ممتد گندم باشد. اندازه‌گیری و مقایسه مقادیر WAS و D_b نیز نشانگر ضعف ساختمان خاک و فشرده‌گی آن در مزارع تحت کشت تیمارهای گندم ممتد

¹Light fraction

اختلاف موجود در بین بلوک‌ها از نظر مقادیر آهن، منگنز و مس قابل استفاده نیز به دلیل متفاوت بودن سری خاک بلوک‌ها قابل تفسیر است.

عملکرد بیولوژیکی گندم

تجزیه‌های آماری بیانگر آن بود که مقدار زیتوده گیاهی در تیمارهای T2 ($3/0.96 \text{ t ha}^{-1}$) و T4 (t ha^{-1}) $2/0.52^1$ به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) در مقایسه با دو تیمار دیگر افزایش داشته است (جدول ۳ و شکل ۳). این یافته توسط ساینجیو و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است. این افزایش در بیوماس گیاهی می‌تواند به جهت افزایش مقادیر Ks و WAS و کاهش D_b به دلیل بهبود ساختمان خاک و بهبود شرایط تغذیه ای ناشی از بالا رفتن احتمالی مقدار نیتروژن معدنی باشد. لازم به ذکر است که اختلاف معنی‌داری از لحاظ بیوماس گیاهی در بین بلوک‌ها وجود نداشت که به دلیل شرایط آب و هوایی و فیزیوگرافی مشابه مناطق و همچنین عدم وجود اختلاف معنی‌دار از نظر ماده آلی در بین بلوک‌ها منطقی به نظر می‌رسد.

نتیجه گیری

بطور کلی نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای زراعی در مدت زمان ۵ سال بر اکثر خصوصیات فیزیکی اندازه گیری شده خاک تاثیر گذاشته و سبب تضعیف ساختمان خاک و کاهش عملکرد گندم در تیمار کشت ممتد گندم شده است. بنابراین تبدیل تناوب زراعی به کشت ممتد گندم در شرایط دیم می‌تواند به تدریج منجر به زوال و پس رفت خاک گردد. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌گردد که تحقیقی مشابه در شرایطی کنترل شده تر و با اندازه گیری های کامل تر در مدت زمان طولانی تری صورت گیرد تا نتایج قطعی تری بدست آید.

