

عوامل تأثیرگذار بر مقاومت فروری در سه کاربری بایر، زراعی و نیشکر در برخی از خاک‌های خوزستان

فرزاد مرادی¹، زهرا قربانی، پرستو میساقی و بیژن خلیلی مقدم

دانش آموخته علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان؛ Farzadmp2@yahoo.com

دانش آموخته علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان؛ Za_ghorbani@yahoo.com

مدرس علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان؛ Pmisaghi@yahoo.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان؛ Moghaddam623@yahoo.ie

دریافت: 92/10/8 و پذیرش: 94/3/26

چکیده

هدف از این پژوهش، تعیین و مقایسه پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت فروری (PR) در سه کاربری بایر، زراعی و نیشکر در اراضی کشت و صنعت هفت‌تپه در استان خوزستان می‌باشد. بدین منظور، تعداد 80 نمونه خاک از هر کاربری در دو عمق 0-40 و 40-80 سانتی‌متری برای ایجاد معادلات رگرسیونی برآورد کننده PR جمع‌آوری گردید. به علاوه، امکان استفاده از شیب منحنی نگهداری رطوبت در نقطه عطف (شاخص S) در استخراج توابع رگرسیونی نیز بررسی شد. برای حذف اثرات محتوی رطوبتی بر PR، مقاومت فروری در مکش 33 کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پارامترهای تأثیرگذار بر PR در اراضی بایر متفاوت تر از اراضی زراعی و نیشکر می‌باشند. با کاهش ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در اراضی زراعی و نیشکر، مقادیر PR به صورت لگاریتمی افزایش یافت. احیای زمین‌های بایر با از بین بردن محدودیت شوری و سدیمی آن‌ها و افزایش مقدار ماده آلی سبب افزایش شاخص S شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در مقادیر خیلی پایین شاخص S مقاومت فروری وابسته به نیروهای تراکمی خواهد بود و با کاهش بیش‌تر ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و یا افزایش SAR، تغییر اندکی در مقاومت فروری به وجود خواهد آمد.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، شیب منحنی نگهداری رطوبت در نقطه عطف

¹ نویسنده مسئول، آدرس: اهواز، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

شود و تراکم طولانی مدت حاصله، یک تهدید اساسی در حاصلخیزی خاک به حساب می‌آید.

آلن و موسیک (1997) در طی پژوهش‌های خود رطوبت خاک را مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر مقاومت فروری دانستند و توصیه کردند که در مقایسه مقاومت فروری خاک‌های مختلف، اندازه‌گیری‌ها در رطوبت ظرفیت مزرعه صورت گیرد. پژوهش‌های این دو محقق نشان داد که در این شرایط مقاومت فروری بسیار بیش از چگالی ظاهری نسبت به تراکم ناشی از عبور و مرور ادوات کشاورزی حساس است. دکستر و همکاران (2007) معادله‌ای براساس ویژگی‌های منحنی نگهداری رطوبت شامل تنش مؤثر (σ) و شیب منحنی نگهداری رطوبت در نقطه عطف (S) در برآورد مقاومت فروری ارائه دادند. محققین نامبرده پارامتر S را منعکس کننده جنبه‌های مختلف کیفیت خاک از قبیل نفوذ، سخت‌شدگی و فشردگی دانستند و بنابراین آن را شاخص کیفیت فیزیکی خاک نامیدند. امامی و همکاران (1389) رابطه بین شاخص S با پارامترهای متعدد فیزیکی خاک از قبیل مقاومت فروری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، نسبت جذب سدیم، درصد رس، ماده آلی و قابلیت هدایت الکتریکی را در سطح یک درصد معنی‌دار دانستند. در حال حاضر، تراکم خاک از جمله معضلاتی است که کشت و صنعت‌های استان خوزستان با آن روبرو هستند، بنابراین مدل‌سازی مقاومت فروری و شناخت مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آن در مدیریت بهینه تراکم خاک ضروری می‌باشد. از این رو پژوهش حاضر جهت نیل به اهداف زیر انجام شده است:

- 1) بررسی تأثیر کاربرهای مختلف نیشکر، زراعی و بایر بر مقاومت فروری خاک
- 2) ارائه معادلات رگرسیونی، معرفی و مقایسه مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت فروری خاک در کاربری‌های ذکر شده
- 3) بررسی امکان استفاده از شاخص شیب منحنی نگهداری رطوبت در نقطه عطف در برآورد مقاومت فروری خاک

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

مناطق مورد مطالعه این پژوهش، شامل اراضی زیر کشت نیشکر، زراعی و بایر (بکر) کشت و صنعت هفت‌تپه در استان خوزستان می‌باشند. میانگین ارتفاع از سطح دریا 42 تا 82 متر و متوسط بارندگی سالیانه 233 میلی‌متر می‌باشد که بیشتر در ماه‌های آذر، دی و بهمن نازل می‌گردد. گرم‌ترین ماه سال تیر ماه با حداکثر مطلق

داده‌ها در آزمایش فروری منعکس کننده نیروی برشی، تغییر شکل تراکمی و اصطکاک حاصله بین خاک و میله نفوذ می‌باشند. فاکتورهای نامبرده تحت تأثیر شرایط فیزیکی خاک همانند پتانسیل آب در خاک، بافت، چگالی، ساختمان و مینرالوژی خاک قرار می‌گیرند (ناپ و لاپن، 2008). بنابراین مقاومت فروری می‌تواند اطلاعاتی مرتبط با تشکیلات زمین‌شناسی و پراکندگی آن‌ها و نیز پارامترهای زمین‌تکنیکی بدون نیاز به عملیات حفاری و نمونه‌برداری ارائه دهد (نومای و کروپ، 2001). به علاوه مقادیر مقاومت فروری خود به تنهایی دارای ارزش کمی هستند لیکن، بیانگر رفتار محیط کاربردی می‌باشند. به عنوان مثال، نیروی کششی (و از این رو انرژی کاربردی) حاصل از ادوات کشاورزی، قابلیت تردد و میزان و سرعت رشد ریشه‌ها را می‌توان با اندازه‌گیری مقاومت فروری بررسی کرد. مطالعه و اندازه‌گیری هر کدام از ویژگی‌های نامبرده به تنهایی، مشکل و پر هزینه می‌باشد. بنابراین می‌توان از مقاومت فروری به عنوان یک شیوه جایگزین مطالعه ویژگی‌های فوق استفاده کرد (دکستر و همکاران، 2007). بیات و همکاران (1386) و محبوبی و همکاران (1993) نیز اثر تکنیک‌های مختلف خاکورزی بر تراکم خاک را توسط شاخص مقاومت فروری ارزیابی کردند. پوپالا و همکاران (1995) نشان دادند که مقدار مقاومت فروری در خاک‌های درشت بافت نسبت به خاک‌های ریز بافت بیش‌تر است و همچنین در خاک‌هایی که بافت و مقدار رطوبت یکسان دارند عوامل سیمانی کننده مانند کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و اکسیدهای آهن مقدار مقاومت فروری را افزایش می‌دهند. متوالی و همکاران (2003) افزایش مقاومت فروری در لایه‌های سطحی را مرتبط با سخت کفه‌های رسی می‌دانند.

