طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه نفوذ سنج دیجیتال دستی (۹۳)

مجتبی نادری بلداجی[۱] ، رضا علیمردانی[۲] ، احمد شریفی[۳] ، احمد طباطبایی فر[۴]

چکیده

نفوذ سنج ها در تحقیقات مربوط بـه خـاک ورزی و مکانیـک چـرخ هـای تراکتـور بـه عنـوان ابـزار انـدازه گیـری فـشردگی خـاک بـه طـور گـسترده ای کـاربرد دارنـد. نفـوذ سـنج هـای دسـتی بـا وزن سـبک ابـزار مفیـدی در انـدازه گیـری شـاخص مخروطی خاک می باشـند. شـاخص مخروطـی، نیـروی مـورد نیـاز در واحـد سـطح بـرای فروکـردن یـک مخـروط فـولادی بـا ابعاد استاندارد در خاک می باشد و واحـد آن برحـسب مگاپاسـکال بیـان مـی شـود. کـاربرد ایـن دسـتگاه هـا در شـرایطی اسـت که نوع پشت تراکتوری آن به دلیل مـشکلات تـردد در مزرعـه قابـل اسـتفاده نباشـد. در ایـن تحقیـق یـک دسـتگاه نفـوذ سـنج دیجیتال دستی مجهز بـه سیـستم تحـصیل داده بـر پایـه میکـرو کنترلـر طراحـی و سـاخته شـد کـه ابـزاری قابـل حمـل بـرای اندازه گیری شاخص مخروطی در مطالعـات خـاک ورزی را فـراهم مـی کنـد. ایـن دسـتگاه از سـه بخـش اصـلی مبـدل نیـرو از نوع تیر یک سرگیردار برای اندازه گیری نیـروی نفـوذ، مکـانیزم انـدازه گیـری عمـق بـا حـسگر نـوری و سیـستم تحـصیل داده تشکیل شـده اسـت. داده هـای ذخیـره شـده در حافظـه سیـستم تحـصیل داده از طریـق کابـل سـریال RS-232 و یـک نـرم ابـزار نوشـته شـده بـه زبـان Visual Basic بـه کـامپیوتر شخـصی فرسـتاده مـی شـود. در مرحلـه ارزیـابی ایـن دسـتگاه، عملکرد آن با یـک دسـتگاه نفوذسـنج تجـاری اسـتاندارد در شـرایط کنتـرل شـده آزمایـشگاهی در مخـزن خـاک مقایـسه شـد. نتایج اختلاف معنـی داری را در سـطح اطمینـان ۹۵٪ بـین داده هـای دو دسـتگاه نـشان نـداد. عملکـرد دسـتگاه طراحـی شـده قابل اطمینان بوده و در طی اندازه گیـری هـیچ گونـه مـشکل مکـانیکی و یـا الکترونیکـی مـشاهده نـشد. وزن دسـتگاه سـاخته شده ۶ کیلوگرم بوده و کارکردن با آن بسیار ساده و درمقایسه با مدل های موجود بسیار مقرون به صرفه می باشد.

کلیدواژه: نفوذسنج دستی، مقاومت به نفوذ، مبدل نیرو، حسگر عمق، سیستم تحصیل داده

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران
۲- استاد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران
۳- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج
۴- استاد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران

مقدمه

در مکانیک خاک های کشاورزی، اغلب ویژگی های خاک مربوط به عکس العمل خاک در مقابل نیروهای وارده می باشند[۱]. این ویژگیها اغلب مربوط به استحکام خاک می باشند که در یک خاک مشخص در اثر مرور زمان، شرایط آب وهوایی، مدیریت خاک و رشد گیاه تغییر می کنند. این ویژگیهای استحکامی و همچنین تغییرات آنها درهر نوعی از خاک می تواند از طریق اندازه گیری مقاومت برشی خاک و یا مقاومت به نفوذ خاک تعیین گردند. مقادیر این مشخصه ها تا حد زیادی به چگالی ظاهری و محتوای رطوبتی خاک بستگی دارند. مقاومت به نفوذ بیانگر فشار مورد نیاز برای تشکیل یک حفره کروی درون خاک، به اندازه ای که بتواند مخروط فولادی را احاطه کرده و همچنین بر اصطکاک بین سطوح مخروط و خاک اطراف آن غلبه کند، می باشد [۲].

ریشه گیاهان در خاک با فشردگی زیاد نمی توانند نفوذ کند. دلایل به وجود آمدن فشردگی خاک عبارتند از: ۱) تردد ادوات سنگین در حین عملیات خاک ورزی وکشش در مزرعه ۲) کمبود مواد ارگانیک و از بین رفتن ساختار خاک در اثر خاک ورزی بیش از حد ۳) افزایش چسبندگی خاک [۳]. تردد ادوات و تراکتورها، شخم، دیسک زدن، و نوع خاک می تواند باعث فشردگی گردند. سطوح فشردگی بالاتر از ۲ مگاپاسکال مانع رشد ریشه گیاهان شده و یا منجر به مشکلات زهکشی و عبور آب می شود. این موارد منجر به عملکرد کمتر محصول خواهد شد [۴].

