دانشکده کشاورزی

گروه خاکشناسی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک و حفاظت خاک

اثرات تبدیل تناوب های زراعی گندم- آیش و گندم- نخود به کشت ممتد گندم بر خصوصیات ساختمانی خاک در اراضی دیم

استاد راهنما

دکتر محمدرضا نیشابوری

اساتید مشاور

دکتر شاهین اوستان

مهندس ولی فیضی اصل

پژوهشگر

مهدی رحمتی

شهریور 88

بسم الله الرحمن الرحیم

الهی توفیقم ده که بیش از طلب همدردی، همدردی کنم.

بیش از آنکه مرا بفهمند، دیگران را درک کنم.

پیش از آنکه دوستم بدارند، دوست بدارم.

زیرا در عطا کردن است که می ستانیم و در بخشیدن است، که بخشیده می شویم و در مردن است، که حیات ابدی می یابیم.

از پدر و مادر عزیزم که مظهر گذشت و مهربانی اند بسیار متشکرم و دستهای بخشایشگرشان را می بوسم.

از خواهران و برادران عزیزم که همواره مشوق من در زندگی بوده اند، سپاسگزارم.

از آقای دکتر محمد رضا نیشابوری که از راهنمایی های ارزنده ی ایشان در این تحقیق بهره مند شدم، تشکر و قدردانی می کنم.

از زحمات استادان عزیزم آقای دکتر اوستان و آقای مهندس فیضی اصل کمال تشکر و امتنان را دارم.

از آقای دکتر نصرت اله نجفی که زحمت باز خوانی و داوری این پایان نامه را تقبل نمودند، سپاسگزارم.

از مدیریت محترم گروه خاکشناسی جناب آقای دکتر علی اصغر زاد و سایر اساتید فرزانه گروه جناب آقای دکتر جعفر زاده، دکتر ریحانی تبار و دکتر شهبازی که در محضرشان کسب علم نموده ام، سپاسگزارم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر مقدم که با کمال صبر و حوصله بنده را در انجام هرچه بهتر این پایان نامه یاری نمودند، تشکر و قدردانی می نمایم.

از ریاست محترم موسسه تحقیقات دیم کشور (مراغه) و دیگر مسئولین این موسسه که بنده را در انجام هرچه بهتر این پایان نامه یاری نمودند، بسیار ممنونم.

از آقای دکتر بیات، مهندس موسوی و مهندس احمدی که همواره از راهنمایی های ارزنده شان بهره مند شدم، سپاسگزاری می نمایم.

از آقای مهندس عمارت پرداز که از کمک های بی دریغشان بهره مند بودم، سپاسگزارم.

از دوست و همکلاسی عزیزم آقای مهندس حیدر غفاری که در همه مراحل انجام پایان نامه بنده را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می کنم.

از دوستان عزیزم آقایان داود کولیوند، علی نوروزی، فرهنگ رضوی، منصور سیف موسوی، قاسم عسکری، حسین بیرامی، امیر آفریدون، مجید پدرام و محمد علی ضیائی که بنده را در نگارش و تدوین این پایان نامه کمک نمودند، قدردانی می نمایم.

از تمامی دوستان و دیگر همکلاسی هایم که به نوعی از لطف شان در انجام این تحقیق بهره مند بودم ولی اسامی بزرگشان در این چند سطر کوچک نگنجید، نیز بسیار ممنونم و برای تمامی عزیزان آرزوی سلامت و سعادت از درگاه احدیت دارم.

مهدی رحمتی

شهریور ۸۸

تقدیم به:

پدر مهربان و مادر فداکارم

و

استاد ارجمندم آقای دکتر نیشابوری

نام خانوادگی: رحمتی نام: مهدی

عنوان پایان‌نامه: اثرات تبدیل تناوب های زراعی گندم- آیش و گندم- نخود به کشت ممتد گندم بر خصوصیات ساختمانی خاک در اراضی دیم

