یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

شاخص کشت‌پذیری: پارامتری کمی در بررسی کیفیت فیزیکی خاک

آزاده صفادوست[1]، اسماعیل اسفندیاری‌اخلاص [2]، گلایه یوسفی [3]

[1] استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا؛ safadoust@basu.ac.ir
[2] دانشجوی دکتری گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا؛ esmaeilesfandiary@yahoo.com
[3] کارشناس ارشد گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا؛ golayeh.yousefi@gmail.com

چکیده

کشت‌پذیری می‌تواند به عنوان پارامتر توصیف‌کننده خاک از نظر سهولت خاک‌ورزی، آماده‌سازی بستر بذر، جوانه‌زنی و رشد ریشه بکار رود. این پژوهش به منظور تعیین مؤثرترین پارامتر بر شاخص کشت‌پذیری در برخی از خاک‌های استان همدان با ویژگی‌های متفاوت انجام شد. شاخص کشت‌پذیری (TI) بر اساس پنج ویژگی فیزیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، شاخص مخروطی، مواد آلی، ضریب یکنواختی خاکدانه و شاخص خمیرایی تعیین گردید. همچنین برای بررسی رابطه بین شاخص کشت‌پذیری و برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک از روابط رگرسیونی ساده و چند متغیره استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار بین شاخص کشت‌پذیری و برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک بود. خاک لوم - شنی دارای بیشترین مقدار شاخص کشت‌پذیری (۰/۸۶) بود؛ اما با خاک لوم سیلتی با شاخص کشت‌پذیری ۰/۵۲ در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین خاک رسی کمترین مقدار (۰/۰۹) این شاخص را نشان داد. به طور کلی، خاک‌های مورد بررسی از نظر شاخص خمیرایی و شاخص مخروطی محدودیتی برای شاخص کشت‌پذیری نداشتند، در حالی‌که بیشترین محدودیت برای این شاخص مربوط به ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها بود. نتایج نشان داد که شاخص کشت‌پذیری به عنوان یک شاخص کمی مناسب می‌تواند کیفیت فیزیکی خاک را بر اساس ویژگی‌های ساده خاک تعیین نماید.

کلمات کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، شاخص خمیرایی، شاخص فروروی، ضریب یکنواختی خاکدانه، مواد آلی

Tilth index: An quantitative parameter to evaluate soil physical quality

Azadeh Safadoust, Esmaeil Esfandiary Ekhlas, Golayeh Yousefi

[1] Assistant Professor of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University; safadoust@basu.ac.ir
[2] PhD Student of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University;esmaeilsfandiary@yahoo.com
[3] MSc of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University; golayeh.yousefi@gmail.com

ABSTRACT

Tilth could apply as a description of the soil for the ease of tillage, seedbed preparation, seedling emergence, and root growth. This study was conducted to evaluate the most determinative parameter on tilth index based on changes of soil properties in Hamedan province. Tilth index (TI) was determined based on five physical properties including bulk density, cone index, organic matter, aggregate uniformity coefficient and plasticity index. Furthermore linear and multiple regression equations were used between some soil physical properties and this index. Results indicated a significant correlation between tilth index and measured soil properties. Sandy loam soil was identified to have the highest TI (0.86) but arranged in the same statistical group with silty loam soil (TI= 0.52). It was also seen that clay soil has the minimum value

۱- نویسنده مسئول: آزاده صفادوست، safadoust@gmail.com safadoust@basu.ac.ir;

(TI= 0.09) for this index. For considered soils there was not limitation by plasticity index and cone index, whereas the most determinative parameter on tilth index was aggregate uniformity coefficient. Results showed that tilth index is an appropriate quantitative parameter that describes soil physical quality based on easy measurable soil properties.

KEYWORDS: Bulk density, Plasticity index, Cone index, Aggregate uniformity coefficient, Organic matter

۱- مقدمه

استفاده از سیستم‌های کشاورزی متراکم که از دهه‌های بعد از جنگ جهانی دوم به منظور برآورد نیاز به تولید محصولات کشاورزی تشدید شد، موفق به برآوردن خواسته‌های جمعیت روبه رشد جهانی گردید (Schjonning et al., 2004). با این حال، این سیستم‌ها اثراتی منفی نیز بر اکوسیستم داشته‌اند که منجر به درجه بیشتر یا کمتری از زوال یا تخریب در این اکوسیستم‌ها شده است (FAO, 1999). از عمده‌ترین اختلالات ایجاد شده در سیستم‌های کشاورزی کاهش کیفیت خاک ناشی از فعالیت‌های انسانی از طریق تخریب آن بوده است (Troeh et al., 2004). کیفیت خاک به عنوان توانایی دائم خاک در انجام وظایف خود به عنوان یک سیستم حیاتی زنده در داخل اکوسیستم و تحت بهره‌برداری‌های متفاوت تعریف شده است؛ به گونه‌ای که علاوه بر حفظ تولید بیولوژیک بتواند کیفیت آب و هوا را نیز بهبود بخشد و همچنین تأمین کننده سلامت انسان، گیاه و حیوان باشد (Doran and Parkin., 1994).بر همین اساس، انتخاب نوع عملیات مدیریتی و بهره‌برداری از زمین‌ها بایستی با در نظر گرفتن حفظ کیفیت خاک انجام گیرد (Lal et al., 2004). به دلیل مقدار کم ماده آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، معمولاً این خاک‌ها از پایداری نسبتاً ضعیفی برخوردارند (Khazai et al., 2008). An et al. (2010) ماده آلی خاک را مهم‌ترین عامل در پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دانسته‌اند. تخریب خاکدانه‌ها در نتیجه کمبود مواد آلی منجر به سله بستن و افزایش مقاومت فروروی سطح خاک می‌شود. Hajabbasi et al. (2007) بیان نمودند که مواد آلی حاصل از منابع گیاهی و میکروبی با ایجاد پل در فضای بین ذرات، نقش کلیدی در پایداری خاکدانه‌های کوچک ایفاء می‌کنند. تحقیقات Bouajila and Gallali (2010) نشان داد که حضور ماده آلی درخاک-های فاقد کربنات کلسیم و با بافت شنی بر پایداری خاکدانه‌ها مؤثرتر از خاک‌هایی است که دارای کربنات کلسیم و بافت ریزتر می‌باشند. بنابراین، عواقب و مشکلات کمبود ماده آلی در خاک‌های غیرکربناته بر پایداری خاکدانه‌ها بسیار چشمگیرتر است.

