

طراحی، ساخت و ارزیابی مزرعه‌ای نفوذسنج پشت تراکتوری

مجتبی نادری بلداجی*، رضا علیمردانی، احمد طباطبایی فر و احمد شریفی**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن: ۰۲۶۱(۲۸۰۱۰۱۱)، پیام‌نگار:

m.nadery_boldaji@yahoo.com

** به ترتیب دانشجوی دکتری؛ استادان دانشکده مهندسی بیوسیستم پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ و استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات

فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۵

چکیده

یکی از مقوله‌های مهم در کشاورزی، فشردگی خاک است. برای اندازه‌گیری این پارامتر، روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، اندازه‌گیری میزان نیروی مورد نیاز در واحد سطح برای نفوذ یک مخروط فولادی با ابعاد استاندارد و با سرعت ثابت است. این پارامتر «شاخص مخروطی» نامیده می‌شود. برای اندازه‌گیری شاخص مخروطی از دستگاه نفوذسنج استفاده می‌شود. در این تحقیق یک دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری پس از طراحی، ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. این دستگاه شامل پنج قسمت قاب، واحد محرک هیدرولیکی، مبدل نیرو (لودسل)، واحد اندازه‌گیری عمق، و سیستم تحویل اطلاعات است. دستگاه قابل نصب بر اتصال سه نقطه تراکتورهای گروه III است و سیستم هیدرولیک آن می‌تواند سرعت ثابت مورد نیاز (۳ سانتی‌متر بر ثانیه مطابق با استاندارد ASAE, S313.3) را تأمین کند. در این دستگاه برای اندازه‌گیری نیرو از مبدل تبری یک سرگردار و برای اندازه‌گیری عمق از حسگر فرستنده و گیرنده نوری استفاده شده است. برای دریافت و ذخیره داده‌ها، سیستم تحویل اطلاعات با استفاده از میکروکنترلر طراحی و ساخته شد. در مرحله ارزیابی دستگاه، با مقایسه داده‌های دستگاه پشت تراکتوری با داده‌های دستگاه دستی Eijkelkamp مشخص شد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. سرانجام اینکه کارایی دستگاه قابل اطمینان و عملکرد قسمت‌های مکانیکی و الکتریکی آن بدون مشکل است.

واژه‌های کلیدی

سیستم تحویل اطلاعات، شاخص مخروطی، نفوذسنج پشت تراکتوری

مقدمه

کشاورزی جهت اجرای عملیات مختلف زراعی، خاک به تدریج متراکم می‌شود و کیفیت زراعی آن کاهش می‌یابد. در بسیاری از اراضی کشاورزی و در عمق ۲۵ سانتی‌متر و پایین‌تر، معمولاً لایه‌ای سخت و غیر قابل نفوذ به وجود می‌آید. این لایه سخت نفوذپذیری خاک را برای آب و هوا کاهش می‌دهد و در نتیجه رشد ریشه گیاه مختل و میزان عملکرد به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل وجود این لایه، آب در سطح خاک روان می‌شود، تبخیر افزایش می‌یابد، و خاک در معرض فرسایش بیشتری قرار می‌گیرد. بنابراین، تعیین مقاومت به نفوذ عاملی است ضروری جهت تعیین موقعیت و ضخامت لایه

خاک، محیطی متخلخل مرکب از ذراتی با کمیت و کیفیت متفاوت است که از هوادیدگی بیش از صد نوع سنگ و صدها کانی به‌وجود آمده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر و به مرور زمان متفاوت است. تلاش در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، به دلیل افزایش جمعیت، امروزه در صدر برنامه‌های کشاورزی دنیا قرار دارد. مکانیزه کردن مزارع بخشی از این فعالیت‌هاست و می‌تواند در افزایش میزان محصول در واحد سطح تا حد زیادی مؤثر باشد. از طرف دیگر، در اثر افزایش تردد تراکتورها و ادوات



ویلکرسون و همکاران (Wilkerson *et al.*, 1982) یک واحد آزمایشی خیلی کامل را برای اندازه‌گیری استحکام خاک معرفی کردند. این دستگاه شامل یک نفوذسنج پشت تراکتوری بود که با استفاده از توان هیدرولیکی برای اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ خاک تا عمق ۵۱ سانتی‌متر روی چهار ردیف طراحی شده بود. از یک واحد میکرو کامپیوتری برای فعال کردن تمام مکانیزم‌های حرکتی و ثبت خودکار داده‌ها روی نوار مغناطیسی استفاده شد. مهم‌ترین مزیت این سیستم سهولت در ذخیره اطلاعات بود. فیلیپس و پرومپرال (Philips & Perumpral, 1983) برای تدارک یک سیگنال الکتریکی مرتبط با مقاومت نفوذ، یک نفوذسنج مخروطی مرسوم را با قرار دادن کرنش‌سنج‌ها روی حلقه‌ای فولادی^۱ اصلاح کردند. برای جمع‌آوری و ذخیره داده‌های مقاومت نفوذ، از یک دیتالاگر میکرو کامپیوتری استفاده شد. لاوری (Lowery, 1986) با استفاده از سیستم جمع‌آوری داده‌ها (دیتالاگر) شاخص مخروطی و عمق را اندازه‌گیری کرد. در اندازه‌گیری خواص مکانیکی خاک می‌توان سنسورهای ترکیبی را به‌کار گرفت. در این دستگاه‌ها با یک بار فروکردن مجموعه در خاک می‌توان چندین ویژگی مکانیکی از قبیل استحکام برشی، مدول برشی، شاخص مخروطی، و ویژگی‌های نشست خاک را اندازه‌گیری کرد. یوپادھیایا و همکاران (Upadhyaya *et al.*, 1993) چنین دستگاهی را ساخته و از آن در آزمایش‌های کشش چرخ استفاده کردند. ریپر و همکاران (Raper *et al.*, 1999) برای اندازه‌گیری هم‌زمان شاخص مخروطی یک نفوذسنج پشت تراکتوری با پنج مخروط در یک ردیف طراحی کردند. با استفاده از این دستگاه در مزارع بزرگ در وقت صرفه‌جویی زیادی می‌شود که یکی از عوامل مهم در مکانیزاسیون مزارع بزرگ است. به منظور جمع‌آوری و ذخیره داده‌ها در

سخت، استحکام، ترددپذیری، مقاومت به نفوذ ریشه، و فشردگی خاک و نیز تخمین نیروی کششی و مقاومت ویژه گاوآهن. معضلات ناشی از آگاهی نداشتن از فشردگی خاک یکی کاهش رشد گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد محصول و دیگری افزایش انرژی لازم برای اجرای عملیات کشاورزی است. همچنین، اجرای عملیات تجربی در مزرعه به دلیل نداشتن اطلاعات برای مدل‌های تئوری نیز از جمله مشکلات این نوع ناآگاهی است.