نفوذ سنج های مجهز به سیستم ثبت داده ، ابزارهای متداول برای اندازه گیری شاخص مخروطی خاک و به دست آوردن پروفیل فشردگی خاک در مطالعات مربوط به خواص فیزیکی خاک و اثرات آن بر رشد گیاه می باشند. علل محبوبیت این ابزارها عبارتند از: ۱) آنها سریع، با کاربرد آسان و مقرون به صرفه هستند ۲) داده های قابل تجزیه و تحلیل را فراهم می کنند ۳) ابزارهایی هستند که در مطالعات مربوط به نمونه های دست نخورده خاک می توانند مورد استفاده قرار گیرند (شرایط مزرعه ای) [۵]. این ابزارهای قابل حمل در مواردی که نفوذ سنج های نوع تراکتوری قابل استفاده نبوده و یا نمی توان از آنها برای اندازه گیری های زیاد استفاده کرد بسیار موثر واقع می شوند. وقتی که این ابزارهای دستی به سیستم های تحصیل داده الکترونیکی مجهز شوند، می توانند داده های مربوط به مقاومت به نفوذ را ثبت کنند. مقاومت به نفوذ با اندازه گیری شاخص مخروطی تعیین می شود که توسط استاندارد ASAE S 313.3 تعریف شده است. شاخص مخروطی بیانگر میزان نیرو در واحد سطح برای فشار دادن یک مخروط فولادی با ابعاد استاندارد در عمق خاک می باشد. سطح پایه مخروط فولادی به عنوان سطح اعمال فشار در نظرگرفته می شود. مخروط فولادی با زاویه راس ۳۰ درجه بوده و از جنس فولاد زنگ نزن می باشد. میله متصل به این مخروط نیز از جنس فولاد AISI 416 می باشد. این شاخص معیاری کمی برای طبقه بندی خاک از لحاظ فشردگی و همچنین شرایط کششی تراکتور ها می باشد [۶].

پیشرفت های اخیر در زمینه کامپیوتر و الکترونیک به طور شگفت انگیزی توانایی طراحان را در جمع آوری، پردازش، و تجزیه و تحلیل داده های نفوذ سنج ها بالا برده است. سیستم های جمع آوری دیجیتال داده و تجهیزات اندازه گیری عمق، اندازه گیری های همزمان نیرو و عمق را امکان پذیر ساخته است. در شرایط فعلی و با تجهیزات پیشرفته کنونی، پیش بینی چگالی ظاهری خاک، بافت، رطوبت و رنگ خاک درشرایط مزرعه ای و بدون نمونه گیری از خاک امکان پذیر می باشد.

محققین زیادی در راستای ساده کردن استفاده از نفوذ سنج ها با به کارگیری سیستم های اندازه گیری پیشرفته تلاش نموده اند

[۷]. ولس وهمکاران[1] (۱۹۸۱) یک نفوذ سنج دیجیتال دستی مجهز به سیستم جمع آوری داده قابل حمل با یک حافظه از نوع نوار مغناطیسی را طراحی کردند که باعث افزایش ظرفیت ذخیره داده درآن زمان شد [۸]. موریسون و بارتک[2] (۱۹۸۷) یک نفوذ سنج دیجیتال دستی که مجهز به یک پتانسیومتر برای اندازه گیری عمق بود را طراحی کردند. در این دستگاه یک سیستم جمع آوری داده(Omnidate Polycorder , Version 4.5) برای جمع آوری و ذخیره داده ها استفاده شد. وزن کل دستگاه با سیستم جمع آوری داده ۴/۷ کیلوگرم بود که توسط یک نفر قابل حمل می باشد [۹]. کارگیانو وهمکاران[3] (۲۰۰۶) یک واحد اندازه گیری قابل حمل که پارامترهایی از قبیل استحکام برشی، فرورفتگی خاک و شاخص مخروطی وهمچنین ویژگیهای اصطکاکی

1 - Wells et al
2 - Morison and Bartek
3 - Cargiano et al

خاک را در یک نقطه اندازه می گیرد، طراحی کرده و ساختند. این ابزار اندازه گیری الکترونیکی (Bevameter) از یک مخروط استاندارد ASAE برای اندازه گیری شاخص مخروطی و همچنین اصطکاک بین خاک و فلز زمانی که در یک عمق مشخص در خاک پیچانده می شود، همچنین یک پره مخروطی برای اندازه گیری استحکام برشی خاک در عمق مشخص، یک حسگر اولتراسونیک برای اندازه گیری عمق و همچنین مبدل های کرنش سنجی برای اندازه گیری مقاومت به نفوذ و گشتاور پیچشی تشکیل شده است [۱۰].

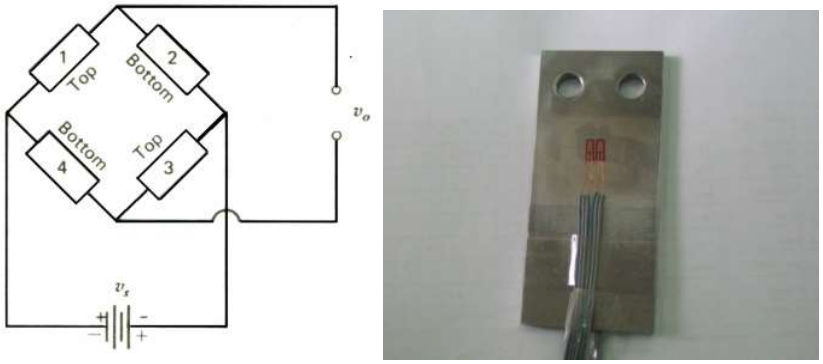
یکی از معایب نفوذ سنج های دستی نایکنواختی سرعت نفوذ آنها می باشد که دقت اندازه گیری را کاهش می دهد. نفوذ سنج های دستی وجود دارند که یک سیگنال صوتی اخطار دهنده را در زمانی که سرعت نفوذ از حد استاندارد خارج می شود صادر می کنند [۹].

هدف از این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه نفوذ سنج قابل حمل الکترونیکی برای مطالعات خاک ورزی بود. این مقاله روش های طراحی و استفاده از این دستگاه را تشریح کرده و همچنین نتایج مقایسات این دستگاه را با یک دستگاه تجاری عنوان می کند.

مواد و روشها

در طراحی نفوذ سنج های دستی، مطلوب است که وزن دستگاه سبک بوده تا به راحتی و توسط یک نفر قابل حمل باشد. همچنین از دیگر مشخصات مطلوب دستگاه، قابلیت ذخیره سازی داده های زیاد شاخص مخروطی به منظور مطالعات در سطوح بزرگ می باشد و نهایتاً انتقال داده های ذخیره شده به یک کامپیوتر شخصی برای تحلیل های بعدی مورد انتظار می باشد. ابعاد استاندارد مخروط فولادی و میله متصل به آن در استاندارد ASAE S 313.3 و در دو اندازه مختلف عنوان شده است. ۱- مخروطی با قطر ۲۰/۲۷ mm ومیله با قطر ۱۵/۸۸ mm برای خاکهای نرم و ۲- مخروط با قطر پایه ۱۲/۸۳ mm وقطر میله ۹/۳۵ mm برای خاکهای سخت، در دستگاه طراحی شده از ابعاد کوچکتر وطول میله ۶۰ cm وهمچنین مخروط ۳۰ درجه استفاده شد. جنس مخروط ومیله از فولاد زنگ نزن AISI 316 بوده که با عملیات ماشینکاری تهیه شد و این دستگاه طوری طراحی شده که در شرایط خاک نرم بتوان میله ومخروط با ابعاد بزرگتر را جایگزین نمود. و همچنین مخروط به سر میله رزوه شده تا مواقعی که سایش مخروط مطابق با استاندارد از ۳٪ تجاوز کند بتوان آن را تعویض نمود.

اندازه گیری نیرو: در این دستگاه به منظور طراحی لود سل، از تیر یک سر گیردار استفاده شد (شکل شماره ۱). حداکثر نیروی وارده به این لودسل ۵۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد تا توسط یک نفر قابل تامین باشد. حداکثر شاخص مخروطی قابل اندازه گیری با این نیرو ۴ مگاپاسکال می باشد. عنصر ارتجاعی یک قطعه مکعبی از جنس فولاد بوده که ابعاد آن ۱۱۰×۵۰×۴ mm با توجه اصول طراحی لودسل از استیل AISI 4340 با مشخصات (E=۲۰۷MPa) انتخاب شد. د. دو کرنش سنج ۱۲۰ اهمی در سطح رویی و دو تای دیگر در سطح زیرین آن چسبانده شد. چهار کرنش سنج تشکیل پل وتسون داده که ورودی آن توسط یک باتری ۶ ولت از سیستم تحصیل داده تامین می شود. خروجی پل نیز توسط کابل ۴ رشته ای پوشش دار به سیستم تحصیل داده متصل شده و ذخیره می شود. علت استفاده از کابل پوشش دار در این لودسل کاهش تاثیرات اغتشاش می باشد.



شکل شماره ۱ – لودسل تیری یک سر گ ردار و پل وتسون برای اندازه گیری نیرو

کالیبراسیون لودسل: مبدل ها باید کالیبره شوند تا پارامترهایی چون حساسیت، میزان پسماند، قابلیت تکرار پذیری 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 ۷۰ کیلوگرم بر لودسل اعمال شد و خروجی پل وتسون بـا اسـتفاده از مولتی متر دیجیتال اندازه گیری شد. همچنین به منظور بالا بردن دقت کالیبراسیون میزان کرنش توسط دستگاه استرین متر اندازه گیری شد. به منظور تعیین میزان پسماند مبدل، پس از رسیدن به حداکثر نیروی مجاز، بار به صورت پله ای تـا صـفر کـاهش داده شد و ولتاژ و کرنش های حاصل مجدداً ثبت گردید.

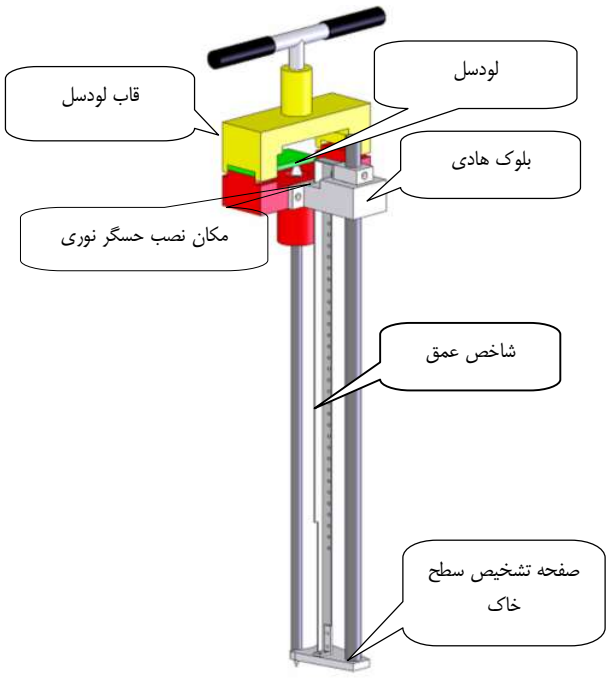
قاب در برگیرنده لودسل: قاب در بر گیرنده مبدل نیرو از دو قسمت فوقانی و تحتانی ساخته شده به طوری که عنصر ارتجاعی را در خود جای داده و نگه می دارد. قسمت فوقانی امکان اتصال به یک دسته افقی را مهیا ساخته و قسمت تحتانی ضمن در برگیری میله نفوذ، آنرا در تماس با عنصر ارتجاعی قرار می دهد. یاتاقانهای خطی موجود در قسمت تحتانی، تنشهای جانبی را جذب کرده و فقط نیروهای محوری را به عنصر ارتجاعی منتقل می سازد. قاب در برگیرنده مبدل طوری طراحی شده است که قابلیت استفاده از عنصرهای ارتجاعی با ضخامت های مختلف را دارا می باشد. این قابلیت امکان استفاده از دستگاه را در خاکهای مختلف و عمق های بیشتر مهیا می سازد. جنس این قاب ها ازPVC فشرده بوده که وزن آنها بسیار سبک و از استحکام بالایی برخوردارند و با عملیات تراشکاری و فرز کاری شکل داده شده اند. دو قاب توسط پیچ و مهره به یکدیگر متصل شده و در واقع تکیه گاهی برای لودسل فراهم می کند.

اندازه گیری عمق: در این دستگاه عمل اندازه گیری عمق به صورت نا پیوسته و به فواصل mm ۱۰ انجام می شود. عمل اندازه‌گیری عمق هنگامی شروع می‌شود که سطح پایهٔ مخروط نفوذ کننده در خاک به سطح زمین برسد. برای اینکه بتوان عمل اندازه‌گیری عمق و شاخص مخروطی را در نقاط خاصی از عمق نفوذ انجام داد لازم بود تا از یک خط‌کش یا به عبارتی شاخص اندازه‌گیری استفاده گردد. برای این منظور از ورقی به ضخامت دو میلی‌متر استفاده شد. که با خم‌کاری آن در زاویهٔ ۹۰ درجه، قطعه‌ای حاصل گردید که بر روی آن به فواصل mm ۱۰ سوراخ هایی به قطر mm ۴ ایجاد شد. عمق قابل اندازه گیری توسط این مکانیزم cm ۵۵ می باشد. اجزاء تشکیل‌دهندهٔ این مکانیزم عبارتند از (۱) بلوک هادی (۲) میلهٔ راهنما (۳) پایه (۴) شاخص عمق (۵) حسگر نوری و (۶) قطعات اتصال‌دهنده. شکل شماره (۲) دستگاه حاصل از مونتاژ این قطعات را با طرح کامل نشان می‌دهد. مکانیزم اندازه گیری عمق توسط دو پیچ با اتصال بلوک هادی به قاب، به دستگاه متصل می‌شود. طرز کار این قسمت بدین شرح است که با اعمال نیرو بر روی دسته، مکانیزم متصل به آن (مجموعه میله و قاب در برگیرنده لودسل) به سمت پایین حرکت کرده و درست در لحظه‌ای که قاعدهٔ مخروط به سطح خاک می‌رسد پایه مکانیزم اندازه‌گیری عمق بر روی سطح خاک قرار می‌گیرد بدین صورت پایه، میلهٔ راهنما، قطعهٔ اتصال‌دهنده و شاخص عمق بر سطح خاک ثابت می‌ماند. در ادامهٔ حرکت که مخروط در خاک نفوذ می‌کند بلوک هادی نیز به سمت پایین حرکت می‌کند. مقدار نفوذ مخروط در خاک برابر فاصله ای است که بلوک هادی بر روی شاخص اندازه‌گیری عمق طی می‌کند. بنابراین می‌توان عمل از ازه‌گیری عمق را از طریق فاصلهٔ طی شده توسط بلوک‌هادی بر روی شاخص اندازه‌گیری عمق انجام داد. با نصب یک حسگر فرستنده و گیرنده نوری بر روی بلوک هادی، در حین پایین رفتن مخروط، با عبور حسگر از مقابل هر یک از سوراخ های روی شاخص و قطع و وصل شدن اشعه حسگر، پالسی به سیستم تحصیل داده ارسال می شود که هر کدام بیانگر mm ۱۰ از عمق می باشد. بعد از خاتمهٔ عمل اندازه‌گیری با خارج شدن میلهٔ نفوذ از خاک کل مکانیزم از ازه‌گیری عمق نیز به سمت بالا حرکت کرده و در وضعیت اولیهٔ خود قرار می‌گیرد. پایه ای که در پایین به خط کش اندازه گیری متصل می شود تکیه گاه بر روی خاک بوده و از طرفی برای تشخیص سطح خاک توسط سیستم تحصیل به کار می رود.

سیستم تحصیل داده: سیستم تحصیل داده (Data Acquisition System) یک سیستم دیجیتالی می باشد که بر پایه میکروکنترلر های ۸ پینی از خانواده AVR (ATMEGA 32) شرکت ATMEL می باشد که دارای KB ۳۲ حافظه برنامه، KB ۲ حافظه داده (RAM) وKB ۱ حافظه ماندگار تجدید پذیر می باشد. سقف سرعت پردازش در این میکروکنترلر ۱۶MHz می باشد.

طراحی نرم افزار در این سیستم به وسیله CODE VISION AVR و به زبان C استاندارد انجام 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 به کاربر و دریافت گزینه های انتخاب شده توسط کاربر را دارا می باشد. حافظه جانبی مورد استفاده یک EEPROM از شرکت ATML است که دارای حافظه KB ۲۵۶ می باشد. انتقال اطلاعات و فرمان ها با EEPROM از طریق پروتکل دوسیمه فیلیپس (Philips,12C) انجام می شود. به همین جهت فایل های لازم برای ارتباط از طریق ین پروتکل به برنامه ضمیمه شده است. ضمناً توابع مورد نیاز برای مدیریت حافظه فوق دراختیار برنامه نویس می باشد تا به وسیله آنها دسترسی تصادفی به هر نقطه حافظه وجود داشته و همچنین عملیات مورد نیاز به راحتی انجام گیرد. این توابع طوری طراحی شده اند که در هر بار استفاده، ۱۰ بایت را به طور همزمان مورد استفاده قرار می دهند که برای ثبت تاریخ، شماره مزرعه، شماره بلوک، داده عمق و داده مبدل نیرو هر کدام ۲ بایت مورد استفاده قرار می گیرد. برای شبیه سازی سیستم، از نرم افزار PROTUES استفاده شد. در نتیجه بسیاری از خطاها پیش از ساخت دستگاه مشخص و رفع گردید. برای طراحی مدار الکتریکی از برنامه PROTEL DXP-2004 استفاده شد. طراحی مدار جهت ساخت برد الکترونیکی دورویه و متالیزه انجام شد. ابعاد برد cm ۱۵×۲۰ است و در آن محل های مناسبی برای نصب صفحه نمایش و صفحه کلید سوراخ کاری شده است. همچنین برای حذف نویزها روکش مسی دو طرف برد فقط در مسیر سیم ها با اسید پاک شدند و قسمت های پوشش دار مسی هر دو طرف برد به اتصال زمین متصل شد. استفاده از این روش را POWER-PLAIN می گویند. سیستم طراحی شده در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. داده های ذخیره شده در حافظه سیستم به وسیله برنامه ای که به زبان Visual Basic 6.0 نوشته شده به وسیله کابل سری RS-232 توسط کامپیوتر دریافت می شود. ولتاژ ورودی ۶ ولت برای تغذیه سیستم تحصیل از طریق یک باتری قابل شارژ تامین می شود.