البانا و ویتنی (1987) با ارائه یک معادله جهت برآورد مقاومت فروری در عمق متوسطی از لایه شخم و محدوده وسیعی از خاک‌ها، نشان دادند که با افزایش میزان رس اثر چگالی ظاهری بر روی مقاومت فروری کاهش می‌یابد و به علاوه تأثیر رطوبت بر مقاومت فروری در خاک‌های شنی کمتر از خاک‌های رسی می‌باشد. نتایج پژوهش‌های ارویدسون و کلر (2004) در جنوب سوئد نیز نشان داد که وزن سنگین چرخ‌های ماشین‌آلات کشاورزی در طول برداشت محصول چغندر قند اغلب می‌تواند باعث افزایش تراکم و در نتیجه افزایش مقاومت فروری و کاهش هدایت هیدرولیکی

شیب نقطه عطف منحنی نگهداری رطوبت (S) به عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک ارزیابی شد. برای بدست آوردن S از داده‌های منحنی نگهداری رطوبت استفاده شد. بدین منظور جهت بهینه‌سازی پارامترهای معادله نگهداری رطوبت ون‌گونختن (1980) از نرم افزار RETC (ون‌گونختن و همکاران، 1991) استفاده شد. با استفاده از این نرم افزار ابتدا معادله مربوطه انتخاب و مقادیر چگالی ظاهری و درصد اجزاء بافت خاک برای هر نمونه جهت برآوردهای اولیه وارد نرم افزار RETC گردید. با فرض $m = 1 - 1/n$ با استفاده از روش حداقل مجموع مربعات خطا برای هر نمونه با وارد کردن جفت‌های مکش - رطوبت اندازه‌گیری شده، پارامترهای مدل شامل α ، m ، n ، θ_s و θ_r مشخص و مقدار S برای هر نمونه خاک تعیین گردید. محاسبه مقدار S براساس روابط ارائه شده توسط دکستر و همکاران (2007) صورت گرفت:

$$S = -n(\theta_s - \theta_r)[1 + 1/m]^{-(1+m)} \quad (1)$$

در معادله فوق θ_s و θ_r به ترتیب مقادیر رطوبت باقیمانده و اشباع و m و n پارامترهای تعیین کننده شکل منحنی نگهداشت رطوبتی (بدون بعد)، در مدل ون‌گونختن می‌باشند.

رطوبت خاک از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر مقاومت فروری است لذا جهت ارائه مقایسه صحیح، مقاومت فروری باید در رطوبت مشخصی اندازه‌گیری شود. از طرفی به دلیل تغییرپذیری بالای رطوبت خاک، اندازه‌گیری مقاومت فروری در مزرعه در یک رطوبت مشخص در عمل غیرممکن خواهد بود. بنابراین در تحقیق حاضر مقاومت فروری در فواصل زمانی مشخص بعد از آبیاری برای هر نقطه (موقعیت) اندازه‌گیری شد. در زمان اندازه‌گیری مقاومت فروری از خاک مورد نظر نیز نمونه‌برداری صورت گرفت و با روش توزین، درصد وزنی رطوبت خاک تعیین و سپس با کمک منحنی نگهداری رطوبت به مکش معادل آن تبدیل شد. در نهایت رابطه برازشی جفت داده‌های مکش - مقاومت فروری تعیین و مقاومت فروری در مکش 33 کیلوپاسکال برای هر نقطه بدست آمد. همچنان که باسچر (1990) در ارائه مدل‌های رگرسیونی مناسب جهت برآورد مقاومت فروری بر پایه چگالی ظاهری، از رطوبت خاک به صورت محتوی جرمی یا مکش ماتریک به عنوان پارامتری در تعدیل (نرمال‌سازی) مدل‌های مربوطه استفاده کرد. طی بررسی‌های به عمل آمده مرتبط با عوامل تأثیرگذار بر مقاومت فروری، به طور قطع اکثر محققین، رطوبت خاک را مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر مقاومت فروری

54 درجه سلسیوس و سردترین ماه سال بهمن ماه با حداقل 3- درجه سلسیوس و متوسط رطوبت نسبی سالانه 55/5 درصد می‌باشد. اراضی کشت و صنعت هفت‌تپه با 50 سال سابقه کشت در 90 کیلومتری شمال اهواز و بین دو رودخانه دز و کرخه قرار گرفته است. نمونه‌های خاک بایر (بکر) نیز از اراضی مجاور همین مزارع که به صورت دست‌نخورده باقی مانده‌اند، تهیه شدند. کشت محصولات تناوبی در اراضی زراعی شامل گندم، جو و ذرت می‌باشد. خاک‌های مورد مطالعه در گروه بزرگ Calcic Haploustepts با رژیم رطوبتی یوستیک و رژیم حرارتی هایپرترمیک قرار دارند (بی‌نام، 2010). این خاک‌ها به دلیل تأثیر کم عوامل خاک‌سازی جوان بوده و غالباً فاقد افق‌های شناسایی و ژنتیکی می‌باشند و در اکثریت آن‌ها افق‌های سطحی نسبت به افق‌های زیرین تغییرات چندانی ندارد.