نفوذسنج‌های مخروطی سال‌هاست به کار گرفته می‌شوند و به دلیل آنکه اجرای کار با آنها آسان‌تر، سریع‌تر، و اقتصادی‌تر شود، نحوه کاربرد و ثبت اطلاعات در آنها تغییر کرده است. از آنجا که عوامل متعددی در شاخص مخروطی مؤثرند و از طرفی با متداول شدن نفوذسنج‌ها با ظرفیت‌های مختلف، طیف وسیعی از نفوذسنج‌ها به وجود آمده‌اند، داشتن روشی مشترک جهت بیان شرایط مکانیکی خاک‌ها و سهولت گزارش و تفسیر اطلاعات، استاندارد شدن این دستگاه را در پی داشت. استاندارد ASAE, S313.3 (Anon, 2003) مربوط است به ابعاد مخروط برای دو نوع دستی و تراکتوری، میزان پرداخت سطح مخروط و میله نفوذ، و سرعت نفوذ یکنواخت (۳ سانتی‌متر بر ثانیه).

با پیشرفت علم الکترونیک، وسایل ثبت اطلاعات تنوع چشم‌گیری پیدا کرده‌اند به طوری که به منظور سهولت در تجزیه و تحلیل اطلاعات در انواع نفوذسنج‌های دستی و تراکتوری امروزه ثبت عددی اطلاعات امکان‌پذیر شده است. در اسکاتلند آندرسون و پیسی (Anderson & Pidgeon, 1980) سیستم ثبت‌کننده داده‌های عددی را با به کارگیری حسابر الکترونیکی با قابلیت برنامه‌نویسی ساختند. داده‌ها در فواصل ۱۰ میلی‌متر از عمق نفوذ اندازه‌گیری و ثبت و از طریق برنامه نوشته شده تجزیه و تحلیل می‌شد.

روی این دستگاه یک کولیس دیجیتالی برای اندازه‌گیری عمق نفوذ، یک سیستم جمع‌آوری داده کیفی^۳ برای جمع‌آوری داده‌ها، و یک واحد GPS برای تعیین موقعیت جغرافیایی (با دقت چهار متر) نصب شد. نرم افزار تحصیل داده به زبان C++ نوشته شده است و با یک کامپیوتر کیفی نمودار شاخص مخروطی- عمق را رسم می‌کند.

نفوذسنج‌های موجود در کشور دستی هستند و معایبی دارند از قبیل: (۱) ناکارآمدی در خاک‌های سخت، (۲) نداشتن امکان نفوذ با سرعت ثابت و در نتیجه ایجاد خطا در نتایج، (۳) نداشتن دقت در اندازه‌گیری به علت انتقال تنش‌های جانبی به عنصر ارتجاعی، (۴) ناممکن بودن استفاده از آنها در عمق زیاد، و (۵) نیاز به صرف زمان زیاد جهت اندازه‌گیری‌های متعدد (Naderi- Boldaji *et al.*, 2009). بنابراین، ضرورت طراحی یک دستگاه پشت تراکتوری با دقت کافی که در انواع خاک‌ها قابل استفاده باشد انکارناپذیر است.

نوع تراکتوری به دلیل مزایایی که در زیر بر شمرده می‌شود نسبت به نوع دستی، برتری دارد: (۱) قابلیت حمل و نقل و سهولت انجام دادن کار، (۲) تأمین سرعت ثابت نفوذ ۳ سانتی‌متر بر ثانیه طبق استاندارد ASAE, S313.3 (Anon, 2003)، (۳) استفاده از توان هیدرولیکی تراکتور به جای توان متغیر انسانی، (۴) استفاده از توان الکتریکی تراکتور جهت راه‌اندازی قسمت‌های الکتریکی دستگاه، (۵) نداشتن محدودیت در تجهیز شدن به وسایل جانبی، و (۶) قابلیت به‌کارگیری در خاک‌های سخت و عمق نفوذ بیشتر. بنابراین، با توجه به این مزایا تحقیق برای ساخت این دستگاه به‌نحوی که در شرایط مختلف خاک قابل استفاده باشد، ضروری است.

مواد و روش‌ها

دستگاه نفوذسنج

دستگاه نفوذسنج ساخته شده (شکل ۱) دارای پنج

این دستگاه، از یک سیستم تله‌متری از راه دور مستقر در کنار مزرعه استفاده می‌شود.

بانکل و همکاران (Bankole *et al.*, 2000) برای اندازه‌گیری نیرو در یک نفوذسنج پشت تراکتوری، از یک مبدل پیزوالکتریک استفاده کردند؛ برای مقایسه کارایی این مبدل، یک مبدل کرنش‌سنجی نیز به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که داده‌های هر دو مبدل با دقت بالا قابل اطمینان‌اند و زمان پاسخ در مبدل پیزوالکتریک، نسبت به مبدل کرنش‌سنجی، کوتاه‌تر است، و علاوه بر این استفاده از مبدل پیزوالکتریک در مکان‌های محدود مناسب‌تر است. کارلس و هاپمنز (Carlos & Hopmans, 2001) نفوذسنجی طراحی کردند که به‌طور هم‌زمان شاخص مخروطی و نیز مقدار رطوبت را با استفاده از یک حسگر TDR^۱ اندازه می‌گرفت.

بون و همکاران (Boon *et al.*, 2005) یک دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری ساختند که علاوه بر اندازه‌گیری شاخص مخروطی، مقاومت برشی خاک را نیز اندازه می‌گرفت. در این دستگاه، به منظور تأمین سرعت یکنواخت نفوذ، از مکانیزم چرخ دنده‌ای و یک واحد کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر^۲ (PLC) استفاده شد. برای نفوذ مخروط در داخل خاک و همچنین تأمین حرکت دورانی دستگاه اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک از دو موتور پله‌ای با گشتاور بالا استفاده شد. همچنین به منظور نمایش و ثبت داده‌ها از یک سیستم تحصیل داده کامپیوتری استفاده شد.

از دستگاه‌های نفوذسنج به‌طور گسترده در تهیه نقشه‌های فشردگی خاک استفاده می‌شود؛ از این نقشه‌ها می‌توان در سیستم‌های خاک‌ورزی عمق متغیر بهره گرفت. در این باره، گوهری و همت (Gohari & Hemmat, 2005) یک دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری ساختند که در آن جهت اندازه‌گیری نیرو یک مبدل ۵۰۰ کیلوگرمی S شکل به کار گرفته شد.

