

## تخمین نیروی برشی خاک در ابزار باریک خاک ورزی با استفاده از روش المان محدود سه بعدی پیشرفته و مدل پلاستیسیته موهر-کلمب (۱۲۸)

موسی بابایی نصیر<sup>۱</sup>، دکتر اسعد مدرس مطلق<sup>۲</sup>، دکتر سید کاظم شهیدی<sup>۳</sup>

### چکیده

برای سیستم های خاک ورزی دقت پیش بینی نیروی اثر کننده بر تیغه از اهمیت زیادی برخوردار است. با وجود توانایی مدل های متفاوت ارائه شده برای مدل سازی برهم کنش تیغه و خاک، تحقیقات هنوز برای ارائه یک مدل جدیدتر جهت فائق آمدن بر مشکلات مدل های کنونی در حال انجام می باشد، با افزایش توان کامپیوترها و پیشرفت مدل های ترکیبی، روش المان محدود یک برتری نسبی جهت تحلیل فاکتورهای مؤثر بر تیغه و خاک را نشان می دهد. در این مقاله با استفاده از روش المان محدود و بسته نرم افزاری آباکوس، به پیش بینی نیروی برشی پرداخته شده است. در این بررسی از مدل پلاستیسیته موهر-کلمب جهت نشان دادن رفتار خاک استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که روش المان محدود می تواند با تقریب نسبتاً خوبی نسبت به نتایج تجربی و تحلیلی پاسخ راضی کننده ای ارائه نماید. در ضمن مدل موهر-کلمب می تواند یک مدل خوب برای نشان دادن رفتار خاک در تحلیل های دینامیکی و برهم کنش تیغه و خاک به شمار رود. همانند نتایج بدست آمده از روش آزمایشگاهی و مزرعه ای و تحلیلی، در مدل المان محدود نیز مشخص گردید که با افزایش عمق نیروی برشی خاک افزایش می یابد.

**کلید واژه:** روش المان محدود، مدل موهر-کلمب، نیروی کششی، پارامترهای خاک، نرم افزار آباکوس

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه ارومیه، پست الکترونیک: mosababaei@yahoo.com

۲- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه ارومیه

## ۱- مقدمه

دقت پیش بینی نیرو عمل کننده بر تیغه در سیستم های خاک ورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. تجربه نشان داده است که شرایط اولیه مانند هندسه تیغه یا نوع خاک و شرایط عملیات مانند سرعت برش و عمق برش تاثیر زیادی بر بازده ماشین و پیش بینی نیروی عمل کننده بر تیغه دارند. مطالعات انجام شده در زمینه برهم کنش تیغه و خاک اغلب برای پیش بینی نیرو در خاکها، ابزار و شرایط متفاوت کاری انجام شده است [1]. مدل های پیش بینی برهم کنش ابزار - خاک در مقالاتی از سال ۱۹۶۰ به بعد مشاهده می شود که می توان به مطالعات گادوین و اسپور<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۷، مکیز و علی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۷۷، هیتراچی و ریسه<sup>۳</sup> در سال ۱۹۶۷، پرومپرال<sup>۴</sup> در سال ۱۹۸۳ اشاره نمود [۲, ۷, ۸]. با وجود توانایی مدلهای متفاوت ارائه شده برای مدل سازی برهم کنش تیغه و خاک، تحقیقات هنوز برای ارائه یک مدل جدیدتر برای فائق آمدن بر مشکلات مدل های کنونی در حال انجام می باشد. در مدل های ارائه شده برخی از پارامترهای اثرگذار نادیده گرفته شده است. برای مثال روشهای تحلیلی قادر به محاسبه تمامی جنبه های شرایط واقعی یک عملیات خاکورزی به عنوان یک فرایند دینامیکی نمی باشند [2]. نتایج تجربی دارای پاسخهای کاملاً واضح و قطعی می باشند ولی روش های تجربی به خاطر ابزارمورد استفاده در ثبت دقیق داده ها بسیار گران می باشد و ممکن است محدود به سرعت ها و عمق های معینی از برش باشند، از طرف دیگر با افزایش توان کامپیوترها و پیشرفت مدل های ترکیبی، مدل المان محدود یک برتری نسبی در تحلیل فاکتورهای اثر گزار بر برهم کنش تیغه و خاک نشان می دهد. در این زمینه مطالعاتی توسط اشخاصی چون یانگ و هانا<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۷، گی - کلاگ<sup>۶</sup> در سال ۱۹۹۴، چی و کوشواها<sup>۷</sup> در سال ۱۹۹۰، چی<sup>۸</sup> در سال ۱۹۹۳، آرایا و گاوو<sup>۹</sup> در سال ۱۹۹۵، هرمن رومن و عبدل موازن<sup>۱۰</sup> در سال ۲۰۰۲، موتاز و همیلتن<sup>۱۱</sup> در سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ انجام شده است [1-6]. بیشتر مطالعات المان محدود قابل دسترس در مقالات دو بعدی می باشند. در صورت سه بعدی بودن جابه جایی تیغه در خاک در بیشتر بررسی ها به یک مقدار معین، محدود می باشد. هر چند که در بررسی های ذکر شده نتایج به دست آمده از روش المان محدود با نتایج تجربی و تحلیلی تطابق خوبی داشته است. قابل ذکر است که در روش المان محدود بهترین انتخاب مدل اختصاص یافته برای خاک به بهترین نتایج منجر می شود. در این مقاله با استفاده از روش المان محدود و بسته نرم افزاری آباکوس به پیش بینی نیروی برشی پرداخته می شود. گفتنی است که نرم افزار آباکوس یک نرم افزار بسیار قوی برای تحلیل های دینامیکی به روش المان محدود می باشد. در این مطالعه برای اولین بار از مدل مواد موهر - کلمب اصلاح شده موجود در نرم افزار آباکوس در تحلیل المان محدود استفاده شده است. خاک انتخاب شده برای این مطالعه خاک رسی سنگین می باشد که خصوصیات این خاک توسط پین تعیین شده است.

1 Gowdwin and spoor

2 Mckyes and Ali

3 Hettiaratchi and Reece

4 Perumpral

5 Yong and Hanna

6 Gee-Clough

7 Chi and Kushwaha

8 chi

9 Araya and Gao

10 Herman Roman and Abdul Mouazen

11 Mootaz and Hamilton

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- ویژگی های خاک انتخاب شده

خاک انتخاب شده برای این مطالعه خاکی است که توسط پاین<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۶ مورد آزمایش قرار گرفته است. با مشخص شدن نوع بافت آن که رسی سنگین گزارش شده است و با استفاده از داده های اندازه گیری شده توسط پین وجداول استاندارد شده، پارامترهای خاک مزبور مانند آنچه که در جدول ۱ نشان داده شده است، تعیین شده است [8].

جدول ۱: خصوصیات خاک

$\delta(^{\circ})$	$\nu$	$E(ksf)$	$C(kpa)$	$\rho(kg/m^3)$	$\phi(^{\circ})$
۲۳	0.45	۳۰۰	۲۱	۱۲۰۰	۳۵

که  $\phi$  زاویه اصطکاک داخلی خاک،  $\rho$  چگالی خاک،  $C$  چسبندگی خاک،  $E$  مدول الاستیسیته،  $\nu$  نسبت پواسون و  $\delta$  زاویه اصطکاک بین تیغه و خاک است.

### ۲-۲- مدل تحلیلی استفاده شده برای مقایسه

برای مقایسه وارزیابی تحلیل های انجام شده با روش المان محدود می توان از نتایج تجربی یا مدلهای تحلیلی ارائه شده برای پیش بینی نیروی برشی استفاده نمود. برای این منظور از مدل تحلیلی ارائه شده توسط مکیز و علی در سال ۱۹۷۷ استفاده می شود [8]. در ضمن در این مقاله نتایج به دست آمده با نتایج اندازه گیری توسط پین که در مزرعه انجام شده است مقایسه شده است [8].

### ۲-۳- مدل مواد به کار گرفته شده

در این بررسی برای اولین بار برای شبیه سازی رفتار خاک بین خاک و ابزار از مدل پلاستیسیته موهر-کلمب استفاده می شود. که مدل کلاسیک آن به طور گسترده ای در روشهای تحلیلی برای بررسی رفتار خاک استفاده می شود. مدل کلمب کلاسیک چنین بیان می دارد که شکست در یک ماده تابعی از تنش برشی ایجاد شده در آن که خود تنش برشی نیز با تنش عمودی تحمیل شده به جسم متناسب است، وابسته می باشد. که رابطه زیر بین تنش برشی ایجاد شده و تنش عمودی تحمیل شده به جسم برقرار است:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

که  $\tau$  تنش برشی و  $\sigma$  تنش عمودی می باشد.

البته در تحلیل حاضر از مدل پلاستیسیته موهر-کلمب استفاده می شود. که در نرم افزار آباکوس مدل پلاستیسیته موهر-کلمب یک مدل الاستوپلاستیک می باشد که برای تابع تسلیم آن از مدل موهر-کلمب استفاده می شود. این مدل از یک پتانسیل جریان به شکل هایبربولیک که جهت پلاستیک جریان را به گونه نادری پیش بینی می کند، استفاده می نماید. در این مدل نرخ کرنش افزایشی به صورت زیر فرض می شود:

$$d\varepsilon = d\varepsilon^{el} + d\varepsilon^{pl} \quad (2)$$

که  $d\varepsilon$  نرخ کرنش کلی،  $d\varepsilon^{el}$  نرخ کرنش الاستیک و  $d\varepsilon^{pl}$  نرخ کرنش پلاستیک می باشد. در مدل اصلاح شده موهر - کلمب رفتار الاستیک به صورت خطی و ایزوتروپیک فرض می شود و تابع تسلیم آن در رفتار پلاستیک آن وابسته به اصطکاک داخلی مواد و چسبندگی مواد می باشد [9].