روش تحقیق

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و باوور، 1986)، کربنات کلسیم معادل (CaCO_3) به روش حرارت دهی و تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک (نلسون، 1982)، گچ (CaSO_4) به روش رسوب در استن (نلسون، 1982)، چگالی ظاهری (BD) به روش سیلندری (بلک و هارتز، 1986)، نسبت جذب سدیم (SAR) به کمک روش‌های معمول آزمایشگاهی شامل اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک توسط روش کمپلکسومتری و سدیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک و به وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر (پیچ و همکاران، 1982) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به روش الک تر (ون باول، 1949) بر روی نمونه‌های دست‌نخورده اندازه‌گیری شدند. ماده آلی (OM) نیز به روش اکسایش تر یا روش والکلی و بلک (1934) بر روی ذرات کوچکتر از 0/5 میلی‌متر اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباعی خاک و واکنش خاک (pH) در گل اشباع نیز به ترتیب توسط دستگاه‌های EC متر و pH متر اندازه‌گیری شدند (پیچ و همکاران، 1982). مقادیر رطوبت وزنی خاک‌های دست‌نخورده در مکش ماتریک 10 کیلوپاسکال توسط ستون آویزان آب و 33، 100، 500 و 1500 کیلوپاسکال با استفاده از دستگاه صفحات فشاری بدست آمد و با استفاده از چگالی ظاهری خاک‌ها به رطوبت حجمی تبدیل شده و سپس منحنی نگهداری رطوبت آن‌ها ترسیم شد.

دانسته‌اند (حمزه و اندرسون، 2005). مشخصات فروسنج کاربردی در پژوهش حاضر در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1- مشخصات فروسنج به کار رفته (Ejikelkamp, art.nr.06.15.01)

زاویه مخروط	60 درجه
قاعده مخروط	1 سانتی‌متر مربع
سرعت نفوذ	2 سانتی‌متر بر ثانیه
دمای مناسب عملیات	0-50 درجه سانتی‌گراد
حداکثر نیروی نفوذ	100 نیوتن
حداکثر عمق نفوذ	80 سانتی‌متر
وزن دستگاه همراه باتری	15 کیلوگرم

تجربه و تحلیل داده‌ها

در پژوهش حاضر چگونگی توزیع پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون نرمالیتی و به روش کولموگروف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های با توزیع نرمال جهت تجزیه و تحلیل‌های بعدی به کار گرفته شد. برای ایجاد توابع انتقالی از روش رگرسیون چند متغیره خطی توسط نرم افزار آماری SAS نسخه 9/1 در سطح آماری 5 درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

شرح کلی خاک‌های اراضی مورد بحث

میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده مربوط به سه دسته اراضی نیشکر، زراعی و بایر در جدول 2 آورده شده است. خاک‌های مورد مطالعه آهکی، حاصل از رسوبات تبخیری با دامنه بافتی از لوم شنی تا رسی بودند.

جدول 2- میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اراضی نمونه‌برداری شده

0-40 سانتی‌متر												
S	SAR	pH	ECe	MWD	*PR	BD	CaSO ₄	CaCO ₃	OM	Clay	Silt	Sand
(-)	(-)	(-)	(dS/m)	(mm)	(MPa)	(g/cm ³)	%					
0/03	1/5	7/9	0/7	1/4	1/08	1/69	0/01	38/1	1/44	37/4	38/9	23/7
0/025	1/4	7/5	0/75	1/15	0/91	1/5	0/03	38/8	1/2	37/7	38	25/3
0/011	14/9	8/5	16/3	0/45	0/74	1/42	0/76	39	0/37	34	41	25
0/02	1/56	7/82	0/6	0/72	1/35	1/79	0/03	38/2	0/98	42/6	36/1	21/3
0/017	1/43	7/5	0/67	0/65	1/14	1/62	0/06	39	0/72	43/5	33/2	23/3
0/001	15/3	8/5	17/6	0/23	0/94	1/5	0/8	39/2	0/25	36	40	24

* اندازه‌گیری شده در مکش 33 کیلوپاسکال

می‌گیرند. کم‌ترین میزان ماده آلی در اراضی بایر در مقایسه با اراضی تحت کشت بیانگر افزایش کربن آلی خاک در طی سالیان متمادی کشت می‌باشد. مطابق با طبقه‌بندی کهنک (1986)، خاک‌هایی با 0-1 و 1-2 درصد ماده آلی به ترتیب در گروه خیلی کم هوموسی و کمی هوموسی قرار می‌گیرند.

بیش‌ترین میزان ماده آلی در عمق اول اراضی تحت کشت نیشکر و سپس اراضی زراعی به ترتیب با میانگین 1/44 و 1/2 درصد وجود دارد که مطابق با طبقه‌بندی ارائه شده توسط کهنک (1986) کمی هوموسی می‌باشد. مابقی اراضی مورد بحث مطابق با طبقه‌بندی نامبرده شده در گروه خیلی کم هوموسی قرار

بحرانی را در عمق دوم نشان می‌دهد. مطابق با گزارش‌های IICA (1979) براساس مطالعات صحرایی، طبقه‌بندی زیر را برای مقاومت فروری (بر حسب مگاپاسکال) در مکش 33 کیلوپاسکال پیشنهاد کردند: $0/6 < PR < 1/2$ عالی، $0/7 < PR < 1/2$ قابل قبول، $1/3 < PR < 2/5$ غیر قابل قبول و $PR > 2/5$ مانع از رشد ریشه.

کاربری‌های نیشکر و زراعی

جدول 4 معادله‌های رگرسیونی حاصله جهت برآورد مقاومت فروری را نشان می‌دهد. ورود هر متغیر به این توابع در سطح 0/5 درصد معنی دار بوده و ضریب تبیین تصحیح شده (R_{adj}^2) هر کدام از آنها بیان کننده‌ی درصدی از تغییرات متغیر وابسته است که توسط متغیرهای مستقل وارد شده توصیف می‌شود.

میانگین مقدار S به ترتیب برای عمق اول و دوم مورد بررسی در کاربری نیشکر برابر 0/03 و 0/02. در کاربری زراعی 0/025 و 0/017 و در اراضی بایر 0/011 و 0/001 بود. دکستر (2004) براساس اطلاعات جمع‌آورد شده از خاک‌های هفت کشور که مقادیر رس آن‌ها بین 4 تا 73 درصد بود کلاس‌های زیر را برای شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) پیشنهاد کرد: $S < 0/02$ خیلی ضعیف، $0/02 < S < 0/035$ ضعیف و $S > 0/035$ خوب.