یکی از راه‌های برآورد کیفیت خاک برای شناسایی توان باروری آن برای رشد محصولات مختلف و همچنین تأثیر مدیریت‌های مختلف بر سیستم‌های کشاورزی، استفاده از شاخص کشت‌پذیری می‌باشد. کشت‌پذیری خاک، یک ویژگی دینامیکی (پویا) می‌باشد که از تغییرات عوامل طبیعی و نیروهای مکانیکی تأثیر می‌پذیرد (Karlen et al., 1990). از آنجا که کشت‌پذیری یک ویژگی ترکیبی است، می‌توان کشت‌پذیری یک خاک معدنی را با ادغام ویژگی‌هایی از خاک مانند جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی، ویژگی‌های خاکدانه‌ای (Karlen et al., 1990)، مقدار ماده آلی (Knuti et al., 1979) و پایداری (Plaster, 1985) مشخص کرد. پژوهش‌گران دیگری نیز با استفاده از تخلخل، چگالی ظاهری، ساختمان، تراکم و توزیع اندازه ذرات، کشت‌پذیری خاک را تعیین کرده‌اند (Luttrell, 1963؛ Fragin, 1986؛ Hakansson and Lipiec, 2000).

شاخص کشت‌پذیری برای اولین بار توسط Singh et al. (1992) معرفی شد. با توجه به اینکه ویژگی‌های جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی، ضریب یکنواختی، مقدار ماده آلی و شاخص خمیرایی بیشترین تأثیر را نسبت به مدیریت‌های مختلف نشان داده‌اند و اندازه‌گیری آنها نسبتاً راحت می‌باشد، در تعیین شاخص کشت‌پذیری به کار رفته‌اند. کشت‌پذیری به عنوان یک پارامتر کمی در توصیف وضعیت فیزیکی خاک از نظر سهولت خاک‌ورزی، آماده‌سازی بستر بذر، جوانه‌زنی و رشد ریشه مفید می‌باشد (SSSA, 1979؛ Brady, 1984؛ Plaster, 1985). Gupta (1986) از یک شاخص فیزیکی ترکیبی برای تعیین کمیت کشت‌پذیری خاک با حاصلضرب یک ضریب برای هر یک از هشت ویژگی فیزیکی شامل عمق خاک، جرم مخصوص ظاهری، سرعت نفوذ و یا هدایت هیدرولیکی، ظرفیت ذخیره سازی آب قابل دسترس، مواد آلی، فضای منافذ غیر مویینه، عمق آب و شیب زمین استفاده کرد.

کشاورزی مبتنی بر اصول علمی، کشاورزان و یا به عبارتی تولیدکنندگان را مجاز به اتخاذ یک توالی از نوآوری‌های مکانیکی،

بیولوژیکی و شیمیایی می‌نماید و در نتیجه آن کشاورزی را به یک سیستم قدرتمند صنعتی با هدف تولید مواد غذایی فراوان تبدیل می‌کند. بررسی منابع نشان می‌دهد که در ایران مطالعات زیادی در رابطه با استفاده از شاخص کشت‌پذیری جهت شناسایی توان اراضی برای کشت‌پذیری و ارزیابی کیفیت خاک صورت نگرفته است؛ لذا این مطالعه با هدف اندازه‌گیری شاخص کشت‌پذیری در برخی از خاک‌های کشاورزی استان همدان با بافت و ویژگی‌های متفاوت، جهت بررسی وضعیت کشت‌پذیری و کیفیت خاک‌های این مناطق و همچنین شناسایی عوامل محدودیت کشت‌پذیری در این خاک‌ها صورت گرفت.

۲- بخش مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک دست‌خورده و دست‌نخورده (قطر ۵/۱ و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر) از زمین‌های کشاورزی در نوبت آیش، از ۱۰ منطقه از استان همدان از لایه ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر برداشته شد. به منظور جلوگیری از تخریب ساختمان خاک، نمونه‌برداری زمانی انجام شد که رطوبت خاک در حد مناسبی (کمتر از رطوبت حد خمیری) باشد.

پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های نمونه‌برداری شده شامل درصد ذرات اولیه (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986)، جرم مخصوص ظاهری (Blake and Hartge, 1986)، مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkly and Black, 1934) و مقدار کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی با NaOH (Sims,1996) اندازه‌گیری شدند.

ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها (C_u) برای کلاس اندازه‌های ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌متر به صورت زیر تعیین گردید:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (۱)$$

که در این رابطه D_{10} و D_{60} نشان‌دهنده قطری است که به ترتیب ۱۰ درصد و ۶۰ درصد ذرات خاک کوچکتر و مساوی آن باشند.

حد روانی خاک (θ_{LL}) با استفاده از دستگاه کاساگرانده به روش استاندارد انگلیسی شماره ۱۳۷۷ (British Standards Institution, 1975) در سه رطوبت مختلف و حد خمیری (θ_{PL}) با استفاده از روش استاندارد انگلیسی شماره ۱۳۷۷ (British Standards Institution, 1990) اندازه‌گیری شدند. شاخص خمیرایی از تفاوت حد روانی و حد خمیری (۲) بدست آمد:

$$PI= \theta_{LL}-\theta_{PL} \quad (۲)$$

شاخص مخروطی یا مقاوت فروروی خاک با استفاده از دستگاه فروسنج مخروطی مدل Rimik CP 20 تعیین شد. بدین صورت که در هر خاک مقدار مقاومت نقطه‌ای تا عمق ۲۰ سانتی‌متر با فواصل ۲ سانتی‌متری با ۱۰ تکرار اندازه‌گیری شد و سپس متوسط اعداد در هر خاک مورد بررسی قرار گرفت.

