طراحی و ساخت دینامومتر اتصال سه نقطه[1]

رضا علیمردانی، ضرغام فاضل نیاری، اسداله اکرم و اصغر محمودی[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۲/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۲/۱۶

چکیده

برای مکانیزه کردن فعالیت‌های کشاورزی در کشورهای در حال توسعه، تراکتور منبع اصلی توان تلقی می‌شود. برای کاهش هزینه‌های تولید، شناخت و آگاهی از عملکرد وسائل پیچیده امروزی که جایگاه خاصی در کشاورزی و نقش مهمی در افزایش تولید محصول دارند ضروری است. یکی از فعالیت‌های کشاورزی که انرژی زیادی می‌طلبد، آماده کردن زمین و تهیهٔ بستر برای کشت است. در این تحقیق طرح و ساخت یک دستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه برای اندازه‌گیری و ثبت مؤلفه‌های نیروی کششی ارائه شد. این دینامومتر برای تراکتورهای گروه 0 و I طراحی و ساخته شده است که مجموعه شاسی به وزن ۴۹ کیلوگرم و به شکل U وارونه است تا امکان استفاده از محور توانده‌ی را فراهم سازد. دینامومتر فوق قادر به اندازه‌گیری نیروهای افقی و عمودی وارده به بازوهای اتصال سه نقطه تراکتور است. سیستم از سه قسمت شاسی، مبدل‌های حساس اندازه‌گیری نیرو، و سیستم تحصیل و ثبت داده تشکیل شده است. پس از کالیبره کردن مبدل‌های نیرو و نصب آنها روی شاسی، مجموعه سیستم در مزرعه با تراکتور و گاوآهن برگرداندار آزمایش شد. آزمون مزرعه‌ای نشان داد که دینامومتر به خوبی قادر به اندازه‌گیری و تجزیه نیروها روی بازوهای اتصال سه نقطه است و سیستم تحصیل داده علاوه بر ثبت لحظه‌ای داده‌ها می‌تواند داده‌ها را به صورت نمودار نمایش دهد یا جدول داده‌ها را در حافظه کامپیوتر ثبت کند.

واژه‌های کلیدی

اتصال سه نقطه، دیتالاگر، دینامومتر

۱- برگرفته از گزارش نهایی طرح ملی با عنوان «تدوین استاندارد مقاومت ویژه گاوآهن‌های اولیه و ثانویه برای انواع خاک‌های ایران»، شماره طرح ۳۱۳۰۵۲۹۳

۲- به ترتیب دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده بیوسیستم کشاورزی، دانشگاه تهران. نشانی: کرج، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده بیوسیستم کشاورزی، دانشگاه تهران. تلفن: ۰۲۶۱-۲۸۰۸۱۳۸، پیام نگار: rmardani@ut.ac.ir، کارشناس ارشد، استادیار و دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده بیوسیستم کشاورزی - دانشگاه تهران

مقدمه

نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی به عنوان منبع اصلی غذای جمعیت رو به رشد جهان، موجب شده است که کشاورزی به عنوان محور توسعه و استقلال کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گیرد. برای کاهش هزینه‌های تولید ضروری است شناخت و آگاهی کافی از عملکرد وسائل پیچیدهٔ امروزی داشته باشیم که جایگاه خاصی در کشاورزی و نیز نقش مهمی در افزایش تولید محصول دارند. تحقیقات نشان می‌دهد که مرحلهٔ آماده‌سازی زمین و تهیهٔ بستر بذر بیش از ۵۰ درصد انرژی لازم برای تولید محصول را به خود اختصاص داده است (Shafeii,1990). گریز از روش‌های سنتی به دلیل پرهزینه بودن و روی آوردن به روش‌های نوین خاک‌ورزی می‌طلبد که عوامل مؤثر در این روش‌ها مانند نیروی کششی، سرعت پیشروی، و سوخت مصرفی اندازه‌گیری شوند تا بتوان از دیدگاه مصرف انرژی مزیت یک روش نسبت را از بین روش‌های متفاوت تعیین کرد. نوع انرژی مصرفی تراکتور که عمدتاً از سوخت فسیلی تأمین می‌شود، متخصصان کشاورزی را بر آن داشته تا مطالعاتی را در زمینهٔ استفاده بهینه از انرژی خصوصاً در مورد عملیاتی همچون خاک‌ورزی انجام دهند که انرژی بر هستند.