مقاومت فروری در مکش 33 کیلوپاسکال با میانگین 1/35 مگاپاسکال در مزارع نیشکر (عمق دوم مورد بررسی) بیانگر سطوح نامناسبی از تراکم می‌باشد. لازم به ذکر است که عملیات شخم و شیار و زیرشکن زنی تأثیر ترفیک ادوات را بر تراکم خاک و افزایش مقاومت فروری (به‌خصوص در عمق اول) کاهش داده است در حالی که هم چنان تراکم در مزارع فوق حدی

جدول 4- معادله‌های رگرسیونی خطی برای تخمین مقاومت فروری خاک در مکش 33 کیلوپاسکال تحت سه کاربری مختلف

معادله‌های خطی بدست آمده	R_{adj}^2
0-40 سانتی‌متر	
نیشکر	
$*PR = 0/281 + 0/805 BD - 0/39 MWD - 0/216 OM$	0/65
زراعی	
$*PR = \%72 - 0/277 OM + 1/07 BD - 0/365 MWD$	0/77
بایر	
$*PR = 0/412 + 0/008 SAR - 0/21 OM - 0/005 clay - 18/21 S$	0/82
40-80 سانتی‌متری	
نیشکر	
$*PR = - 5/52 + 3/194 BD + \%5 clay - 0/384 OM$	0/72
زراعی	
$*PR = - 2/57 + \%15 clay + 2/2 BD - 0/23 OM$	0/72
بایر	
$*PR = - 1/27 + \%2 S - 0/001 EC + 38/1 S$	0/96

همکاران (1982) در برآورد مقاومت فروری از یک معادله‌نمایی با برآورد کننده‌های چگالی ظاهری و مقدار رطوبت و باسیجر و همکاران (1997) تنها از چگالی ظاهری استفاده کردند. نمایی بودن معادله فوق بیانگر اهمیت بسیار زیاد پارامترهای نامبرده در برآورد مقاومت فروری می‌باشد. لازم به ذکر است که در پژوهش فوق مقاومت فروری در مکش 33 کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد تا تأثیر سایر عوامل نمایان‌تر شود. عبور و مرور ادوات سنگین کشاورزی به ویژه در مزارع نیشکر (تراکتور، دروگرها، پخش کننده‌های کود و کامیون‌های حمل نی) به خصوص در رطوبت نامناسب در خاک‌های

براساس معادلات رگرسیونی فوق پارامترهای BD و درصد رس همبستگی مثبت و OM و MWD همبستگی منفی و معنی‌داری با مقاومت فروری در سطح پنج درصد داشته‌اند. مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار بر مقاومت فروری در عمق اول BD، OM و MWD و در عمق دوم BD، OM و درصد رس می‌باشند. اسمیت و همکاران (1997) مقدار مقاومت فروری را متأثر از درجات تراکم حاصله از نوع و میزان ادوات کاربردی دانستند. محققین بسیاری نیز چگالی ظاهری را شاخص مهمی در ارزیابی درجه تراکم خاک می‌دانند (گرانوالد و همکاران، 2001b؛ ماری و چانجینگ، 2007). آبیاری و

ماده آلی بین مناطق نیشکر سوخته و سبز توسط بلیر (2000)، دومینی و همکاران (2002) و رازافیمبلو و همکاران (2006) مورد بررسی قرار گرفته است. کشت نیشکر با مالچ بقایا در مقایسه با زمانی که بقایا سوزانده می‌شود، مقدار بیش‌تری کربن آلی به خاک برمی‌گرداند. استوک و داونز (2008) طی پژوهش‌های خود نشان دادند که مقاومت فروروی در خاک‌هایی با صفر تا یک درصد کربن آلی بالاترین مقدار و با افزایش کربن آلی به تدریج کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد خاک‌هایی با ماده آلی کم در برابر تنش‌های ناشی از مرطوب شدن سریع ناپایدارند. کمبود ماده آلی در خاک‌های خشک و نیمه خشک ایران یکی از تنگناهای اصلی در کشاورزی است. آن و همکاران (2010) ماده آلی خاک را مهم‌ترین فاکتور در پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دانستند. شکستن خاکدانه‌ها در نتیجه کمبود مواد آلی منجر به سله بستن و افزایش مقاومت فروروی سطح خاک می‌شود (شکل 1).



شکل 1- سله بستن سطح خاک در نتیجه کمبود ماده آلی و شکستن خاکدانه‌ها

پراکنش یافته و به سمت نقاط تماس ذرات بزرگ‌تر حرکت نموده و در تشکیل پیوندهای جدید بین ذرات شرکت می‌کند. در حین این فرایند، ابتدا رس غیرفعال شده ولی در هنگام خشک شدن دوباره فعال و باعث افزایش مقاومت خاک و تشکیل سله می‌شود. بنابراین افزایش ماده آلی و MWD یک راهکار در خاک‌های متراکم در کاهش مقاومت فروروی خواهد بود. ضرایب همبستگی پیرسون و روابط برازشی مابین مقاومت فروروی همراه با ماده آلی و MWD مربوط به عمق اول مورد بررسی در شکل 2 آورده شده است. نکته قابل تأمل در شکل فوق وجود رابطه برازشی لگاریتمی (الف، ب، ج) و نمایی (د) مابین پارامترهای مورد بحث می‌باشد. به