استاد راهنما: دکتر محمد رضا نیشابوری

اساتید مشاور: دکتر شاهین اوستان و مهندس ولی فیضی اصل

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

رشته: خاکشناسی گرایش: فیزیک وحفاظت خاک

دانشگاه: تبریز دانشکده: کشاورزی

تاریخ فارغ‌التحصیلی: شهریور ماه 1388 تعداد صفحات: 83 صفحه

کلید واژه ها: ماده خشک گیاهی، پایداری خاکدانه، تناوب زراعی، کیفیت خاک، هدایت هیدرولیکی

چکیده:

برای بررسی اثرات تناوب های زراعی مختلف بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم دیم، سه مکان با سری‌های خاک سهند، رجل آباد و داراب واقع در منطقه مراغه- هشترود انتخاب گردید. در هر یک از این مکان‌ها چهار سیستم تناوبی کشت ممتد گندم (تیمار اول)، گندم- نخود (تیمار دوم)، گندم- آیش- گندم- گندم-گندم (تیمار سوم) و گندم- آیش (تیمار چهارم) به مدت پنج سال زراعی (1387-1382) اعمال شد. در خرداد ماه سال 1387 (مرحله رشد GS54) نمونه‌های دست خورده و دست نخورده خاک از تمامی تیمارها در سه عمق 10-0، 20-10 و 40-20 سانتیمتری تهیه گردید. در این نمونه‌ها، تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (بافت، K_S، WAS، D_b، MWD، D_m، pH، EC، CCE، OC، CEC و P، K، Fe، Mn، Cu و Zn قابل استفاده و نیتروژن کل و فاکتور فرسایش پذیری خاک) تعیین 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 اول و سوم ($2/01\ cm.hr^{-1}$) و بیشترین مقدار آن در تیمارهای دوم ($4/89\ cm.hr^{-1}$) و چهارم ($5/27 cm.hr^{-1}$) بدست آمد. بیشترین مقدار WAS

(71/6%) در تیمار چهارم حاصل شد که به طور معنی داری (P< 0/05) با تیمارهـای دیگـر اخـتلاف نـشان داد. D_b در تیمارهـای دوم ($1/16\ g.cm^{-3}$) و چهـارم ($1/15\ g.cm^{-3}$) بـه طـور معنـی داری (P< 0/05) در مقایسه با تیمارهای اول ($1/29\ g.cm^{-3}$) و سوم ($1/29\ g.cm^{-3}$) کاهش یافت کـه مـی تواند در اثر افزایش بخش سبک ماده آلی در تیمارهای دوم و چهـارم نـسبت بـه تیمـار اول و سـوم باشد. بیشترین ($4/8\ mg.Kg^{-1}$) و کمترین ($3/9\ mg.Kg^{-1}$) مقدار آهـن قابـل اسـتفاده بـه ترتیـب در تیمارهای چهارم و اول حاصل شد کـه بـا تیمارهـای دوم و سـوم بـه طـور معنـی داری (P<0/05) اختلاف داشتند. بیشترین مقدار فاکتور فرسایش پـذیری خـاک در تیمـار هـای اول ($t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-}$ $0/00681^{1}$) و سوم ($0/00711\ t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) بدست آمد و به طور معنی داری بـا تیمارهـای دوم ($0/00299\ t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) و چهـارم ($0/00223\ t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) متفـاوت بـود. مقـدار بیومـاس گیاهی در تیمار های دوم ($3/10\ t.ha^{-1}$) و چهارم ($3/05\ t.ha^{-1}$) بـه طـور معنـی داری (P<0/05) بـا تیمارهای اول ($1/50\ t.ha^{-1}$) و سوم ($1/57\ t.ha^{-1}$) تفاوت داشت که می تواند به دلیل بهبـود شـرایط فیزیکی و بهبود شرایط تغذیه ای باشد. در دیگـر خـصوصیات انـدازه‌گیـری شـده و رطوبـت خـاک اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد. بر اساس نتایج حاصله، کـشت ممتـد گنـدم بـه جـای تناوب گندم- نخود یا گندم- آیش، ریسک پس‌روی کیفیت خاک اراضی و به خـصوص در طـولانی مدت را به همراه خواهد داشت.

