تاثیر عمق و سرعت پیشروی بر شاخص مقاومت مکانیکی خاک به صورت افقی

رسول معماردستجردی[1]- سعید مینایی[2]

چکیده

مقاومت مکانیکی خاک یکی از عوامل مؤثر در رشد گیاه وتولید محصولات کشاورزی بوده و تأثیر آن به طور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از روشهای معمول اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک در مزارع، استفاده از فروسنج مخروطی می‌باشد. در این روش برای نشان دادن مقاومت خاک، از شاخص مخروط *(CI)* استفاده می‌شود. اندازه‌گیری مقاومت خاک با استفاده از فروسنج مخروطی به صورت ایستگاهی بوده و انجام آن در مزرعه کاری زمان‌بر و بسیار مشکل است. برای حل این مشکل و برای داشتن اطلاعات بیشتری از مقاومت خاک، در این تحقیق حسگری ساخته شد که مقاومت مکانیکی خاک را به صورت پیوسته و در جهت افقی اندازه‌گیری می‌کند. حسگر از یک مخروط با زاویه راس ۳۰ درجه، میلهٔ انتقال نیرو، بارسنج الکتریکی، سامانهٔ داده‌برداری، تیغهٔ حامل و مکانیزم ایمنی تشکیل شده است و بر سیستم اتصال سه نقطهٔ تراکتور سوار می‌شود. در این تحقیق شاخصی با عنوان شاخص مقاومت مکانیکی خاک *(SRI)* به کار گرفته شد. برای ارزیابی دستگاه، یک آزمایش مزرعه‌ای ترتیب داده شد. در این آزمایش ، تأثیر سرعت پیشروی و عمق کار بر شاخصهای CI وSRI مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که تغییرات عمق کار تأثیر معنی داری برشاخص SRI دارد و با افزایش عمق کار حسگر، شاخص SRI افزایش می‌یابد. تحلیل نتایج حاکی از آن است که تغییرات سرعت در محدودهٔ سرعتهای انتخاب شده تأثیر معنی‌داری بر شاخص SRI ندارد. به عبارت دیگر اندازه گیری مقاومت مکانیکی خاک با این روش، مستقل از سرعت پیشروی است. همچنین همبستگی خوبی میان شاخصهای CI و SRI یافت شد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲- کلمات کلیدی: مقاومت مکانیکی خاک، دستگاه اندازه‌گیری پیوسته، فروسنج مخروطی، شاخص مقاومت مکانیکی خاک

۳- مقدمه

مقاومت خاک به عنوان مقاومتی که برای حصول تغییر شکل مطلوب خاک باید بر آن غلبه کرد، تعریف می‌شود . این پارامتر یکی از عوامل مؤثر در رشد گیاه و تولید محصولات کشاورزی بوده و تأثیر آن به طور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است. مقاومت بالای خاک بسته به هدف کار، می‌تواند مطلوب یا غیر مطلوب باشد. به عنوان مثال، مقاومت زیاد خاک برای تردد ماشینها مطلوب است، چون ظرفیت تحمل خاک را بالا می‌برد. ولی برای عملیات خاک‌ورزی نامطلوب است، چون مقاومت کششی ادوات را افزایش می‌دهد که موجب افزایش مصرف انرژی، لغزش و تخریب خاک می‌شود.

با توجه به تأثیر مقاومت خاک بر جوانه‌زنی بذر استقرار و رشد ریشه، رشد گیاه، و از همه مهمتر عملکرد محصول، اندازه‌گیری آن در مزرعه کاری ضروری است. اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به دو روش ایستگاهی و در حال حرکت انجام می‌شود. در روش ایستگاهی برای هر بار اندازه‌گیری، باید وسیله در خاک فرو شده و پس از اندازه‌گیری از خاک خارج گردد. ولی در روش در حال حرکت، مقاومت مکانیکی خاک به صورت پیوسته اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن حسگرهای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به همراه سیستم خاک‌ورزی، می‌توان شرایط مقاومت لایه‌های مختلف خاک را حس کرده و ابزار خاک‌ورز را در عمق مطلوب خاک‌ورزی قرار داد. برای عملی کردن این کار، باید دستگاه قابل اتصال به تراکتور بوده و داده‌های فراوانی را به صورت پیوسته از مقاومت خاک، در هنگام عبور خاک‌ورز جمع‌آوری کند. نمایش پیوسته مقاومت مکانیکی خاک امکان کاربرد ابزار مناسب خاک‌ورز و عمق مناسب برای استفاده از آن را فراهم می‌سازد. از دیگر کاربردهای عمدهٔ این وسیله، تهیهٔ نقشه‌های مقاومت خاک مزارع به منظور استفاده در سیستمهای کشاورزی موضعی[۱] می‌باشد.