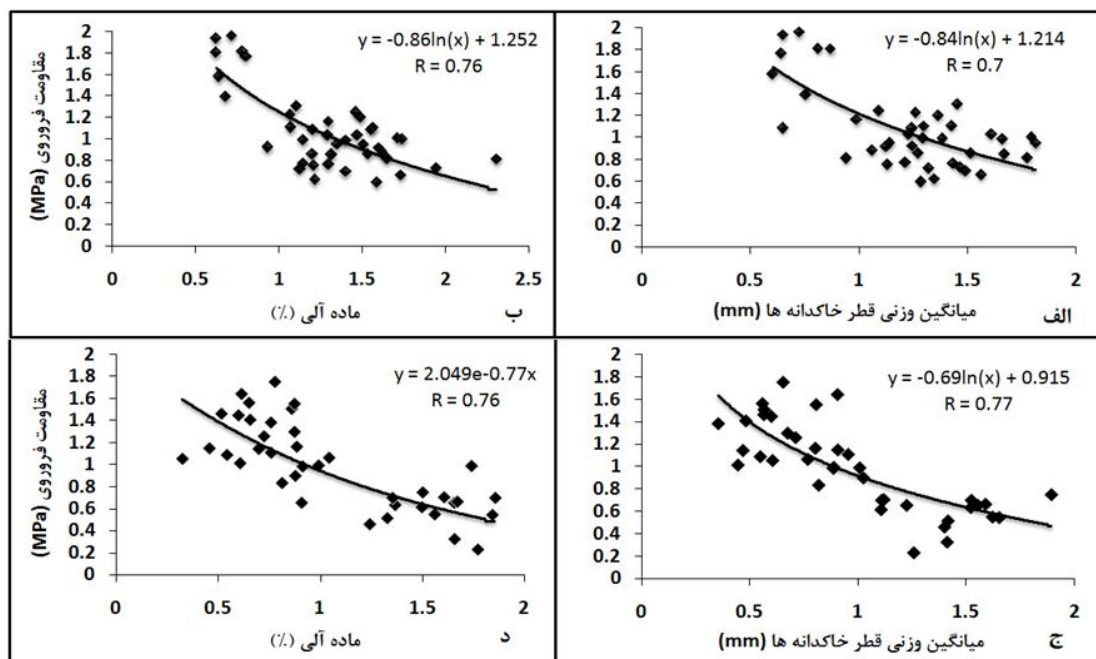
سنگین بافت مزارع نیشکر که به تفصیل توسط ناصری و همکاران (2007) مورد بحث قرار گرفته است را می‌توان مهم‌ترین عامل در افزایش چگالی ظاهری و مقاومت فروروی در مزارع مورد بحث دانست.

پس از تغییر کاربری اراضی بایر و تبدیل به اراضی تحت کشت نیشکر و زراعی، تغییر شدیدی در میزان ماده آلی حاصل شد، به طوری که میانگین مقدار ماده آلی در عمق اول از 0/37 درصد در اراضی بایر به 1/44 درصد در اراضی تحت کشت نیشکر و 1/2 درصد در اراضی زراعی تغییر یافت. البته اگر چه مقدار کربن آلی در اراضی زراعی و تحت کشت نیشکر نسبت به اراضی بایر بیش‌تر بوده است، اما بسیار کم‌تر از حد استاندارد می‌باشد علت آن، سوزاندن بقایای پس از برداشت می‌باشد که باعث کاهش ماده آلی خاک و از بین رفتن موجودات خاکزی می‌باشد. این امر سبب افزایش مقاومت فروروی خاک می‌شود. به علاوه میزان ماده آلی در عمق دوم بسیار کمتر می‌باشد. چنین روند مشابهی در مقایسه

مقایسه ارقام بدست آمده در جدول 2 برای MWD با طبقه‌بندی لال (1994) بیانگر محدودیت شدید (همه موارد کاربری اراضی در عمق دوم و اراضی بایر در عمق اول) تا متوسط (کاربری‌های نیشکر و زراعی در عمق اول) در پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد. مولینز و همکاران (1990) علت سخت‌شدگی خاک‌ها را تخریب خاکدانه‌ها در هنگام خیس شدن معرفی کرده‌اند. به اعتقاد آن‌ها در هنگام خیس شدن بخش زیادی از ماکروپورها از بین رفته و پس از خشک شدن مقاومت خاک افزایش می‌یابد که این امر ناشی از افزایش تنش داخلی در اثر افزایش تخلخل میکرو می‌باشد. کمپر و همکاران (1987) نیز عنوان کردند که در فرایند تخریب خاکدانه‌ها، رس

پارامترهای ماده آلی و MWD را بر مقاومت فروری آشکار می‌کند.

عبارت دیگر با کاهش ماده آلی و MWD، مقادیر مقاومت فروری به صورت لگاریتمیک و نمایی (با شیب زیاد) افزایش می‌یابد. نکته فوق به نوعی دیگر اهمیت



شکل 2- ضرایب همبستگی و روابط برازشی مابین مقاومت فروری با ماده آلی و MWD در عمق 0-40 سانتی‌متری در اراضی نیشکر (الف، ب) و اراضی زراعی (ج، د)

در یک مکش یکسان تعداد نقاط تماسی در خاک‌های ریز بافت بیشتر و به طبع آن مقاومت فروری بالاتر خواهد بود. آسالاتی و همکاران (1998) بیان کردند که وقتی چینش بی‌ثباتی از ذرات خاک (همانند خاکدانه‌های ناپایدار) تحت یک فشار ثابت و محبوس (ناشی از وزن لایه‌های فوقانی) قرار می‌گیرد، فروپاشی آن‌ها تحت شرایط مرطوب² و آرایش مجدد سبب ایجاد لایه متراکم‌تری با چگالی و مقاومت فروری بالاتر خواهد شد.

کاربری بایر

بر اساس معادلات رگرسیونی ارائه شده در جدول 4 پارامترهای OM، S و درصد رس همبستگی منفی و SAR همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقاومت فروری در سطح پنج درصد داشته‌اند. مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار بر مقاومت فروری در عمق اول SAR، OM، S و درصد رس و در عمق دوم SAR، S و EC می‌باشند. مطابق با معادلات بسط داده شده مشخص است که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت

میزان زیادتر مقاومت فروری در اعماق پایین‌تر (عمق دوم) علاوه بر مقادیر کمتر ماده آلی را می‌توان به میزان زیادتر چگالی ظاهری و رس در این عمق نسبت داد. میزان رس در مقدار مقاومت فروری تأثیر بسزایی دارد و خاک‌های رسی قابلیت تراکم بالای دارند (گریک، 1987). خاک‌های رسی در اکثر مواقع سال در حالت خمیری باقی می‌مانند که آن‌ها را تراکم‌پذیرتر می‌سازد (ناصری و همکاران، 2007). کروپ و همکاران (1994) و پوپالا و همکاران (1995) گزارش کردند که خاک‌های درشت بافت مقاومت فروری بیشتری نسبت به خاک‌های ریز بافت دارند. محققین نامبرده دلیل خود را گنجایش رطوبتی کمتر خاک‌های درشت بافت نسبت به خاک‌های ریز بافت می‌دانند در حالی که در پژوهش حاضر تمامی مقادیر مقاومت فروری در مکش تقریبی یکسان (33 کیلوپاسکال) اندازه‌گیری شده‌اند که نمود مقدار رس در افزایش مقاومت فروری مشخص شده است. در یک مکش یکسان، نقش انحناء آب در منافذ میکرو و در سطح ذرات ریز رس در نزدیک کردن ذرات به هم بسیار بیش‌تر از منافذ ماکرو و ذرات درشت سیلت و شن است (یچر، 1998). بنابراین مطابق با موضوع فوق