1- Time Domain Reflectometry

2- Programmable Logic Controller

3- Laptop-Based Data Acquisition System

قسمت اصلی به شرح زیر است:

(۱) قاب (شاسی)، (۲) واحد محرک هیدرولیکی، (۳) مکانیزم اندازه‌گیری نیرو، (۴) مکانیزم اندازه‌گیری عمق، و (۵) سیستم تحویل اطلاعات.

قاب (شاسی)

جهت سوار و متصل کردن کلیه اجزای دستگاه به تراکتور، به یک شاسی نیاز است که به منظور سهولت حمل و نقل، از نوع سوار در نظر گرفته شد. ابعاد و اندازه‌های اتصالات مطابق با استاندارد ASAE, S217.11 (Anon, 2003c) و برای نصب بر تراکتورهای گروه III ساخته شد. برای آنکه ارتفاع جک در مواقع مورد نیاز قابل تنظیم باشد، شاسی از دو قسمت ثابت و متحرک ساخته شد که بتوانند نسبت به هم جابه‌جا شوند. جک هیدرولیک

بر قسمت متحرک شاسی بسته می‌شود. در موقع اندازه‌گیری، مؤلفه نیروی رو به بالا که از طرف خاک بر دستگاه وارد می‌شود، حالت عمودی دستگاه را به هم می‌زند که برای جلوگیری از آن از یک زنجیر قابل تنظیم استفاده می‌شود که از پایین به اتصال مالبند تراکتور و از بالا به فیل گوش دستگاه متصل می‌شود. هنگام کار با دستگاه، ابتدا دستگاه تراز و سپس زنجیر محکم می‌شود. در این حالت، مؤلفه رو به بالا کاملاً خنثی می‌شود و دستگاه در حین اندازه‌گیری در همه نقاط در این تنظیم اولیه باقی می‌ماند. این شاسی از پروفیل با ابعاد ۱۰×۱۰×۵/۵ سانتی‌متر و از جنس فولاد ساختمانی ساخته شد و تحمل نیروها و ممان‌های خمشی را دارد. دو پایه مثلثی نیز جهت استفاده در مواقع استراحت دستگاه تهیه شد.



شکل ۱- نفوذسنج پشت تراکتوری ساخته شده

واحد محرک هیدرولیکی

در سیستم محرک هیدرولیک، برای ایجاد حرکت خطی با سرعت ثابت نیاز به یک سیلندر هیدرولیک

دوطرفه و شیر کنترل دبی و برای جلوگیری از بیش باری نیاز به یک شیر کنترل فشار است. در انتخاب سیلندره‌های هیدرولیک، قطر محور پیستون مهم‌ترین

(۲۳۰۰ نیوتن) طراحی شده است و بنابراین، نیروی تولید شده در سیلندر نباید از این مقدار تجاوز کند. لذا فشار وارده بر سر پیستون ۷۴۰ کیلوپاسکال به دست آمد. اگر مخروط به لایه‌های بسیار سخت یا حتی سنگ برخورد کند، شیر فشارشکن (HTE, Germany) و فشارسنج (F. G., Taiwan) حداکثر فشار ورودی سیلندر را تنظیم می‌کنند. فشارسنج در محل ورودی جک نصب شده و با استفاده از شیر فشارشکن حداکثر فشار ورودی جک ۷۴۰ کیلوپاسکال تنظیم شد.

مطابق استاندارد (Anon, 2003b) ASAE, S313.3 میله نفوذ باید با سرعت ۳ سانتی‌متر بر ثانیه داخل خاک نفوذ کند، بنابراین پیستون هم باید با همین سرعت به سمت پایین حرکت کند که حاصل ضرب این سرعت در سطح مقطع پیستون دبی سیستم را ۵/۶ لیتر بر دقیقه تعیین می‌کند. به منظور تنظیم دبی مورد نیاز یا همان سرعت جک، از یک شیر کنترل دبی نوع جبران‌کننده فشار استفاده شد.

مکانیزم اندازه‌گیری نیرو

در این دستگاه، به منظور طراحی مبدل نیرو، از تیر یک سر گیردار استفاده شد (شکل ۲). عنصر ارتجاعی یک قطعه مکعبی از جنس فولاد است که ابعاد آن ۵۰×۱۱۰ میلی‌متر و ضخامت آن با توجه اصول طراحی لودسل انتخاب شد.

اکثر مبدل‌های نیروی نوع تیری از استیل AISI 4340 با مدول الاستیسیته ۱۸۷/۵ گیگاپاسکال ساخته می‌شوند (Alimardani, 2006). بنابراین اگر مقاومت خستگی ۵۵۱ مگاپاسکال، حداکثر نیروی اندازه‌گیری ۲۳۰۰ نیوتن، عرض تیر ۵۰ میلی‌متر، و فاصله اعمال نیرو تا کرنش‌سنج ۶۰ میلی‌متر باشد، از رابطه ۱ ضخامت ۵/۵ میلی‌متر به دست می‌آید.

عامل است که با استفاده از فرمول اولر در مورد طراحی ستون‌ها محاسبه می‌شود. به منظور محاسبه حداکثر نیروی وارد بر جک با توجه به منابع موجود بیشترین شاخص مخروطی تا عمق ۶۰ سانتی‌متری کمتر از ۶۰۰۰ کیلوپاسکال گزارش شده است (Ronaghi, 1996). به علت نامشخص بودن شرایط خاک‌های کشورمان بیشترین شاخص مخروطی ۷۰۰۰ کیلوپاسکال در نظر گرفته شد که از حاصل ضرب آن در سطح مقطع مخروط (۳/۲۳ سانتی‌متر مربع)، ماکزیمم نیروی وارده حدود ۲۳۰۰ نیوتن خواهد شد. برای نفوذ تا عمق ۶۰ سانتی‌متر، طول میله نفوذ باید حدود ۷۰ سانتی‌متر باشد. برای سهولت حمل و نقل نیز نوک میله نفوذ ۳۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین در نظر گرفته شد. بنابراین طول مسیر حرکت پیستون سیلندر هیدرولیک (طول کورس پیستون) باید ۱۰۰ سانتی‌متر باشد. به انتهای محور پیستون، قاب در برگیرنده مبدل نیرو به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و سردیگر قاب به میله نفوذ به طول ۷۰ سانتی‌متر متصل شده است. بنابراین طول ستون حدود ۲۰۰ سانتی‌متر است که اگر ستون را از نوع یک سر درگیر (بدترین حالت ممکن) در نظر بگیریم طول مؤثر ستون ۴۰۰ سانتی‌متر خواهد بود. بنابراین قطر محور پیستون با استفاده از فرمول اولر ۴ سانتی‌متر به دست آمد. سیلندرهای هیدرولیک به صورت استاندارد ساخته می‌شوند، بنابراین می‌توان قطر پیستون را با استفاده از ابعاد استاندارد BS 5785 مربوط به سیلندرهای هیدرولیک به دست آورد (Behrooz Lar, 2002). لذا به این منظور پیستونی به قطر ۶/۳ سانتی‌متر انتخاب شد (Ronaghi, 1996).