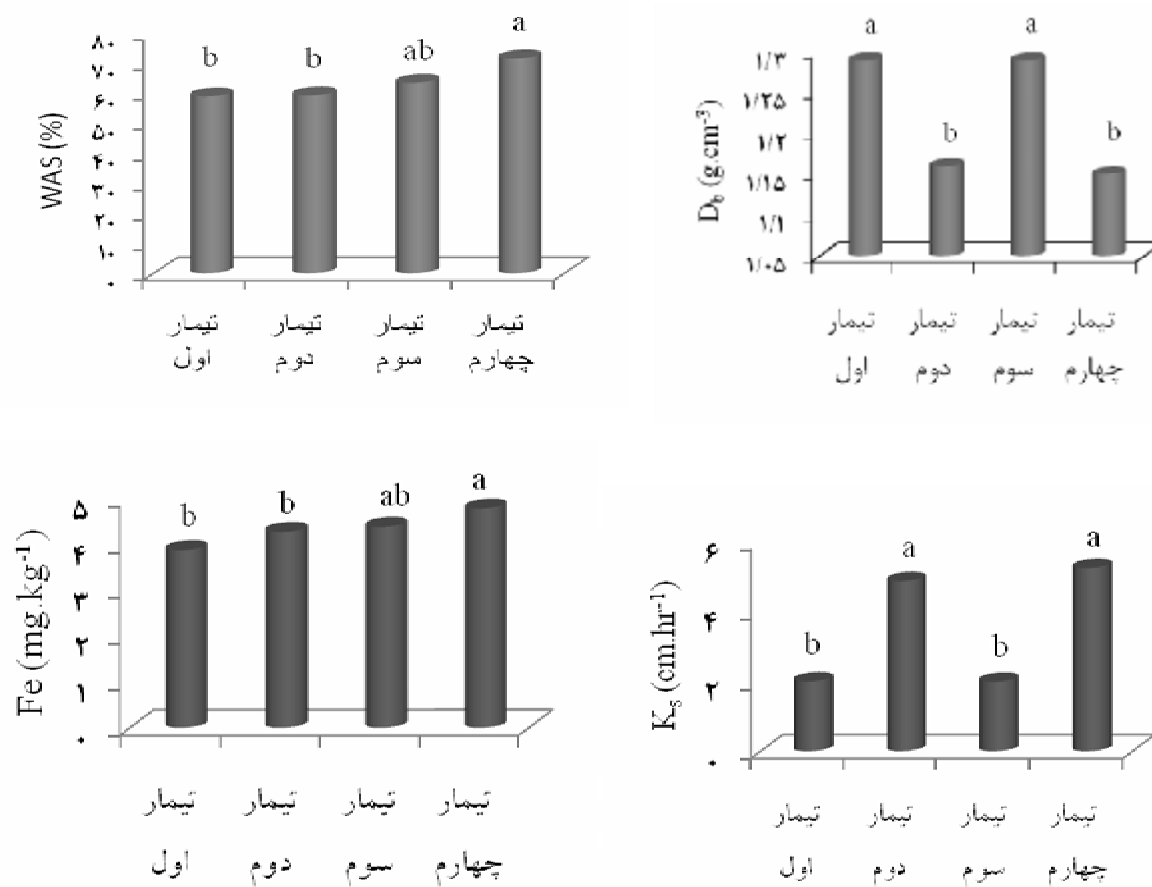
استفاده در بین بلوک‌ها (به استثنای فسفر) و تیمارها را نشان می‌دهد (جدول ۲ و ۴). این یافته‌ها با نتایج ویلسون و همکاران (۱۹۸۲) و پاور (۱۹۹۰) که نشان دادند تناوب زراعی اثرات سودمندی بر بسیاری از خصوصیات شیمیایی خاک مانند فراهمی و تغییر شکل نیتروژن، pH، OC و مقدار Ca، Mg، K و P قابل استفاده دارد، مغایرت دارد. اختلاف موجود از نظر مقدار فسفر قابل استفاده در بین بلوک‌ها به علت متفاوت بودن سری خاک بلوک‌ها قابل انتظار بود. بایستی یاد آور شد که عدم وجود اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها از نظر نیتروژن کل به معنای عدم وجود اختلاف معنی‌دار از لحاظ نیتروژن معدنی (NH_4^+ یا NO_3^-) نمی‌تواند باشد. در تناوب گندم - آیش وجود زمان کافی (فصل آیش) جهت معدنی شدن ازت آلی و در تناوب گندم - نخود تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌تواند منجر به افزایش نیتروژن معدنی (به صورت NH_4^+) در مقایسه با کشت ممتد گندم باشد (گاریا و سیمز ۱۹۹۴ و لویز و همکاران ۱۹۹۷). به هر صورت اظهار نظر قطعی در این مورد نیاز به اندازه گیری فرم‌های مختلف نیتروژن معدنی خاک دارد.

عناصر کم مصرف

بیشترین ($4/79 \text{ mg kg}^{-1}$) و کمترین (mg kg^{-1}) مقدار آهن قابل استفاده به ترتیب در تیمار T4 و T1 به دست آمد که به صورت معنی‌داری ($p < 0.05$) با تیمارهای T2 و T3 اختلاف دارند (جدول ۲ و ۴ و شکل ۲). این امر ممکن است به دلیل افزایش بخش سبک ماده آلی (که می‌تواند به عنوان مواد کلات کننده آهن عمل کند) در تیمار T4 باشد که سبب افزایش قابلیت استفاده آهن شده است. از نظر مقادیر منگنز، مس و روی قابل استفاده اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها حاصل نشد.