مقدمه

مقدمه

توان تولید خاک حاصل فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک آن می‌باشد. توازن پایدار این فرآیندها به همراه مدیریت مناسب بهره‌برداری از خاک، موجب تداوم باروری خاک می‌شود. هر گونه اقدام در جهت بر هم‌زدن این تعادل ممکن است اثرات جبران‌ناپذیری به دنبال داشته باشد. مواد آلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی (پایداری خاکدانه‌ها)، شیمیایی (افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی) و بیولوژیک (فعالیت میکروبی) خاک دارد، به عنوان رکن اساسی باروری خاک به‌ویژه در شرایط دیم شناخته شده است (ابراهیمی و همکاران، 1384). نتایج پژوهش‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که سازوکارهای افزایش و کاهش ماده آلی خاک به شدت به وسیله عوامل مدیریتی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (ریویس و همکاران، 1992 و آزودو و همکاران، 1999). خاکورزی مکرر با ماشین‌آلات سنگین کشاورزی، عدم رعایت تناوب زراعی مناسب، عدم مصرف کودهای آلی و بالاخره سوزاندن بقایای گیاهی بخصوص در بلند مدت باعث افزایش تراکم خاک، کاهش نفوذپذیری، تخریب ساختمان خاک و افزایش رواناب و نهایتاً فرسایش خاک می‌شود (بیدربک و همکاران، 1980). امروزه باور بر این است که اگر زارعی همواره به تولید یک محصول در مزرعه خود بپردازد و یا همیشه یک محصول را در یک قطعه زمین بکارد، نه تنها حداکثر بازدهی را در بلند مدّت از کار و عوامل تولید به دست نمی‌آورد، بلکه با مسائلی از قبیل گسترش علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های گیاهی، فرسایش و نقصان حاصلخیزی خاک و در نهایت افت تدریجی عملکرد رو برو می‌گردد. زارع باید برای پرهیز از این مشکلات، از کاشت مداوم یک محصول در یک قطعه زمین خودداری و اصول تناوب زراعی را رعایت نماید. با توجه به افزایش قیمت گندم در سال‌های اخیر، سهولت کشت و کار گندم در دیمزارها و خرید تضمینی آن از سوی دولت، متأسفانه برخی از زارعین دیم‌کار در شمال‌غرب کشور بخصوص در منطقه مراغه-هشترود تناوب‌های زراعی

رایج (آیش - گندم یا حبوبات - گندم) را بدون توجه به عواقب آن رها کرده و آن را تبدیل به کشت ممتد گندم نموده‌اند. در اینگونه زراعت‌ها بقایای گیاهی رها شده از محصول قبلی در سطح زمین مانعی برای انجام عملیات کشت و کار محسوب می‌شود و به همین دلیل زارعین اقدام به جمع‌آوری بقایای گیاهی (چرانیدن یا سوزانیدن) می‌نمایند. در چنین شرایطی برگشت ماده آلی به خاک به شدّت کاهش یافته و احتمالاً پیآمدهایی همانند تضعیف ساختمان خاک، به وجود آمدن وضعیت نامطلوب فیزیکی در خاک و تشدید فرسایش خاک را به دنبال خواهد داشت (بردی، 1990). بعلاوه این پدیده در جهت تبدیل کربن آلی به معدنی و افزایش CO_2 جو زمین است که در بلند مدت اثر گلخانه ای جو زمین را تشدید می کند (اسچازنسکی و هیل، 2009). هدف تحقیق حاضر این است که مشخص شود تبدیل تناوب های زراعی گندم-آیش و گندم-نخود به کشت ممتد گندم پس از پنج سال منشا چه تغییراتی در خصوصیات و شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه از نظر ساختمانی می‌شود و ارتباط این تبدیلات با عملکرد گندم چگونه است.