شاخص کشت‌پذیری (TI) بر اساس پنج ویژگی فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی، مواد آلی، ضریب یکنواختی و شاخص خمیرایی تعیین گردید (Singh et al., 1990):

$$TI = CF_{BD} \times CF_{PR} \times CF_{OM} \times CF_{UC} \times CF_{PI} \quad (۳)$$

در این رابطه CF_{BD}، CF_{PR}، CF_{OM}، CF_{UC} و CF_{PI} به ترتیب ضرایب مربوط به ویژگی‌های جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی، مواد آلی، ضریب یکنواختی و شاخص خمیرایی می‌باشند. تعیین شاخص کشت‌پذیری بدین صورت می‌باشد که ویژگی‌های بکار رفته در این شاخص، بر اساس شرایط بدون محدودیت، بحرانی و محدودکننده به گونه‌ای نرمال می‌شوند که هر ویژگی ضریبی را به خود اختصاص می‌دهد که بین صفر تا یک متغیر است (Singh et al., 1992) و در نتیجه حاصلضرب این ضرایب، مقدار شاخص کشت‌پذیری نیز بین صفر تا یک تغییر می‌کند (جدول ۱). هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، بیان‌کننده شرایط بهتر خاک از نظر کشت‌پذیری می‌باشد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

جدول ۱. ضرایب (CF) مربوط به ویژگی‌های مورد استفاده در شاخص کشت‌پذیری با در نظر گرفتن نوع محدودیت (Singh et al., 1992)

ویژگی خاک	CF		
	مقادیر بدون محدودیت	مقادیر محدودکننده	مقادیر بحرانی
جرم مخصوص ($Mg\ m^{-3}$)	$BD < 1.3 Mgm^{-3} \mapsto CF_{BD} = 1$	$BD \geq 2.1 Mgm^{-3} \mapsto CF_{BD} = 0$	$1.3 \leq BD \leq 2 Mgm^{-3} \mapsto CF_{BD} = -1.5 + 3.87BD - 1.5BD^2$
مقاومت فروروی (MPa)	$PR < 1Mpa \mapsto CF_{PR} = 1$	$PR \geq 10Mpa \mapsto CF_{PR} = 0$	$1 \leq PR \leq 10MPa \mapsto CF_{PR} = 1.012 - 0.002PR - 0.01PR^2$
مواد آلی (%)	$OM \geq 5\% \mapsto CF_{OM} = 1$	$OM \leq 1\% \mapsto CF_{OM} = 0.7$	$1 \leq OM \leq 5\% \mapsto CF_{OM} = 0.59 + 0.122OM - 0.008OM^2$
ضریب یکنواختی (-)	$UC \geq 5 \mapsto CF_{UC} = 1$	$UC \leq 2 \mapsto CF_{UC} = 0.75$	$2 \leq UC \leq 5 \mapsto CF_{CU} = 0348 + 0.245UC - 0.023UC^2$
شاخص خمیرایی (%)	$PI \leq 15\% \mapsto CF_{PI} = 1$	$PI \geq 40\% \mapsto CF_{PI} = 0.8$	$15 \leq PI \leq 40\% \mapsto CF_{PI} = 1.02 + 0.0009PI - 0.00016PI^2$

برای بررسی همبستگی بین پارامترهای مختلف و نتایج حاصل از شاخص کشت‌پذیری از معادله‌های رگرسیونی ساده و چند متغیره خطی با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

آنالیز آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که هدایت هیدرولیکی، جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی، مقدار کربنات کلسیم، درصد رس، مقدار ماده آلی، ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها و شاخص کشت‌پذیری خاک‌های مناطق مختلف نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری با هم داشتند؛ در حالی‌که شاخص خمیرایی در خاک‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های هدایت هیدرولیکی (Ks)، جرم مخصوص ظاهری (BD)، مقاومت فروروی (PR)، کربنات کلسیم ($CaCO_3$)، رس (Clay)، شاخص خمیرایی (PI)، ماده آلی (OC)، ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها (CU)، شاخص کشت‌پذیری (TI) برای خاک‌های مورد بررسی

متغیر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)								
		Ks	BD	PR	$CaCO_3$	Clay	PI	OC	CU	TI
نمونه خاک	۹	۴۹/۶۷**	۰/۰۳۴**	۰/۰۳۳**	۴۴۰/۹۹**	۲۳۷/۷۹**	۱۳/۷۶	۲/۶۶	۴/۷۸**	۰/۱۵*
خطای آزمایشی	۱۸	۲/۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۶/۹۱	۲/۶۸	۷/۳۱	۰/۰۲	۰/۷۶	۰/۰۶
ضریب تغییرات	-	۱۲/۶۴	۲/۸۰	۷/۷۴	۱۴/۲۱	۵/۷۶	۲۴/۵۳	۷/۹۹	۲۳/۶۵	۶۹/۳۶

** و *: به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برای خاک‌های مناطق مختلف در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که خاک شماره ۲ (بافت لومی) دارای بیشترین مقاومت فروروی (۰/۹۳ مگاپاسکال) و کمترین مقادیر ماده آلی (۱/۲۵ درصد)، کربنات کلسیم (۱۰/۲ درصد) و رس (۱۶/۵ درصد) بود (جدول ۳). مقاومت فروروی منعکس‌کننده نیروی برشی، تغییر شکل تراکمی و اصطکاک بین خاک و میله نفوذ می باشند؛ که این عوامل تحت تأثیر شرایط فیزیکی خاک همانند پتانسیل آب، بافت، ساختمان و مینرالوژی خاک

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

قرار می‌گیرند (Topp and Lapen, 2008). Stock and Downes (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 و دلیل این امر را ناپایداری خاک‌های با ماده آلی پایین در برابر تنش‌های ناشی از مرطوب شدن بیان کردند. در خاک‌هایی که بافت و مقدار رطوبت یکسان دارند عوامل سیمانی‌کننده مانند کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و اکسیدهای آهن مقدار مقاومت فروروی را افزایش می‌دهند (Puppala et al., 1995).