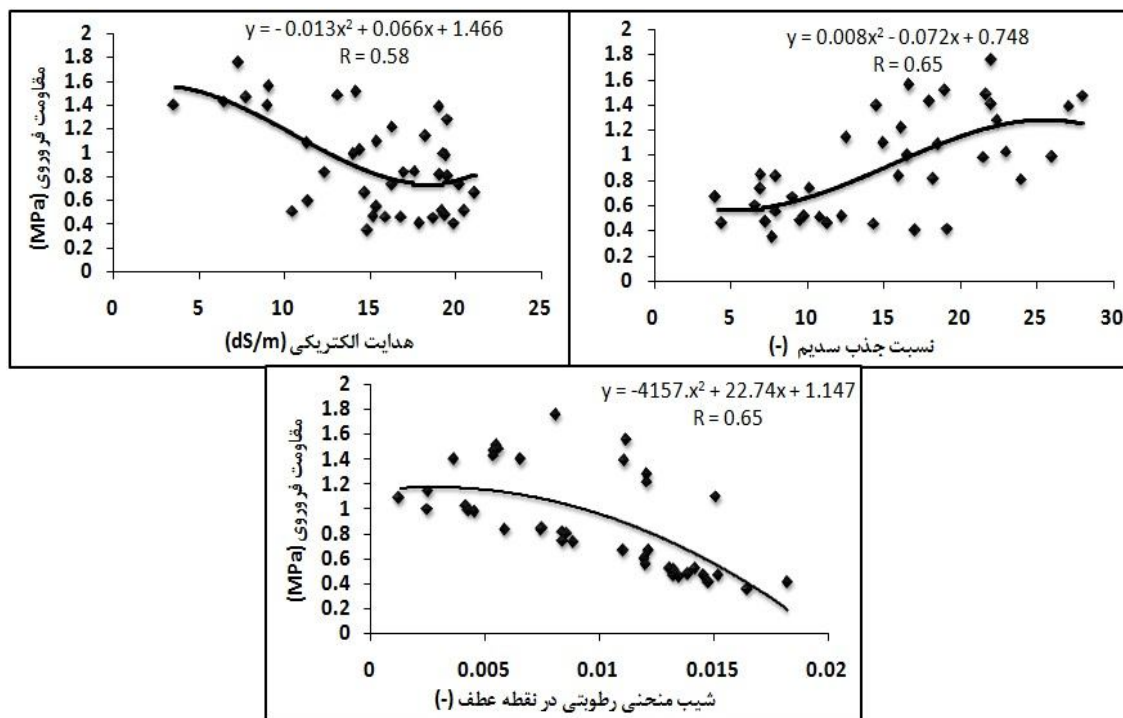
¹ Hydrocollopose

مقاومت فروری در اراضی تحت کشت به دلیل عبور و مرور ادوات کشاورزی در طی سالیان متمادی مقادیر بیش‌تری را نسبت به اراضی بایر سبب شده است. هم‌چنان که نتایج مشابهی نیز توسط لستوگز (2005) در مقایسه تراکم حاصله در زمین‌های تحت کشت در مقایسه با اراضی بکر مجاور بدست آمده است.

مقادیر پایین شاخص S در خاک‌های بایر مورد بحث، بیانگر شرایط فیزیکی بسیار نامناسب و کیفیت پایین آن‌ها می‌باشد. اگر چه با زیر کشت بردن اراضی بایر مقدار شاخص S افزایش یافته و از گروه خیلی ضعیف به گروه ضعیف در طبقه‌بندی دکستر (2004) ترقی یافته ولی کماکان نماینده کیفیت پایین فیزیکی خاک می‌باشد. مقادیر زیاد سدیم تبادلی، پایین بودن میزان ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها سبب کیفیت فیزیکی بسیار نامناسب خاک‌های بایر مورد بررسی شده است. بنابراین زیر کشت بردن اراضی فوق جزء با عملیات اصلاحی و مدیریت مناسب امکان‌پذیر نخواهد بود. ضرایب همبستگی پیرسون و روابط برازشی مابین مقاومت فروری همراه با پارامترهای SAR، S و EC در عمق دوم در شکل 3 آورده شده است.

با توجه به شکل 3 بهترین رابطه برازشی بین مقاومت فروری و EC یک رابطه چند جمله‌ای می‌باشد. از منحنی فوق می‌توان فهمید که با افزایش EC، به دلیل تعدیل اثرات سوء سدیم تبادلی، مقاومت فروری کاهش می‌یابد. لیکن در مقادیر پایین EC شیب منحنی کاهش یافته است که نشان از وجود حداقل مقداری از EC برای تعدیل اثرات سوء سدیم تبادلی می‌باشد. هم‌چنین شیب نمودار در مقادیر بالای EC، به دلیل افزایش شعاع لایه پخشیده دوگانه و پراکنش ذرات، نیز کاهش یافته است. به علاوه بهترین خط برازشی بین مقاومت فروری و شاخص کیفیت فیزیکی S نیز یک رابطه چند جمله‌ای درجه دوم می‌باشد. نکته قابل تأمل در این رابطه کاهش شدید شیب در مقادیر بسیار پایین S می‌باشد. از این مورد می‌توان نتیجه گرفت که در مقادیر بسیار پایین شاخص S، مقاومت فروری وابسته به نیروهای تراکمی خواهد بود و در این دامنه از S، کاهش بیش‌تر مقادیر ماده آلی و MWD و یا افزایش بیش‌تر SAR تغییر اندکی در مقادیر مقاومت فروری به وجود خواهد آورد. نکته فوق‌الذکر را می‌توان به سهولت در منحنی مربوط به SAR و مقاومت فروری مشاهده کرد که در مقادیر بیش‌تر SAR منحنی به صورت یک خط افقی پدیدار گشته است.