بررسی منابع نشان می دهد که اخیرا در جهان مطالعه در این زمینه آغاز شده و تحقیقات انگشت شماری در زمینه تعیین مقاومت خاک مزرعه به صورت پیوسته انجام شده است[۱،۲،۳] . از این‌رو در تحقیقی که طی سالهای ۸۱ و ۸۲ اجرا گردید، دستگاه اندازه‌گیری پیوسته مقاومت مکانیکی خاک ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت. در این مقاله نتایج حاصل از مقایسه این دستگاه با فروسنج مخروطی معمولی در عمقها و سرعتهای مختلف پیشروی ارائه می‌شود.

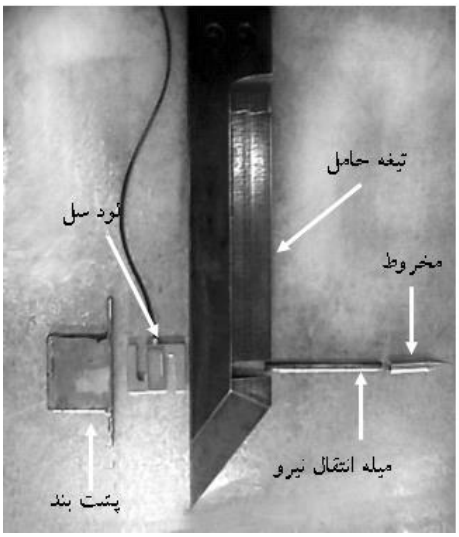
[۱] Site- Specific Agriculture

۴- مواد و روشها

۴-۱- مواد

وسیلهٔ اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به طور پیوسته

در این تحقیق برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به صورت پیوسته و افقی ابزار خاصی طراحی و ساخته شد(شکل۱). این ابزار از مخروطی افقی مطابق با استاندارد *ASAE S313.3* ، میلهٔ انتقال نیرو، تیغهٔ حامل به ضخامت ۳۰ *mm* و زاویه برش۳۰ درجه، بارسنج[۱] و سامانه داده برداری تشکیل شده است. مخروط دارای سطح مقطع۳۲۳ mm^2 و زاویهٔ رأس ۳۰ درجه می‌باشد. نیروی اعمالی از طرف خاک به مخروط از طریق میلهٔ انتقال نیرو به بارسنجی *S* شکل که در پشت تیغهٔ حامل نصب شده انتقال یافته و از آنجا به سامانه داده‌برداری می‌رود. کل مجموعه از طریق قاب‌افزار آن به سیستم اتصال سه نقطهٔ تراکتور متصل می‌شود. برای ثابت نگهداشتن عمق از دو چرخ تثبیت عمق که در دو طرف قاب افزار قرار گرفته بودند، استفاده شد (شکل۲).



شکل۱: نمای اجزای باز شده دستگاه اندازه گیری پیوسته مقاومت خاک

[۱] Load Cell

شکل۲: ابزار ساخته شده در هنگام کار در مزرعه(برای دیده شدن از خاک بیرون آورده شده است)

در این تحقیق مشابه با شاخص مخروط *(CI)* شاخصی با عنوان شاخص مقاومت مکانیکی خاک *(SRI)* تعریف شد که عبارت است از نیروی اعمال شده از خاک بر مخروط در جهت افقی تقسیم بر سطح مقطع مخروط.

وسیلهٔ اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به صورت ایستگاهی

برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به صورت ایستگاهی فروسنج مخروطی عمودی ساخت شرکت*EIJKELKAMP* به کار گرفته شد فروسنج مخروطی به کار برده شده به گونه‌ای بود که به طور پیوسته از سطح زمین تا عمق مورد نظر، به ازای هر یک سانتیمتر نفوذ، یک داده ثبت می‌کرد. برای استخراج داده‌ها، دستگاه به کامپیوتر متصل شده و با استفاده از نرم افزار مربوطه داده‌ها پیاده شد.

۴-۲- روشها

روش اجرای آزمایش

آزمایش به صورت طرح فاکتوریل در قالب بلوکهای کاملاً تصادفی با سه تکرار درخاک با بافت لومی واقع در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج اجرا گردید. پارامترهای متغیر در این آزمایش عبارتند از: سرعت پیشروی وسیله در خاک (در سه سطح۱-۰/۸، ۲-۱/۸ و ۳/۶ – ۳/۴ کیلومتر بر ساعت) و عمق کار دستگاه در (سه سطح ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتیمتر). متغیرهای وابسته که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند عبارت بودند از شاخص مخروط و شاخص مقاومت مکانیکی خاک.

روشهای اندازه‌گیری

الف- اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک

---

[1] Soil Resistance Index

برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک از ابزار ساخته شده و فروسنج مخروطی استفاده شد. این اندازه‌گیری در دو مرحله صورت گرفت. در مرحلهٔ نخست، مقاومت مکانیکی خاک در طول مسیرهایی که ابزار باید در آن حرکت می‌کرد با استفاده از فروسنج مخروطی استاندارد اندازه‌گیری شد. در هر مسیر تعداد ده اندازه‌گیری در عمق تعیین شده صورت گرفت، در مرحلهٔ بعد، ابزار ساخته شده برای رسیدن به سرعت مورد نظر در تیمار مربوطه چند متر قبل از کرت در عمق مورد نظر قرار گرفت. پس از طی چند متر و یکنواخت شدن سرعت پیشروی سامانه داده‌برداری روشن شده ثبت دادها آغاز گردید و تا پایان کرت ادامه یافت.

ب- اندازه‌گیری سرعت پیشروی

با توجه به تحقیقات انجام شده، مشخص شد که برای تیغه‌ای به عرض $۳۰\,mm$، سرعت بحرانی کمتر از $۱/۲\,m/s$ یا $۴/۵\,km/h$ می‌باشد و همچنین با افزایش سرعت، نیروی اینرسی خاک به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد[۵،۷] . از این‌رو در تحقیق حاضر، آزمایشات در سرعتهای پیشروی کمتر از سرعت بحرانی اجرا شد. برای اندازه‌گیری سرعت در مزرعه، تراکتور را در دنده‌های مختلف قرار داده و سپس از طریق اندازه‌گیری زمان در طول مسیر طی شده، سرعت در دنده‌های مختلف تعیین گردید و از آن به بعد با استفاده از دنده‌های مورد نظر، آزمایشات صورت گرفت.

ج- اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک

برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک، در چند نقطه از هر کرت با فرو بردن استوانه نمونه‌برداری به قطر داخلی $۸۰\,mm$ و ارتفاع $۴۰\,mm$ در عمقهای مورد نظر ، نمونه خاک دست نخورده برداشته شد و پس از خشک کردن خاک در آون، جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱- تاثیر عمق و سرعت پیشروی بر روی SRI

اجرای آزمایش و تجزیه وتحلیل داده‌ها نشان داد که تغییرات عمق در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری بر دادهای ثبت شده با حسگر دارد (جدول۱). در این آزمایشات مشخص شد که با افزایش عمق از سطح خاک تا عمق۳۰ سانتیمتر، شاخص مقاومت مکانیکی خاک(SRI) افزایش می‌یابد. این امر طبیعی بوده و علت آن افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از سطح تا عمق ۳۰ سانتیمتر بود. با اندازه-گیری جرم مخصوص ظاهری خاک در چندین نقطه از مزرعه و میانگین‌گیری از آنها مشخص گردید که مقدار آن در سه عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ به ترتیب $۱/۳۷\,g/cm^3$، $۱/۳۸\,g/cm^3$ و $۱/۵۲\,g/cm^3$ بود. افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک درعمق۳۰-۲۰ سانتیمتر احتمالا ناشی ازسخت لایه ایجاد شده در اثر استفاده از خیش‌های برگرداندار در سالهای قبل باشد. همانگونه که در شکل۳ مشاهده می‌شود، تغییرات SRI اندازه‌گیری شده در عمقهای۱۰-۰، ۲۰-۱۰و۳۰-۲۰ سانتیمتر به ترتیب $۱/۳-۱/۵\,MPa$، $۱/۲-۱/۸\,MPa$ و$۱/۸-۲/۱\,MPa$ بوده است که بالا بودن مقاومت درعمق ۳۰-۲۰ را نشان می‌دهد. همچنین تغییرات SRI در عمق ۱۰-۰ سانتیمتر نسبت به سایر عمقها یکنواخت‌تر بود که علت آن خاک‌ورزی مکرری است که قبلا روی آن صورت گرفته است. همان‌گونه که جدول تجزیه واریانس (جدول۱) نشان می‌دهد، تغییرات سرعت تاثیر معنی‌داری بر شاخص مقاومت مکانیکی خاک (SRI)

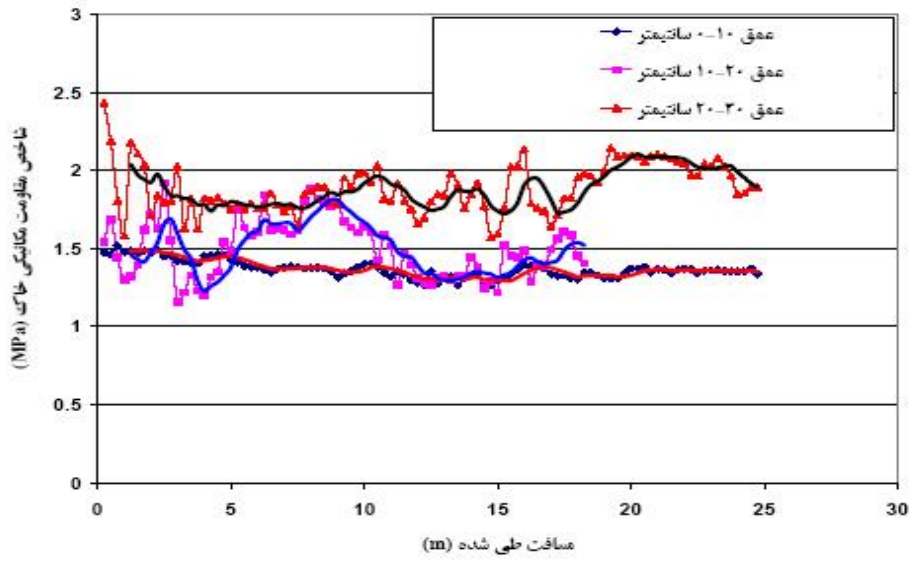
ندارد. این یافته نیز با گزارشات سایر محققین در مورد اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به صورت افقی مطابقت دارد [۲]. با توجه به این که در محدوده سرعتهای انتخاب شده، سرعت تاثیری روی شاخص SRI ندارد ، بهترین سرعت برای اندازه‌گیری شاخص مقاومت مکانیکی خاک در مزرعه، سرعت ۳/۶ km/h می‌باشد. چون با این سرعت، زمان لازم برای جمع‌آوری داده‌های مزرعه‌ای کاهش می‌یابد. نمودار تغییرات مقاومت مکانیکی خاک در سرعت‌های مختلف در شکل۴ نشان داده شده است. همان-گونه که در شکل مشخص است در هر سه سطح سرعت، شاخصSRI بین ۱/۴-۱/۲ مگاپاسکال، تغییر می کند.

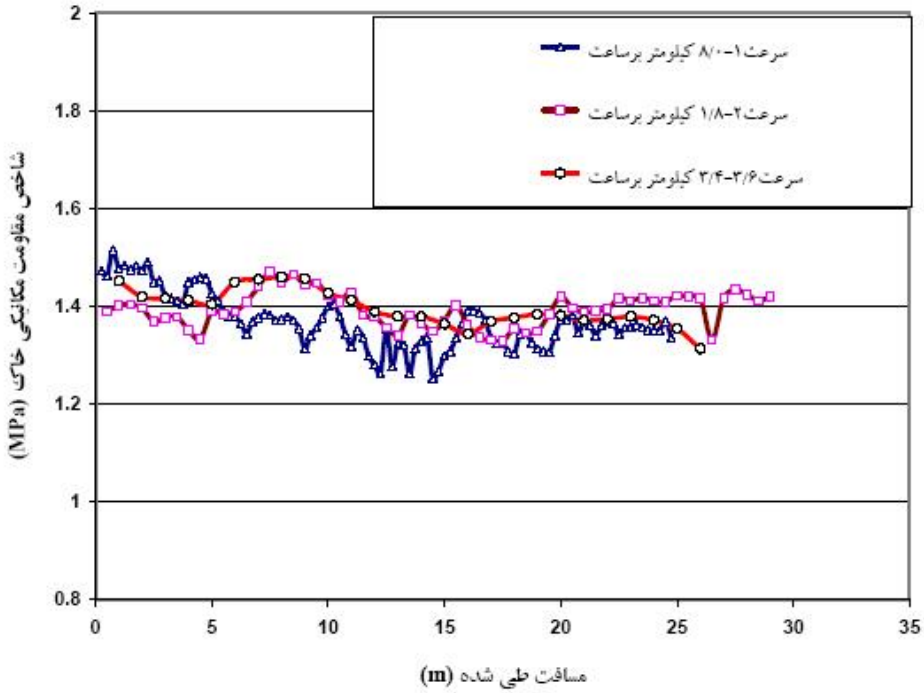
جدول ۱ : تاثیر عمق و سرعت پیشروی بر روی SRI

مدل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تکرار	۲	۱/۴۲۵×۱۰$^{-۲}$	۷/۲۱۶×۱۰$^{-۳}$	۲/۹۹۴^{ns}
سرعت (GS)	۲	۹/۹۱۹×۱۰$^{-۳}$	۴/۹۵۹×۱۰$^{-۳}$	۲/۰۸۴^{ns}
عمق(D)	۲	۱/۱۱۱	۰/۵۵۵	۲۳۳/۳۶۸**
$GS\times D$	۴	۳/۳۰۴×۱۰$^{-۳}$	۸/۲۵۹×۱۰$^{-۴}$	۰/۳۴۷^{ns}
خطا	۱۶	۳/۸۰۸ ×۱۰$^{-۲}$	۲/۳۸۰×۱۰$^{-۳}$	
کل	۲۶	۱/۱۷۶		

** وجود تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns عدم وجود تأثیر معنی‌دار

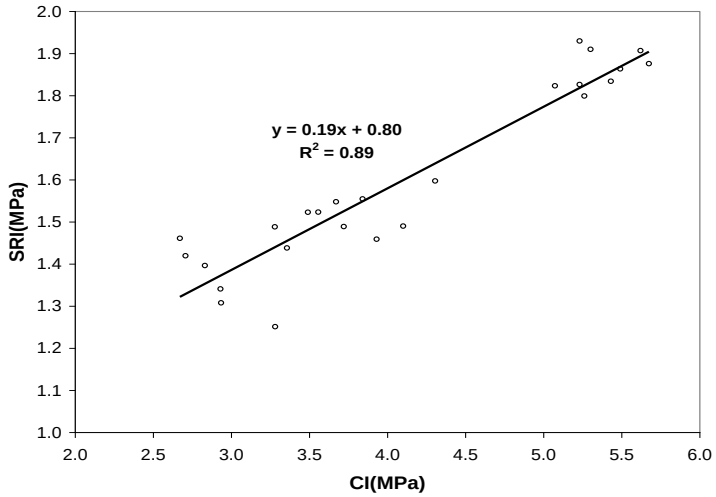




شکل۴: تغییرا ت شاخص SRI در طی مسیر با سرعتهای مختلف پیشروی

۵-۲- ارتباط بین شاخصهای *CI* و *SRI*

با انجام تجزیه و تحلیل آماری مشخص شد که بین دو متغیر در سطح احتمال ۱درصد رابطه‌ای خطی باضریب همبستگی r=۰/۹۳ وجود دارد(شکل ۵). با توجه به اینکه شاخص *SRI* همبستگی خوبی با شاخص *CI* دارد، از این شاخص می‌توان به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک استفاده کرد، با این تفاوت که اندازه‌گیری پیوسته آن مزیت بارزی نسبت به شاخص *CI* محسوب می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که شاخص مقاومت مکانیکی خاک *(SRI)* اندازه‌گیری شده با ابزار پیوسته، از شاخص مخروط(*CI*) اندازه‌گیری شده با فروسنج مخروطی، کوچکتر است. با توجه به تحقیقاتی که سایر محققین روی اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک به صورت افقی انجام داده بودند، این یافته‌ها مورد انتظار بود. مهمترین علت آن متفاوت بودن جهتهای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک می‌باشد. هنگامی که مخروط در حالت عمودی در خاک عمل می‌کند نیروهای پیوستگی، چسبندگی ونیروی ناشی از وزن خاک تاثیر می‌گذارند در حالیکه در وضعیت نفوذ افقی، نیروی ناشی از وزن خاک تاثیر چندانی ندارد[۶] .



شکل۵: ارتباط بین شاخص مخروط (عمودی) و شاخص مقاومت مکانیکی خاک (افقی)

۶- توصیه و پیشنهاد

پیشنهاد می شود:

۱- داده‌های حاصل از حسگر با سیستم موقعیت یاب جهانی (*GPS*) همراه شود تا از این طریق نقشه مقاومت مکانیکی خاک تهیه گردد.

۲- می‌توان از این ابزار برای کنترل عمق زیرشکنها و قرار دادن آنها در عمقهای مطلوب استفاده کرد.

۳- تأثیر شکل و ابعاد هندسی تیغه و مخروط روی داده‌های حاصل از ابزار ارزیابی شود.

۴- با افزایش واحدهای این ابزار، مقاومت مکانیکی در چندین عمق به طور همزمان اندازه‌گیری گردد و با استفاده از آن محل کف شخم و سخت لایه در خاک مشخص شود.

۷- منابع

1. Adamchuk, V.I., Morgan, M.T. and Sumali, H. (2001). Application of strain Gauge array to estimate soil mechanical impedance on-the-go. TRANSACTIONS of the ASAE, 44 (6): 1377-1383

2. Alihamsyah, T., Humphries, E.G. and Bowers, C.G .(1990) .A technique for horizontal measurement of soil mechanical impedance. TRANSACTIONS of the ASAE, 33(1): 73-77.

3.Andrade, P., Rosa, U., Upadhyaya, S., Jenkins, B., Aguera, J., and Josiah, M. (2001). Soil profile force measurement using an instrumented tine. ASAE Paper Number: 011060. St. Joseph, MI.

4. ASAE Standards (2001). ASAE S313.3: Soil cone penetrometer. St. Joseph, MI.

5. Schuring, D.J. and Emori, R.I.(1964) .Soil deforming processes and dimensional analysis. SAE Paper No. 897C. New York, N.Y. SAE

6. Sun-Ok, C., and Kenneth, A. (2003). Modeling soil failure caused by prismatic and conical tools. ASAE Paper No. 031028. St. Joseph, MI.

7. Wheeler, W. B. and Godwin, R.J. (1996) .Soil dynamics of single and multiple tines at speeds up to 20 km/h. Journal of Agricultural Engineering Research 63: 243-250