خاک شماره ۳ (بافت رسی سیلتی) بیشترین مقدار ماده آلی (۳/۹۵ درصد) و کربنات کلسیم (۳۸/۳ درصد) را در بین خاک‌های مناطق مختلف نشان داد. همچنین این خاک با مقاومت فروروی برابر با ۰/۵۷ مگاپاسکال و هدایت هیدرولیکی برابر با ۸/۸۵ سانتی‌متر بر ساعت کمترین مقدار ویژگی‌های نامبرده را دارا بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های هدایت هیدرولیکی (Ks)، جرم مخصوص ظاهری (BD)، مقاومت فروروی (PR)، کربنات کلسیم ($CaCO_3$)، رس (Clay)، شاخص خمیرایی (PI)، ماده آلی (OC)، ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها (CU)، شاخص کشت‌پذیری (TI) برای خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری	مقاومت فروروی	هدایت هیدرولیکی	ماده آلی	کربنات کلسیم	رس	ضریب یکنواختی خاکدانه ها
		($Mg\ m^{-3}$)	(MPa)	($cm\ h^{-1}$)	(%)	(%)	(%)	(-)
۱	لوم	۱/۲۴^{f}	۰/۸۳^{abc}	۱۶/۱۹^{b}	۱/۵۲^{de}	۱۲/۵^{c}	۲۱/۹^{d}	۳/۷۹^{bc}
۲	لوم	۱/۳۵^{e}	۰/۹۳^{a}	۱۳/۵۸^{bc}	۱/۲۵^{fg}	۱۰/۲^{cd}	۱۶/۵^{e}	۲/۳۷^{cd}
۳	رسی سیلتی	۱/۵۰^{b}	۰/۵۷^{f}	۸/۸۵^{ef}	۳/۹۵^{a}	۳۸/۳^{a}	۳۶/۳^{b}	۳/۲۸^{cd}
۴	لوم رسی شنی	۱/۳۹^{ed}	۰/۷۰^{bcd}	۱۲/۳۵^{cd}	۱/۰۳^{g}	۴۲/۰^{a}	۳۰/۵^{c}	۲/۲۴^{d}
۵	لوم شنی	۱/۴۲^{cd}	۰/۸۸^{ab}	۲۲/۵۱^{a}	۳/۱۶^{b}	۱۳/۸^{c}	۱۹/۵^{d}	۵/۳۹^{a}
۶	لوم سیلتی	۱/۴۶^{bc}	۰/۷۵^{cde}	۱۰/۷۲^{def}	۱/۲۳^{fg}	۲۲/۰^{b}	۲۸/۵^{c}	۵/۷۲^{a}
۷	رسی	۱/۶۱^{a}	۰/۷۹^{bcd}	۸/۲۵^{f}	۱/۷۷^{d}	۱۴/۷^{c}	۴۳/۸^{a}	۲/۶۶^{cd}
۸	لوم رسی	۱/۵۲^{b}	۰/۶۶^{ef}	۱۲/۳۷^{cd}	۱/۵۸^{ed}	۶/۰^{d}	۳۸/۵^{b}	۳/۰۱^{cd}
۹	لوم رسی	۱/۳۴^{e}	۰/۷۳^{cde}	۱۱/۶۰^{cde}	۱/۳۶^{ef}	۱۳/۳^{c}	۳۱/۱^{c}	۵/۰۱^{ab}
۱۰	لوم	۱/۳۵^{e}	۰/۸۱^{bc}	۱۳/۵۴^{bcd}	۲/۰۷^{c}	۱۲/۲^{c}	۲۲/۲^{d}	۳/۵۴^{bcd}

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح آماری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

خاک شماره ۵ (بافت لومی شنی) بیشترین مقدار مقاومت فروروی و هدایت هیدرولیکی را به ترتیب با مقادیر ۰/۸۸ مگاپاسکال و ۲۲/۵۱ سانتی‌متر بر ساعت نشان داد، همچنین ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها (۵/۳۹) در این خاک مقدار بزرگی بود. پژوهش‌گران پیشین نیز گزارش کردند که خاک‌های درشت بافت مقاومت فروروی بیش‌تری نسبت به خاک‌های ریز بافت دارند (Puppala et al., 1995؛ Munkholm et al., 2002). آنها گنجایش رطوبتی کم‌تر خاک‌های درشت بافت نسبت به خاک‌های ریز بافت را دلیل آن دانستند. خاک شماره ۶ (بافت لوم سیلتی) با اینکه کمترین مقدار ماده آلی (۱/۲۳ درصد) و هدایت هیدرولیکی (۱۰/۷۲ سانتی‌متر بر ساعت) را داشت، اما بیشترین مقدار ضریب یکنواختی خاکدانه ها (۵/۷۲ درصد) را دارا بود (جدول ۳).

کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی در گروه بافتی سنگین رسی با ۸/۲۵ سانتی‌متر بر ساعت و رسی سیلتی با ۸/۸۵ سانتی‌متر بر ساعت به دست آمد. هدایت هیدرولیکی یا ضریب آبگذری خاک نشان‌دهنده‌ی وضعیت سرعت حرکت آب در خاک می‌باشد. هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف یک مزرعه و حتی در یک نقطه در اعماق مختلف خاک متفاوت است. بنابراین هدایت هیدرولیکی پارامتری است که تغییرپذیری آن نسبت به مکان زیاد است. بیشترین هدایت هیدرولیکی (۲۲/۵۱ سانتی‌متر بر ساعت) در خاک با بافت لوم شنی مشاهده شد که این بافت خاک بیشترین ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها (۵/۳۹) را در بین خاک‌های مختلف نمونه‌برداری با بافت‌های مختلف نشان داد. توزیع اندازه ذرات بر ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها، فرآیند فرسایش، درجه حرارت، تخلخل و سایر ویژگی‌های خاک مؤثر بوده و از این رو بر رشد گیاه و تولید محصول تأثیر بسزایی دارد (Diaz-Zorita et al., 2007). توزیع اندازه ذرات همچنین در تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک کاربرد دارد (Hwang, 2004).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

همچنین کمترین ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها (۲/۲۴) در بافت لوم رسی شنی مشاهده شد که این نمونه خاک کم‌ترین مقدار ماده آلی (۱/۰۳ درصد) را بین خاک‌های مختلف نمونه‌برداری استان همدان نشان داد (جدول ۳). فعالیت بیولوژیکی، عملیات کشاورزی، اقلیم و عوامل دیگری که بر ساختمان خاک تأثیر می‌گذارند، سبب تغییر در ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌شوند (Angulo-Jaramillo et al., 2000).