### ۲-۴- روش المان محدود

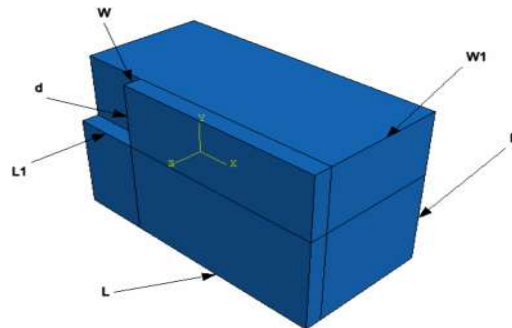


روش المان محدود یک ابزار عددی قدرتمند می باشد که اطلاعات با ارزشی برای فهمیدن آنچه که در عمل در حین برش خاک در خاک ورزی صورت می گیرد را فراهم می نماید. این روش به آسانی می تواند شرایط مرزی پیچیده و سختی های متفاوتی از خاک را برای لایه های مختلفی از آن را به کار گیرد. از محدودیت های مهم این روش می توان به خلاقیت و صبر و حوصله فردی در زمان مشخص کردن شرایط مرزی و همچنین زمان قابل دسترس برای محاسبات اشاره نمود نتایج به دست آمده از مدل روش المان محدود در برش خاک معمولاً اطلاعاتی در باره توزیع کانتور تنش و کرنش خاک، مسیر حرکت خاک و نیروهای ابزار می باشد [5].

#### ۱-۴-۲- مدل سه بعدی

این به اثبات رسیده است که هنگامی که یک سازه یا ابزار برش خاک دارای نسبت عرض به عمق کمتر از ۱۰ باشد (ابزار باریک)، استفاده از تحلیل دو بعدی برای بررسی این ابزار ضعیف خواهد بود چرا که خاک علاوه بر اینکه به سمت بالا حرکت می کند، مقدار قابل توجهی از آن به کناره های لبه تیغه حرکت خواهد کرد. در نتیجه یک تحلیل دو بعدی نمی تواند اثرات حرکت خاک به کناره ها را تشریح نماید و باید برای تحلیل ابزار باریک از یک تحلیل سه بعدی استفاده نمود، به این دلیل برای بررسی حاضر یک مدل سه بعدی از خاک در نظر گرفته شده است. که مدل ایجاد شده را می توان در شکل ۱ مشاهده نمود. [۸].

که در مدل ایجاد شده  $L$  طول حجم خاک در نظر گرفته شده برابر با ۸۰۰ میلی متر،  $W$  نصف عرض برش تیغه برابر با ۵۰ میلی متر،  $W1$  عرض جانبی خاک برابر با ۳۵۰ میلی متر،  $H$  ارتفاع خاک در نظر گرفته شده برابر با ۵۰۰ میلی متر و  $d$  عمق برش تیغه بوده که دارای چهار مقدار ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰ میلی متر می باشد. در این تحلیل تیغه یک تیغه مسطح با یک زاویه برش ۹۰ درجه می باشد.



شکل ۱: مدل سه بعدی ایجاد شده

#### ۲-۴-۲- مش بندی مدل و شرایط مرزی

یک المان زنجیره ای آجری خطی ۸ گره ای سه بعدی برای مش بندی خاک و تیغه در مدل المان محدود انتخاب شده است. 3652 المان برای شبیه سازی خاک استفاده شده و 166 المان نیز برای تیغه به عنوان یک جسم صلب همراه با یک گره مرجع، در عمق ۲۰ سانتیمتری در نظر گرفته شده است. بدیهی است با تغییر عمق کار تیغه، تعداد المان ها نیز تغییر می یابد. شبیه سازی تیغه به صورت جسم صلب محاسبات را قادر به محاسبه نیروی عمل کننده بر کل تیغه در یک گره خاص به نام گره مرجع برای جسم سخت می نماید. به خاطر هندسه متقارن مدل نیمی از مدل شبیه سازی شده اما نتایج برای کل مدل تعمیم داده می شود. حرکت نسبی همراه با اصطکاک در سطوح برهم کنش تیغه و خاک در نظر گرفته شده است. مدل در یک شیوه افزایشی چگالی مش بندی در نزدیکی تیغه و سطوح خرابی پیش بینی شده همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است مش بندی شده است. شرایط مرزی مدل نشان داده شده در شکل ۳ را می توان به صورت زیر فهرست نمود:

۱- گره های پایینی در  $y=0$  کاملاً مقید شده اند.

۲- گره های مرزهای عمودی موازی با صفحه  $y-z$  در  $x=0$  و  $x=L$  در جهت افقی محور  $x$  مقید شده اند  
۳- گره های مرزهای عمودی موازی با صفحه  $x-y$  در  $z=0$  و  $z=w$  (صفحه تقارن) در جهت جانبی محور  $z$  مقید شده اند.

۴- تیغه نسبت به هرگونه چرخش و در جهت عمودی مقید شده است اما آزادانه می تواند در صفحه افقی جابه جا شود [1,5].

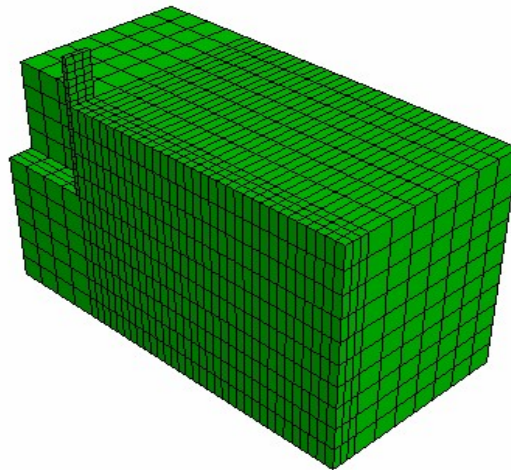
در قدم اولیه برای ایجاد یک تماس فیزیکی بین تیغه و خاک و خود خاک در سطوح خرابی جاذبه با به کارگیری شتاب جاذبه به عنوان یک بار حجمی برای شبیه سازی وزن خاک در نظر گرفته شده است.

### ۳-۴-۲- روش حل

روشهای قابل دسترس برای حل مسائل دینامیکی شامل تحلیل مودال<sup>۱</sup> و انتگرالگیری مستقیم می باشد. برای تحلیل واکنش دینامیکی رابطه زیر را می توان نوشت:

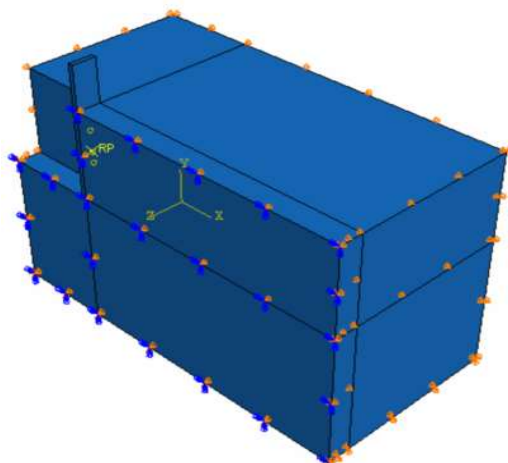
$$KD_n + C\dot{D}_n + M\ddot{D}_n = R_n \quad (3)$$

که  $R_n$  تابع نیروی وارده وابسته به زمان در  $n$  امین لحظه می باشد. ما به دنبال  $\ddot{D}_n$ ,  $\dot{D}_n$ ,  $D_n$  در لحظه های ویژه ای از زمان می باشیم. بنابراین  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  مطابق است با زمانهای  $t = 0, t = \Delta t, t = 2\Delta t, \dots$  که  $\Delta t$  یک نمونه زمانی است. بعد از انجام محاسبات در لحظه  $n$  ام زمان به اندازه  $\Delta t$  افزایش پیدا کرده و محاسبات برای  $n+1$  امین لحظه انجام می شود. متعاقباً یک نمودار از جابه جایی، سرعت، یا شتاب در هر یک از درجات آزادی سیستم می تواند با متصل کردن نقاط محاسبه شده در هر لحظه به دست آید.