بخش اول

بررسی منابع

1- بررسی منابع

1-1- تناوب زراعی و تاریخچه آن

کشت متوالی چند گیاه زراعی در سال‌های مختلف در یک قطعه زمین را تناوب زراعی گویند. عملیات تناوب گیاهان زراعی راهکاری است که سال‌های سال به اجرا در آمده است. به نظر می‌رسد سرمنشا تناوب زراعی فعالیت‌هایی بوده است که بشر در ارتباط با بهره‌وری خاک انجام داده است. نخستین متخصصان زراعی به تجربه دریافته بودند که نظام‌های تک کشتی مداوم، عامل اصلی کاهش عملکرد می‌باشند. زیرا خاک‌های زراعی اندکی وجود دارد که بتواند با یک الگوی تک کشتی، عملکرد یک گیاه زراعی را به طور مداوم و در طول زمان در سطح بالایی حفظ نماید. به همین خاطر در طول تاریخ، تناوب زراعی نقش مهمی در حفظ بهره‌وری سیستم‌های زراعی ایفا کرده است (آینه بند، 1384). تناوب زراعی از زمان‌های قدیم توسط محققان و کشاورزان در مزراع به کار گرفته شده است، ولی کاربرد چشمگیر آن در اکثر نقاط جهان از قرن 19 صورت گرفته است (آینه بند، 1384). در قرن 19 به رغم کاربرد وسیع تناوب‌ها، متخصصان زراعت همانند لیبیگ (نقل از آینه بند، 1384) بر این باور بودند که اگر چه گیاهان زراعی شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود می‌دهند، اما کلیه گیاهان زراعی سرانجام باعث اصطلاحاً خستگی خاک[1] خواهند شد. با افزایش تحقیقات در مورد تناوب زراعی و ظهور دیدگاه‌های جدید در مورد دانش توالی محصولات زراعی، اولین ایستگاه تحقیقات کشاورزی جهان در رتامستد انگلستان در قرن 19 تأسیس گردید. از جالب ترین یافته‌های این ایستگاه پژوهشی در خصوص اثر تناوب، آگاهی از این نکته بود که بخشی از نیتروژن تثبیت شده توسط بقولات در نظام‌های زراعی برای گیاهان بعدی نیز قابل استفاده بوده است. توسعه الگوهای تک کشتی اساساً بعد از جنگ جهانی دوم در بسیاری از کشورهای صنعتی افزایش و در مقابل،

1 - Soil decay

کاربرد تناوب گیاهان زراعی کاهش یافت. با این حال، در بسیاری از نواحی در جهان، تناوب زراعی همچنان به عنوان الگوی کشت غالب پابرجا است و بسیاری از متخصصان علوم زراعت بر این نکته توافق دارند که تناوب زراعی در بلند مدت عملکرد و سود خالص را افزایش داده و تولید محصول را در یک سطح با ثبات حفظ می کند (میشل، 1991). در این میان تناوب گیاهان لگوم و چمن همچنان بیشتر از انواع تک کشتی قابل توجه می‌باشد (لال و همکاران، 1994).

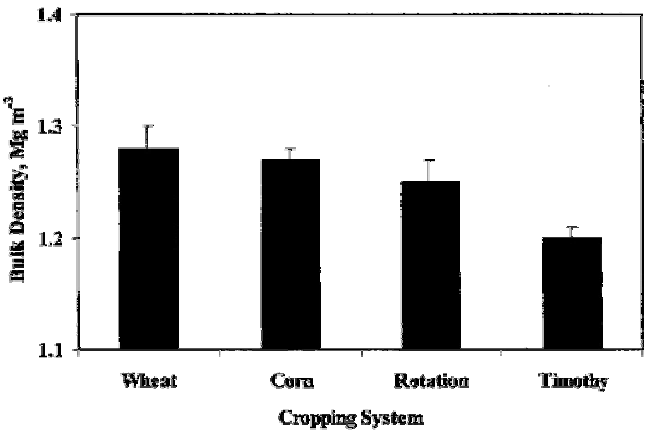
1-2- اثرات تناوب زراعی بر خصوصیات مختلف خاک

1-2-1- خصوصیات فیزیکی خاک

1-1-2-1- جرم مخصوص ظاهری (D_b)