در جدول ۴ مقادیر میانگین ضرایب ویژگی‌های مربوط به شاخص کشت‌پذیری در خاک‌های مناطق مختلف نمونه‌برداری در استان همدان مقایسه شده است.

جدول ۴- ضرایب (CF) ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برای محاسبه شاخص کشت‌پذیری (TI) برای خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	بافت خاک	CF					شاخص کشت پذیری
		جرم مخصوص ظاهری	مقاومت فروروی	شاخص خمیرایی	ماده آلی	ضریب یکنواختی خاکدانه ها	
		CF(BD)	CF(PR)	CF(PI)	CF(OM)	CF(ACU)	TI
۱	لوم	۱^{a}	۱	۱	۰/۷۵^{ef}	۰/۴۵^{abc}	۰/۳۴^{bc}
۲	لوم	۰/۹۸^{ab}	۱	۱	۰/۷۲^{g}	۰/۵۷^{abc}	۰/۴۱^{bc}
۳	رسی سیلتی	۰/۹۲^{cd}	۱	۱	۰/۹۴^{a}	۰/۲۰^{c}	۰/۱۸^{bc}
۴	لوم رسی شنی	۰/۹۸^{ab}	۱	۱	۰/۷۰^{h}	۰/۳۲^{bc}	۰/۲۳^{bc}
۵	لوم شنی	۰/۹۶^{abc}	۱	۱	۰/۸۹^{b}	۱ ^{a}	۰/۸۶^{a}
۶	لوم سیلتی	۰/۹۴^{bcd}	۱	۱	۰/۷۳^{g}	۰/۷۹^{ab}	۰/۵۲^{ab}
۷	رسی	۰/۸۳^{e}	۱	۱	۰/۷۸^{d}	۰/۱۴^{c}	۰/۰۹^{c}
۸	لوم رسی	۰/۹۱^{d}	۱	۱	۰/۷۶^{de}	۰/۱۸^{c}	۰/۱۲^{bc}
۹	لوم رسی	۰/۹۸^{ab}	۱	۱	۰/۷۴^{fg}	۰/۵۱^{abc}	۰/۳۸^{bc}
۱۰	لوم	۰/۹۹^{a}	۱	۱	۰/۸۰^{c}	۰/۴۳^{bc}	۰/۳۴^{bc}

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح آماری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

خاک شماره ۵ با بافت لوم شنی دارای بیشترین (۸۶ درصد) ضریب کشت پذیری بود اما با خاک شماره ۶ با بافت لوم سیلتی (با شاخص کشت‌پذیری ۵۲ درصد) در یک گروه آماری قرار گرفت ($P < ۰/۰۵$). همان‌طور که اشاره شد این دو خاک دارای بیشترین مقدار ضریب یکنواختی خاکدانه بودند (جدول ۳). ضریب یکنواختی و پایداری خاکدانه متأثر از ویژگی‌هایی مانند میزان رس، اکسیدهای آهن، کربنات کلسیم و مواد آلی می‌باشد (Barthes et al., 2008). در این بین، یکی از مهم‌ترین عوامل خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه، ماده آلی است (Angers, 1998). همچنین خاک لوم شنی بیشترین مقدار ماده آلی در بین خاک‌های مورد بررسی را دارا بود (۳٪/۱۶). در پژوهشی Dominguez et al. (2001) نشان دادند که از بین ویژگی‌های مؤثر بر توزیع اندازه ذرات، بیشترین نقش مربوط به ماده آلی است. Green et al. (2007) معتقدند که درصد خاکدانه‌های پایدار در آب، به میزان کربن آلی و نیتروژن خاک بستگی دارد. Lado et al. (2004) نیز گزارش کردند که افزایش ماده آلی در خاک از ۲/۳ به ۵/۳ درصد سبب افزایش اندازه خاکدانه‌های با قطر ۲ تا ۴ و ۴ تا ۶ میلی‌متری گردیده که کاهش فرسایش و هدرروی خاک و افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها را به دنبال دارد. سایر خاک‌های مناطق مختلف در یک گروه آماری قرار گرفتند و با هم تفاوت معنی‌داری از نظر کشت‌پذیری نداشتند. همچنین خاک شماره ۷ با بافت رسی کمترین مقدار این شاخص را نشان داد (۹ درصد). به دلیل مقدار کم ماده آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، معمولاً این خاک‌ها از پایداری نسبتاً ضعیفی برخوردارند (Khazai et al., 2008). به طور کلی، خاک‌های مورد بررسی از نظر شاخص خمیرایی و مقاومت فروروی محدودیتی برای کشت‌پذیری نداشتند (اعداد مربوطه برابر یک بودند)، و اما بیشترین محدودیت برای شاخص کشت‌پذیری در این خاک‌ها از نظر ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها نشان داده شده است. Hajabbasi et al. (2002) در بررسی تأثیر تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی بر برخی ویژگی‌های