فروری در اراضی بایر متفاوت از اراضی تحت کشت می‌باشد. افزایش ماده آلی و بهبود وضعیت خاکدانه‌سازی سبب کاهش مقاومت فروری خاک می‌شود (بچر، 1998). چنین وضعیتی در پژوهش حاضر با زیر کشت بردن زمین‌های بایر و اصلاح شور و سدیمی بودن خاک‌ها، حاصل شده است. اگر چه عبور و مرور ادوات کشاورزی به خصوص در اراضی نیشکر که از مکانیزه‌ترین کشت‌ها می‌باشد، مقاومت فروری را در این اراضی نسبت به اراضی بایر افزایش داده است. لازم به ذکر است که خاک‌های زراعی و تحت کشت نیشکر از نوع خاک‌های شور و سدیمی بوده‌اند که شوری و SAR آن‌ها در بعضی نقاط به ترتیب گاهاً از مرز 160 دسی زیمنس بر متر و 150 هم بیشتر بوده است که پس از نصب زهکش و آبیویی، جهت کشت آماده شده‌اند (جعفری و همکاران، 1384). مقدار ناچیز MWD در اراضی بایر سبب شده است که پارامتر فوق در معادلات برآورد کننده مقاومت فروری وارد نشود. برادفورد و گویتا (1986) تراکم را به عنوان بازآرایی خاکدانه‌ها و ذرات اولیه (حاصل از شکستن خاکدانه‌ها) به سوی حالتی با چگالی بالاتر و تخلخل کمتر در طی بار تراکمی وارده یا استرس‌های داخلی (حاصل از نیروی مکشی آب خاک طی فرآیند تر و خشک شدن) تعریف می‌کند. گویتا و همکاران (1989) بیان کردند که در حالت فوق به دلیل کاهش تخلخل کل و افزایش تماس ذره به ذره مقاومت خاک افزایش می‌یابد. تدمچی و دل‌آگویلا (2005) پایداری خاکدانه‌ها را به عنوان شاخصی برای برآورد تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک که به وسیله آبیاری با آب شور در یک آزمایش هفت ساله انجام شد به کار بردند. آنان ملاحظه کردند که مقدار زیاد سدیم تبادلی سبب می‌شود خاکدانه‌ها به وسیله پراکنش فیزیکوشیمیایی به ذرات اصلی تخریب شوند. بنابراین مطابق با مطالب گفته شده و همبستگی مثبت SAR و مقاومت فروری در تحقیق حاضر، افزایش SAR سبب پراکندگی ذرات اولیه خاک خواهد شد که در طی استرس‌های داخلی بعدی و با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در اراضی بایر (بدون زهکشی مصنوعی) به مرور زمان با جایگیری بهینه ذرات سبب کاهش تخلخل و افزایش مقاومت فروری خواهد شد. مطابق با تحقیقات براوند و همکاران (2004) و روگرز و همکاران (1994) وجود ذرات رس جهت پر کردن منافذ درشت، افزایش تماس ذره به ذره و در نهایت افزایش مقاومت فروری طی فرآیندهای تخریب ساختمان خاک الزامی است. لازم به ذکر است که



شکل 3- ضرایب همبستگی و روابط برازشی مابین مقاومت فروری با هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم و شیب منحنی نگهداری رطوبت در نقطه عطف در عمق 80-40 سانتی متری در اراضی بکر

زراعی و تحت کشت نیشکر شامل BD، OM، MWD و درصد رس بودند. به علاوه احیای زمین‌های بایر با از بین بردن محدودیت شور و سدیمی آن‌ها و بهبود سطح ماده آلی سبب افزایش شاخص S شد. مقاومت فروری در اراضی تحت کشت نیشکر به علت ترافیک سنگین ادوات کشاورزی بیش‌تر از اراضی زراعی و آن هم بیش‌تر اراضی بایر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مطابق با معادلات بسط داده شده، مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت فروری خاک در کاربری‌های مختلف، متفاوت بوده و لذا شناسایی اولیه این پارامترها در هر منطقه، سهم بسزایی در کاربرد آن دارد. مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت فروری در اراضی بایر SAR، OM، EC، درصد رس و شاخص S و در اراضی

فهرست منابع:

1. امامی، ح.، لکزیان، ا.، و مهاجرپور، م. 1389. بررسی رابطه بین شیب منحنی رطوبتی و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی کیفیت خاک. نشریه آب و خاک. 24: 1027-1035.
2. بیات، ح.، محبوبی، ع. ا.، حاج عباسی، م. ع.، مصدقی، م. ر. 1386. اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و انواع ماشین‌های کشاورزی بر جرم مخصوص ظاهری، شاخص مخروطی و پایداری ساختمان یک خاک لوم شنی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 42: 461-451.
3. جعفری س. باقر نژاد م. و چرم م. 1384. ارزیابی برخی از تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی اراضی زراعی (تحت کشت نیشکر و تناوبی) و بکر منطقه هفت‌تپه خوزستان. مجله علمی کشاورزی. دانشگاه چمران اهواز 22: 165-181.
4. کهنک، ه. 1986. فیزیک خاک. مترجم: محمد جواد رفیع. دانشگاه تهران. 296 ص.
5. Allen, R.R., and Musick, J.T. 1997. Furrow irrigation in iteration with multiple traffic and increased axle mass. Application England Agrigation. 13: 39-45.