آگاهی داشتن از میزان نیروی کشش ادوات خاک‌ورزی با تراکتور می‌تواند راهکاری مناسب برای رسیدن به توان مورد نیاز ادوات مذکور باشد (Alimardani, 2002). اندازه‌گیری این عامل، بخشی مهم از داده‌های ضروری برای تعیین عملکرد و کارآیی هر سیستم است. مدیران و مهندسان کشاورزی از اطلاعات حاصل از توان مالبندی که مبتنی بر نیروی کششی ادوات در انواع خاکهاست، قادر به توصیهٔ ادوات مختلف خاک‌ورزی متناسب با تراکتور موجود هستند. برای اندازه‌گیری توان مالبندی ادوات خاک‌ورزی از وسائلی به نام دینامومتر استفاده می‌شود. دینامومتر نوعی ابزار اندازه‌گیری است که توان لازم ادوات را با اندازه‌گیری نیروی کششی تعیین می‌کند. دینامومترهای مالبندی برای ادوات کششی و نوع اتصال سه نقطهٔ آنها برای ادوات سوار قابل استفاده هستند. دینامومترها در انواع مکانیکی، هیدرولیکی، و الکتریکی در دسترس هستند.

برابر گزارش‌های ارائه شده، سابقهٔ اندازه‌گیری نیرو بین تراکتور و ادوات کشاورزی به سدهٔ ۱۸۰۰ میلادی بر می‌گردد و از نیمهٔ دوم قرن نوزدهم، ساخت دینامومترهای الکتریکی گزارش شده است (Clyde, 1995). لال (Lal, 1959) در تحقیقی گزارش داد که برای داشتن تعریف کاملی از رابطهٔ نیرویی ادوات سوار، اندازه‌گیری نیرو روی بازوهای اتصال سه نقطه و رابط بازوها و موقعیت زاویه‌ای بازوی میانی لازم است. او با استفاده از حسگرهای کرنش‌سنج، دینامومتری الکتریکی طراحی کرد که می‌توانست نیروها را روی بازوها و رابط بازوهای پایینی با دقت ۵ ± درصد اندازه‌گیری کند.

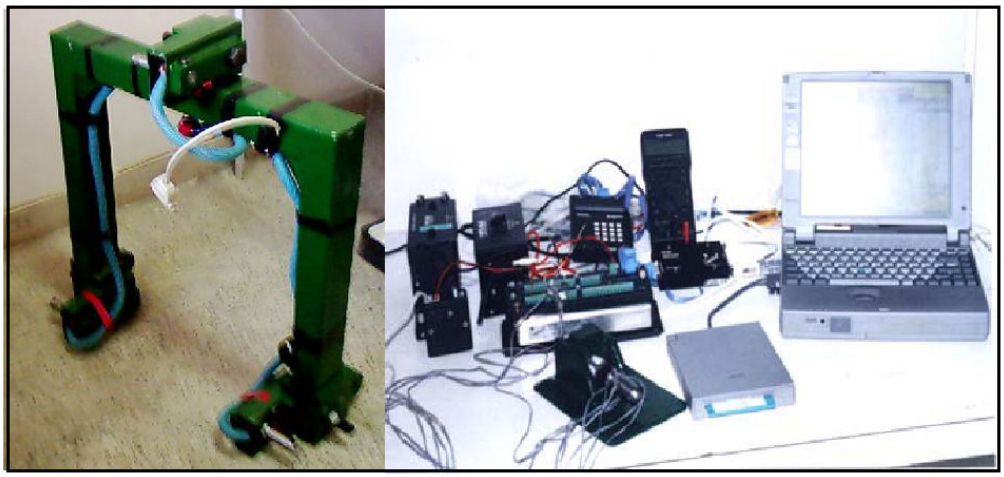
محققان با قرار دادن کرنش‌سنج در جهات مختلف روی عناصر ارتجاعی به عنوان پین‌های حساس، به جای بازوهای اتصال سه نقطه، تحولی در اندازه‌گیری نیرو با دینامومترهای الکتریکی ایجاد کردند. سادگی طرح و قرار نگرفتن حسگرها روی بازوها و رابط بازوها از مزایای این نوع دینامومترهاست. این دینامومترها که امروزه کاربرد زیادی دارند، شاسی‌دار هستند که شاسی دینامومتر