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

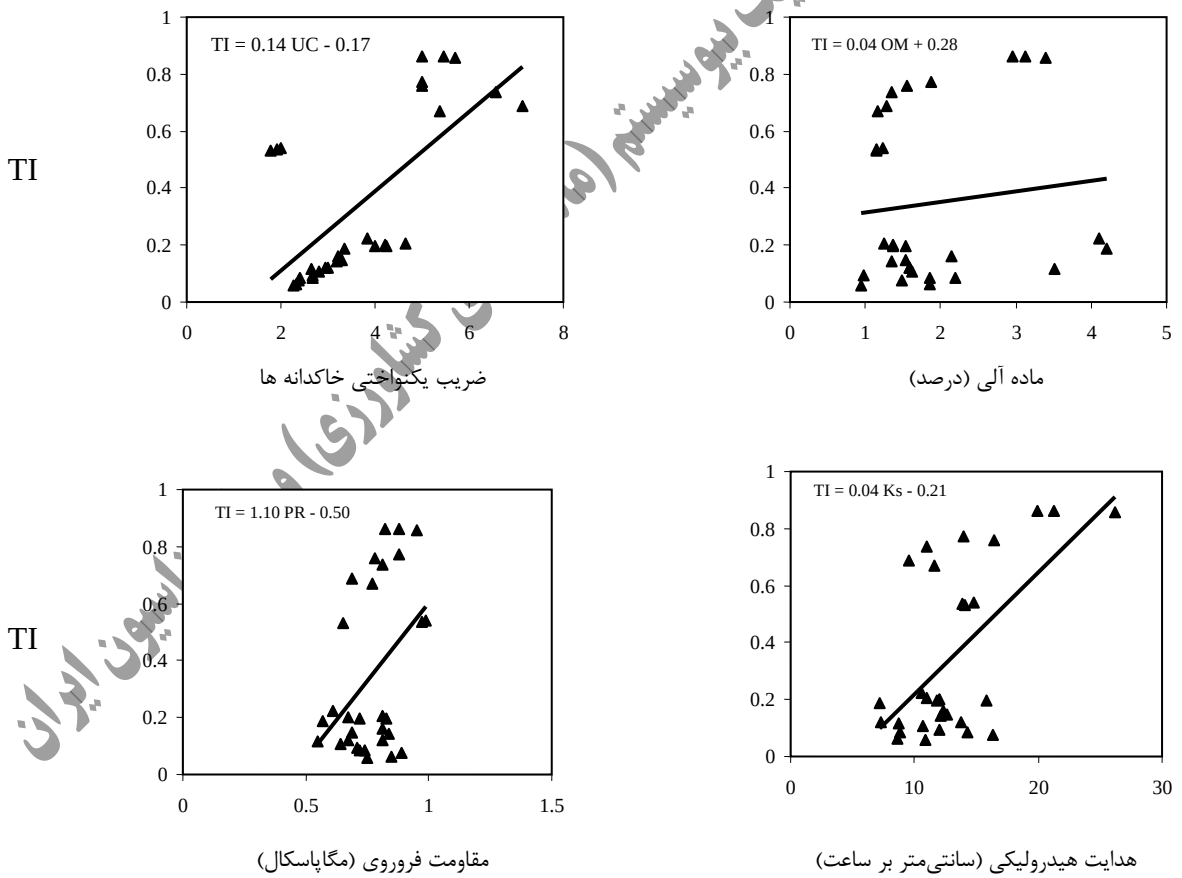
فیزیکی و شاخص کشت‌پذیری خاک در بروجن مشاهده کردند که این شاخص تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف قرار گرفته و رابطه معنی‌داری را با مدیریت بکار رفته نشان می‌دهد. آن‌ها گزارش کردند که مرتع تخریب شده دارای شاخص کشت‌پذیری کمتری نسبت به مرتع تحت کشت و مرتع دست‌نخورده بود؛ همچنین بیان کردند که تیمارهای مختلف از نظر مقاومت فروروی محدودیتی برای کشت‌پذیری ندارند و بیشترین محدودیت را نیز ماده آلی ایجاد کرده است. Tripathi (2002) در بررسی شاخص کشت‌پذیری به عنوان رویکردی برای بهینه‌سازی خاک‌ورزی در سیستم گندم-برنج گزارش کردند که شاخص کشت‌پذیری برای خاک‌ورزی‌های مختلف در سیستم کشت گندم و برنج متفاوت می‌باشد.

با توجه به رابطه رگرسیونی بین شاخص کشت‌پذیری و ضرایب تعیین‌کننده آن مشخص شد که ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها با مقدار ۰/۷۶ بیشترین تأثیر را بر روی خاک‌های استان همدان از نظر کشت‌پذیری دارد. همچنین جرم مخصوص ظاهری با ضریب ۰/۲۱ و ماده آلی با ضریب ۰/۴۴ روی شاخص کشت‌پذیری این خاک‌ها تأثیرگذار می‌باشند.

$$TI = -0.552 + 0.21\ CF(BD) + 0.44\ CF(OC) + 0.76\ CF(CU) \quad R^2=0.99 \quad CV=8.22 \qquad (۴)$$

روابط بین کشت پذیری و شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

رابطه بین شاخص کشت‌پذیری با ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی، مقاومت فروروی و ماده آلی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که این ویژگی‌ها رابطه مثبتی با شاخص کشت‌پذیری دارند. با افزایش ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها شاخص کشت‌پذیری نیز به صورت معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱)، که می‌توان افزایش تخلخل و نفوذپذیری خاک‌ها را دلیل این امر دانست. در واقع بین این ویژگی‌ها رابطه پیچیده‌ای وجود دارد که تحت تأثیر یکدیگر می‌باشند.