6. An, S., Mentler, A., Mayer, H., and Blumc, W.E.H. 2010. Soil aggravation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. *Catena*. Vol, 81. pp:226-233.
7. Arvidson J., and Keller, T. 2004. Soil precompression stress. I. A survey of Swedish arable soils. *Soil and Tillage Research*, 77: 85-95.
8. Assallay, A.M., Jefferson, I., Rogres, C.D.F., and Smalley, I.J. 1998. Frajipan formation in loess soils: development of the Bryant hydroconsolidation hypothesis. *Geoderma*. 83: 1-16.
9. Becher, H.H. 1998. Resistances to penetration of aggregates from loess-derived top soils at different soil water tensions. *Soil and Tillage Research*. 47: 73-81.
10. Blair, N. 2000. Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research*. 55: 183-191.
11. Blake, G.R., And Hartge, K.H. 1986. Bulk density. p. 363-375. In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, WI.
12. Bradford, J.M., and Gupta, S.G. 1986. Compressibility. P. 479-492. In: A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph no. 9 (2nd ed.) Am. Soc. Agron. Madison, WI.
13. Bruand, A., Hartmann, C., Ratana-Anupap, S., Sindhusen, P., Poss, R., and Hardy, M. 2004. Composition, fabric and porosity of an Arenic Haplustalf in Northeast Thailand: Relation to penetration resistance. *Soil Science Society of American Journal*. 68: 185-193.
14. Busscher, W.J. 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Trans. ASAE*. 33: 519-524.
15. Busscher, W.J., Bauer, P.J., Camp, C.R., and Sojka, R.E. 1997. Correction of cone index for soil water content differences in a costal plain soil. *Soil Till. Res*. 43: 205-217.
16. Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality. Part I: Theory, effects of soil texture, density and organic matter and effects on root growth. *Geoderma*. 120: 201-214.
17. Dexter, A.R., Czyz, E.A., and Gate, O.P. 2007. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil Till. Res*. 93: 412-419.
18. Dominy, C.S., Haynes, R.J., and van Antwerpen, R. 2002. Lose of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biol Fertil Soils*. 36: 350-356.
19. Elbanna, E.B., and Witney, B.D. 1987. Cone penetration resistance equation as a function of the clay ratio, soil moisture content and specific weight. *Journal of Terramechanics*. 24: 41-56.
20. Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. p. 383-411. In: A. Klute. (ed.). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
21. Gerik, T.J., Morrison, J., and Chichester, F.W. 1987. Effects of controlled traffic on soil physical properties and crop rooting. *Agron. J*. 79: 434-438.
22. Grunwald, S., Rooney, D.J., McSweeney, K., and Lowery, B. 2001b. Development of pedotransfer functions for a profile cone penetrometer. *Geoderma*. 100: 25-47.
23. Gupta, S.C., Sharma, P.P., and DeFrancki, S.A. 1989. Compaction effects on soil structure. *Adv. Agron*. 42: 311-338.
24. Hamza, M.A., and Anderson, W.K. 2005. Soil compaction in cropping system, a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res*. 82: 121-145.
25. IICA. 1979. An approach to agricultural settlement of hilly lands for divisional and area extension officers. p: 129-137. In: Forsythe, W. (ed.). *Soil Water Retention in Bean Production*. IICA Barbados Office, Jamaica.

26. Kemper, W.D., Rosenau, R.C., and Dexter, A.R. 1987. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. *Soil Sci. Am. J.* 51: 860-867.
27. Kurup, P.U., Voyiadjis, G.Z., and Tumay, M.T. 1994. Calibration chamber studies of piezocone test in cohesive soils. *J. Geotech. Eng.* 120: 81-107.
28. Lal, R., 1994. *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics.* Ohio State University, Columbus, OH. 78pp.
29. Lestugez, G. 2005. *Densification of sandy soils under mechanized agriculture. Case of Northeast Thailand.* PhD Thesis, University Henri-Poincare, Nancy, France. 164pp.
30. Mahboubi, A.A., Lal, R., and Faussey, N.R. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 57: 506-512.
31. Mary, G.R and Changying, J. 2007. Assessing of soil compaction using some soil properties caused by agricultural machinery traffic. *World Journal of Agricultural Sciences.* 3: 582-586.
32. Motavalli, P.P., Anderson, S.H., Pengthamkeerati, P., and Gantzer, C.J. 2003. Use of cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in clay pan soils. *Soil & Tillage Research.* 74: 103-114.
33. Mullins, C.E., MacLeod, D.A., northcote, K.H., Tisdall, J.M., and Young, I.M. 1990. Hard-setting soils: behaviour, occurrence and management. p. 37-108. In: Lal, R., Stewart, B.A. (ed.). *Soil Degradation.* Adv. Soil Sci., vol. 11. Springer-Verlag, New York.
34. Naseri A.A., Jafari S., and Alimohammadi, M. 2007. Soil compaction due to sugarcane (*Saccharum officinarum*) mechanical harvesting and the effects of subsoiling on the improvement of soil physical properties. *Journal of Applied Sciences,* 7: 3639-3638.
35. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. p. 181-199. In: A.L. Page (ed.). *Methods of Soil Analysis, part 2.* American Society of Agronomy, Madison. WI.
36. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of soil analysis. Part2- Chemical and Microbiological methods.* Second edition, Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.
37. Puppala, A.J., Acer, Y.B., and Tumay, M.T. 1995. Cone penetration in very weakly cemented sand. *J. Geotech. Eng.* 121: 589-600.
38. Razafimbelo, T., Barthez, B., Larre-Larrouy, M.C., De Luca, E.F., Laurent, J.Y., Cerri, C.C., and Feller C. 2006. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 115: 285-289.
39. Rogers, C.D F., Dijkstra, T.A., and Smalley, I.J. 1994. Hydroconsolidation and subsidence of loess: Studies from China, Russia, North America and Europe. *Engineering Geology.* 37: 83-113.
40. Smith, C.W., Johnston, M.A., and Lorentz, S. 1997. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. *Geoderma.* 78: 93-111.
41. Stock, O., and Downes, K. 2008. Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension range. *Soil and Tillage Research.* 99: 191-201.
42. Tedeschi, A., and Dell'Aquila, R. 2005. Effects on irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water management.* 77: 308-322.
43. Topp, G.C., and Lapen, D.R. 2008. Soil physical analysis. p. 783-791. In: *Soil sampling and methods of analysis.* 2nd ed. Carter, M. R and Gregorich, E. G. CSSS.

44. Tumay, M.T., and Kurup, P.U. Development of a continuous intrusion miniature cone penetration test system for subsurface explorations. *Soil and Foundations*. 2001. 41: 129-138.
45. Upadhyaya, S.K., Kemble, L.J., and Collins, N.E. 1982. Cone index prediction equations for Delaware soils. *ASAE*. 82: 1452-1456.
46. USDA, "Soil Survey Staff, Key to Soil Taxonomy", 11nd ed, 2010.
47. Van Bavel, C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14: 20-23.
48. van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
49. van Genuchten, M.Th., Lesch, S.M., and Yates, S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Version 1.0. U.S. Salinity Lab., Riverside, CA.
50. Walkly, A., and Black, I.A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration. *Soil Sci.* 37: 29-38.