لال و همکاران (1994) در یک تحقیق نسبتاً بلند مدت (28 سال) که شامل سه نوع تناوب زراعی متفاوت به همراه نظام‌های مختلف خاک‌ورزی بود به این نتیجه رسیدند که تناوب زراعی پس از 28 سال به طور معنی داری ($P< 0/05$) بر جرم مخصوص ظاهری (D_b) خاک اثر گذاشته است. آنان بیشترین مقدار D_b را در تناوب ذرت- یولاف-چمن و کمترین آن را در کشت ممتد ذرت بدست آوردند. این محققان علت احتمالی ثبت D_b زیاد در تیمار ذرت-یولاف-چمن را به نوع و تعداد پوشش در زمان ترافیک وسایل نقلیه مرتبط دانسته اند. همچنین آنان تأثیرپذیری معنی‌دار D_b از نوع شخم و اثر متقابل شخم و تناوب را گزارش نمودند. سون و همکاران (2007) در پژوهش خود که شامل تناوب‌های گندم ممتد، ذرت-گندم-کلزا-گندم، شبدرقرمز-گندم-کلزا-گندم و تناوب آیش-گندم-کلزا-گندم بود به این نتیجه رسیدند که تناوب زراعی اثر معنی‌داری بر D_b نداشت. لیبیگ و همکاران (2002) در پژوهش خود با تیمارهای کشت ممتد ذرت، ذرت- سویا، ذرت- یولاف/ شبدر- سورگوم- سویا و تناوب ذرت- سویا- سورگوم- یولاف/ شبدر که به مدت 16 سال طول

کشید کمترین مقدار D_b ($1/15g.cm^{-3}$) را در تناوب ذرت- سویا- سورگوم- یولاف/ شبدر به ثبت رساندند که به طور معنی داری با دیگر تناوب ها متفاوت بود. آنان دلیل این تفاوت را بهبود شرایط فیزیکی خاک ناشی از کشت مخلوط شبدر و یولاف در مقایسه با دیگر تناوب ها دانسته اند. کاستاویرو و همکاران (2002) نیز در تحقیقات خود سه نوع تیمار کشت ممتد ذرت، تناوب سویا- ذرت و سویا-گندم/ شبدر-ذرت را به همراه روش‌های مختلف خاک‌ورزی که به مدت شش سال به طول انجامید مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که نوع تناوب زراعی هیچ گونه اثر معنی داری بر D_b ندارد. نتایج به دست آمده از تحقیقات راچمن و همکاران (2003) که شامل چهار تیمار کشت ممتد ذرت، کشت ممتد گندم، کشت ممتد نوعی علف[1] و تناوب ذرت-گندم- شبدر قرمز که به مدت 100 سال به طول انجامید، نشان داد که تفاوت معنی داری از نظر D_b در بین تیمارها وجود ندارد. با این وجود نتایج به دست آمده هر چند به صورت غیر معنی دار نشانگر افزایش D_b در دو تیمار کشت ممتد گندم و کشت ممتد نخود بود (شکل 1).



شکل 1: میانگین D_b برای سیستم های تناوبی انتخاب شده

1- Timothy

1-2-1-2- رطوبت

رطوبت خاک برعکس خصوصیاتی نظیر D_b از وضعیت کاملاً پویایی برخوردار است و اغلب تابع سابقه بارندگی‌ها در ماههای قبل از اندازه‌گیری است. این نکته و باضافه پیچیدگی خاصی که در وابستگی رطوبت خاک به یکسری عوامل وجود دارد باعث شده تا روند مشخصی از تأثیر تناوب زراعی بر رطوبت خاک در بسیاری از تحقیقات مربوطه وجود نداشته باشد. لیبیگ و همکاران (2002) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تناوب زراعی اثر معنی‌داری بر ظرفیت نگهداری آب خاک ندارد. رودر و همکاران (1989) با بررسی اثرات تناوب‌های سورگوم-سویا، سویا-سورگوم، کشت ممتد سورگوم و کشت ممتد سویا که به مدت 6 سال در مزارع اعمال شده بودند، با اندازه‌گیری‌هایی که در طول سه سال آخر اجرای طرح انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مقدار آب خاک در طول فصل رشد در تیمار کشت ممتد سورگوم بیشترین و در کشت ممتد سویا کمترین بود. آنان افزایش پوشش گیاهی باقی مانده از کشت قبلی در کشت ممتد سورگوم را دلیل احتمالی این اثر دانسته اند. همچنین این محققان مقدار آب ذخیره شده در تناوب های مختلف را در سال آخر تحقیق اندازه گرفتند. کمترین آن در تناوب سویا-سورگوم و بیشترین آن در تناوب سورگوم- سویا بدست آمد. بحرانی (1377) جلوگیری از تلفات رطوبت خاک بر اثر تبخیر، افزایش نفوذ آب و هوا در خاک، بهبود فرآیندهای خاک‌سازی و افزایش توان تولید خاک را از مزایای رعایت تناوب زراعی بر شمرده است. با توجه به شرایط حاکم در دیم‌زارهای مناطق خشک و نیمه خشک، به نظر می‌رسد که دو عامل حفظ و ذخیره رطوبت خاک و میزان مواد آلی به عنوان منشاء طبیعی نیتروژن خاک، محدود کننده‌ترین عوامل رشد گیاهان به شمار می‌روند (زرین کفش، 1371؛ سالاردینی، 1371 و سارادون و جیانیبلی، 1992). دالال و همکاران (1998) نیز اثرات مفید حاصل از تناوب نخود- گندم را در طی هشت سال در مقایسه با کشت ممتد گندم در رابطه با افزایش کارآیی مصرف آب گزارش نمودند.