بین تراکتور و ادوات قرار می‌گیرد. شولتز (Shultz, 1996) دینامومتری شاسی‌دار با عناصر ارتجاعی L شکل طراحی کرد که کرنش‌سنج روی آن نصب می‌شدند. دینامومتر فوق نیروهای افقی و عمودی را اندازه می‌گیرد. شاسی طرح فوق حدود ۱۱۸ کیلوگرم وزن دارد و نقاط اتصال ادوات به تراکتور نزدیک به ۲۳ سانتی‌متر به عقب رانده می‌شود. پالمر (Palmer, 1992)، دینامومتری ساخت که قادر به تجزیهٔ نیروها و گشتاورهای بین تراکتور و ادوات به سه مؤلفه و نیز قابل نصب روی تراکتورهای گروه I و II است. اتصال این دینامومتر به شکل کوپلر اتصال سریع مطابق استاندارد ASAE است. شاسی از دو قسمت به شکل U وارونه تشکیل شده است. وزن دستگاه ۳۵۰ کیلوگرم و ظرفیت آن ۵۰ کیلونیوتن است. با استفاده از این دینامومتر، نقطهٔ اتصال ادوات به تراکتور حدود ۱۷ سانتی‌متر به عقب رانده می‌شود.

الجلیل و همکاران (Al-jalil *et al.*, 2001) دینامومتری را با سه بازوی کشویی و شاسی به شکل T وارونه ساختند. این آرایش امکان تنظیم شدن عرضی و عمودی شاسی دستگاه را به بازوهای اتصال سه نقطه می‌دهد. در انتهای هر بازو، یک تیر طره‌دار به شکل U وارونه قرار دارد. برای اندازه‌گیری نیروی کشش افقی، دو کرنش‌سنج روی هر تیر نصب می‌شود. از دو کرنش‌سنج غیر فعال نیز برای خنثی کردن دما و تکمیل پل وتستون استفاده خواهد شد. این دینامومتر با ظرفیت ۱۵ کیلونیوین و برای تراکتورهای گروه 0 و I قابل استفاده است. دینامومتر اتصال سه نقطه یک ابزار مهم تحقیقاتی و همواره مورد توجه مراکز تحقیقاتی است. در خارج از کشور، کمتر مرکز تحقیقاتی مهندسی کشاورزی را می‌توان یافت که آن را نداشته باشد. متأسفانه در مراکز تحقیقاتی کشور ما چنین ابزاری (دینامومتر اتصال سه نقطه) در اختیار محققان یعنی پیشگامان توسعهٔ فنون مهندسی و فعال در علوم کاربردی نیست. خرید این وسیله به صورت تجاری ممکن نیست ولی می‌توان آن را با هزینهٔ گزاف به صورت سفارش خاص تهیه کرد. از این رو در این تحقیق نسبت به طراحی و ساخت یک دستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه اقدام شد. پارامترهای طراحی لحاظ شده در این طرح شامل اتصال سریع، امکان استفادهٔ همزمان از محور تواندهی، سازگاری با تراکتورهای گروه 0 و I، سبک بودن شاسی برای اتصال راحت‌تر، و اندازه‌گیری مؤلفه‌های افقی و عمودی نیروی کششی است.

مواد و روش‌ها

دینامومترهای اتصال سه نقطهٔ شاسی‌دار انعطاف‌پذیری بیشتری دارند یعنی استفاده از آنها به یک نوع تراکتور محدود نیست؛ از این رو در این تحقیق، اقدام به طراحی و ساخت دینامومتری از نوع شاسی‌دار گردید. در طرح مزبور اجزای دینامومتر شامل قاب اصلی (شاسی)، مبدل‌های اندازه‌گیری نیرو و عضوهای رابط است و سیستم تحصیل داده را یک دستگاه کامپیوتر کیفی (Toshiba Notebook)، دیتالاگر (CR10X)، منبع تغذیه (PS12E) و کابل رابط (SC32A) دیتالاگر (Anon, 2000) تشکیل می‌دهد (شکل شمارهٔ ۱).