شکل ۲- شماتیک شبیه سازی شده نفوذسنج دستی

شکل ۳- سیستم تحصیل داده

نحوه کار دستگاه : دستگاه ساخته شده به راحتی توسط یک نفر می تواند عمل اندازه گیری شا خص مخروطی را انجام دهد. هنگامی که در مزرعه، اپراتور یک نقطه را به منظور داده برداری انتخاب می کند، در ابتدا قبل از شروع اندازه گیری مواردی از قبیل معادله کالیبراسیون لودسل، عمق مورد نیاز اندازه گیری (تعداد سوراخ های روی شاخص اندازه گیری عمق و فاصله بین آنها) و همچنین مواردی از قبیل تاریخ، شماره مزرعه، شماره بلوک، تعداد تکرار از طریق صفحه کلید وارد سیستم شده و در حافظه ذخیره می شود. دراین حالت، اپراتور گزینه RUN را انتخاب کرده که دستگاه را در حالت آماده باش برای دریافت داده قرار می دهد. به محض اینکه پایه مخروط به سطح خاک برسد، اولین پالس که بیانگر عمق صفر می باشد توسط حسگر فتوسل به سیستم تحصیل داده ارسال می شود و زمانیکه مخروط به عمق از قبل تعیین شده رسید، سیستم سوالی مبنی بر ذخیره داده ها از اپراتور می پرسد که در صورت انتخاب کلید YES ، داده ها در حافظه دستگاه ذخیره می شوند. در پایان مرحله اندازه گیری در مزرعه، سیستم تحصیل داده در آزمایشگاه با استفاده از کابل سریال RS-232 به یک کامپیوتر شخصی متصل شده و داده ها به کامپیوتر ارسال می گردد به منظور دریافت داده ها در کامپیوتر برنامه ای به زبان Visnal Basic 6 نوشته شد (PENETROMETER DATA RECORDER) که داده ها را دریافت و در شش ستون دریک فایل Excel نشان می دهد.

آزمون و ارزیابی دستگاه

به منظور ارزیابی دستگاه و اطمینان از صحت داده های اندازه گیری شده با آن، آزمایشی در مخزن خاک موسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی کرج انجام شد. خاک این مخزن رسی لومی بوده و محتوی رطوبت آن ۱۲٪ بود. قبل از آزمایش نفوذ سنج، جهت ایجاد لایه های فشرده در عمق مطلوب و همچنین رساندن رطوبت خاک به حد مورد انتظار از دستگاه آماده سازی خاک (Soil Processor Unit) استفاده شد و فشردگی در عمق ۲۰- ۱۰ cm ایجاد شد. از یک دستگاه نفوذ سنج تجاری (Ejkelkamp)[1] به عنوان دستگاه شاهد استفاده شد که در شکل ۴ نشان داده شده است. این دستگاه دارای یک مبدل نیرو S شکل برای اندازه گیری نیروی نفوذ و همچنین یک حسگر اولتر اسونیک برای اندازه گیری عمق نفوذ می باشد. همچنین یک واحد جمع آوری داده بر روی دستگاه نصب شده که در حین اندازه گیری پروفیل فشردگی خاک را می تواند نشان دهد.

قبل از شروع آزمایش، سیستم های تحصیل داده هر دو دستگاه برنامه ریزی شد که داده های مربوط به ۲۸ نقطه توسط هر دو دستگاه ذخیره گردد. در این نقاط و در دو ردیف کنار هم، اندازه گیری به وسیله هر دو دستگاه نفوذ سنج تا عمق ۵۵ cm انجام شد. طول ردیف مورد اندازه گری ۱۴ m بوده و نقاط به فواصل ۰/۵ m انتخاب شدند. همچنین فاصله عرضی بین دو ردیف cm ۱۰ انتخاب شد. دستگاه نفوذ سنج تجاری توسط کارخانه طوری برنامه ریزی شده که عمق را در فواصل ۱۰ mm ثبت می کند.

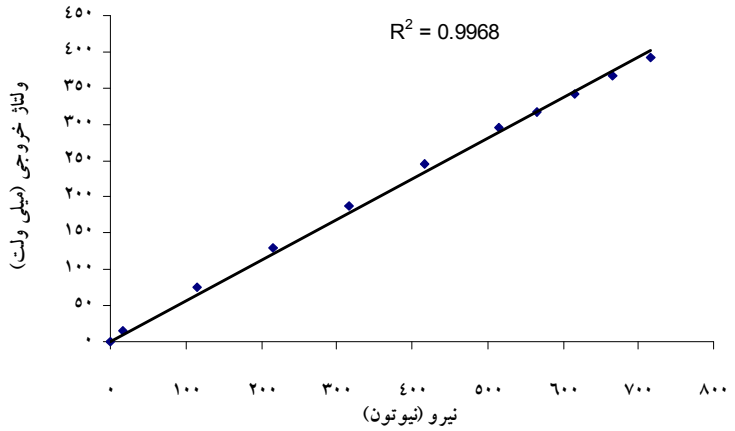
1 - Ejkelkamp, Model 06.15 Netherlands

همچنین در حین اندازه گیری با این دو دستگاه مخروط ۳۰ درجه با قطر یکسان استفاده شد. داده های ذخیره شده در حافظـه دو دستگاه به کامپیوتر منتقل و ذخیره شد تا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