تناوب زراعی رایج بلند مدت دشت‌های مرکزی آمریکا اغلب گندم - آیش می‌باشد. کارآیی ذخیره آب در خاک در این تناوب در مدت آیش کمتر از 25 درصد از کل نزولات جوی است. بنابراین بیش از 75 درصد نزولات از طریق تبخیر، رواناب و استفاده علف‌های هرز تلف می‌شود (پترسون و همکاران، 1996).

3-1-2-1- پایداری خاکدانه ها (WAS)

به خاکدانه‌هایی که در برابر برخورد قطره‌های آب بهنگام بارندگی یا خیس شدن در حین آزمون الک تر[1] متلاشی نمی شوند و هویت خود را حفظ می کنند، خاکدانه‌های پایدار[2] گفته می‌شود. تشکیل خاکدانه در افقهای روئین بسیاری از خاک‌ها، تابعی از تجزیه و فساد میکروبی مواد آلی است. هر چه شرایط محیط برای فعالیت میکروبها مناسبتر باشد بازتاب مثبت آن در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها بیشتر ظاهر می‌شود. تأثیر مواد آلی در پایداری خاکدانه‌ها از فعالیت ریزجانداران در خاک سرچشمه می‌گیرد. لال و همکاران (1994) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که پایداری خاکدانه‌ها (WAS) و خاکدانه سازی از نوع تناوب زراعی و شخم تأثیرپذیر می‌باشند. آنان در آزمایشات خود بیشترین مقدار خاکدانه سازی را در تناوب ذرت- سویا و کمترین مقدار خاکدانه سازی را در تناوب ذرت-یولاف- چمن ثبت کردند که این روند در هر سه نوع شخم به کار برده شده صادق بود. این محققان دلیل افزایش میزان خاکدانه سازی را به وجود گیاه تیره لگوم در تناوب ذرت- سویا مربوط دانسته‌اند. وجود گیاهان ذرت و سویا در تناوب سبب افزایش میزان بقایای گیاهی با نسبت C/N پائین می‌گردد که این خود سبب افزایش فعالیت ریزجانداران شده و سرانجام می‌تواند باعث افزایش خاکدانه‌سازی در خاک گردد. همچنین آنان مقدار نسبتاً کم بقایای گیاهی و

[1] -Wet sieving
[2] -Wet- aggregate stability

نسبت بالای خاک بدون پوشش را عامل کاهش میزان خاکدانه سازی در تناوب ذرت-یولاف-چمن می دانند. محققان زیادی در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده اند که تناوب های کشت ممتد ذرت و ذرت- سویا باعث کاهش پایداری خاکدانه ها و تخریب ساختمان خاک می گردد (ریمبولت و وین، 1991؛ حسین و همکاران، 1988 و فهد و همکاران، 1982). هرنانز و همکاران (2002) در تحقیق خود که دو تناوب گندم-ماشک و کشت ممتد گندم را به همراه سه نوع روش خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حفاظتی[1]، خاک‌ورزی کمینه[2] و کشت مستقیم بدون خاک‌ورزی[3] در طول 13 سال مقایسه کردند به این نتیجه رسیدند که درصد خاکدانه های پایدار در تناوب گندم- ماشک به همراه خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی کمینه به طور معنی داری ($P< 0/05$) بیشتر از کشت ممتد گندم به همراه این دو نوع نظام خاک‌ورزی بود ولی در روش کشت بدون خاک‌ورزی درصد خاکدانه های پایدار در تیمار کشت ممتد گندم به طور معنی داری بیشتر از تناوب گندم- ماشک بود و هیچ دلیلی بر یافته های خود بیان نکردند. فهد و همکاران (1982) در مقایسه اثرات کشت ممتد سویا و کشت آن به صورت تناوب با دیگر گیاهان به این نتیجه رسیدند که مقدار خاکدانه های پایدار در تیمار کشت ممتد سویا نسبت به کشت سویا در تناوب های مختلف کمتر است. کاسترو فیلو و همکاران (2002) در تحقیق خود که دو نوع روش شخم را به همراه سه نوع تناوب سویا-گندم- سویا، نخود-گندم- نخود و سویا-گندم- نخود که به مدت 21 سال به طول انجامید، مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که نوع تناوب زراعی اثر معنی داری بر شاخص پایداری خاکدانه‌های خاک ندارد. آنان تنها تمایل به بهتر شدن وضعیت پایداری خاکدانه‌ها را در تناوب نخود-گندم-نخود نسبت به دو تناوب دیگر گزارش کردند.

---

1 - Conservation tillage
2 - Minimum tillage
3 - Zero tillage

1-2-1-4- هدایت هیدرولیکی (K_S)

نوع کشت و خاک‌ورزی همراه با آن و باضافه فعالیت‌های زیستی وابسته از جمله عوامل تأثیر گذار بر اندازه منافذ خاک و نهایتاً بر هدایت هیدرولیکی[1] (K_S) خواهد بود. کمبر (1993) عقیده دارد که کشت ممتد یک محصول سبب کاهش توان خاک در هدایت آب خواهد شد. نامبرده دلیل این ادعای خود را کاهش مواد آلی خاک در طول کشت ممتد یک محصول می‌داند. بلیر و همکاران (2002) در یک تحقیق نسبتاً طولانی (36 سال) تناوب‌های مختلفی از ترکیب یونجه، شبدر، نوعی گیاه دارویی، بقولات سبز و آیش با گندم و نخود به همراه کشت ممتد گندم را مقایسه کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک وجود ندارد. فهد و همکاران (1982) در تحقیق خود نتیجه گرفتند که کشت ممتد سویا باعث کاهش محسوس نفوذ آب به خاک در مقایسه با کشت سویا در تناوب‌های مختلف با دیگر گیاهان می‌گردد.

1-2-1-5- میانگین وزنی قطرخاکدانه ها (MWD)

توزیع اندازه خاکدانه‌ها به عنوان شاخصی از وضعیت ساختمان خاک بکار رفته است. نیاز به بیان توزیع اندازه خاکدانه ها در قالب یک پارامتر منفرد از مدت‌ها شناخته شده است. در نتیجه چند شاخص تجربی جهت توصیف توزیع کامل اندازه خاکدانه‌ها به صورت کمی ارائه شده است. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[2] (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها[3] (GMD) جزء این شاخص ها می باشند (پیرمرادیان و همکاران، 2005). در بسیاری از مطالعات، MWD تغییرات مهمی را بر اثر اعمال تیمارهای کشت و شخم نشان داده است (استون و باتری، 1989). لال و همکاران (1994) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تناوب زراعی اثر معنی داری بر مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه ها

[1] - Saturated hydraulic conductivity
[2] - Mean weight diameter
[3] - Geometric mean diameter

(MWD) ندارد. ولی با این وجود بیشترین مقدار MWD در تناوب ذرت- سویا و کشت ممتد ذرت ثبت گردید و دلیل آن افزایش میزان بقایای گیاهی در این تناوب‌ها نسبت به تناوب‌های دیگر بیان شد. بلیر و همکاران (2002) در تحقیق خود بیشترین مقدار MWD را در تناوب شبدر- یونجه- گندم (60/5%) و کمترین مقدار آن (40/3%) را در تناوب آیش طولانی مدت و کشت ممتد گندم بدست آوردند که به طور معنی داری (P< 0/05) با هم تفاوت داشتند. کاستروفیلو و همکاران (1998) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تناوب زراعی اثر معنی‌داری بر MWD و GMD نداشت. در مقابل یوسفی و همکاران (2008) گزارش نمودند که اعمال تناوب های زراعی متفاوت در طول پنج سال زراعی اثر معنی‌داری بر MWD داشت. آنان بیشترین مقدار MWD (0/69 میلی‌متر) را در تناوب گندم- ذرت-جو-گندم- ذرت و کمترین آن (0/39 میلی متر) را در تناوب جو- برنج- جو- برنج- آیش بدست آوردند. تناوب ذرت-گندم- یونجه- یونجه- یونجه نیز حالت بینابین این دو تناوب را از لحاظ مقدار MWD به خود اختصاص داد. نتایج هرنانز و همکاران (2002) نشان داد که به کار بردن تناوب های گندم-ماشک و کشت ممتد گندم به همراه خاک‌ورزی حفاظتی، خاک‌ورزی کمینه و بدون خاک‌ورزی بعد از 13 سال اثر معنی‌داری بر MWD خاک نداشت.

1-2-1-6- بعد فرکتالی خاکدانه‌ها

نظریه فرکتال از مهمترین روش های موجود برای مدلسازی ویژگی های ساختمان خاک می باشد (یوانگ و همکاران، 2001). ریشه لغوی فرکتال به کلمات لاتین Frangere و Fractus، به «تکه تکه شدن» و «نامنظم» بر می‌گردد. خصوصیتی از یک شکل که باعث می‌شود آن را فرکتال بنامیم هندسه نامنظم و پیچیده آن است که در بسیاری از مقیاس ها واضح و مشخص است. از نظر ریاضی جسمی که هندسه نامنظم خود را تا بی نهایت حفظ نکند فرکتال واقعی نیست. مزیت فرکتال ها

تخمین ساختمان خاک در یک دامنه مقیاس معین و ارتباط غیر یکنواختی ساختمان خاک به رفتار ویژه ای از خاک (نگهداری آب، حرکت املاح و . . .) می باشد (یوانگ وهمکاران، 2001).

علی رغم تمام پیشرفت های انجام گرفته هنوز در بین مدل های تجربی نگهداری رطوبت و تفسیر فیزیکی از پارامترهای آنها ابهام واختلاف نظر وجود دارد. استفاده از تئوری فرکتال ابزاری مفید جهت رفع این ابهام می تواند باشد. برای محاسبه بعد فرکتالی خاکدانه ها در منابع مختلف از اندازه های متفاوت خاکدانه ها استفاده شده است. ولی به طور معمول در بیشتر منابع از خاکدانه های بزرگتر از 4/75 میلی متر استفاده شده است.

فرکتال ها به طور فزاینده ای به عنوان یک وسیله مشخص کردن ویژگی های متغیر محیط های متخلخل در مطالعات و پژوهش های فیزیک خاک بویژه در زمینه های زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

1. توزیع فرکتالی اندازه-تعداد: مانند توزیع اندازه منافذ (تیلر و ویت کرافت، 1990؛ پریر و همکاران، 1996) و توزیع اندازه ذرات (تیلر و ویت کرافت، 1992).
2. سطوح فرکتالی: مانند سطح مشترک منافذ و ذرات جامد (تولدو و همکاران، 1990؛ کروفورد و همکاران، 1995).
3. ویژیگی‌های فرکتالی جرم: مانند فرکتال ذرات جامد (یانگ و کروفورد، 1991) و توزیع خاکدانه ها (کروفورد و همکاران، 1993).

همچنین هندسه فرکتال بویژه مدل های فرکتال خود تشابه در خاک شناسی برای توصیف و تشریح ساختمان خاکدانه ها، فصل مشترک ذرات و منافذ و تخلخل خاک که در آن منافذ خاک ایجاد شده توسط ذرات درشت با ذرات ریزتر پر شده است، بکار رفته است (بیرد و همکاران، 1996).