شکل 2: مدل مش بندی شده





شکل ۳: شرایط مرزی مدل

در این بررسی از روش حل دینامیکی انتگرال گیری مستقیم با روش نیومارک<sup>۱</sup> با گامهای بسیار کوچک استفاده شده است. در ضمن تیغه متناسب با عمق خود یک میزان جابه جایی را دارا می باشد به گونه ای که این جابه جایی تا حدی که المان ها بتوانند تحمل نمایند انجام می گیرد. به علت تغییر شکل های بزرگ ایجاد شده در خاک به هنگام حرکت تیغه در خاک جابه جایی بزرگ نیز برای المان که یک ویژگی غیر خطی در روش المان محدود به حساب می آید در نظر گرفته شده است. در بر هم کنش بین تیغه و خاک فقط اصطکاک بین این دو در نظر گرفته شده و از دگر چسبی بین تیغه و خاک صرفه نظر شده است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نیروی برشی خاک

در مدت زمان تحلیل المان محدود نیروهای عکس العمل وارده در گره مرجع در هر گام محاسبه می شود. از آنجا که در این بررسی فقط نیمی از مدل تحلیل شده است نتایج به دست آمده برای نیروهای عکس العمل دوبرابر می شود. یک منحنی نیرو-جابه جایی از روش المان محدود بدست می آید که می توان آن را در شکل ۴ مشاهده نمود، همانطور که مشاهده می شود با افزایش جابه جایی نیرو افزایش پیدا می کند، اما پس از یک میزان جابه جایی معین نیرو به مقداری معین رسیده که بعد از آن با افزایش جابه جایی کاهش می یابد و دوباره شروع به افزایش می نماید، این مقدار نیرو معین نشان دهنده نقطه شکست خاک می باشد. و همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود با افزایش عمق مقدار نیروی کششی افزایش پیدا می کند، که نتیجه بدست آمده همانند هردو روش آزمایشگاهی و تحلیلی ابراز می دارد که با افزایش عمق، نیرو مورد نیاز افزایش پیدا می کند.

#### ۳-۲- مسیر حرکت خاک و دیگر نتایج

همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است خاک یک مسیر به سمت بالا و طرفین خواهد داشت، به مانند آنچه که در آزمایشگاه مشاهده شده است. در ضمن این مسئله ضرورت انجام تحلیل سه بعدی ابزار باریک را که در آن باید جابه جایی خاک اطراف تیغه را نیز در تحلیل مسئله در نظر گرفت تایید می نماید. در ضمن در شکل های ۷ و ۸ به ترتیب تانسورهای تنش فون مایزر، شتاب خاک در جهت تیغه و سرعت در جهت تیغه برای یک تیغه با عمق کاری ۲۰ سانتیمتر جابه جایی ۷۰ میلی متر مشاهده می شود. آنچه که در مورد این اشکال قابل ذکر است این است که تنش با جابه جایی تیغه افزایش می یابد اما به مقدار حداکثر خود در یک میزان جابه جایی معین می رسد، جایی که در آنجا شکست خاک اتفاق می افتد. اما شتاب و سرعت نیز با جابه جایی تیغه

1 Newmark

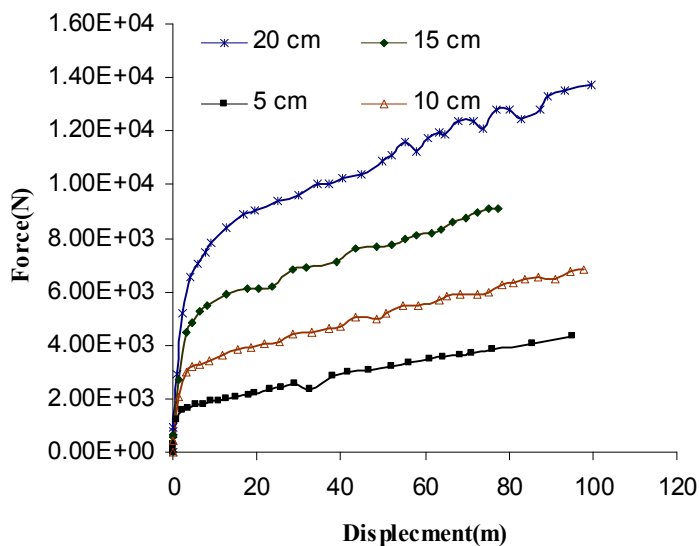
افزایش می یابد و این مسئله که مسئله بسیار مهمی در محاسبه نیروی کششی ه شمار می رود در مدل های تحلیلی تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است.

### ۳-۳- بررسی اعتبار مدل

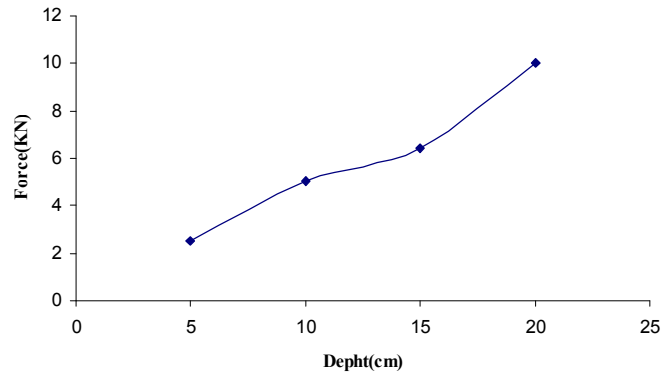
نتایج به دست آمده برای این بررسی در چهار عمق مختلف با نتایج به دست آمده توسط پین به صورت اندازه گیری مستقیم در مزرعه و نتایج به دست آمده از مدل تحلیلی ارائه شده توسط مکیز و علی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مقایسه بین نتایج به دست آمده با سه روش مختلف

عمق	اندازه گیری پین (نیوتن)	مدل مکیز و علی (نیوتن)	روش المان محدود (نیوتن)
۵	۲۰۰۰	۱۷۵۲	2500
۱۰	۵۲۰۰	۳۶۳۵	5050
۱۵	۸۰۰۰	۶۸۵۵	6400
۲۰	۱۱۰۰۰	۱۲۵۲۳	10000

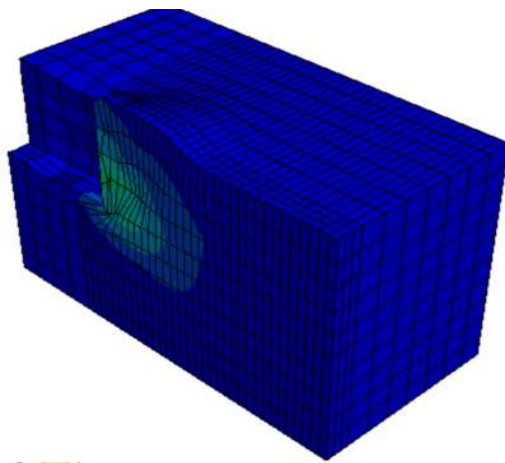


شکل ۴: نمودار نیرو-جابجایی در چهار عمق

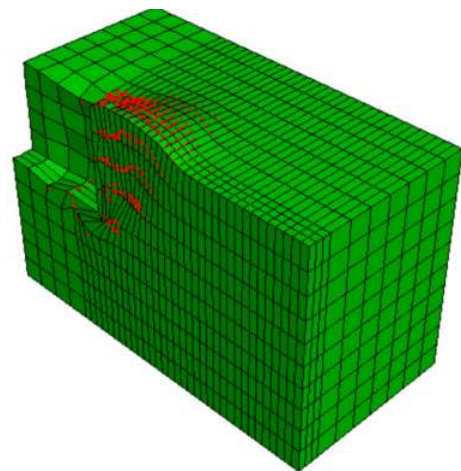


شکل ۵: نمودار نیرو-عمق

همانطور که مشاهده می شود هیچ یک از سه نتایج تجربی، تحلیلی و المان محدود با یکدیگر منطبق نیستند اما دیده می شود که مدل المان محدود پیش بینی مناسب را انجام می دهد و علت اینکه این روش در برخی عمق های ضعیف عمل می نماید را شاید بتوان یکنواخت گرفتن بافت خاک برشمرد. به طور کلی میتوان علت عدم تفاوت نیایج به دست آمده از روش المان محدود نسبت به روش آزمایشگاهی را عواملی مانند یکنواخت گرفتن بافت خاک، و عدم تعیین دقیق مدول الاستیسیته و نسبت پواسون خاک و عدم تعیین خصوصیات لایه به لایه خاک در این بررسی برشمرد.

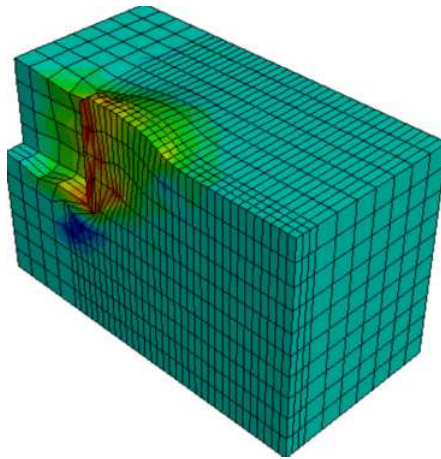


شکل ۷: تانسور تنش فون مایز

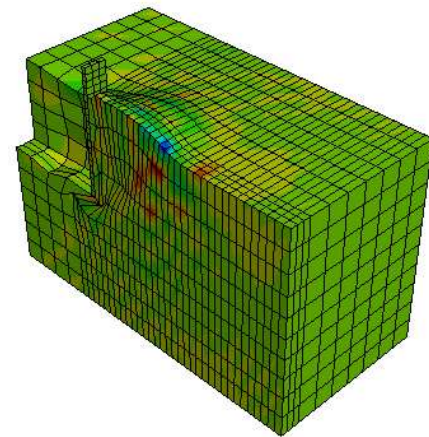


شکل ۶: مسیر حرکت خاک





شکل ۹: تانسور سرعت در جهت حرکت تیغه



شکل ۸: تانسور شتاب در جهت حرکت تیغه

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج آزمایشگاهی دارای جوابی قطعی می باشند اما به ابزاری گران برای اندازه گیری دقیق نتایج نیازمندند. در ضمن در روش تجربی اندازه گیری ها محدود به عمق ها و سرعت های معینی می باشند. در روشهای تحلیلی نیز بسیاری از پارامترهای اثرگذار مانند سرعت و شتاب خاک در نظر گرفته نمی شود. با به کارگیری مدل مناسب مواد برای خاک روش المان محدود می تواند با کمترین هزینه جوابهای قابل قبولی ارائه دهد. که در این بررسی نتایج زیر به دست مد:

۱- هر چند روش المان محدود نتایج دقیقی ارائه نمی دهد اما می تواند با تقریب نسبتا خوبی نتایج را ضعیف کننده ای ارائه نماید.