شکل 1- موقعیت جغرافیای مکان های (بلوک ها) اجرای آزمایش و اعمال تیمارها



شکل 2- مقایسه میانگین تیمارها جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه ها، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و مقدار آهن قابل استفاده در خاک با آزمون دو دامنه ای دانکن ($P < 0/05$)

جدول ۱- ویژگی‌های عمومی سه مکان (بلوک) اجرای آزمایش

ویژگی	بلوک ۲			بلوک ۱			میانگین	حداقل	حداکثر		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر					
رس	۴۲/۹	۳۷/۴	۵۰/۸	۲/۹	۴۸/۳	۴۷/۴	۵۲/۸	۵/۵	۳۳/۳۱	۲۵/۱	۴۰/۷
سبالت	۳۳/۷	۳۰/۳	۲۹/۵	۴/۱	۲۳/۵	۱۷/۳	۳۱/۱	۲/۳	۳۵/۰	۲۹/۶	۲۹/۱
% CCE	۶/۴	۱۷/۸	۶/۵	۲/۸	۹/۱	۶/۵	۱۹/۳	۱/۲	۸/۶	۶/۳	۱۱/۳
شیب %	۲-۵			۵-۸					۵-۸		
بارندگی (mm)	۳۲۲			۳۵۳					۳۵۳		
بافت خاکی	رسی			رسی					لومی رسی		
رده بندی خاکی	Calcic Haploxerepts			Typic Calcixerepts					Fluventic Haploxerepts		

جدول ۲- میانگین مربعات خصوصیات شیمیایی خاکی

منبع تغییرات	Zn	Cu	Mn	Fe	K	P	Ca	N	CEC	CCE	EC	pH	C/N	OC	df
بلوک	۰/۱۰ ^{ns}	۲/۰۱*	۱۳۹/۸**	۱۷/۶۴**	۱۹۲۷۸/۷ ^{ns}	۸۹۲/۹**	۰/۰۹ ^{ns}	۴۷۹/۸ ^{ns}	۹۵۴/۸**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۷/۳۳*	۱۲۰۱/۱ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۲	
تیمار	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۱۳/۸ ^{ns}	۳/۷۸*	۱۲۲۳۵/۳ ^{ns}	۱۵۹/۵ ^{ns}	۱/۵۷ ^{ns}	۱۰۸۴/۱ ^{ns}	۷۸/۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۸۹۷/۳ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۳	
خطای آزمایش	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۲۲**	۵/۴۵ ^{ns}	۰/۷۵۷ ^{ns}	۱۸۳۱۵/۹**	۶۷/۴ ^{ns}	۰/۰۴**	۵۳۴/۳ ^{ns}	۸۹/۱**	۰/۰۰۶*	۰/۲۴ ^{ns}	۳۳۰/۳ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۶	
خطای نمونه	۰/۱۹**	۰/۰۴**	۴/۱۳**	۰/۹۴۶**	۲۵۶۶/۴ ^{ns}	۱۰۳/۴ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۶۸۳/۷ ^{ns}	۱۵/۱۴*	۰/۰۰۲*	۰/۱۶**	۱۶۵/۳ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۲۴	
خطای صحن	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۴۲۲	۱۸۷۸/۶	۷/۲	۰/۰۱	۶۸۱/۰	۸/۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۱۴۸/۸	۰/۰۷	۷۷	
ضریب تغییرات	۳۰/۳۱	۷/۳۵	۶/۴۹	۱۴/۹۸	۲۵/۷۰	۴۶/۱۷	۴۵/۷۸	۵/۴۹	۲۵/۲۴	۱۸/۴۴	۱/۲۶	۵۸/۹۳	۳۲/۲۸		

ns ضریب تغییرات، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

خطای تغییرات
(C)