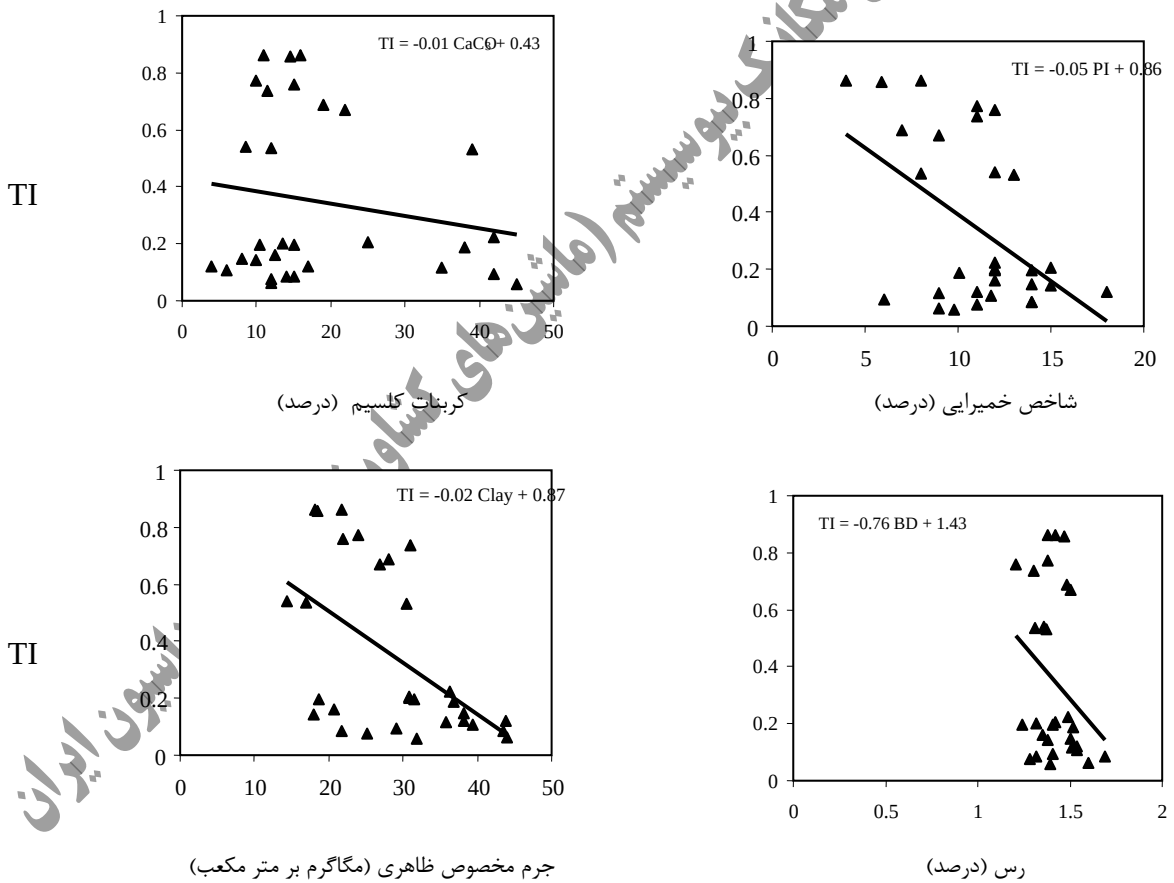


شکل ۱- رابطه بین شاخص کشت‌پذیری (TI) و ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها (UC)، ماده آلی (OM)، مقاومت فروروی (PR) و هدایت هیدرولیکی (Ks) در خاک‌های مورد بررسی

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش ماده آلی خاک شاخص کشت‌پذیری نیز افزایش یافته، اما این رابطه‌ی مثبت، معنی‌دار نمی‌باشد؛ که احتمالاً به این دلیل است که مقدار ماده آلی در خاک‌های مورد بررسی کم بوده و از آنجا که این ویژگی تحت تأثیر پارامترهای دیگری مانند اقلیم، نوع کاربری، بافت خاک، میزان پوشش گیاهی، مدیریت مانده‌ها و اراضی می‌باشد، نتوانسته اثر مقدار ماده آلی بر شاخص کشت‌پذیری را به خوبی نشان دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین شاخص کشت‌پذیری با مقاومت فروروی و هدایت هیدرولیکی نیز رابطه مثبت و معنی‌داری برقرار است. با توجه به حدود بحرانی (جدول ۱)، مقاومت فروروی هیچ‌گونه محدودیتی برای کشت‌پذیری در خاک‌های مختلف ایجاد نکرد زیرا مقدار آن کمتر از MPa ۱ بود و بنابراین ضریب برابر واحد برای برآورد شاخص کشت‌پذیری مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار مقاومت فروروی تا حدود یک مگاپاسکال مقدار شاخص کشت‌پذیری نیز افزایش خواهد یافت؛ در حالی‌که با افزایش آن به بیشتر از یک مگاپاسکال برای کشت‌پذیری محدودیت ایجاد خواهد کرد.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش هدایت هیدرولیکی، شرایط خاک نیز برای کشت و کار مناسب‌تر شده که این امر سبب افزایش شاخص کشت‌پذیری گردیده است. مقدار ماده آلی رابطه مستقیم و مثبتی با هدایت هیدرولیکی و ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها از طریق همآوری ذرات و تشکیل خاکدانه‌های پایدار نشان می‌دهد (شکل ۱).

بین شاخص کشت‌پذیری با شاخص خمیرایی، کربنات کلسیم، جرم مخصوص ظاهری و درصد رس در خاک‌های مورد بررسی همبستگی منفی به دست آمد (شکل ۲)؛ به‌طوری‌که با افزایش مقادیر این ویژگی‌ها مقدار شاخص کشت‌پذیری کاهش نشان داد (شکل ۲).



شکل۲- رابطه بین شاخص کشت‌پذیری و شاخص خمیرایی، کربنات کلسیم، رس و جرم مخصوص ضاهری خاک‌های مورد بررسی

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

نتایج نشان داد با وجود اینکه با افزایش کربنات کلسیم و جرم مخصوص ظاهری خاک شاخص کشت‌پذیری کاهش یافته است اما این رابطه از نظر آماری معنی‌دار نبود. هر چه مقدار رس خاک کمتر می‌شود شاخص خمیرای یا حد پلاستیکی خاک نیز کمتر شده که این امر باعث می‌شود کشت و کار راحت‌تر صورت گیرد و محدودیت کمتری برای کشت ایجاد شود. Gerik et al. (1987) بیان کرد که میزان رس در مقدار مقاومت فرورویی تأثیر بسزایی دارد و خاک‌های رسی قابلیت تراکم بالای دارند. Naseri et al. (2007) نیز بیان کردند که خاک‌های رسی در اکثر مواقع سال در حالت خمیری باقی می‌مانند که آن‌ها را تراکم‌پذیرتر ساخته و همین امر روی کشت و کار آن‌ها بسیار مؤثر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱- در خاک‌های مورد بررسی، محدودیتی برای کشت‌پذیری، از نظر شاخص خمیرایی و مقاومت فروروی وجود نداشت، در حالی‌که بیشترین محدودیت برای شاخص کشت‌پذیری در این خاک‌ها ضریب یکنواختی خاکدانه‌ها شناخته شد.

۲- نتایج نشان داد که شاخص کشت‌پذیری به عنوان یک شاخص کمی می‌تواند کیفیت فیزیکی خاک را با استفاده از برخی ویژگی‌های ساده خاک توصیف نماید؛ به طوری‌که در بررسی کیفیت ساختمانی و بارخیزی خاک تحت شرایط متفاوت از نظر ویژگی-های ذاتی و مدیریت-های اعمال شده می‌تواند کاربرد داشته باشد.

۴- مراجع

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*, 81:226–233.

Angers, A.D. (1998). Water stable aggregation of Quebec silty clay soils: some factors controlling its dynamics. *Soil and Tillage Research*, 47: 91–96.