۲- مدل موهر - کلمب می تواند یک مدل خوب برای نشان داده رفتار خاک در تحلیل های دینامیکی و برهم کنش تیغه و خاک به شمار رود.

۳- همانند نتایج بدست از روش آزمایشگاهی و مزرعه ای و تحلیلی در مدل المان محدود نیز مشخص گردید که با افزایش عمق نیروی برشی خاک افزایش می یابد.

#### ۵- منابع

- [1] Mootaz Abo-Elnor, R.Hamilton and J.T.Boyle.2004.Simulation of Soil-Blade Interaction for Sandy Soil Using Advanced 3D Finite Element Analysis. Soil and Tillage Research, Volume 75, Issue 1, pages 61-73
- [2] Uriel, Aparecido R. 1997. Performance of Narrow Tillage Tools with Inertial and strain Rate Effects. Ph.d.dissertation, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan.



- [3] Gee-clough,D.,J.Wang and W.Kanok-Nukulchia.1994.Deformation and failure in wet clay soil:part3.Finite element analysis of cutting of wet clay by tines. Journal of Agriculture Engineering Research, Volume 58, Issue 1, pages 121-131.
- [4] Mootaz Abo-Elnor, R.Hamilton and J.T.Boyle.2003 3D Dynamic analysis of soil-tool interaction using the finite element method. Journal of Terramechanics , Volume 40, Issue 1, pages 51-62.
- [5] L. CHI and R.L. KUSHWAHA.1990. A non-linear 3-D finite element analysis of soil failure with tillage tools. *Journal of Terramechanics*, Vol. 27, No. 4, pp. 343-366.
- [6] A.M. Mouazen, M. NemeAnyi.1998. A review of the finite element modeling techniques of soil tillage. *Mathematics and Computers in Simulation*, Volume 48, pages 23-32.
- [7] Ji Zhang .1997.Vibratory Analysis of Tillage Operation. Ph.d.dissertation, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan.
- [8] Mckyes, E.1985.Soil Cutting and Tillage.Amsterdan, The Netherlands: Elsevier,pages 38-86
- [9] ABAQUS, Version 6.6. 2006. Abaqus theory manual. ABAQUS, Inc. USA



## تست و آزمون نفوذسنج پشت تراکتوری مجهز به سیستم تحصیل داده (۹۴)

مجتبی نادری بلداجی<sup>۱</sup>، رضا علمردانی<sup>۲</sup>، احمد طباطبایی فر<sup>۳</sup>، احمد شریفی<sup>۴</sup>

### چکیده

یکی از عوامل بازدارنده ی رشد ریشه گیاه و در نتیجه عملکرد محصول، فشردگی زیاد خاک می باشد. به کارگیری یک روش سریع و دقیق برای اندازه گیری این پارامتر در مطالعات مربوط به خاک ورزی و عملکرد محصول از اهمیت زیادی برخوردار است. معیار کمی فشردگی خاک در اندازه گیری، شاخص مخروطی است که بیانگر نیروی مورد نیاز در واحد سطح برای فرو کردن یک مخروط فولادی با ابعاد استاندارد در خاک می باشد. به منظور اندازه گیری این پارامتر یک دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری به یک سیستم تحصیل داده بر پایه میکروکنترلر مجهز شده و مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت. سیستم مذکور قادر به نمایش، ذخیره و پردازش داده های اندازه گیری شده با دستگاه نفوذسنج می باشد. نرم افزار این سیستم با CodeVision AVR و زبان استاندارد C نوشته شد. برای حذف خطا در طراحی مدار این سیستم، نرم افزار PROTUES و برای چاپ نهایی مدار بهینه شده از نرم افزار PROTEL DXP-2004 استفاده شد. این سیستم تحصیل توسط باتری تراکتور تغذیه شده و سیگنال های مربوط به عمق و نیروی نفوذ به ترتیب توسط یک مبدل کرنش سنجی یک سر گیردار و سنسور فرستنده گیرنده نوری ایجاد می شود. داده های ذخیره شده در حافظه سیستم توسط کابل سریال RS-232 به کامپیوتر شخصی ارسال می شود و در یک فایل EXCEL ذخیره گشته تا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. پس از تجهیز دستگاه نفوذسنج به این سیستم تحصیل داده، مجموعه در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور مقایسه و اطمینان از صحت داده های اندازه گیری شده، یک دستگاه نفوذسنج دستی دیجیتال (Ejkelkamp) استفاده شد و داده های حاصل از هر دو دستگاه در شرایط مزرعه ای و هر کدام با ۳۶ تکرار مورد آزمون مقایسه میانگین قرار گرفت. نتایج اختلاف معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪ بین نشان نداده و عملکرد قسمت های مکانیکی و الکترونیکی کل دستگاه در طی آزمون ها بدون اشکال بود.

**کلید واژه:** سیستم تحصیل داده، میکروکنترلر، شاخص مخروطی، کرنش سنج

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



## مقدمه

فشردگی خاک از عوامل محدود کننده رشد ریشه گیاهان و در نتیجه عملکرد محصول است. در مطالعات مربوط به خاک ورزی و عملکرد محصول، به کارگیری یک روش سریع، دقیق و تجدید پذیر برای اندازه گیری فشردگی خاک از اهمیت بالایی برخوردار است. فشردگی خاک با شاخص مخروطی تعریف شده که بیانگر نیروی مورد نیاز در واحد سطح برای فروکردن یک مخروط فولادی با ابعاد استاندارد در خاک می باشد [۱]. عوامل تحت تاثیر این پارامتر در مزرعه عبارتند از: رشد ریشه و افزایش طول آن، تردد وسایل نقلیه کششی، هدایت هیدرولیکی خاک و دیگر خواص فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری [۲].

نفوذسنج ها در اندازه گیری سریع و دقیق شاخص مخروطی استفاده می شوند. اندازه نیروی مورد نیاز برای نفوذ مخروط تحت تاثیر عواملی از قبیل رطوبت خاک و چگالی ظاهری آن می باشد. در اثر نفوذ یک مخروط در خاک، خاک اطراف مخروط دچار تغییر شکل شده که هندسه این تغییر شکل ها بر مقدار شاخص مخروطی اثر گذار خواهد بود. بهترین رطوبت برای اندازه گیری شاخص مخروطی، ظرفیت مزرعه ای است که توسط استاندارد ASAE پیشنهاد شده است [۳].

اولین نفوذسنج های مجهز به سیستم های اندازه گیری الکتریکی در سال ۱۹۶۵ در کشور هلند ساخته شدند [۴]. در این نفوذسنج ها از ابزارهای اندازه گیری قیاسی برای اندازه گیری نیروی نفوذ و عمق استفاده می شد. درویر<sup>۱</sup> (۱۹۷۱) اولین سیستم جمع آوری داده الکتریکی را به کار گرفت که در آن از یک پل و تسون و ثبات استریپ چارت برای ثبت پیوسته نیرو به صورت گرافیکی استفاده شده است. از یک کوپلینگ کاهش مغناطیسی برای اندازه گیری عمق در این نفوذسنج استفاده شد. در این روش اندازه گیری سرعت حرکت کاغذ ۱۰ mm به ازای هر یک سانتی متر نفوذ مخروط بود [۵].

پیشرفت های زیادی در ثبت داده های نفوذسنج ها در ۴۰ سال گذشته رخ داده است. پردر و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۷۰) یک دستگاه نفوذسنج دستی ساخته که از یک ثبات X-Y برای ثبت داده های آن به صورت الکترونیکی استفاده شد [۶]. ویلفورد و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۷۲) و اسمیت و دوماس<sup>۴</sup> (۱۹۷۸) همچنین از ثبات های X-Y برای ثبت داده های نفوذسنج پشت تراکتوری استفاده کردند. ثبات های X-Y نیاز به کالیبراسیون مکرر داشته و همچنین پردازش داده ها از روی نمودار های رسم شده توسط آنها کار بسیار زمان بری است [۷ و ۸].

ولس و همکاران<sup>۵</sup> یک واحد جمع آوری داده میکروکامپیوتری را که از یک واحد پردازش مرکزی CPU، یک حافظه فقط خواندنی قابل برنامه ریزی PROM، یک حافظه دسترسی تصادفی RAM، مبدل آنالوگ به دیجیتال، صفحه کلید ۱۶ تایی، و یک LCD تشکیل شده بود در یک نفوذسنج دستی استفاده کردند. داده ها در نهایت در یک نوار مغناطیسی ذخیره می شدند [۹].

یک سیستم جمع آوری داده میکروکامپیوتری برای اندازه گیری و ثبت داده های یک نفوذسنج پشت تراکتوری توسط گلنت و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۸۳) ساخته شد. این سیستم بر پایه یک میکروکامپیوتر ROCKWELL AIM65 بوده که دارای یک پردازشگر AIM65 می باشد. یک چاپگر حرارتی نیز برای چاپ داده ها استفاده شده و داده ها در نهایت در یک نوار مغناطیسی ذخیره گردید [۲].