جدول ۴- مقایسه میانگین تیمارها برای یکسری از خصوصیات اندازه گیری شده خاک*

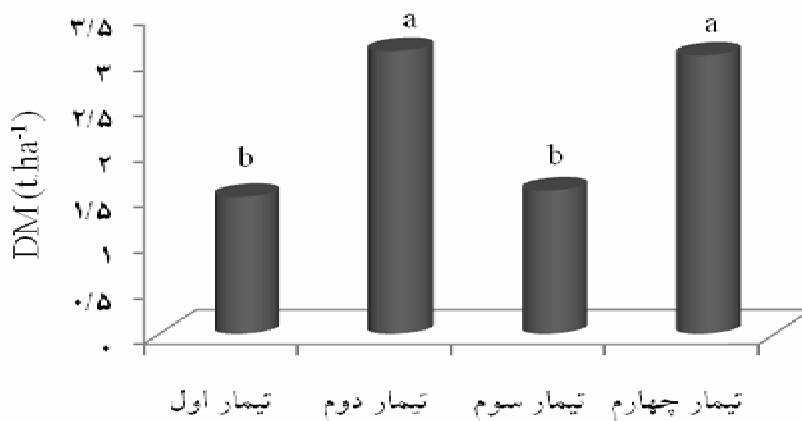
رطوبت وزنی خاک (%) در مراحل:				Zn	Cu	Mn	K	P	N کل (%)	CEC (cmol kg ⁻¹)	CCE %	EC (dS m ⁻¹)	pH	C/N	OC (%)	تیمار
GS87	GS54	GS32	GS21	(mg kg ⁻¹)												
۱۱/۷	۱۷/۰	۲۰/۱	۲۰/۷	۰/۲۲	۱/۱	۹/۰	۱۶۱/۵	۱۵/۴	۰/۰۶	۳۱/۱	۱۱/۷	۰/۱۷	۷/۹	۱۹/۸	۰/۸۷	T1
۱۱/۱	۱۶/۶	۱۹/۸	۲۲/۷	۰/۲۱	۱/۲	۹/۸	۱۴۳/۰	۱۱/۸	۰/۰۶	۳۳/۷	۱۱/۷	۰/۱۸	۸/۰	۱۷/۶	۰/۷۲	T2
۹/۸	۱۸/۴	۱۷/۲	۱۸/۰	۰/۲۲	۱/۳	۱۰/۷	۱۷۷/۷	۱۵/۵	۰/۰۷	۲۹/۹	۹/۹	۰/۱۶	۷/۹	۱۱/۵	۰/۸۴	T3
۱۱/۷	۱۷/۳	۲۱/۲	۲۲/۶	۰/۲۶	۱/۲	۱۰/۲	۱۹۲/۴	۱۶/۳	۰/۰۸	۳۲/۸	۱۴/۱	۰/۱۷	۷/۹	۱۱/۳	۰/۷۶	T4

* در بین تیمارها اختلاف معنی داری از نظر هیچ کدام از پارامترهای گزارش شده در این جدول وجود نداشت

جدول 3- میانگین مربعات خصوصیات فیزیکی و رطوبت خاک و بیوماس گیاهی

رطوبت خاک در مراحل مختلف رشد گندم					DM	K _s	WAS	D _b	df	منابع تغییر
GS87	GS54	GS32	GS21	df						
28/39 ^{ns}	271/95 ^{ns}	126/63 ^{ns}	54/41 ^{ns}	2	3/60 ^{ns}	11/38 ^{ns}	502/34 ^{ns}	0/15 ^{ns}	2	بلوک
21/63 ^{ns}	27/70 ^{ns}	128/23 ^{ns}	128/02 ^{ns}	3	7/09*	85/56**	933/68*	0/16*	3	تیمار
25/56**	182/83**	35/30 ^{ns}	109/71**	6	1/37**	6/33 ^{ns}	152/12 ^{ns}	0/032 ^{ns}	6	خطای آزمایش
4/30 ^{ns}	8/44 ^{ns}	16/75 ^{ns}	9/24 ^{ns}	24	0/27	3/96 ^{ns}	74/63 ^{ns}	0/016 ^{ns}	24	خطای نمونه
9/92	14/29	15/80	27/35	144		4/55	72/55	0/019	72	خطای عمق
28/45	21/80	20/29	24/91		22/52	60/20	13/46	11/31		ضریب تغییرات (%)

ns غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد



شکل 3- مقایسه میانگین تیمارها از لحاظ زیتوده گیاهی (DM) با آزمون دانکن ($p < 0/05$)

منابع مورد استفاده

- بنائی م ح، ۱۳۷۷. نقشه رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک های ایران. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران.
- حکیمی م، ۱۳۶۸. مطالعات خاکشناسی اجمالی منطقه هشتگرد - استان آذربایجان شرقی. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ۷۶۷. صفحه ۸۰.
- سیدقیاسی م ف، ۱۳۷۰. مطالعه خاکشناسی تفصیلی اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه. مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی. صفحه ۲۷.