شکل ٤- دستگاه ساخته شده (چپ) و نوع تجاری (راست) در مخزن خاک

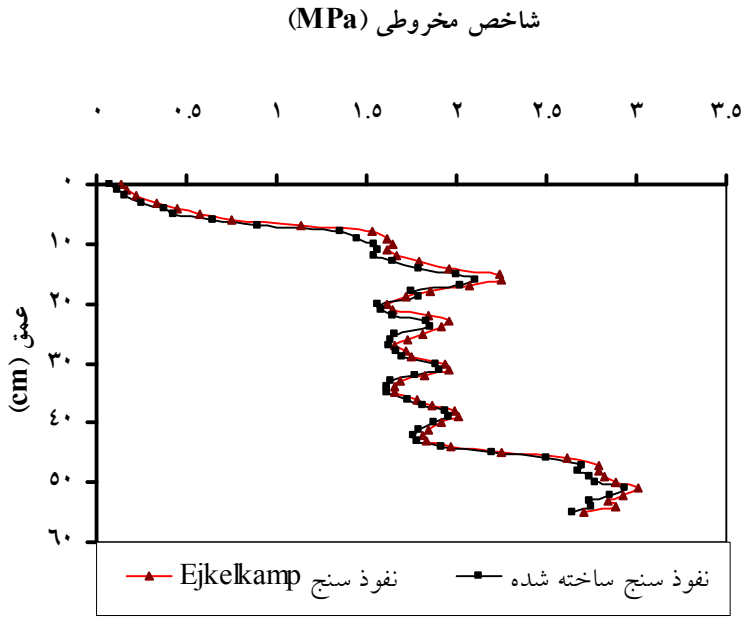
نتایج

منحنی کالیبراسیون نیرو- ولتاژ مبدل نیرو در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. ضریب تبیین نشان داده شده بیـانگر رابطـه خطی خیلی خوب بین نیرو و ولتاژ است. میزان پسماند حاصل از کالیبراسیون انجام شده بسیار ناچیز بوده به طوری که پسماند ثبت شده برای کرنش به طور متوسط ۳/۳۲ میکرون به دست آمد. حساسیت مبدل ۰/۵ میلی ولت بر هر نیوتـون بـه دسـت آمـد کـه مقدار بالایی است. دقت اندازه گیری نیرو توسط لودسل ۰/۲۵٪ ± به دست آمد. همچنین آزمون عملکرد مبدل برای تکرار پذیری نیز اجرا و هر مرحله آزمایش سه بار تکرار شد و اختلاف ناچیزی در نتایج وجود داشت.



شکل ٥- نمودار کالیبراسیون لودسل

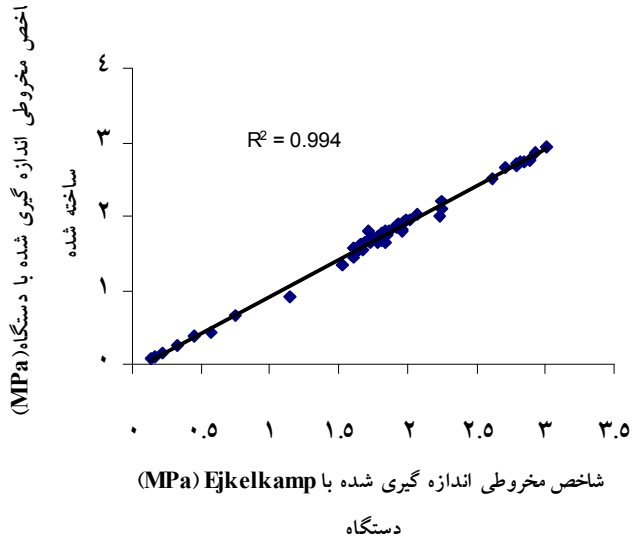
به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه ساخته شده، داده های به دست آمده از دو دستگاه مورد آزمون مقایسه میانگین قرار گرفت. شکل شماره ۶ نمودار میانگین حاصل از این داده ها را نشان می دهد. مشاهده می شود که لایه فشرده خاک در عمق cm ۲۰- ۱۰ وجود داشته که در ابتدا توسط واحد آماده سازی خاک ایجاد شد. جدول شماره ۱ مربوط به آزمون مقایسه میانگین t می باشد. با توجه به نتایج آزمون مقایسه میانگین مشخص شد که بین داده های دو دستگاه در سطح اطمینان ٪ ۹۵ اختلاف معنی دار وجود نداشته است. قبل از انجام آزمون t در ابتدا آزمون F برای برابری میانگین واریانس های شاخص مخروطی اندازه گیری شده با دو دستگاه انجام شد که اختلاف معنی داری بین میانگین واریانس ها وجود نداشت لذا آزمون t با واریانس برابر انجام شد. متوسط شاخص مخروطی اندازه گیری شده با دستگاه ساخته شده ۱/۷۳ و با دستگاه تجاری ۱/۸۲ مگاپاسکال می باشد. شکل ۷ همبستگی بین داده های اندازه گیری شده با دو دستگاه را نشان می دهد. ضریب همبستگی بالا و عبور از مبداء نشان دهنده همبستگی بالای دو دستگاه می باشد. همچنین در حین اندازه گیری در مخزن خاک زمان مورد نیاز برای اندازه گیری توسط هر دستگاه در کل نقاط اندازه گیری شد که مقدار آن برای دو دستگاه تقریباً برابر بوده و حدود ۲۰ دقیقه برای ۲۸ نقطه می باشد.