یک واحد میکرولاگر (Campbell Scientific Inc.USA) توسط چی و تزیر<sup>۷</sup> (۱۹۹۵) در یک دستگاه میکرونفوذسنج قابل حمل استفاده شد. میکرونفوذسنج ها برای اندازه گیری فشردگی خاک ردیف ها تا عمق ۱۵ سانتی متر به د از عمل کشت استفاده می شوند. در دستگاه مذکور داده های مربوط به یازده لودسل و یک LVDT در سیستم میکرو لاگر ذخیره می گردد [۱۰].

یک سیستم جمع آوری داده می تواند در نمونه گیری و ذخیره داده ها از مجموعه ای از مبدل ها در یک سیستم اندازه گیری مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، ولتاژ تحریک مبدل ها بدون نیاز به منابع تغذیه خارجی می تواند از طریق سیستم جمع آوری

1 - De Ruiter

2 - Prather *et al*3 - Williford *et al*

4 - Smith and Dumas

5 - Wells *et al*6 - Glent *et al*

7 - Chi and Tessier

داده تامین شود. سیستم های تحصیل و جمع آوری داده در بسیاری از کاربرد های مزرعه ای و به منظور ثبت داده های لودسل ها و مبدل های دیگر به کار می روند. یک سیستم تحصیل داده بر پایه کامپیوتر شخصی توسط بون و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) در یک واحد نفوذ سنج- برش سنج پشت تراکتوری و به منظور تهیه نقشه های خواص مکانیکی خاک استفاده شد. این سیستم در کابین تراکتور قرار گرفته و به عنوان یک واحد ثبت - پردازشگر برای داده های نیروی نفوذ، استحکام برشی و موقعیت جغرافیایی استفاده می شود [۱۱].

گوهری و همت (۲۰۰۵) یک سیستم تحصیل داده بر پایه کامپیوتر کیفی را برای نمایش و ذخیره داده های مقاومت به نفوذ در یک دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری و به منظور به کارگیری در خاک ورزی عمق متغیر ساختند. از یک واحد GPS در این دستگاه برای تعیین موقعیت جغرافیایی استفاده شد. نرم افزار تحصیل داده به زبان ++C نوشته شد و قادر به رسم نمودار شاخص مخروطی- عمق می باشد [۱۲].

در دیگر سیستم های اندازه گیری الکترونیکی، سیستم های تحصیل داده به وفور استفاده می شوند. سیستم های جمع آوری داده برای ثبت داده های خروجی لودسل های کرنش سنجی در دینامومتر ها توسط محققین زیادی استفاده شده است [۱۳ و ۱۴]. در سیستم های مذکور داده های ذخیره شده سپس به یک ثبت نوار مغناطیسی برای تجزیه و تحلیل های بعدی ذخیره می گردد. در تراکتور های مجهز به سیستم اندازه گیری نیز، سیستم های تحصیل و جمع آوری داده استفاده شده است [۱۵]. هدف اصلی این تحقیق، طراحی و ساخت یک سیستم تحصیل داده به منظور نمایش و ذخیره داده های مربوط به مقاومت نفوذ و عمق در یک نفوذسنج پشت تراکتوری و در نهایت آزمون و ارزیابی دستگاه نفوذسنج برای تعیین صحت و اطمینان داده ها است.

## مواد و روشها

مجموعه سیستم اندازه گیری دستگاه نفوذ سنج پشت تراکتوری از یک حسگر اندازه گیری عمق، مبدل اندازه گیری نیرو و سیستم تحصیل داده تشکیل شده که به ترتیب تشریح شده اند. این سیستم اندازه گیری قابلیت برنامه ریزی داشته و همچنین از سرعت پردازش بالایی برخوردار است و ایجاد ارتباط در سیستم تحصیل داده با داده های ورودی به سادگی میسر شده و هزینه نهایی کل سیستم اندازه گیری بسیار پایین است.

## حسگر اندازه گیری عمق

در این دستگاه عمل اندازه گیری عمق به صورت نا پیوسته و به فواصل ۱۵ mm انجام می شود. عمل اندازه گیری عمق هنگامی شروع می شود که سطح پایه مخروط نفوذکننده در خاک به سطح زمین برسد. برای اینکه بتوان عمل اندازه گیری عمق و شاخص مخروطی را در نقاط خاصی از عمق نفوذ انجام داد لازم بود تا از یک خطکش یا به عبارتی شاخص اندازه گیری استفاده گردد. برای این منظور از ورقی به ضخامت دو میلی متر استفاده شد. که با خم کاری آن در زاویه ۹۰ درجه، قطعه ای حاصل گردید که بر روی آن به فواصل ۱۵ mm سوراخ هایی به قطر ۴ mm ایجاد شد. عمق قابل اندازه گیری توسط این مکانیزم ۶۰ cm می باشد. طرز کار این قسمت بدین شرح است که 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 پالس بیانگر ۱۵ mm از عمق می باشد. بعد از خاتمه عمل اندازه گیری با خارج شدن میله نفوذ از خاک کل مکانیزم اندازه گیری عمق نیز به سمت بالا حرکت کرده و در وضعیت اولیه خود قرار می گیرد. ولتاژ ورودی حسگر ۳ ولت بوده که از سیستم تحصیل داده تامین می شود.

## مبدل نیرو

نیروی نفوذ در نفوذسنج پشت تراکتوری توسط یک مبدل یک سر گیردار خنثی کننده دما با ۴ کرنش سنج فعال اندازه گیری می شود. این مبدل برای اندازه گیری حداکثر بار ۲۳۰ کیلوگرم طراحی شده و حداکثر شاخص مخروطی قابل اندازه گیری با آن ۷ مگاپاسکال می باشد که این مقدار از حد فشردگی معمول خاکهای کشاورزی فراتر است. طبق گزارش محققین، حد فشردگی که باعث محدودیت رشد ریشه گیاه می شود ۲ مگاپاسکال است [۱۶]. اگر مقدار نیروی حداکثر برای نفوذ مخروط کافی نباشد می توان مخروطی با قطر کوچکتر را جایگزین نمود. ولتاژ ورودی پل وتسون توسط باتری تراکتور تامین شده که پس از تنظیم توسط



رگولاتور به ۵ ولت کاهش داده می شود. این مبدل در شرایط آزمایشگاهی کالیبره شد و یک خروجی خطی با ضریب تبیین ۱ برای نمودار ولتاژ-نیرو به دست آمد.

### سیستم تحویل داده

سیستم تحویل داده از یک میکرو کنترلر AVR، حافظه EEPROM ۲۵۶ کیلوبایتی، LCD ۴۰ ستونی - ۴ سطری با زمینه آبی، صفحه کلید ۱۶ کلیدی، و درگاه سریال RS-232 تشکیل شده است. این مجموعه بر روی یک برد ۲۰×۱۵ سانتی متر قرار گرفته است (شکل ۱) و در کابین تراکتور و جلوی راننده نصب می شود. ولتاژ ورودی این سیستم از باتری تراکتور (۱۲ ولت) تامین می شود. میکرو کنترلر استفاده شده (ATMEGA32) از نوع AVR هشت پینی ساخت شرکت ATMEL می باشد که دارای ۳۲ کیلوبایت حافظه برنامه (FLASH)، ۲ کیلو بایت حافظه داده (RAM) و یک کیلوبایت حافظه ماندگار تجدید پذیر می باشد (EEPROM). سقف سرعت پردازش در این نوع میکروکنترلرها ۱۶ مگاهرتز می باشد. ولتاژ مورد نیاز آن ۴/۵ تا ۵/۵ ولت می باشد که توسط رگولاتور تنظیم می شود.

حافظه های سری در مواقعی که سرعت های پایین انتقال داده مد نظر است، نسبت به حافظه های موازی ترجیح داده می شوند. همچنین در مواقعی که نیاز به طراحی برد در ابعاد کوچک باشد، حافظه های سری مناسب تر است. در این سیستم از یک EEPROM ۲۵۶ کیلوبایتی (ATMEL) استفاده شده است که دارای عملکرد بالا، و توان مصرفی پایین می باشد. ولتاژ تغذیه مورد نیاز ۳ تا ۳/۶ ولت بوده که برای سیستم های پرتابل که با باتری کار می کنند مناسب می باشد.

صفحه کلید استفاده شده دارای ۱۰ رقم و ۶ دکمه عملیاتی ENTER, SET, F1, F2, F3, F4 می باشد. چهار LED بالای صفحه کلید قرار گرفته که موقعیت های مختلف کاری دستگاه نفوذسنج از جمله حالت آماده به کار، داده برداری و ارسال داده ها را نشان می دهد.

برای طراحی مدار الکتریکی از برنامه PROTTEL-DXP-2004 استفاده شد. طراحی مدار جهت ساخت برد الکترونیکی دو رویه و متالیزه انجام شده 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. به منظور کاهش اثرات نویز در سیم های رابط بین سنسورها و دیتالاگر از سیمهای روپوش دار استفاده شده که پوشش آن به اتصال منفی وصل شدند. در طراحی این مدار از کاربرد مقاومت های متغیر پرهیز شده است چون تحت تاثیر تغییرات دما خطای چشمگیری را در اندازه گیری ایجاد می کنند.



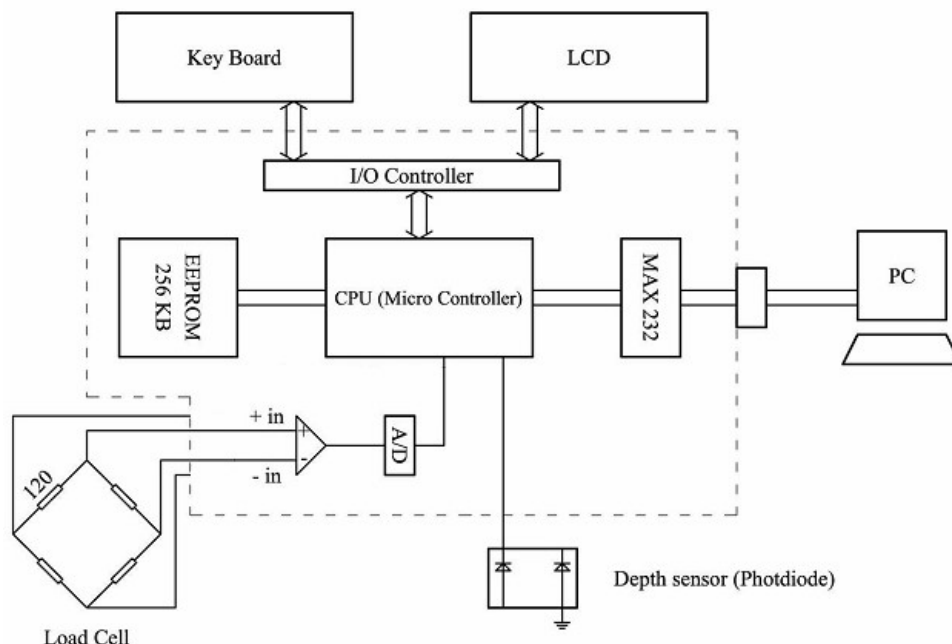
شکل ۱- سیستم تحویل اطلاعات در دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری



## نرم افزار

طراحی نرم افزار به وسیله کامپایلر (CODE VISION AVR (VERSION 1.0.2.1) و به زبان C استاندارد نوشته شده و 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 می باشد که ظرفیت آن ۲۵۶ کیلوبایت است. انتقال اطلاعات و فرمان ها با این حافظه از طریق پروتکل دو سیمه (Philips, USA) PHILIPS-12C انجام می شود. به همین جهت فایل های لازم برای ارتباط از طریق این پروتکل به برنامه ضمیمه شده است. با استفاده از این توابع، برنامه نویس قادر است به هر نقطه از حافظه دسترسی تصادفی داشته و عملیات مورد نیاز را به راحتی انجام دهد. این توابع طوری طراحی شده اند که در هر بار استفاده، ۱۰ بایت را به طور همزمان مورد استفاده قرار می دهند، به طوری که تاریخ به صورت ژولایی، شماره مزرعه، شماره بلوک، داده عمق نفوذسنج و داده دریافتی از لودسل هر کدام ۲ بایت از این حافظه را استفاده می کنند. به منظور ثبت داده ها، متغیرهایی به صورت ساختاری ایجاد شده که کلیه موارد فوق را با هم و به صورت یک بلوک در حافظه ذخیره می کند. در نتیجه از تعداد و تکثیر متغیر ها جلوگیری شده و نرم افزار ساده و قابل فهم می باشد.

برای شمارش تعداد پالس های دریافتی از حسگر دیود نوری از وقفه خارجی میکروکنترلر استفاده شده است. در این قسمت یک فیلتر نرم افزاری تعبیه شده تا اثر امواج ناخواسته و اغتشاشات و نوسانات آلترناتور تراکتور را خنثی کند. بدین ترتیب وقفه و شمارش تنها زمانی انجام می شود که پالس معتبری از حسگر دریافت شده باشد. برای شبیه سازی نرم افزاری سیستم از برنامه PROTUSE -VSM استفاده شده است. در نتیجه بسیاری از خطا ها پیش از ساخت سیستم مشخص و رفع گردید. ضمناً با مشاهده و بررسی خروجی های حاصل از شبیه ساز، بیشتر موارد پیش بینی نشده و حالت های خاصی که ممکن است در هنگام کار به وجود آید به دست آمده و در نرم افزار سیستم تمهیدات مناسب اعمال شده است. دیاگرام بلوکی سیستم مذکور در شکل ۲ نشان داده شده است.

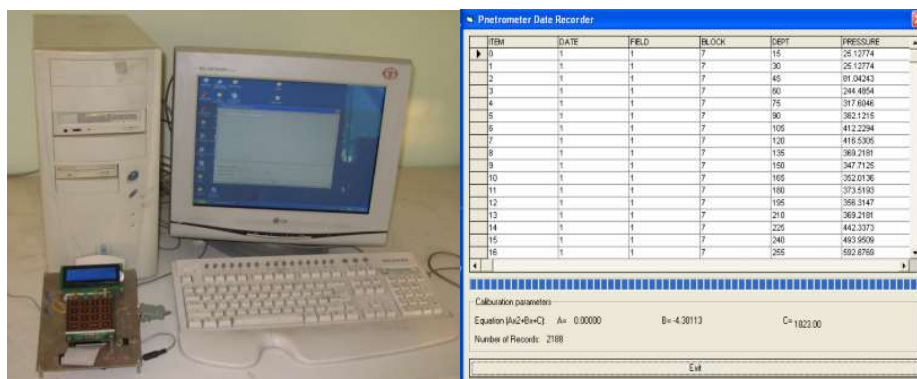


شکل ۲- دیاگرام بلوکی سیستم تحویل اطلاعات

### نحوه دریافت و ثبت داده های لودسل

از آنجا که لودسل از ۴ استرین گیج به صورت پل وتسون تشکیل شده است، بنابراین خروجی مبدل فوق به صورت مثبت و منفی (با توجه به جهت نیروی اعمال شده) خواهد بود. لذا مبدل A/D دارای دو ورودی مثبت و منفی می باشد. به همین جهت سیستم دیفرانسیلی در مبدل A/D فعال شده و دو پایه میکروکنترلر برای اتصال به خروجی مبدل اختصاص یافته است. با توجه به حساسیت سیستم و ولتاژ خروجی بسیار کم لودسل، تقویت کننده میکروکنترلر روشن شده و ضریب تقویت آن به وسیله نرم افزار و کاربر مشخص می شود. به طور پیش فرض، ضریب تقویت ۲۰۰ می باشد. اما استفاده از این ضریب تقویت باعث افزایش تاثیر نویز بر سیستم خواهد بود. برای حذف این اغتشاشات، ابتدا کلیه عملیات سیستم هنگام نمونه برداری توسط A/D متوقف می شود (از جمله پردازش CPU). در این حالت پس از اتمام نمونه برداری و تبدیل به دیجیتال، سیستم به حالت اولیه بر می گردد. ضمناً برای ثبت داده قرائت شده، از ۲۰۰ داده دریافت شده میانگین گرفته می شود و به عنوان داده نهایی ثبت می شود. سرعت قرائت و محاسبه میانگین ۱ کیلوهرتز می باشد.

به منظور انتقال داده ها از حافظه توسط کابل RS-232 و دریافت آن در PC برنامه ای به زبان VB 6.0 (Penetrometer Data Recorder) نوشته شده که داده ها را در ۶ ستون و به صورت پایگاه Access و یا Excel ذخیره می کند (شکل ۳). این داده ها در ۶ ستون شامل تکرار، تاریخ، شماره مزرعه، شماره بلوک، عمق و فشار نشان داده می شوند. همچنین معادله کالیبراسیون لودسل در قسمت پایین جدول آمده است.

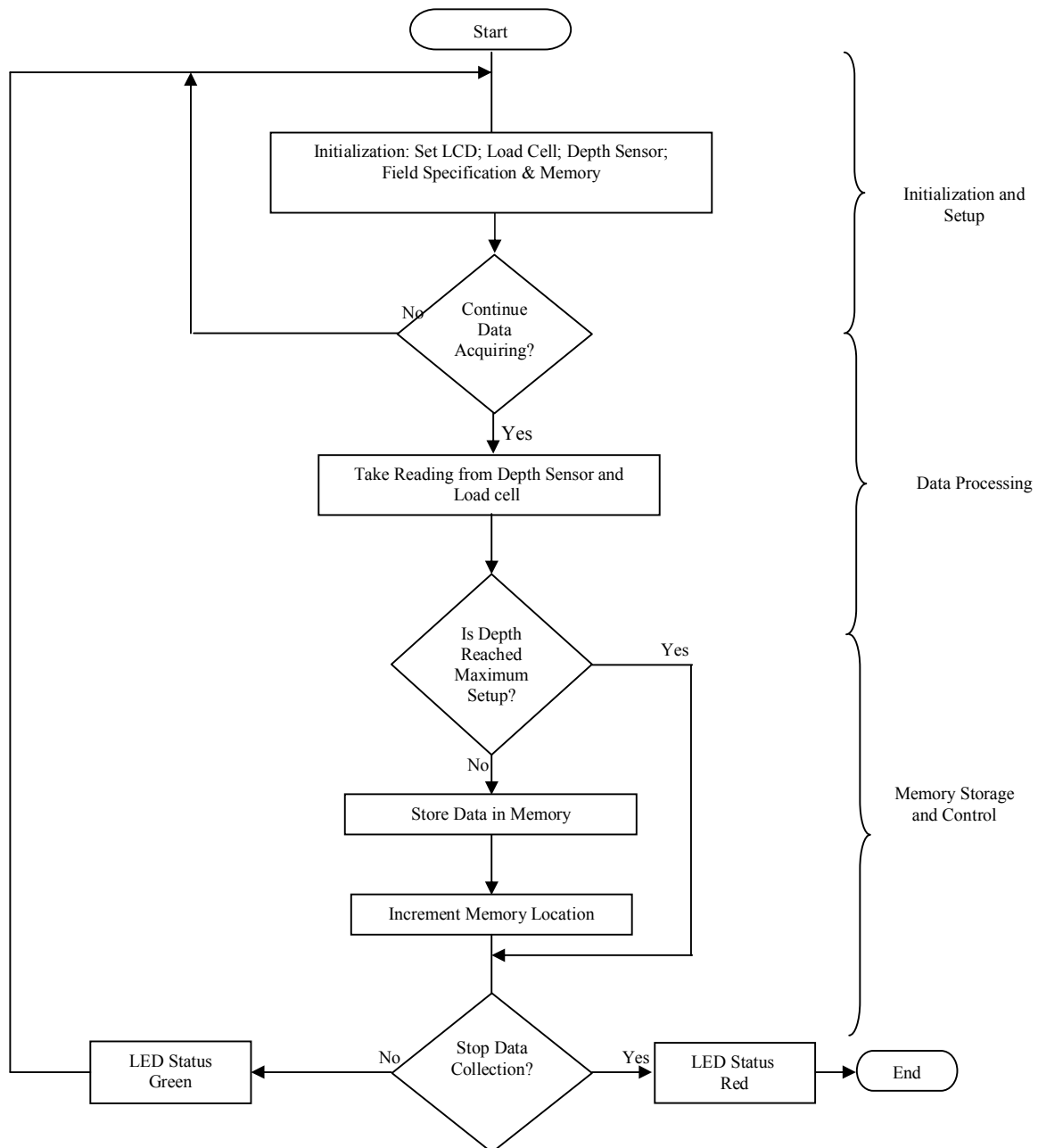


شکل ۳- ارسال داده ها توسط کابل سری RS232 و ایجاد پایگاه داده در کامپیوتر توسط برنامه PDR

### طرز کار سیستم

پس از روشن کردن سیستم تحصیل داده، ۴ گزینه OPTION, MEMORY, RUN, OFF بر روی LCD ظاهر می شود. با فشردن کلید مربوطه گزینه OPTION فعال شده که در این قسمت اطلاعاتی از قبیل تاریخ، شماره مزرعه، شماره بلوک، معادله کالیبراسیون لودسل به صورت  $AX+B$ ، عمق اندازه گیری (تعداد سوراخ های روی شاخص اندازه گیری و فاصله بین آنها)، ضریب تقویت آمپلی فایر و... از کاربر پرسیده می شود که پس از وارد کردن اطلاعات خواسته شده سیستم آماده داده برداری می باشد. هر کدام از این گزینه ها به صورت اختیاری بوده و در صورت لزوم کاربر می تواند آنها را تغییر دهد. با فشردن کلید RUN سیستم آماده برای دریافت داده از حسگر ها می باشد. در این هنگام کاربر با تحریک کردن سیستم هیدرولیک تراکتور مخروط را وارد خاک می کند. مکانیزم اندازه گیری عمق طوری طراحی شده که به محض رسیدن پایه مخروط به سطح خاک اولین پالس که معرف عمق صفر می باشد فرستاده می شود. در حین داده برداری مقادیر عمق و فشار بر روی صفحه نمایش داده می شود. زمانی که مخروط به عمق مورد نظر رسید، سیستم سوالی مبنی بر ذخیره کردن داده ها می پرسد که در صورت فشردن کلید YES داده ها در حافظه ذخیره می شوند. از آنجا که در برخی از اندازه گیری ها ممکن است مخروط به مانعی سخت برخورد کند، در اینصورت سیستم هیدرولیک دستگاه از پایین رفتن بیشتر مخروط جلو گیری کرده، لذا داده های این نقطه کاربردی نخواهد داشت، بنابراین در چنین شرایطی کلید EXIT را فشرده و سیستم آماده داده برداری از نقطه دیگر خواهد شد. حافظه سیستم قابلیت ذخیره ۳۰۰ اندازه گیری تا عمق ۶۰ سانتی متری را دارد. پس از اتمام داده برداری در مزرعه سیستم را در آزمایشگاه و با استفاده از کابل RS-232 به PC وصل کرده و با اجرای برنامه PDR، برنامه آماده دریافت داده های حافظه می باشد. در این حال با فشردن کلید MEMORY و پس از آن EXPORT داده ها وارد کامپیوتر می شوند. و هم به صورت فایل Excel و یا Access ذخیره می شوند، همچنین در قسمت MEMORY با فشردن دکمه READ می توان داده های ذخیره شده و فضای خالی موجود در حافظه را دید. همچنین در گزینه MEMORY انتخاب ERASE جهت پاک کردن داده ها تعبیه شده است. در مواقعی که داده برداری در مزرعه با تعداد بیش از ۳۰۰ نقطه انجام می شود می توان سیستم را به کامپیوتر کیفی وصل نموده و داده های آن را دریافت نمود.





شکل ۴- فلوجارت و نحوه کار سیستم تحصیل اطلاعات

## نتایج و بحث

## نتایج آزمون مزرعه ای

پس از آماده شدن دستگاه نفوذسنج واتصال آن به تراکتور جان دیر (John Deere 3140)، مجموعه سیستم به مزرعه منتقل شد. در مزرعه در یک قطعه زمین با خاک لومی رسی با رطوبت ۲۰٪ و در جهت شیب مزرعه که مسیر تردد های قبلی نیز در همان جهت بوده (مطابق با استاندارد (ASAE, EP542) [۳] ردیفی به طول ۲۰۰ m علامت گذاری شد. قبل از شروع آزمایش و در آزمایشگاه دستگاه نفوذسنج دستی تجاری مدل Eijkelkamp برنامه ریزی شد. در این دستگاه برای اندازه گیری نیرو از یک مبدل S شکل و برای اندازه گیری عمق از حسگر اولتراسونیک استفاده شده است.

در ابتدا با استفاده از دستگاه نفوذسنج دستی در ۳۶ نقطه به فاصله ۵۰ cm و تا عمق ۵۳ cm شاخص مخروطی اندازه گیری شد و داده های آن ذخیره گردید. در حین اندازه گیری با دستگاه دستی در کنار نقاط اندازه گیری شاخصی قرار داده شد تا در کنار آن نقاط و به فاصله ۳۰ cm (رضی) اندازه گیری با دستگاه پشت تراکتوری نیز انجام گیرد. به منظور اندازه گیری با دستگاه پشت تراکتوری، در 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 تراز شد (میله مخروط کاملاً عمودی). سپس زنجیر قابل تنظیم که به عنوان اتصال چهارم استفاده شده بود محکم شد تا از به هم خوردن حالت تراز در حین اندازه گیری جلوگیری شود. پس از آن سیستم تحصیل داده برنامه ریزی شد، به نحوی که داده های حاصل از اندازه گیری ۳۶ نقطه را تا عمق ۵۳ cm ذخیره کند. همچنین با استفاده از شیر کنترل دبی که قبلاً کالیبره شده بود، سرعت ۳ cm/s ب ای سرعت نفوذ انتخاب شد و با استفاده از شیر فشار شکن حداکثر فشار ۶ MPa تنظیم شد که با این فشار مقادیر شاخص مخروطی تا حدود ۶/۵ MPa قابل اندازه گیری است. پس از انجام تنظیمات کامل، اندازه گیری در نقاط مذکور انجام شد. پس از اتمام آزمایش مزرعه ای داده های ذخیره شده در دو دستگاه دستی و پشت تراکتوری به کامپیوتر منتقل شده و با استفاده از نرم افزار Excel-2003 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

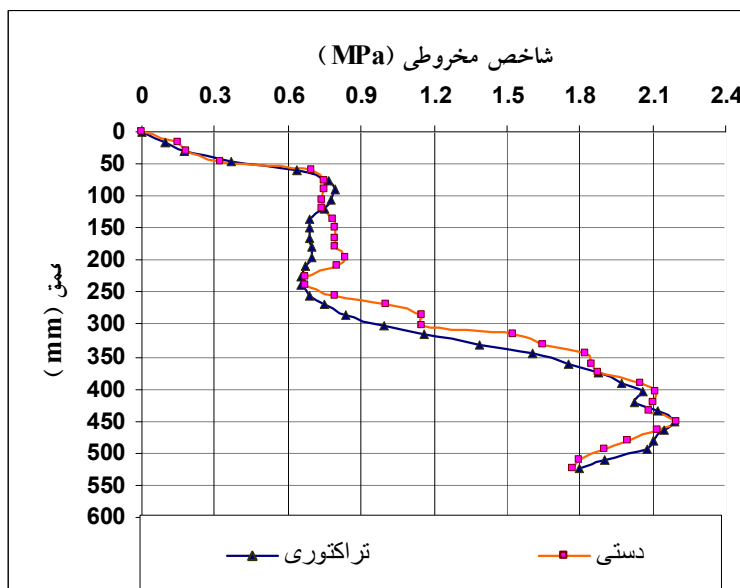
جدول شماره ۱- آزمون t مقایسه میانگین ها با واریانس برابر