فیضی اصل و، ۱۳۸۷. گزارش نهایی بررسی اثرات کود سبز در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و قابلیت تولید خاک. انتشارات موسسه تحقیقات کشاورزی دیم. نشریه شماره ۲۱۴. صفحه ۱۰۶.

Ankeny MD, Kaspar TC and Horton R, 1990. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurement. *Soil Sci Soc Am J* 54: 837-840.

Azevedo, DMP, Landivar J, Viera RM and Moseley D, 1999. The effect of cover crop and crop rotation on soil water storage and on sorghum yield. *Pesq Agropec Bars Brasilia* 34: 391-398.

Barber SA, 1972. Relation of weather to the influence of hay crops on subsequent corn yields on a Chalmers silt loam. *Agric J* 64: 8-10.

Benson GO, 1985. Why the reduced yields when corn follows corn and possible management responses. Pp. 971-972. Proceeding annual corn and sorghum industry research conference, American Seed Trade Association, Chicago.

Biederbeck VO, Campbell GA, Bowren KE, Schnitzer M and McIver RN, 1980. Effect of burning cereal straw on soil properties and grain yields in Saskatchewan. *Soil Sci Soc Am J* 44: 103-111.

Blair, N, Faulkner RD, Till AR, Crocker GJ and Prince KE, 2002. The effects of crop rotation and plant residue on soil structure. Pp. 1-162, 17th WCSS, Symp. No. 3, 14-21 August 2002, Thailand.

Bremner, JM and Mulvaney CS, 1982. Nitrogen-Total. Pp. 595-622. *In*: Page AL (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition.* Soil Sci Soc Am, Madison, WI., USA.

Carter JL and Hartwig EE, 1962. The management of soybeans. *Advance Agronomy* 14: 359-412.

Dalal RC, Strong WM, Weston EJ, Cooper JE, Wildermuth GB, Lehane KJ, King AJ and Holmes CJ, 1998. Sustaining productivity of a Vertisol at Warra, Queensland, with fertilisers, no-tillage, or legumes. 5. Wheat yields, nitrogen benefits and water-use efficiency of chickpea-wheat rotation. *Aus J Exp Agr* 38: 489-501.

Dao TH, 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Sci Soc Am J* 57: 1586-1595.

Dick WA and Vandoren JDM, 1985. Continuous tillage and rotation combinations effects on corn, soybean, and oat yields. *Agric J* 77: 459-465.

Dick WA, Vandoren JDM, Triplett JGB and Henry JE, 1986. Influence of long-term tillage and rotation combinations on crop yield and selected soil parameters. II. Results obtained for a Typic Fragiudalf soil. Res Bull 1181. Ohio Agric Res Dev Cent, Wooster, OH.

Garya P and Sims JR, 1994. Legume cover crops in fallow as an integrated crop livestock alternative in the northern and central Great Plains. Research and Extension Center, University of Wyoming. USA.