شکل ٦- نمودار میانگین داده های اندازه گیری شده توسط دو تگاه

جدول ۱- نتایج آزمون مقایسه میانگین

	دستگاه Ejkelkamp	دستگاه ساخته شده
میانگین	۱/۸۲	۱/۷۳
واریانس	۰/٤۸۸	۰/٤۸۷
تعداد مشاهدات	٥٥	
درجه آزادی	۱۰۸	
t	۱/٦٦	
احتمال	۰/۲٥٥	



شکل ۷- همبستگی بین داده های اندازه گیری شده توسط دو گاه

نتیجه گیری

استفاده از نفوذسنج های مجهز به سیستم تحصیل داده، امکان اندازه گیری سریع و آسان را با حجم زیاد فراهم می کنند. به منظور اندازه گیری شاخص مخروطی خاک در شرایط مزرعه ای به نحوی که قابل نمایش و ذخیره باشد، یک دستگاه نفوذسنج دیجیتال دستی ساخته شد. آزمون های انجام شده بر روی دستگاه صحت داده های آن را نشان داد. این دستگاه می تواند در مطالعات مربوط به فشردگی خاک و اثر تردد مورد استفاده قرار گیرد. این دستگاه قابل استفاده توسط یک نفر بوده و قادر به ذخیره داده های مربوط به اندازه گیری ۳۰۰ نقطه تا عمق ۵۵ سانتی متر می باشد. زمان مورد نیاز برای اندازه گیری شاخص مخروطی ۲۸ نقطه تا عمق ۵۵ سانتی متر حدود ۲۰ دقیقه بوده که بسیار مطلوب می باشد. همچنین وزن کل دستگاه ۶ کیلوگرم می شد که به راحتی قابل حمل است. این دستگاه با شماره ۴۵۱۶۵ در اداره کل ثبت شرکت ها و مالکیت صنعتی ایران در تاریخ ۱۳۸۶/۱۰/۱۰ به ثبت رسید.

مراجع

1- Rashidi, M., Keyhani, A., and Tabatabaeefar, A., 2005. Multiple penetration tests to predict soil pressure-sinkage behaviour under rectangular region. International Journal of Agriculture and Biology. V(8): 5-9

2- Vaz, C.M.P., Bassoi, L.H., and Hopmans, J.W., 2001. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. Soil and Tillage Research. V(60): 35-42

3- Bowen, H.D., 1981. Alleviating mechanical impedance. In: Modifying the root environment to reduce crop stress. ASAE Monograph No. 4, ASAE, St. Joseph, MI 49085

4- Randy, R.P., and Jeremy, T., 2003. Development of a frame to outomatically insert a hand-held penetrometer. ASAE Meeting Paper No. 031077. St.Joseph. Mich

5- Perumpral, J.V., 1987. Cone penetrometer applications- A review. Transaction of the ASAE. V(30): 939-944

6- ASAE Standard S313.3, 2006. Soil cone penetrometer.ASAE St. Joseph, MI 49805.

7- Raper, R.L., Washington, B.H., and Jarrel, J.D., 1999. A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer. Applied Engineering in Agriculture. V(15): 287-290

8- Wells, L.G., Lewis, C.O., and Distler, R.J., 1981. Remote electronic acquisition of soil cone index measurement. Journal of Terrramechanics. V(18): 201-207

9- Morrison, J.E., and Bartek, L.A., 1987. Design and field evaluation of a hand-pushed digital soil penetrometer with two cone materials. Transaction of the ASAE. V(30): 646-651

10- Garciano, L.O., Upadhyaya, S.K., Jones, R.A., and. Jersey, S.R., 2006. Development of an instrumented device that measures shear, sinkage and friction properties of soil in-situ, ASAE Paper No: 061093, St. Joseph

Design, Construction and Evaluation of a Digital Hand-Pushed Penetrometer

ABSTRACT

A cone penetrometer is widely used in tillage and off-road mobility research as an indicator of soil strength and density characteristics. Light-weight, manually operated units are especially useful in recording cone index determination at remote field locations. An electronically hand-pushed soil penetrometer with a microcontroller-based data logging system was designed and fabricated to provide a portable penetrometer for determining soil resistance to penetration in tillage studies. The device consists of three main components: a cantilever beam strain-gauge load cell held by housing to measure penetration force, depth measurement mechanism with a photodiode sensor, and a data logging system for amplifying, digitizing, and acquiring data. Data from data logging system can be downloaded into a personal computer by an RS232 cable and a software program. In evaluation stage, the performance of the developed penetrometer was compared with a commercial Eijkelkamp hand-pushed digital penetrometer in a controlled soil bin conditions. No significant difference was found ($p<0.05$) between the two penetrometers. The penetrometer performance was reliable and the penetrometer's mechanical and electrical parts worked well without any malfunctions. The device is very light, easy to use and more economical compared to the conventional types.

Keywords: Hand-pushed penetrometer, Penetration resistance, Load cell, Depth sensor, Data logging system