موارد	نفوذسنج دستی	نفوذسنج تراکتوری
میانگین	1.209	1.147
واریانس	0.438	0.465
تعداد مشاهدات	36	36
درجه آزادی	70	
*F	0.955	
*T	1.67	

\* سطح احتمال ۵٪

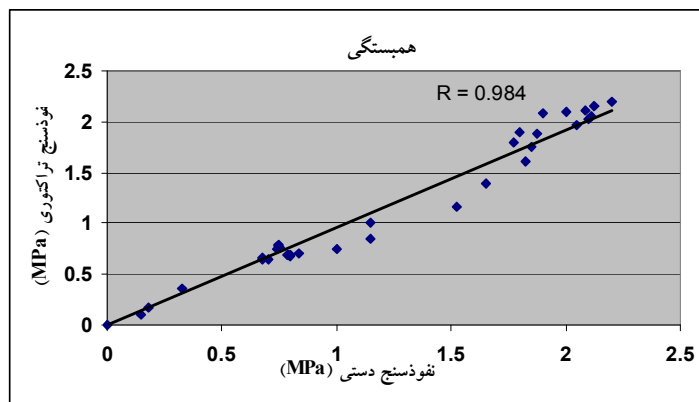
شکل شماره (۵) نمودار میانگین حاصل از این داده ها را نشان می دهد. مشاهده می شود که لایه فشرده خاک از عمق ۲۵ cm شروع شده و تا عمق ۴۵ cm فشردهگی آن بیشتر می شود. در جدول شماره (۱) مربوط به آزمون مقایسه میانگین t مشخص شد که بین داده های دو دستگاه در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی دار وجود نداشته است. قبل از 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 دستی ۱/۲۰۹ و با دستگاه پشت تراکتوری ۱/۱۴۷ مگاپاسکال می باشد. دلایل کمتر بودن شاخص مخروطی در دستگاه پشت تراکتوری عبارتند از: ۱- در موقع اندازه گیری با دستگاه دستی، در صورت برخورد کردن با یک لایه سخت نیروی ناگهانی بر روی دستگاه اعمال می شود که دستگاه را از حالت استاتیکی خارج می کند، ولی در دستگاه پشت تراکتوری از آنجا که حرکت مخروط در خاک کاملاً یکنواخت می باشد، حتی در برخورد با لایه های سخت این یکنواختی حفظ شده و شکل شماره (۶) نیز این پدیده را نشان می دهد. مشاهده می شود که نمودار حاصل از داده های دستگاه دستی دارای نوسانات ناگهانی می باشد در حالی که دستگاه پشت تراکتوری یکنواخت می باشد. ۲- از آنجا که ر دستگاه پشت تراکتوری از دو یاتاقان خطی برای جذب تنش های جانبی اعمال شده به میله مخروطی استفاده شده است، لذا مقداری از نیروی محوری میله مخروطی در اثر اصطکاک در این قسمت مستهلک شده که باعث انتقال نیروی کمتری به لودسل می شود.



شکل شماره ۵- نمودار شاخص مخروطی- عمق برای دو دستگاه دستی و پشت تراکتوری

شکل شماره (۶) همبستگی بین داده های دو دستگاه را نشان می دهد. ضریب همبستگی  $+0.984$  نشان دهنده همبستگی بالا بین داده های دو دستگاه می باشد.



شکل شماره ۶- همبستگی داده های دو دستگاه دستی و پشت تراکتوری



## نتیجه گیری

یکی از عوامل مهم در کاربرد نفوذسنج ها قابلیت نمایش و ذخیره داده های مربوط به فشردگی خاک با سرعت بالا و حجم زیاد به نحوی که به راحتی بعد از جمع آوری مورد پردازش قرار گیرد، می باشد. از آنجا که در مطالعات خاک ورزی و فشردگی خاک نیاز به داده برداری در نقاط زیاد در سطح مزرعه می باشد، به کارگیری سیستمی با حافظه زیاد و همچنین سرعت بالا به نحوی که کل مجموعه نفوذسنج و سیستم تحصیل داده توسط یک نفر که راننده تراکتور نیز می باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور یک سیستم تحصیل داده بر پایه میکروکنترلر AVR برای یک دستگاه نفوذسنج پشت تراکتوری طراحی و ساخته شد که قابلیت ذخیره داده های ۳۰۰ نقطه تا عمق ۶۰ سانتی متر را دارا می باشد. داده های ذخیره شده در حافظه این سیستم به راحتی قابل انتقال به کامپیوتر می باشد. نفوذسنج مذکور مورد آزمون و ارزیابی مزرعه ای قرار گرفت و اعتبار داده های آن در مقایسه با یک دستگاه تجاری تایید شد. همچنین سایر قسمت های مکانیکی، هیدرولیکی و الکترونیکی دستگاه دارای عملکرد مطلوبی بودند. سیستم تحصیل داده مذکور با شماره ۴۵۱۶۶ در اداره کل ثبت شرکت ها و مالکیت صنعتی ایران در تاریخ ۱۳۸۶/۱۰/۱۰ به ثبت رسید.



### مراجع

1. ASAE standards. ASAE Standard S313.3, 2006. Soil cone penetrometer. ASAE St. Joseph, MI 49805
2. Riethmuller, G.P., D.G. Batchelder and P.D. Bloome, 1983. A microcomputer system for cone index measurement. Transaction of the ASAE v(26): 996-999
3. ASAE standards. ASAE standard EP542 FEB99. 2006. Procedure for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. ASAE standard. ASAE St. Joseph, MI 49805
4. Jaksa, M. B and W. S. Kaggwa, 1994. A Micro-Computer Based Data Acquisition System for the Cone Penetration Test. Department of Civil and Environmental Engineering University of Adelaide. Research Report No. R 116
5. De Ruiter, J., 1971. Electric penetrometer for site investigations. J. Soil Mechanics & Foundations Div, ASCE, 97: 457-472
6. Prather, O.C., J.G. Henrich and R.L. Shafer, 1970. An electronic hand-operated recording penetrometer. Transaction of the ASAE, v(13): 385-386, 390
7. Wilford, J.R., O.B. Wooten and F.E. Fulgham, 1972. Tractor mounted field penetrometer. Transaction of the ASAE, v(15): 226-227
8. Smith, L.A and W.T. Dumas, 1978. A recording soil penetrometer. Transaction of the ASAE, v(21):12-14
9. Wells, L.G., Lewis, C.O., and Distler, R.J., 1981. Remote electronic acquisition of soil cone index measurement. Journal of Terramechanics. V(18): 201-207
10. Chi, L and S. Tessier, 1995. A portable micro-penetrometer for measuring seed row compaction. Soil & Tillage Research, v(34): 27-39
11. Boon, N.E., A. Yahya, A.F. Kheiralla, B.S. Wee and S.K. Gew, 2005. A tractor-mounted, automated soil penetrometer-shearometer unit for mapping soil mechanical properties. Biosystems Engineering, v(90): 381-396
12. Gohari, M and A. Hemmat, 2005. A tractor-mounted soil cone penetrometer for mapping spatial variability of soil strength. In: International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand.
13. Chaplin, J., M. Lueders and Y. Zhao, 1987. Three point hitch dynamometer design and calibration. Applied Engineering in Agriculture, v(3):10-13
14. Thomas, N.P and K.J. Shinnors, 1989. A portable instrumentation system for measuring draft and speed. Applied Engineering in Agriculture, v(5):133-137
15. McLaughine, N. B., L. C. Heslo, D. J. Buckley, G.R. St. Amour, B. Compton, A. Jones and A.M. Van, 1993. A general purpose tractor instrumentation and data logging system. Transaction of the ASAE, v(36): 265-273
16. Randy, R.P and T. Jeremy, 2003. Development of a frame to outomatically insert a hand-held penetrometer. ASAE Meeting Paper No. 031077. St.Joseph. Mich.





## Design of a Microcontroller-Based Data Acquisition System For Evaluation of a Tractor-Mounted Penetrometer

### Abstract

High soil strength has been shown by many researchers to be a significant soil physical property that reduces crop yields. A fast and yet accurate method of determining whether this problem exists in a particular soil is needed for tillage practice and for studies involving yield trails. A Microcontroller-Based Data Logging System (MBDLS) was designed and developed for collecting, monitoring, saving and processing penetration data with a tractor-mounted penetrometer. An AVR microcontroller was employed for this purpose. The software was developed with CODE VISION AVR and standard C language. To eliminate the errors in designing the system circuitry, the PROTUES software was utilized and for final print of optimized circuit, the PROTEL DXP-2004 was employed. The instrumentation is powered from the tractor's battery. Force and depth signals are generated by a cantilever beam strain-gage load cell and a photodiode sensor, respectively installed on the penetrometer unit and sent to the MBDLS. A serial RS-232 cable transfers the data to a PC. The system can save data related to 300 insertions to a depth of 60 cm in memory. Several field tests were conducted to evaluate the penetrometer. A commercial hand-pushed penetrometer was used to compare with the tractor-mounted penetrometer and no significant difference was found between the mean of cone index values measured by the two penetrometers. The system performance was found to be reliable and the mechanical, hydraulic and electronic parts worked without any malfunctions.

**Key words:** Data acquisition system, Microcontroller, Cone index, Strain gage