Angulo-Jaramillo, R., Vandervaere, J.P., Roulier, S., Thony, J.L., Gaudet, J.P. and Vauclin, M. (2000). Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: a review and recent developments. *Soil and Tillage Research*, 55: 1–29.

Barthes, B.G., Kouoa Kouoa, E., Larre-Larrouy, M.C., Razafimbelo, T.M., de Luca, E.F., Azontonde, A., Neves, C.S., de Freitas, P.L. and Feller, C.L. (2008). Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, 143: 14–25.

Blake, G.R. and Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In: A. Klute (Editor). Methods of Soil Analysis. Part l. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 363–375.

Bouajila, A. and Gallali, T. (2010). Land use effect on soil and particulate organic carbon, and aggregate stability in some soils in Tunisia. *African Journal Agricultural Research*, 5 (8): 764–774.

Brady, N.C. (1984). The nature and properties of soils. 9th ed. MacMillan Publishing Co., New York.

British Standards Institution. (1975). Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. British Standards Institution, London.

British Standards Institution. (1990). Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. British Standards Institution, London.

Diaz-Zorita, M., Grove, J.H. and Perfect, E. (2007). Sieving duration and sieve loading impacts on dry soil fragment size distributions. *Soil and Tillage Research*, 94: 15–20.

Dominguez, J., Negrin, M.A. and Rodriguez, C.M. (2001). Aggregate water stability, particle size and soil solution properties in conducive and suppressive soils to Fusarium wilt of banana from Canary island (Spain). *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 449–455.

Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In Doran, JW, Coleman, DC, Bezdicek, DF and Stewart, BA (Eds) 'Defining Soil Quality for a Sustainable Environment'. Soil Science Society of America Special Publication No 35, Madison, WI., pp. 3–21.

FAO. (1999). The state of food insecurity on the world. Food and Agriculture Organisation, United Nations.

Fragin, A.G. (1986). Mathematical-Experimental method of estimating the structural state of the soil. *Soviet*

Soil Science, 18(3): 125–127.

Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particles size analysis. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods, second ed. ASA/SSSA Monograph 9, pp. 383–411.

Gerik, T.J., Morrison, J. and Chichester, F.W. (1987). Effects of controlled traffic on soil physical properties and crop rooting. *Agronomy Journal*, 79: 434–438.

Green, V.S., Stott, D.E., Cruz, J.C. and Curi, N. (2007). Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian cerrado oxisols. *Soil and Tillage Research*, 92: 114–121.

Gupta, P.R. (1986). Criteria for physical rating of soils in relation to crop production. Proc, XIII Int. Cong, Soil Sci. Hamburg. 2: 69–70.

Hajabbasi, M.A., Basalatpour, A. and Maleki, A.R. (2007). Effect of shifting rangeland to farmland on some physical and chemical properties of south and southwest soils of Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11(42): 525–534. (In Farsi)

Hajabbasi, M.A., Jalalian, A., Khajedin, J. and Karimzadeh, H.R. (2002). Depasturation Effects on Physical Characteristics, Fertility , and Tilth Index of Soil: A Case Study of Boroojen**.** *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 6 (1): 149–161. (In Farsi)

Hakansson, I., Lipiec, J. (2000). A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53: 71–85.

Hwang, S. (2004). Effect of texture on the performance of soil particle size distribution models. *Geoderma*, 123: 363–371.

Karlen, D.L., Erbach, D.C., Kaspar, T.C., Colvin, T.S., Berry, E.C. and Timmons, D.R. (1990) Soil tilth: a review of past perceptions and future needs. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 153–61.

Khazai, A., Mosadeghi, M.R. and Mahboubi, A.R. (2008). Effect of laboratory condition, organic matter content, clay and calcium carbonates on mean weight diameter and tensile strength of aggregates in some Hamadan soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(44): 123–134. (In Farsi)

Knuti, L.L., Williams, D.L. and Hide, J.C. (1979). Profitable soil management. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Lado, M., Paz, A. and Ben-Hur, M., (2004). Organic matter and aggregate size interaction, seal formation, and soil loss. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 935–942.

Lal, R. (2004). Soil quality in industrialized and developing countries–similarities and differences. In Schjonning, P, Elmholt, S and Christensen, BT (Eds) 'Managing soil quality. Challenges in modern agriculture'. CABI Publishing, UK, pp. 297–314.

Luttrell, D.J.L. (1963). The effect of tillage operations on bulk density and other physical properties of the soil. PhD. diss., Iowa State Univ., Ames, LA.

Munkholm, L.J., Schjønning, P., Debosz, K., Jensen, H.E. and Christensen, B.T. (2002). Aggregate strength and mechanical behaviour of a sandy loam under long-term fertilization treatments. *European Journal of Soil Science*, 53: 129–137.

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.

Plaster, E.J. (1985). Soil science and management. Delmar Publishers Inc., Albany, New York.

Puppala, A.J., Acer, Y.B. and Tumay, M.T. (1995). Cone penetration in very weakly cemented sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121: 589–600.

Schjonning, P., Elmholt, S. and Christensen, B.T. (2004b). Soil quality management – synthesis. In Schjonning, P, Elmholt, S and Christensen, BT (Eds) 'Managing soil quality. Challenges in modern agriculture'. CABI Publishing. UK, pp. 315–333.

Singh, K. K., Colvin, T.S., Erbach, D.C. and Mughal, A.Q. (1990). Tilth index; An approach towards soil condition quantification. Paper 90-1040. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI.

Singh, K.K., Colvin, T.S., Erbach, D.C. and Mughal, A.Q. (1992) Tilth index: an approach to quantifying soil tilth. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 35: 1777–1785.

Sims, J.T. (1996). Lime requirement methods of soil analysis. Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. Chemical Methods. SSSA/ASA. Madision, Wisconsin, USA. pp. 491.

SSSA. (1979). Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America, Madison, WI.

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.

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.

Tripathi, R.P. (2002). Evaluation and modelling of soil physical properties for optimizing tillage in rice–wheat system. Final Technical Report of ICAR Ad hoc Project. G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar, India, 40 pp.

Troeh, F.R., Hobbs, J.A. and Donahue, R.L. Eds. (2004). Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection, 4th ed. Prentice Hall, New Jersey.

Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29–38.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران