

مقایسه و ارزیابی تغییرات شاخص مخروطی - عمق نفوذسنج تراکتوری و دستی

* رضا طباطبائی کلور^۱ و رضا علیمردانی^۲

^۱ استادیار، گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار، گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۸/۱۱

چکیده

نفوذسنج‌ها وسایلی هستند که برای تعیین مقاومت نفوذ خاک در عمق‌های مختلف به کار می‌روند و نتایج حاصل از آنها را می‌توان در کاربردهای مختلفی مانند راه‌سازی، نظامی و کشاورزی استفاده کرد. در این تحقیق، مقادیر شاخص مخروطی - عمق نفوذسنج تراکتوری ساخته شده و نوع دستی استاندارد (مدل SP۱۰۰۰) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. در هر دو دستگاه از یک مبدل تیری یک سر گیردار و حس‌گر نوری به ترتیب برای اندازه‌گیری مقاومت نفوذ و عمق استفاده گردید. آزمایش‌های نفوذ بر روی دو نوع زمین شخم خورده و کلتی و در دو کرت انجام گرفت. در هر کرت، ده نقطه به صورت تصادفی انتخاب شد و در هر نقطه آزمایش‌ها توسط هر دو دستگاه انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایش در نفوذسنج دستی به صورت داده در حافظه کامپیوتری آن ثبت شد و نتایج نفوذسنج تراکتوری به صورت نمودار توسط یک ثبات $X-t$ ترسیم گردید. ارتباط بین شاخص مخروطی نفوذسنج دستی و تراکتوری از طریق رگرسیون و ضریب همبستگی در هر دو نوع زمین تعیین شد که مقادیر آن به ترتیب برابر با $r^2=0/97$ و $r^2=0/96$ به دست آمد. با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بین شاخص‌های نفوذ دو دستگاه در هر دو نوع زمین کلتی و شخم خورده در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین با توجه به مزیت‌های نفوذسنج تراکتوری، از این دستگاه می‌توان در تحقیقات مربوط به مقاومت خاک استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: نفوذسنج، شاخص مخروطی، مقاومت نفوذ

مقدمه

نفوذسنج وسیله‌ای است که با آن می‌توان مقاومت خاک را با فرو رفتن مخروطی با مقطع استاندارد ارزیابی نمود. نحوه اندازه‌گیری بر مبنای سنجش نیروی لازم جهت رانش آن در عمق خاک استوار است و برحسب مقاومت نفوذ یا شاخص مخروطی تعریف می‌گردد. شاخص مخروطی

براساس استاندارد (ASAE, S۳۱۳.۱)^۱ نیروی وارد بر واحد سطح پایه مخروط به ازای افزایش عمق نفوذ می‌باشد (ارل، ۱۹۹۷).

داشتن اطلاعات صحیح در مورد خصوصیات خاک به طراحی وسایلی که به نوعی با خاک ارتباط دارند کمک می‌کند. در این راستا، نفوذسنج‌ها می‌توانند تغییرات مقاومت نفوذ نسبت به عمق را مشخص کنند (صلح‌جو،

۱۹۹۸). از نفوذسنج‌ها می‌توان در کاربردهای مختلفی استفاده نمود. به‌طور مثال در کاربردهای کشاورزی به‌طور گسترده‌ای در تخمین مقاومت ظاهری خاک، فشردگی خاک، ترددپذیری و تعیین محل و موقعیت لایه‌های فشرده خاک‌ها و سخت لایه‌های ناشی از روش‌های مختلف خاک‌ورزی که مانع از رشد ریشه می‌شوند به‌کار می‌روند (ارل، ۱۹۹۷). از آنجا که امروزه تهیه نقشه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک جهت استفاده در اهداف کشاورزی دقیق ضروری می‌باشد لذا به‌دست آوردن داده‌های مقاومت نفوذ خاک در عمق‌های مختلف اهمیت زیادی دارد.

آزمایش و ارزیابی نفوذسنج‌ها معمولاً در مخزن خاک^۱ که شرایط فیزیکی و مکانیکی خاک قابل کنترل و تغییر است انجام می‌گیرد و با داده‌های نمونه‌های استاندارد مورد مقایسه قرار می‌گیرد اما آزمایش در شرایط مزرعه‌ای کارکرد واقعی دستگاه را نشان می‌دهد. ارل (۱۹۹۷) در تحقیقات خود نشان داد که از نفوذسنج‌ها می‌توان جهت تخمین نیروی کششی ادوات خاک‌ورزی و بررسی یکنواختی خاک در مخزن خاک قبل از آزمایش استفاده کرد. به‌علاوه، بررسی تغییرات لحظه‌ای مقاومت خاک در لایه‌های مختلف مخزن خاک توسط نفوذسنج به محققان کمک می‌کند تا در طراحی ادوات خاک‌ورزی، عوامل موثر در کاهش مصرف انرژی تراکتورها را در نظر بگیرند. برای بررسی میزان فشردگی خاک و عوامل محدودکننده رشد ریشه از نفوذسنج‌ها در مخزن خاک استفاده گردید (اونوالو و وات، ۱۹۹۳). اومیا (۱۹۹۸) نفوذسنجی طراحی کرد که بر روی یک قاب به ابعاد ۲۱۳×۳۰ سانتی متر قرار گرفته و قاب از طریق یک اتصال به‌وسیله تراکتور کشیده می‌شد. نفوذسنج بر روی قاب در جهت طولی و عرضی قابل جابجایی بود. کالیبراسیون نفوذسنج در یک مخزن خاک مجهز به ابزار اندازه‌گیری انجام گرفت. مقاومت نفوذ در بلوک‌هایی با ابعاد مشخص اندازه‌گیری شد و با استفاده از یک کامپیوتر مقاومت نفوذ به‌صورت سه بعدی

تجزیه و تحلیل گردید. ویلفورد و همکاران (۱۹۹۲)، یک دستگاه نفوذسنج تراکتوری طراحی کردند که می‌توانست در عمق ۶۰ سانتی‌متری، استحکام خاک را بر روی چهار ردیف اندازه‌گیری کند. از یک واحد میکروکامپیوتری برای فعال کردن تمام مکانیزم‌های حرکتی و ثبت خودکار داده‌ها بر روی نوار مغناطیسی استفاده می‌شد. دستگاه بر روی شاسی حرکت می‌کرد و در ردیف‌های مختلف قرار می‌گرفت. سیستم هیدرولیکی برای ورود میله مخروطی به داخل خاک بکار می‌رفت، مبدل نیرو از نوع تیری بوده و از پتانسیومتر برای اندازه‌گیری عمق نفوذ استفاده می‌گردید. هوکز و جانسن (۱۹۸۶) یک دستگاه نفوذسنج تراکتوری با سرعت ثابت برای استفاده در خاک‌های معدنی طراحی کردند. در این وسیله از مخروطی با زاویه رأس ۳۰ درجه و قطر ۳ سانتی‌متر برای نفوذ استفاده می‌شد و قابلیت نفوذ تا عمق یک متر را داشت. داده‌ها به‌صورت نمودار عمق-شاخص مخروطی در یک ثابت $X-Y$ رسم می‌شد. از این وسیله می‌توان در زمین‌های کشاورزی نیز استفاده کرد. علاوه بر این موارد، از نفوذسنج‌ها در کاربردهای مهندسی راه و ساختمان برای تعیین استحکام پی و زیرساخت جاده‌ها و همچنین در ارتش برای تعیین ترددپذیری نفربرها و تانک‌ها می‌توان استفاده کرد. مروری بر کاربردهای مختلف نفوذسنج‌ها توسط پرومپرال^۲ (۱۹۸۷) انجام گرفته است.

امروزه دستگاه نفوذسنج از نظر کاربرد به دو نوع دستی و تراکتوری تقسیم می‌شوند که نوع تراکتوری به‌دلیل مزایای زیر بر نوع دستی ترجیح داده می‌شود.

- ۱- قابلیت حمل و نقل و سهولت انجام کار
- ۲- تامین سرعت ثابت نفوذ با توجه به استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE, S313.1)
- ۳- استفاده از نیروی هیدرولیک تراکتور به‌جای نیروی متغیر بازوی انسانی
- ۴- قابلیت به‌کارگیری در خاک‌های سخت و عمق نفوذ بیشتر
- ۵- جمع‌آوری داده‌ها در مدت زمان کوتاه‌تر

هدف از اجرای این تحقیق، مقایسه و ارزیابی دستگاه نفوذسنج تراکتوری با یک نوع نفوذسنج دستی بوش مدل SP1000 (موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج) در دو نوع خاک کلتی و شخم خورده و بررسی میزان کارایی دستگاه نفوذسنج تراکتوری می باشد.

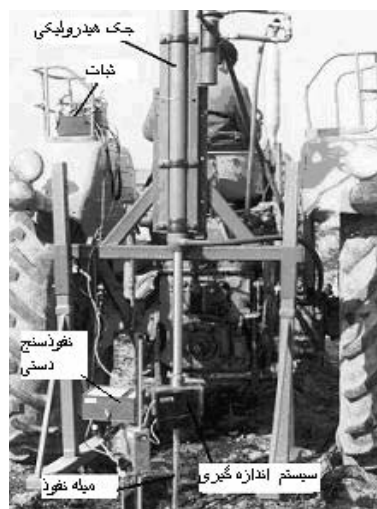
حساسیت ۲/۱۳ و مقاومت ۱۲۰ اهم تشکیل یافته است و فاصله نقطه اثر نیرو تا محل حس کننده ها ۶ سانتی متر می باشد. رانش مخروط به داخل خاک از طریق سیستم هیدرولیک تراکتور و به وسیله یک جک اعمال می شود. سیستم هیدرولیک، سرعت ثابت نفوذ را از طریق یک شیر کنترل جریان روغن با حجم ثابت و حداکثر نیروی رانش را به وسیله یک شیر کنترل فشار تامین می کند. برای اندازه گیری عمق نفوذ از فتو دیود استفاده شده است. بر روی یک شاخص ورقه ای سوراخ هایی به فواصل معین ایجاد شده که در راستای رانش میله، لبه هر سوراخ مشخص کننده نقطه خاصی از عمق است. سیگنال هایی که از مبدل اندازه گیری نیرو و حس کننده مربوط به عمق ارسال می شود، پس از عبور از هماهنگ کننده های سیگنال (به منظور رسم منحنی شاخص مخروطی - عمق در روش غیر پیوسته لازم است که در هر نقطه از اندازه گیری عمق، شاخص مخروطی نیز اندازه گیری شود و مقدار آن ثابت نگه داشته شود تا به نقطه دیگری از عمق نفوذ در اندازه گیری برسیم که برای این منظور از این مدار استفاده می کنند) و آمپلی فایر وارد مکانیزم ثابت $X-t$ به صورت نمودار شاخص مخروطی نسبت به زمان (با کالیبره کردن عمق نسبت به زمان و سرعت نفوذ می توان شاخص مخروطی را نسبت به عمق نیز به دست آورد) قابل نمایش است.

هدف از اجرای این تحقیق، مقایسه و ارزیابی دستگاه نفوذسنج تراکتوری با یک نوع نفوذسنج دستی بوش مدل SP1000 (موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج) در دو نوع خاک کلتی و شخم خورده و بررسی میزان کارایی دستگاه نفوذسنج تراکتوری می باشد.

مواد و روش ها

ساختمان و نحوه کار نفوذسنج تراکتوری: دستگاه نفوذسنج تراکتوری ساخته شده در گروه ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران از نوع تراکتوری سوار می باشد که توسط یک شاسی به اتصال سه نقطه تراکتور متصل می گردد و برای جلوگیری از حرکت عمودی از ساق چهارم استفاده می شود. سه قسمت عمده دستگاه شامل بخش اندازه گیری مقاومت نفوذ، عمق نفوذ و ثابت می باشد. شکل ۱ نفوذسنج تراکتوری ساخته شده و نوع دستی مدل SP1000 را نشان می دهد.

بخش اندازه گیری مقاومت نفوذ از یک مخروط با زاویه رأس ۳۰ درجه و قطر پایه ۲ سانتی متر تشکیل شده و انتهای میله نفوذ در ارتباط با یک مبدل اندازه گیری نیرو از نوع تیری می باشد. این مبدل از یک عنصر ارتجاعی فولادی به عرض ۵ سانتی متر، ضخامت ۰/۵۵ سانتی متر و طول ۱۱ سانتی متر و چهار عدد کشیدگی سنج^۱ با



شکل ۱- دستگاه نفوذسنج تراکتوری.

نحوه کار دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری به این صورت است که پس از تراز شدن شاسی توسط اتصال سه نقطه، مخروط توسط جک هیدرولیکی وارد خاک می‌گردد. با نفوذ مخروط بداخل خاک، تغییرات نیروی مقاوم از طریق میله به مبدل و از آنجا به ثبات منتقل می‌گردد. همزمان با نفوذ مخروط، اندازه‌گیری عمق نفوذ نیز توسط حس‌کننده عمق صورت می‌گیرد. بعد از اتمام عمل اندازه‌گیری، مخروط نفوذ با تغییر وضعیت اهرم کنترل به طرف بالا هدایت می‌شود.

نحوه اجرای آزمایش: آزمایش دستگاه نفوذسنج تراکتوری در مقایسه با نفوذسنج دستی بوش SP1000 در دو نوع زمین کلسی و شخم خورده در دو کرت هر کدام به مساحت 200 مترمربع در مزرعه دانشکده کشاورزی کرج انجام گرفت. در هر دو نوع زمین درصد رطوبت، وزن مخصوص ظاهری و بافت خاک تعیین گردید. جدول‌های 1 و 2 مقادیر اندازه‌گیری شده خواص خاک را نشان می‌دهند.

قبل از انجام آزمایش، تنظیمات اولیه برای هر دو نوع نفوذسنج انجام گرفت. در نوع دستی ابتدا برنامه‌ریزی واحد ریزپردازنده انجام شد بدین‌نحو که تعداد نفوذها و حداکثر عمقی که در هر نفوذ لازم بود برای دستگاه تعریف گردید. داده‌ها در حافظه دستگاه ذخیره شد که پس از اتمام کار قابل بازبینی بود. برای به‌کارگیری نفوذسنج تراکتوری پس از اتصال به تراکتور توسط سیستم

هیدرولیک بالا برده شد و ترازگردید. سیم‌های مربوط به مدار اندازه‌گیری به باطری تراکتور، خروجی عمق به ورودی X ثبات و خروجی شاخص مخروطی به ورودی t ثبات وصل گردید.

بعد از آماده‌سازی هر دو نفوذسنج، ده نقطه از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب شد و در هر نقطه در فاصله نزدیک به هم دو نفوذ توسط هر دو دستگاه انجام گرفت. نمودارهای شاخص مخروطی نسبت به عمق در نوع تراکتوری توسط ثبات ترسیم شده و داده‌های نفوذسنج دستی در حافظه دستگاه برحسب کیلوگرم ثبت شد که با تقسیم کردن آنها بر سطح مقطع مخروط و تبدیل واحدها شاخص مخروطی برحسب مگاپاسکال به‌دست آمد.

کالیبراسیون مبدل نیرو: برای به‌دست آوردن منحنی کالیبراسیون از یک دستگاه آزمایش کشش - فشار استفاده گردید. مبدل نیروی نفوذسنج تراکتوری در زیر فک محرک دستگاه قرار گرفته و تا دامنه کامل تحت بار قرار می‌گیرد. خروجی مبدل پس از عبور از یک تقویت‌کننده برحسب ولت، با نیروی اعمال شده مورد مقایسه قرار گرفته و خطاها ثبت می‌شود. شکل 2 نمودار همبستگی نیرو و خروجی مبدل را نشان می‌دهد. با استفاده از معادلات رگرسیون، ضریب همبستگی $r^2 = 0.997$ و از روی شیب منحنی ثابت ضریب کالیبراسیون 54 کیلوگرم بر ولت به‌دست آمد.

جدول 1- درصد رطوبت برای عمق لایه‌های مختلف خاک در دو نوع زمین.

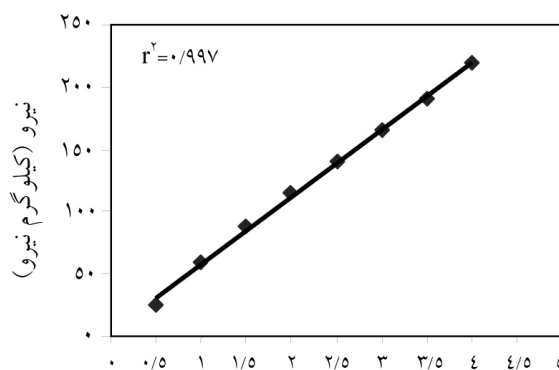
درصد رطوبت خاک (بر مبنای وزن خشک)		عمق لایه (سانتی‌متر)
زمین کلسی	زمین شخم خورده	
17/5	3/6	10
18/8	4/1	20
19	5/5	25

هر عدد میانگین ده تکرار است.

جدول 2- مشخصات بافت خاک در دو نوع زمین.

نوع زمین	بافت	سیلت (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)
شخم خورده	لوم	34	25/6	40/4
کلسی	لوم	40	29/6	30/4

هر عدد میانگین ده تکرار است.



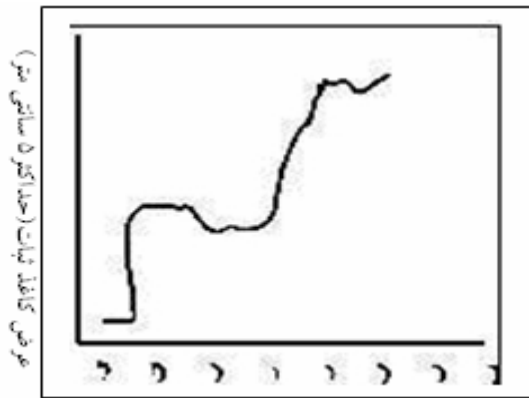
شکل ۲- نمودار کالیبراسیون مبدل نیرو.

آنها به داده‌های شاخص مخروطی در عمق‌های مختلف به صورت نمودارهایی ترسیم می‌شود (شکل ۳- الف). این نمودار نشان‌دهنده نحوه تغییر شاخص مخروطی در هر نقطه از عمق داده شده می‌باشد. در محدوده عمق ۳۰ سانتی‌متر به بالاتر شاخص مخروطی افزایش چشمگیری پیدا می‌کند که ممکن است به دلیل وجود لایه سخت و یا دستکاری نکردن درازمدت خاک در این قسمت باشد. از طرفی معمولاً خاک‌های کشاورزی عمدتاً تا عمق ۳۰ سانتی‌متری شخم می‌شوند و احتمال تشکیل سخت لایه در این قسمت وجود دارد. بهر حال، این روند تغییرات شاخص مخروطی در عمق به هر دلیلی که ممکن است اتفاق افتاده باشد توسط نفوذسنج دستی ثبت شده است. نفوذسنج تراکتوری بر مبنای کالیبراسیون انجام گرفته به طور مستقیم نمودار شاخص مخروطی- عمق را روی ثبات نشان می‌دهد. شکل (۳- ب) نتیجه آزمایش نفوذ مربوط به نوع تراکتوری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود هر دو نمودار از روند بسیار مشابهی تبعیت می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که خروجی نفوذسنج تراکتوری، نحوه تغییرات شاخص مخروطی نسبت به عمق را به درستی نشان می‌دهد. اما اگر بخواهیم مقادیر دقیق شاخص مخروطی توسط نفوذسنج به دست آوریم در این صورت بایستی از یک نفوذسنج تراکتوری مشابه و استاندارد برای مقایسه استفاده کرد که در حال حاضر در کشور موجود نیست.

کالیبراسیون سرعت نفوذ و سرعت پیشروی کاغذ ثبات:
 در ثبات $X-t$ سرعت پیشروی کاغذ ثبات باید با سرعت نفوذ کالیبره گردد. طبق آزمایش‌های اولیه، برای تطبیق سرعت نفوذ میله و سرعت حرکت کاغذ ثبات از کرومومتر استفاده گردید تا میزان پیشروی کاغذ و میزان نفوذ میله در یک زمان معین تعیین گردد. سپس، در روی کاغذ درجه‌بندی شده ثبات مختصات هر نقطه عمق مشخص می‌گردد. سرعت نفوذ برای تطابق با سرعت پیشروی کاغذ ثبات ۶ سانتی‌متر بر ثانیه انتخاب گردید. با توجه به اینکه حداکثر عمق نفوذ در نفوذسنج تراکتوری ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد بنابراین زمان نفوذ کامل میله ۱۰ ثانیه می‌باشد. از سوی دیگر سرعت ثابت پیشروی کاغذ ثبات ۳ میلی‌متر بر ثانیه بوده که نشان می‌دهد به ازای هر ۶ سانتی‌متر حرکت میله نفوذ، کاغذ ثبات ۳ میلی‌متر پیشروی می‌کند. در واقع میزان پیشروی نشان‌دهنده محور عمق بوده در نتیجه می‌توان هر نقطه از منحنی را به یک عمق و یک ولتاژ خروجی در آن عمق نسبت داد. چنانچه هر نقطه از منحنی را که نشان‌دهنده ولتاژ معینی می‌باشد در ضریب کالیبراسیون مبدل نیرو ضرب کنیم مقدار نیرو در آن نقطه به دست می‌آید.

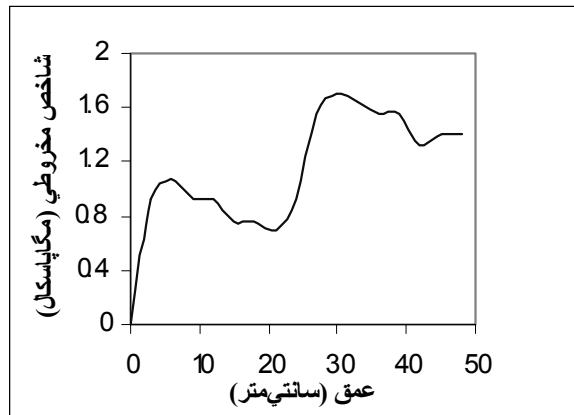
نتایج و بحث

مقادیر حاصل از نیروی مقاومت خاک در برابر نفوذ و عمق برای هر یک از آزمایش‌های نفوذسنج دستی که در حافظه دستگاه ثبت شده بود پس از بازخوانی و تبدیل



ب- نفوذسنج تراکتوری

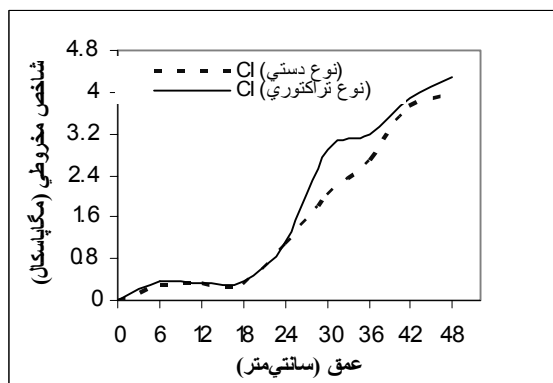
شکل ۳- نمودار شاخص مخروطی نسبت به عمق برای دو نوع نفوذسنج در زمین کلسی.



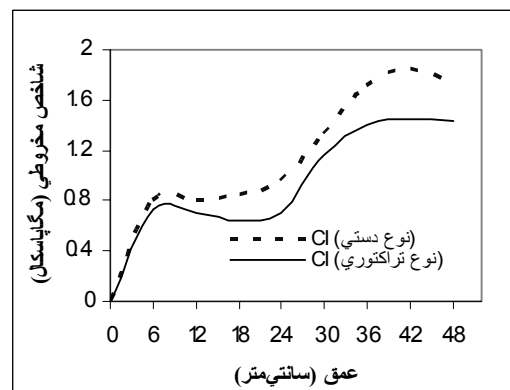
الف- نفوذسنج دستی

دستگاه تغییرات آنها بسیار مشابه می باشد. البته دلیل تفاوت داده ها به طور عمده به اختلاف در سرعت نفوذ دو دستگاه و تا حدی هم به تغییرات جزئی بافت خاک در دو نقطه نفوذ نزدیک به هم مربوط می شود.

میانگین داده های حاصل از ده آزمایش نفوذ در هر دو نوع زمین برای دو دستگاه مورد مقایسه قرار گرفت (شکل های ۴ و ۵). این نمودارها نشان می دهند که برخلاف یکسان نبودن مقادیر شاخص مخروطی در دو



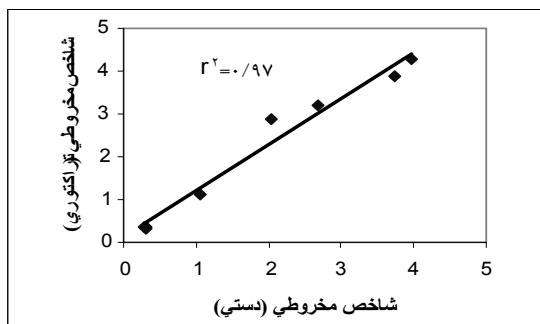
شکل ۵- مقایسه شاخص مخروطی نسبت به عمق برای دو نوع نفوذسنج در زمین شخم خورده.



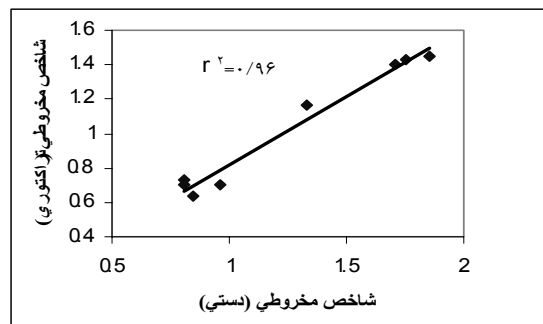
شکل ۶- مقایسه شاخص مخروطی نسبت به عمق برای دو نوع نفوذسنج در زمین کلسی.

تراکتوری تفاوت چندانی با نوع دستی ندارد و تغییرات شاخص مخروطی در عمق را به خوبی نشان می دهد. چنانچه مقادیر شاخص مخروطی نیز در مقایسه با یک نفوذسنج تراکتوری استاندارد با دقت بیشتری کالیبره شود به راحتی می توان در آزمایش های تعیین مقاومت خاک با اطمینان بالا از آن استفاده کرد.

مطابق شکل ۶، چنانچه مقادیر شاخص مخروطی نفوذسنج دستی و تراکتوری را با هم مورد مقایسه قرار دهیم و با استفاده از معادله های رگرسیون ضریب همبستگی را به دست آوریم مشاهده می کنیم که رابطه خطی برای زمین کلسی دارای $r^2=0/96$ و برای زمین شخم خورده $r^2=0/97$ می باشد. با توجه به این ضرایب همبستگی می توان گفت که نتایج آزمایش های نفوذسنج



ب- زمین شخم خورده



الف - زمین کلتی

شکل ۶- مقایسه شاخص مخروطی نفوذسنج دستی و تراکتوری در دو نوع زمین.

جدول ۳- میانگین‌ها و واریانس‌های مربوط به دو نوع نفوذسنج در دو نوع زمین.

زمین شخم خورده		زمین کلتی		درجه آزادی	عمق لایه (cm)	نوع نفوذسنج
میانگین	واریانس	میانگین	واریانس			
۱/۰۴	۰/۱۹	۱/۴۵	۲/۲۰	۷	۱۰	دستی
۱/۱۱	۰/۲۳	۱/۶۳	۲/۳۳	۷	۲۰	
۱/۱۳	۰/۲۱	۱/۸۰	۲/۳۷	۷	۲۵	
۱/۰۹	۰/۱۷	۱/۹۵	۲/۶۹	۷	۱۰	تراکتوری
۱/۲۲	۰/۱۳	۲/۰۳	۲/۷۸	۷	۲۰	
۱/۲۸	۰/۱۴	۲/۰۶	۲/۸۶	۷	۲۵	

می‌شود که تغییرات شاخص مخروطی- عمق دو نوع نفوذسنج دارای همبستگی زیادی می‌باشد. بنابراین داده‌های حاصل از نفوذسنج تراکتوری روند تغییرات شاخص مخروطی در عمق‌های مختلف را به خوبی نشان می‌دهد. با توجه به مزایای نفوذسنج پشت تراکتوری این دستگاه را می‌توان برای تعیین مقاومت نفوذ خاک به کار گرفت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری صمیمانه مدیریت مزرعه دانشکده کشاورزی کرج سپاسگزاری می‌نمائیم.

جدول ۳ میانگین‌ها و واریانس‌های نمونه در سه لایه برای هر دو دستگاه در دو نوع زمین را نشان می‌دهد. با توجه به آزمون مقایسه میانگین‌ها، به عنوان نمونه در لایه ۲۵ سانتی‌متری و رطوبت ۱۹ درصد، مقدار t در زمین کلتی ۱/۰۹۸ و در زمین شخم خورده ۰/۳۱ محاسبه گردید. مقدار t جدول با درجه آزادی ۱۴ و سطح احتمال ۵ درصد برابر با ۲/۱۴۵ است. چون t محاسبه شده از در هر دو نوع زمین از t جدول کوچک‌تر است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با ضریب اطمینان ۹۵ درصد بین شاخص‌های نفوذ دو دستگاه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. از طرف دیگر، با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده

منابع

1. American Society of Agricultural Engineering (ASAE) Standard. 1990. Soil cone penetrometer. ASAE standard S313.1. 575p.
2. Earl, R. 1997. Assessment of the behavior of field soils during compression. J. of Agr. Eng. Res. 68: 147-157.
3. Hooks, C.L., and Jansen, I.J. 1986. Recording cone penetrometer developed in reclamation research. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 10-15.
4. Ohmia, K. 1998. Three dimensional cone resistance mapping. A technique for prediction of terrain vehicle performance. J. of Agr. Eng. Res. 50: 129-154.
5. Onwuolu, A.P., and Watts, K.C. 1993. Real-time measurement of cone index in soil bin. Computer and Electronic in Agriculture. 32: 143-157.
6. Solhjo, A. 1998. Mathematical modeling of cone- index in Zarghan, Fars province. Ms. Thesis, University of Tehran, 125p. (In Persian).
7. Wilford, J.R., Wooten, D.B., and Fulgham, F.E. 1992. Tractor mounted cone penetrometer. Transactions of the ASAE 15: 2. 226-228.

Comparison and evaluation of cone index–depth variations for tractor mounted and hand–push cone penetrometer

***R. Tabatabaekoloor¹ and R. Alimardani²**

¹Assistant Prof., Dept. of Agricultural Machinery, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ²Associate Prof., Dept. of Agricultural Machinery, Tehran University, Iran

Abstract

Cone penetrometers are devices to determine the soil penetration resistance at different depths and the results can be used in many varied applications such as construction, military and agriculture. In this research, cone index– depth measurements of a developed tractor mounted and a hand push (model SP1000) cone penetrometers were compared and evaluated. In both systems, a cantilever beam transducer and a photocell sensor were used to measure the soil resistance and depth, respectively. The penetration tests were conducted on two type soils at two plots. On each plot, 10 points were randomly selected and both systems were tested. The hand push penetrometer data were collected in a digital memory and was given to a computer. However, the results of tractor mounted cone penetrometer were recorded by an x-t recorder. The results of experiments indicated that coefficient of correlation for plowed and stubbly soils were $R^2 = 0.97$ and $R^2 = 0.96$, respectively. Based on t-test results, there was no significant difference between cone indexes for both systems at 5% level of confidence. Therefore, with respect to advantages of tractor mounted cone penetrometer, it is suggested to use in soil strength researches.

Keywords: Penetrometer; Cone Index; Soil Strength