مبدل نیرو بر اساس حداکثر نیروی قابل اندازه‌گیری



شکل ۲- لودسل تیری یکسر گیردار

و خروجی پل وتستون با استفاده از مولتی متر دیجیتالی اندازه گیری شد. همچنین به منظور بالا بردن دقت کالیبراسیون، میزان کرنش با دستگاه اندازه گیری (TQ E10-MKII-Strain Bridge, England) اندازه گیری کرنش شد. به منظور تعیین میزان پسماند مبدل، پس از رسیدن به حداکثر نیروی مجاز، بار به صورت پله ای تا صفر کاهش داده شد و ولتاژ و کرنش های حاصل مجدداً ثبت گردید.

انتخاب مخروط

مطابق با استاندارد (Anon, ASAE, S313.3 2003b) سطح پایه مخروط ۳۲۳ میلی متر مربع، قطر پایه ۲۰/۲۷ میلی متر، و قطر میله ۱۵/۸۸ میلی متر برای این دستگاه در نظر گرفته شد. انجمن آهن و فولاد امریکا^۱ (AISI)، فولاد ضد زنگ AISI 416 را با پرداخت ماشین کاری بیشینه ۱۰۶ میکرومتر به عنوان مخروط مناسب معرفی می کند. مطابق با این استاندارد زمانی که مخروط های نفوذ بیش از ۳ درصد ساییده شده باشد، باید تعویض شود و گرنه تا ۵ درصد بر شاخص مخروطی اثرگذار خواهد بود.

قاب در برگیرنده مبدل

قاب در برگیرنده مبدل از دو قسمت فوقانی و تحتانی ساخته شده است به طوری که عنصر ارتجاعی را در خود جای می دهد و نگه می دارد. قسمت فوقانی

$$F_{\max} = \frac{S_f \times b \times h^2}{6 \times x} \quad (1)$$

که در آن، S_f = مقاومت خستگی (مگاپاسکال)؛ b = عرض تیر (میلی متر)؛ h = ارتفاع تیر (میلی متر)؛ x = فاصله اعمال نیرو تا محل کرنش سنج (میلی متر)؛ و F_{\max} = بیشینه نیروی مورد اندازه گیری (نیوتن) است.

در طراحی این مبدل از کرنش سنج های ۱۲۰ اهمی FLA-3-120-11-3L شرکت TML ژاپن استفاده شد که ۳ متر سیم دارند و طول فعال در این نوع ۳ میلی متر است. پاسخ بسامدی^۱ این نوع کرنش سنج ۳۶۰ هرتز روی سطح فولاد است که برای اندازه گیری های شبه استاتیکی نیز مناسب است. دو کرنش سنج در سطح رویی و دو تای دیگر در سطح زیری عنصر ارتجاعی چسبانده شد؛ که چهار کرنش سنج تشکیل پل وتستون می دهد و خنثی کننده اثر دما نیز هست.

کالیبراسیون لودسل

مبدل ها باید کالیبره شوند تا پارامترهایی چون حساسیت، میزان پسماند، تکرارپذیری، و ضریب کالیبراسیون تعیین شود. بدین منظور پس از تدارک فیکسچری که شرایط بارگذاری آن مشابه شرایط واقعی بارگذاری روی لودسل است، کالیبراسیون انجام شد. بار به صورت پله ای از صفر تا ۲۳۰۰ نیوتن بر لودسل اعمال

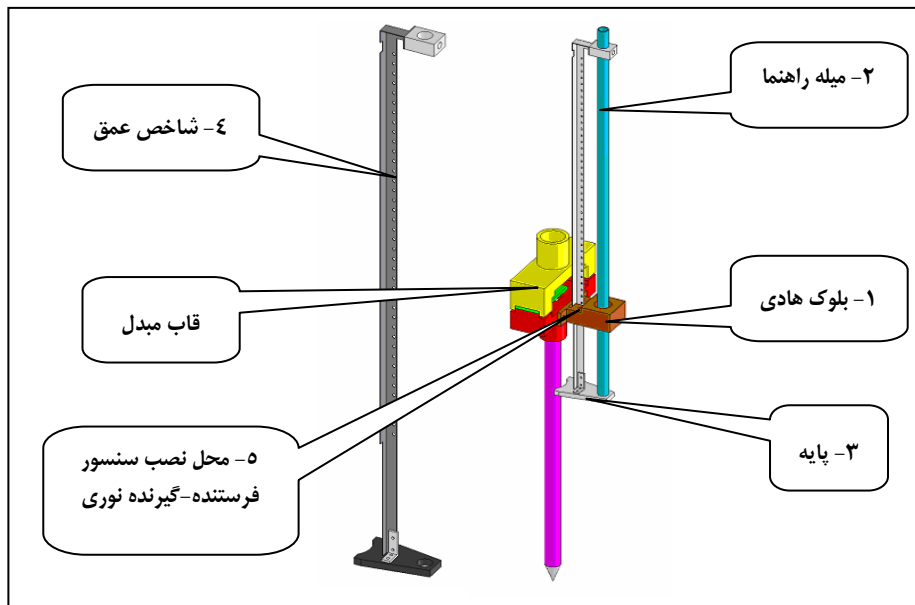
فرستنده و گیرنده نوری و قطعات اتصال دهنده. شکل ۳، مکانیزم حاصل از مونتاژ این قطعات را نشان می‌دهد. این مکانیزم با دو پیچ با اتصال بلوک هادی به قاب، به دستگاه متصل می‌شود. طرز کار این قسمت بدین شرح است که با حرکت محور جک به سمت پایین قاب، مکانیزم متصل به آن به سمت پایین حرکت می‌کند و درست در لحظه‌ای که قاعده مخروط به سطح خاک می‌رسد پایه مکانیزم اندازه‌گیری عمق روی سطح خاک قرار می‌گیرد و بدین صورت پایه، میله راهنما، قطعه اتصال دهنده، و شاخص عمق بر سطح خاک ثابت می‌ماند. در ادامه حرکت که مخروط در خاک نفوذ می‌کند بلوک هادی نیز به سمت پایین می‌رود. مقدار نفوذ مخروط در خاک برابر فاصله‌ای است که بلوک هادی روی شاخص اندازه‌گیری عمق طی می‌کند. بنابراین، می‌توان از فاصله‌ای که بلوک هادی روی شاخص اندازه‌گیری عمق طی می‌کند عمق را اندازه گرفت. با نصب یک حسگر فرستنده و گیرنده نوری روی بلوک هادی، در حین پایین رفتن مخروط، با عبور حسگر از مقابل هر یک از سوراخ‌های روی شاخص و قطع و وصل شدن اشعه حسگر، پالسی به سیستم تحویل اطلاعات ارسال می‌شود که هر کدام بیانگر ۱۵ میلی‌متر از عمق است.

بعد از خاتمه اندازه‌گیری و با خارج شدن میله نفوذ از خاک، کل مکانیزم اندازه‌گیری عمق نیز به سمت بالا حرکت می‌کند و در وضعیت اولیه خود قرار می‌گیرد. پایه‌ای که در پایین به خط‌کش اندازه‌گیری متصل می‌شود تکیه‌گاه روی خاک است و نیز برای تشخیص سطح خاک توسط سیستم تحویل به‌کار می‌رود.

امکان اتصال به جک را مهیا می‌سازد و قسمت تحتانی ضمن دربرگیری میله نفوذ، آن را در تماس با عنصر ارتجاعی قرار می‌دهد. یاتاقان‌های خطی موجود در قسمت تحتانی، تنش‌های جانبی را جذب و فقط نیروهای محوری را به عنصر ارتجاعی منتقل می‌کنند. قاب در برگریخته مبدل طوری طراحی شده است که قابلیت استفاده از عنصرهای ارتجاعی با ضخامت‌های مختلف را دارد. این قابلیت، امکان استفاده از دستگاه را در خاک‌های مختلف و عمق‌های بیشتر مهیا می‌سازد. جنس این قاب‌ها از فولاد است که با عملیات تراش کاری و فرزکاری شکل داده شده‌اند. دو قاب، با پیچ و مهره به یکدیگر متصل‌اند و در واقع تکیه گاهی برای لودسل خواهد بود.

مکانیزم اندازه‌گیری عمق

در این دستگاه، عمق به‌صورت ناپیوسته و به فواصل ۱۵ میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری عمق هنگامی شروع می‌شود که سطح پایه مخروط نفوذکننده در خاک به سطح زمین برسد. برای اینکه بتوان عمق و شاخص مخروطی را در نقاط خاصی از عمق نفوذ اندازه گرفت، لازم است از خط‌کش یا به عبارتی شاخص اندازه‌گیری استفاده شود. برای این منظور از ورقی به ضخامت ۲ میلی‌متر استفاده شد و با خم کاری آن در زاویه ۹۰ درجه، قطعه‌ای حاصل گردید که روی آن به فواصل ۱۵ میلی‌متر سوراخ‌هایی به قطر ۴ میلی‌متر ایجاد شد. عمق قابل اندازه‌گیری با این مکانیزم ۶۰ سانتی‌متر است. اجزای تشکیل‌دهنده این مکانیزم عبارت‌اند از: (۱) بلوک هادی، (۲) میله راهنما، (۳) پایه، (۴) شاخص عمق، و (۵) حسگر



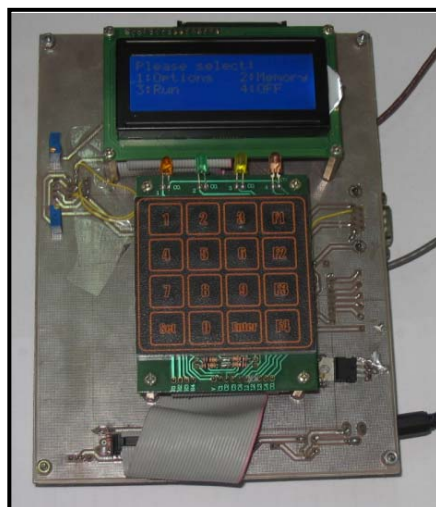
شکل ۳- مکانیزم اندازه گیری عمق

سیستم تحویل اطلاعات

سیستم تحویل اطلاعات^۱ یک سیستم دیجیتالی است بر پایه میکروکنترلرهای ۸ پینی (ATMEGA 32) از خانواده AVR شرکت ATMEL که ۳۲ کیلوبایت حافظه برنامه (FLASH)، ۲ کیلوبایت حافظه داده (RAM)، و ۱ کیلوبایت حافظه ماندگار تجدیدپذیر دارد؛ سقف سرعت پردازش، ۱۶ مگاهرتز است.

نرم افزار در این سیستم به وسیله CODE VISION AVR و به زبان C استاندارد طراحی شد. کلیه توابع به صورت فایل های مجزا به برنامه ضمیمه شده است. این توابع امکان وارد کردن اعداد اعشاری منفی و مثبت و همچنین نمایش پیام های سیستم را به کاربر و دریافت گزینه های انتخاب شده توسط کاربر را دارد. حافظه جانبی مورد استفاده، یک EEPROM از شرکت ATMEL است که دارای حافظه ۲۵۶ کیلوبایت است. اطلاعات و فرمان ها با EEPROM از طریق پروتکل دوسیمه شرکت فیلیپس I-2C انتقال می یابد. به همین جهت فایل های لازم برای ارتباط از طریق این پروتکل به برنامه ضمیمه شده است.

ضمناً توابع مورد نیاز برای مدیریت حافظه فوق در اختیار برنامه نویس است تا از آن طریق دسترسی تصادفی به هر نقطه حافظه وجود داشته باشد و عملیات مورد نیاز به راحتی انجام گیرد. این توابع طوری طراحی شده اند که در هر بار ۲ بایت برای ثبت تاریخ، ۲ بایت برای ثبت شماره مزرعه، ۲ بایت برای ثبت شماره قطعه، ۲ بایت برای ثبت عمق، و ۲ بایت برای داده دریافتی از مبدل نیرو (مجموعاً ۱۰ بایت) مورد استفاده قرار می گیرد. برای شبیه سازی سیستم، از نرم افزار PROTUES استفاده شد که در نتیجه آن بسیاری از خطاها پیش از ساخت دستگاه مشخص و رفع شد. برای طراحی مدار الکتریکی از برنامه PROTTEL DXP-2004 استفاده شد. جهت ساخت برد الکترونیکی دورویه و متالیزه، مدار طراحی شد. ابعاد برد ۱۵×۲۰ سانتی متر است و در آن محل هایی مناسب برای نصب صفحه نمایش و صفحه کلید سوراخ کاری شده است. همچنین، برای حذف نویزها POWER-PLAIN در دو روی برد اعمال شده که هر دو به اتصال زمین متصل اند. سیستم طراحی شده، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- سیستم تحویل اطلاعات

منتقل شد. در مزرعه، در قطعه زمینی با خاک لومی-رسی و رطوبت ۱۸ درصد بر پایه‌تر (در حد ظرفیت مزرعه‌ای) و در جهت شیب مزرعه که مسیر تردهای قبلی نیز بوده (مطابق با استاندارد (Anon, ASAE, EP542 (2003a) ردیفی به طول ۲۰ متر علامت‌گذاری شد. قبل از شروع آزمایش و در آزمایشگاه، دستگاه نفوذسنج دستی Eijkelkamp (مدل ۰۶/۱۵ ساخت هلند) برنامه‌ریزی شد. در این دستگاه برای اندازه‌گیری نیرو از یک مبدل S شکل و برای اندازه‌گیری عمق از حسگر اولتراسونیک استفاده شده است. ابعاد مخروط و میله مخروطی در این دستگاه مطابق با ابعاد کوچک استاندارد ASAE, S313.3 (Anon, 2003b) است.

ابتدا با استفاده از دستگاه نفوذسنج دستی در ۳۶ نقطه به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و تا عمق ۵۳ سانتی‌متر شاخص مخروطی اندازه‌گیری و داده‌های آن ذخیره شد. در کنار نقاط اندازه‌گیری با نفوذسنج دستی، شاخصی قرار داده شد تا به فاصله ۲۰ سانتی‌متر (عرضی) هر یک با دستگاه پشت تراکتوری نیز اندازه‌گیری شود. درخصوص دستگاه پشت تراکتوری، ابتدا پس از بالا بردن بازوهای اتصال سه نقطه تراکتور تا انتها، دستگاه با استفاده از بازوی وسط و سمت راست در دو جهت طولی و عرضی

با شروع اندازه‌گیری، مجموعه ابتدا سیستم تحویل اطلاعات را در حالت آماده برای دریافت داده‌ها قرار می‌دهد و پس از زدن دکمه RUN سیستم هیدرولیک تراکتور فعال می‌شود تا پیستون به سمت پایین حرکت کند. زمانی که پایه تشخیص سطح خاک به زمین برسد، پایه مخروط نیز در سطح خاک قرار دارد. در این لحظه عمق صفر در حافظه دستگاه ذخیره می‌شود. نفوذ انجام می‌شود تا به عمق از پیش تنظیم شده برسد، در این لحظه روی صفحه نمایش سیستم تحویل، یکی از LEDها (دیودهای نورافشان) شروع به چشمک زدن می‌کند و سؤال مبنی بر ذخیره کردن داده‌ها مطرح می‌شود که در صورت زدن کلید OK، داده‌ها ذخیره خواهد شد و سیستم برای دریافت داده‌های نقطه بعدی آماده می‌شود. داده‌های ذخیره شده در حافظه سیستم از طریق برنامه‌ای که به زبان Visual Basic 6.0 نوشته شده است به وسیله کابل سری RS232 با کامپیوتر دریافت می‌شود.

آزمون مزرعه‌ای

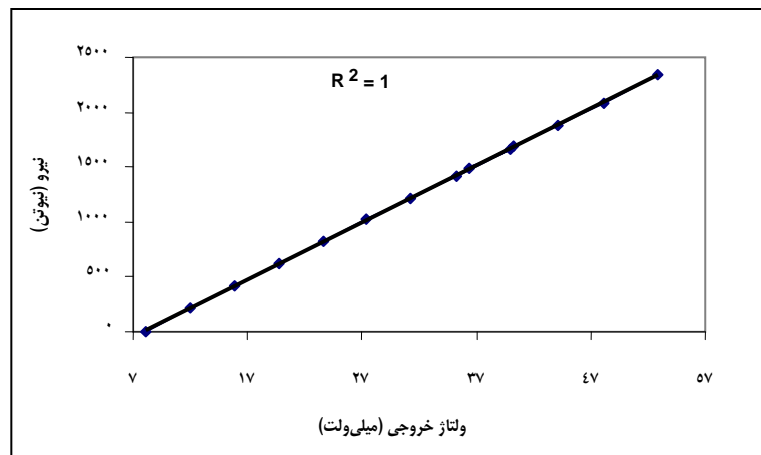
پس از آماده شدن دستگاه و اتصال آن به تراکتور جان دیر (John Deere 3140)، مجموعه سیستم به مزرعه

آزمایش مزرعه‌ای، داده‌های ذخیره شده در دو دستگاه دستی و پشت تراکتوری به کامپیوتر منتقل و با استفاده از نرم‌افزار Excel-2003 تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

منحنی کالیبراسیون نیرو-ولتاژ مبدل نیرو در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. ضریب تبیین نشان داده شده بیانگر رابطه خطی خیلی خوب بین نیرو و ولتاژ است. میزان پسماند حاصل از کالیبراسیون بسیار ناچیز بود به طوری که پسماند ثبت شده برای کرنش به طور متوسط ۶/۲۲ میکرون به دست آمد.

تراز شد (میله مخروط کاملاً عمودی). زنجیر قابل تنظیم نیز به عنوان اتصال چهارم، محکم شد تا از به هم خوردن حالت تراز در حین اندازه‌گیری جلوگیری شود. سیستم تحویل برنامه‌ریزی شد تا داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ۳۶ نقطه را تا عمق ۵۳ سانتی‌متر ذخیره کند. با استفاده از شیر کنترل دبی که قبلاً کالیبره شده بود، سرعت ۳ سانتی‌متر بر ثانیه برای سرعت نفوذ انتخاب و نیز با استفاده از شیر فشار شکن حداکثر فشار ۰/۷۴ مگاپاسکال تنظیم شد؛ با این فشار، مقادیر شاخص مخروطی تا حدود ۶/۵ مگاپاسکال قابل اندازه‌گیری است. پس از اتمام کامل تنظیمات، اندازه‌گیری در نقاط مذکور آغاز و پس از اتمام



شکل ۵- منحنی کالیبراسیون لودسل

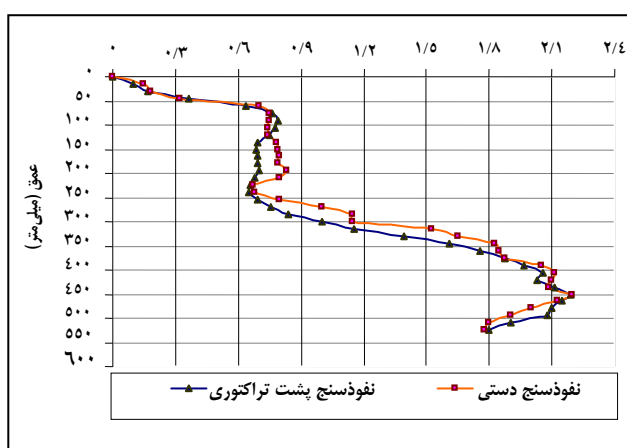
حین یک بارگذاری ثابت ممکن است داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت به مقدار واقعی حداکثر به اندازه ۴/۳۱۷ نیوتن کمتر یا بیشتر باشد. به مفهوم صحیح‌تر، کوچک‌ترین نیروی قابل اندازه‌گیری در این مبدل ۴/۳۱۷ نیوتن است. در واقع، مقدار خطای ماکزیمم در اندازه‌گیری نیروی نفوذ همین مقدار خواهد بود. با تقسیم این مقدار بر مقیاس کل مبدل نیرو (۲۳۰۰ نیوتن) دقت مبدل برابر ۰/۱۸۷ درصد است. با تبدیل قابلیت تشخیص بر حسب نیرو به فشار، قابلیت تشخیص شاخص مخروطی در دستگاه نفوذسنج برابر ۱۳/۷۴ کیلوپاسکال است. شکل

حساسیت مبدل ۱۹/۲ میلی‌ولت بر هر کیلو نیوتن به دست آمد که مطلوب است. آزمون عملکرد مبدل برای تکرارپذیری نیز اجرا و هر مرحله آزمایش سه بار تکرار شد و اختلاف ناچیزی در نتایج وجود داشت. پس از وارد کردن معادله کالیبراسیون مبدل در حافظه سیستم تحویل داده و بارگذاری مجدد مبدل، این بار مستقیماً نیروی اندازه‌گیری و ثبت شده در سیستم تحویل برای تعیین دقت اندازه‌گیری نیرو توسط مجموعه مبدل و سیستم تحویل استفاده شد. قابلیت تشخیص^۱ سیستم تحویل داده در اندازه‌گیری نیروی نفوذ ۴/۱۳۷ نیوتن بود یعنی در

طراحی، ساخت و ارزیابی مزرعه‌ای نفوذسنج...

اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. قبل از اجرای آزمون t ، در ابتدا آزمون F برای برابری میانگین واریانس‌های شاخص مخروطی اندازه‌گیری شده با دو دستگاه اجرا شد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین واریانس‌ها وجود نداشت. لذا آزمون t با واریانس برابر اجرا شد.

۶، نمودار میانگین شاخص مخروطی را بر حسب عمق نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که لایه فشرده خاک از عمق ۲۵۰ میلی‌متر شروع و فشردگی آن تا عمق ۴۵۰ میلی‌متر بیشتر می‌شود. در جدول ۱ مشخص می‌شود که بین داده‌های دو دستگاه در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۶- نمودار شاخص مخروطی - عمق برای دو دستگاه نفوذسنج دستی و پشت تراکتوری

جدول ۱- آزمون t مقایسه میانگین‌ها با واریانس برابر

منابع تغییر	نفوذسنج دستی	نفوذسنج پشا تراکتوری
میانگین (مگاپاسکال)	۱/۲۰۹	۱/۱۴۹
واریانس	۰/۷۸۵	۰/۵۳۵
تعداد مشاهدات	۳۶	۳۶
درجه آزادی	۷۰	
t	۱/۶۷ ns	

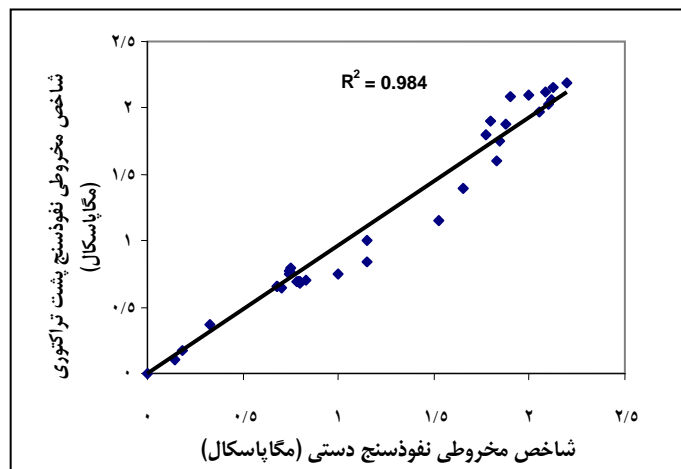
ns: نبود اختلاف معنی‌دار

نزدیک است که می‌گویند واریانس نیروی نفوذ با افزایش اندازه مخروط کمتر می‌شود. برادفورد (Bradford, 1980) نتیجه تحقیق خود را به این شکل توجیه می‌کند که مخروط کوچک‌تر به ناهمگنی بافت خاک حساس‌تر است. بنا به پیشنهاد او، مخروط کوچک برای تشخیص تغییرات استحکام خاکی با ابعاد دانه‌های خیلی ریز مناسب‌تر خواهد بود. در جلو مخروط بزرگ در حال نفوذ، حجم زیادی از خاک فشرده و گسیخته می‌شود، بنابراین ترک‌های کوچک موجود و حفره‌ها تشخیص داده

متوسط شاخص مخروطی اندازه‌گیری شده با نفوذسنج دستی ۱/۲۰۹ مگاپاسکال و با نفوذسنج پشت تراکتوری ۱/۱۴۹ است. مقادیر واریانس داده‌های دو دستگاه در جدول ۱ نشان می‌دهد که مقدار این واریانس در مخروط بزرگ‌تر (نفوذسنج پشت تراکتوری) کمتر از مخروط کوچک‌تر (نفوذسنج دستی) است. به لحاظ آماری، اختلاف بین این دو واریانس معنی‌دار نیست ولی این نتیجه با یافته‌های سودات و همکاران (Sudduth et al., 2004) و همچنین برادفورد (Bradford, 1980)

اندازه‌گیری باید در نقاطی روی ردیف‌ها باشد تا خطاها و تغییرات اندازه‌گیری کاهش یابد. این نکته در استاندارد ASAE, EP542 (Anon, 2003a) توصیه شده است و در این تحقیق نیز رعایت شد. شکل ۷ همبستگی بین داده‌های دو نفوذسنج را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی ۰/۹۸۴ نشان‌دهنده همبستگی بالا بین داده‌های دو نفوذسنج است.

نمی‌شود و در نتیجه پراکندگی داده‌ها کمتر است. بر اساس نتایج به دست آمده، مخروط بزرگ‌تر که عمدتاً در نفوذسنج‌های پشت تراکتوری به کار می‌رود، برای تشخیص میزان فشردگی با سطح اطمینان برابر با مخروط کوچک‌تر نیاز به داده‌برداری و تکرار کمتر دارد. کاسل (Cassel, 1982) توصیه کرد که اندازه‌گیری شاخص مخروطی در هر کرت به جای تصادفی بودن نقاط



شکل ۷- همبستگی داده‌های دو نفوذسنج دستی و پشت تراکتوری

کرد. از جمله مزیت‌های این دستگاه، در مقایسه با نمونه پشت تراکتوری موجود در کشور، می‌توان به سیستم تحصیل داده میکروکنترلی آن اشاره کرد که بسیار کم حجم و کار کردن با آن بسیار ساده است. دستگاه نفوذسنج برای داده‌برداری فقط نیاز به یک نفر دارد؛ این فرد راننده تراکتور نیز هست که این امر موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های مرتبط با نیروی انسانی خواهد شد. ارزیابی مزرعه‌ای این دستگاه نشان می‌دهد که این دستگاه به خوبی قادر به اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک است؛ و نتایج حاصل از مقایسه دو دستگاه نفوذسنج دستی و پشت تراکتوری نیز صحت و اطمینان داده‌های آن را نشان می‌دهد. این دستگاه با شماره ۰۱۱۱۵۷ در اداره کل ثبت شرکت‌ها و مالکیت صنعتی ایران در تاریخ ۱۳۸۶/۰۵/۱۵ به ثبت رسید و مورد تایید سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

شاخص مخروطی خاک یکی از پارامترهای است که بیانگر میزان فشردگی خاک است. اندازه‌گیری این شاخص یکی از ملزومات در مطالعات مربوط به خاک‌ورزی، تعیین مقاومت کششی ویژه گاوآهن، ترددپذیری خاک، رشد ریشه گیاه، و... است. در این تحقیق، یک دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری طراحی و ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. از ویژگی‌های این دستگاه می‌توان به استحکام لازم برای تحمل نیروها و ممان‌های خمشی، قابلیت اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر، مجهز بودن به مبدل نیرو که خنثی‌کننده دما است (استفاده از پل کامل وتسون)، توانایی آن در اندازه‌گیری شاخص مخروطی تا ۱۰ مگاپاسکال، قابلیت تکرارپذیری خوب مبدل و پسماند ناچیز، و برخورداری از سرعت نفوذ تقریباً ثابت (مطابق با استاندارد ASAE) اشاره

- Alimardani, R. 2006. Instrumentation for Engineering Measurements. Transducers. Mandegar Pub. (in Farsi)
- Anderson, G. J. and Pidgeon, H. B. 1980. A new hand-held recording penetrometer for soil studies. *J. Soil Sci.* 31, 279-296.
- Anon, 2003a. Procedure for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. ASAE standard EP542. ASAE STANDARDS. The 45th Ed. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.
- Anon, 2003b. Soil Cone Penetrometer. ASAE standard S313.3. DEC94. ASAE STANDARDS. The 45th Ed. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.
- Anon, 2003c. Three-point free-link attachment for hitching implements to agricultural wheel tractors. ASAE standard S217.11 JAN01. ASAE STANDARDS. The 45th Ed. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.
- Bankole, A. A., Gerry, S. T. and Clark, T. 2000. Evaluation of a piezoelectric load cell for use on cone penetrometers. *J. Agric. Eng. Res.* 76, 205-210.
- Behrooz Lar, M. and Mohtasebi, S. 2002. Power Hydraulics. Scientific Publication Center of Islamic Azad University. (in Farsi)
- Boon, N. E., Yahya, A., Kheiralla, A. F., Wee, B. S. and Gew, S. K. 2005. A tractor-mounted, automated soil penetrometer-shearometer unit for mapping soil mechanical properties. *Biosys. Eng.* 90(4): 381-396.
- Bradford, J. M. 1980. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44(3): 601-606.
- Carlos, M. P. and Hopmans, W. 2001. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 4-12.
- Cassel, D. K. 1982. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In: Darl, D. M (Ed.) Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes. ASAE Special Pub. 44, 45-67.
- Gohari, M. and Hemmat, A. 2005. A tractor-mounted soil cone penetrometer for mapping spatial variability of soil strength. International Agricultural Engineering Conference. Dec. 6-9. Bangkok. Thailand.
- Lowery, B. 1986. A portable constant rate penetrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 412-414.
- Naderi-Boldaji, M., Alimardani, R., Sharifi, A. and Tabatabaeefar, A. 2009. Economical hand-pushed digital cone penetrometer. *Int. Agrophysics.* 23(1): 55-60.
- Phillips, J. and Perumpral, J. V. 1983. Designing a microcomputer based data logger for a soil cone penetrometer. *Agric. Eng. J.* 64(6): 13-14.
- Raper, R. L., Washington, B. H. and Jarrel, J. D. 1999. A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer. *Appl. Eng. Agric.* 15(4): 287-290.
- Ronaghi, M. A. 1996. Design and construction of a cone index measuring system. M. Sc. Thesis. Faculty of Biosystems Engineering. University of Tehran. Karaj. Iran. (in Farsi)
- Sudduth, K. A., Hummel, J. W. and Drummond, S. T. 2004. Comparing of the Veris Profiler 3000 to an ASAE-standard penetrometer. *Appl. Eng. Agric.* 20(5): 535-541.
- Upadhyaya, S. K., Wulfsohn, D. and Mehlschau, J. 1993. An instrumented device to obtain traction related parameters. *J. Terramechanics.* 30(1): 1-20.
- Wilkerson, J. B., Tompkins, F. D. and Wilhelm, L. R. 1982. Microprocessor-based tractor mounted soil cone penetrometer. ASAE Paper No. 82-5511. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA

Design, Construction and Field Evaluation of a Tractor-Mounted Penetrometer

M. Naderi-Boldaji*, R. Alimardani, A. Tabatabaefar and A. Sharifi

* Corresponding Author: Ph.D. Student, University of Tehran, P. O. Box: 4111, Tehran, Iran. E-mail: m.nadery_boldaji@yahoo.com

Soil compaction is an important aspect of agriculture and different methods are available to measure this parameter. One method is called the cone index; measuring the force required per unit area for penetration of a standard steel cone into the ground. Cone penetrometers are used for cone index measurement. In this study, a tractor mounted, hydraulically-operated penetrometer was designed, built and evaluated. The penetrometer consisted of a frame, hydraulic driving unit, force transducer, depth measuring unit and data acquisition system. The entire penetrometer unit was mounted on the frame and held in place by the three-point hitch on a category III tractor. The hydraulic driving unit provided a constant penetration rate of 3 cm/s, in accordance with the ASAE S313.3 standard. A cantilever beam strain-gauge load cell measured the penetration force applied to the cone shaft and a photodiode sensor measured the penetration depth. A microcontroller-based data acquisition system was designed and developed to record and save the penetration data. Evaluations were conducted by comparing the data of the tractor-mounted penetrometer and that of a commercial hand-pushed penetrometer (Eijkelkamp). Analysis found no significant difference at the 95% confidence level. The penetrometer performance was found to be reliable and the unit's mechanical and electronic parts worked without malfunction.

Key Words: Cone Index, Data Acquisition System, Tractor Mounted Penetrometer