- Gee GW, 2002. Particle size analysis. Pp. 201-414. *In*: Jacob HD and Topp GC (ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods. Soil Sci Soc Am, Madison, WI, USA.
- Griffith DR, Kladvivko EJ, Mannering JV, West TD and Parsons SD, 1988. Longterm tillage and rotation effects on corn growth and yield on high and low organic matter, poorly drained soils. *Agric J* 80: 599-605.
- Grossman RB and Reinsch TG, 2002. The solid phase. Pp. 201-414. *In*: Jacob HD and Topp GC (ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods. Soil Sci Soc A., Madison, WI. , USA.
- Hamblin AP, 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. *Adv Agric* 38:95-158.
- Hernanz JL, Lopez R, Navorrete L and Sanchez-Giron V, 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil Till Res* 66:129-141.
- Jackson ML (1985). *Soil Chemical Analysis: Advanced Course. A Manual of Methods Useful for Instruction and Research in Soil Chemistry, Physical Chemistry of Soil, Soil Fertility, and Soil Genesis*. 2nd Edition. Board of Regents of the university of Wisconsin System. USA.
- John RN and Kim SP, 2002. Aggregate stability and size distribution. Pp. 201-414. *In*: Jacob HD and Topp GC (ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. A., Madison, WI., USA.
- Jones OR, Hauser VL and Popham TW, 1994. No-tillage effects on infiltration, runoff, and water conservation on dry-land. *Trans ASAE* 37: 473-479.
- Katsvairo T, Cox WJ and Harold VE, 2002. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics. *Agric J* 94: 299-304.
- Kemper WD, 1993. Effects of soil properties on precipitation use efficiency. *Irrig Sci* 14: 65-73.
- Klute A and Dirksen C, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. Pp: 687-734. *In*: Klute A (ed.). *Method of Soil Analysis*. Part 1, 2. Agron Monogr 9. ASA and SSSA, Madison, WI. USA.
- Knudsen D and Peterson GA, 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. pp. 225-245. *In*: Page AL (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Second Edition. *In*: Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Soil Sci Soc Am Madison, WI., USA.
- Lal R, Mahboubi AA and Fausey NR, 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of central Ohio soil. *Soil Sci Soc Am J* 58: 517-523.
- Lindsay WL and Norvel WA, 1978. Development of DTPA Soil test for zinc, iron, manganese and copper, *Soil Sci Soc Am J* 42: 421-428.
- Lopez BL, Lopez FJG, Fuentes M, Castillo JE and Fernandez EJ, 1997. Influence of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on soil organic matter and nitrogen under rain fed Mediterranean condition. *Soil Till Res* 43: 277-293.

- Nelson DW and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In*: Sparks, DL (ed.). *Methods of Soil Analyses. Part 3. 961-1010. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.*
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean LA, 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cire. 939. U.S. GOV. Print Office, Washington, DC.
- Osman AE, Ibrahim MH and Jones MA, 1990. The role of legumes in the farming systems of the Mediterranean areas. Kluwer Academic Publisher.
- Peterson TA and Vargel GE, 1989. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. I. Soybean. *Agron J* 81: 727-731.
- Power JF, 1990. Legumes and crop rotation. Pp. 178-204. *In*: Francis CA, Flora CB and king LD (eds). *Sustainable Agriculture in Temperate Zones; Wiley, NY.*
- Rachman A, Anderson SH, Ganter CJ and Thompson AL, 2003. Influence of long-term cropping systems on soil physical properties related to soil erodibility. *Soil Sci Soc Am J* 67:637-644.
- Rhodes JD, 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. *In*: Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analyses. Part 3. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.*
- Roder W, Mason SC, Clegg MD and Kniefp KR, 1989. Yield-soil relationships in sorghum-soybean cropping systems with different fertilizer regimes. *Agron J* 81: 470-475.
- Sainju UM, Lenssen A, Caesar-Tonthat T and Waddell J, 2006. Tillage and crop rotation effects on dryland soil and residue carbon and nitrogen. *Soil Sci Soc Am J* 70: 668-678.
- Stevenson FJ, 1985. Cycles of soil. *In*: Aiken GR, McKnight DM, Wershaw RL and MacCarthy P (eds),. *Geochemistry of soil humic in Soil, Sediment, and Water. Wiley, NY.*
- Sumner ME and Miller WP, 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. Pp. 1201-1230. *In*: Sparks DL (ed.). *Methods of Soil Analyses. Part 3. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.*
- Van Lierop W, 1990. Soil pH and lime requirement determination. Pp. 73-126. *In*: Westerman RL (ed). *Soil Testing and Plant Analysis. 3rd ed. Soil Sci Soc Am, Madison, WI., USA.*
- Wilson GF, Lal R and Okigbo BN, 1982. Effects of cover crops on soil structure and on yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded Alfisol. *Soil Till. Res.* 2: 233-250.