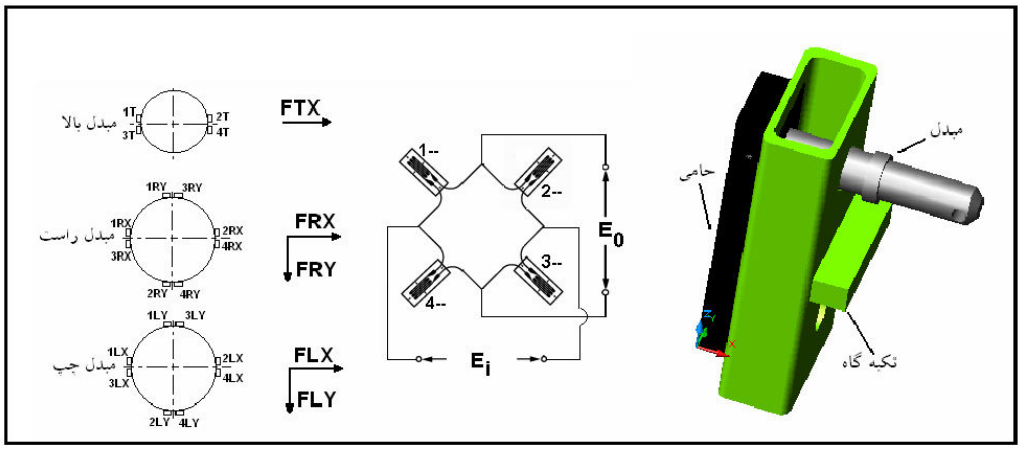


شکل شمارهٔ ۱- دینامومتر و سیستم تحصیل داده

- ساخت دینامومتر

دینامومتر طراحی شده برای اهداف تحقیقاتی مانند اندازه‌گیری مقاومت کشش ویژهٔ ادوات خاک‌ورزی ساخته شده است. این دینامومتر برای نصب روی تراکتور میتسوبیشی دو چرخ محرک (MT-250D) به وزن ۱۲۰۰ کیلوگرم و توان ۲۵ کیلووات مورد نظر است. دلیل انتخاب این تراکتور، تحقیقاتی بودن دینامومتر و سیستم ابزار دقیق آن است که برای اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر در کارآیی تراکتور برای طرح تحقیقاتی دیگر نصب شده است. نکتهٔ دیگر این است که هدف از ساخت این دینامومتر اندازه‌گیری مقاومت کشش ویژهٔ ادوات خاک‌ورزی تک‌خیش یا تک‌شاخه است. محاسبات مربوط به شاسی دینامومتر بر اساس ملاحظات تراکتور مذکور و حداکثر نیروی افقی انجام شده است. گادوین و رنولدز (Godwin & Reynolds, 1993) در تحقیقی گزارش دادند که می‌توان حداکثر نیرویی را که بازوهای پایینی تراکتوری تحمل می‌کنند معادل با ۰/۷۵ وزن کل تراکتور در نظر گرفت. با فرض مذکور، حداکثر نیروی افقی اعمال شده ۹ کیلونیوتن در نظر گرفته شد که با احتساب ضریب اطمینان ۱/۵، محاسبات بر اساس ۱۳/۵ کیلونیوتن صورت گرفت. این نیرو برای هر یک از بازوهای پایینی ۶/۷۵ کیلونیوتن فرض شد. برای محاسبهٔ بیشینه نیروی وارده به بازوی میانی بر اساس دیاگرام جسم آزاد یک نمونه گاوآهن برگرداندار، مقدار بیشینه نیروی وارده به بازوی میانی برای گاوآهن استفاده شده با همان ضریب اطمینان برابر ۴/۵ کیلونیوتن به دست آمد. برآیند نیروهای وارده از طرف تراکتور که همان نیروی کششی P است در نقاط اتصال سه نقطه روی بازوهای پایینی به مؤلفه‌های افقی (Fx)، عمودی (Fy)، و جانبی (Fs) و روی بازوی میانی به Fx و Fy تجزیه می‌شود. با توجه به کم اهمیت بودن نیروی جانبی (Fs)، در مقایسه با دیگر مؤلفه‌های نیروی کششی، از اندازه‌گیری نیروی جانبی صرف نظر و در بازوی میانی فقط به اندازه‌گیری نیروی افقی بسنده شد (شکل شمارهٔ ۲).

یادآور می‌شود که حذف هر یک از مؤلفه‌های فوق اثری روی دیگر مؤلفه‌ها ندارد به دلیل اینکه مبدل‌ها به نحوی روی قاب دینامومتر نصب شده‌اند که مؤلفه‌های نیرو را فقط در راستای همان جهت نیرو اندازه‌گیری می‌کنند. چنانچه هدف نیروی کششی P باشد، در این با صورت حذف هر یک از مؤلفه‌ها، نیروی P قابل محاسبه نخواهد بود.



شکل شمارهٔ ۲- نمونهٔ عضو رابط با مبدل و آرایش کرنش‌سنج‌ها

شاسی: شاسی به شکل U وارونه طراحی شد تا امکان استفاده از محور توانده‌ی وجود داشته باشد. از آنجا که این دینامومتر برای تراکتورهای سبک طراحی شده است سعی شد وزن شاسی تا آنجا که ممکن است سبک باشد. لذا به جای قلاب اتصال سریع از طرح گوش فیل معمول استفاده شد تا دینامومتر قابلیت اندازه‌گیری ضربه‌ها و بارهای دینامیکی را نیز داشته باشد. همچنین طرح شاسی به گونه‌ای است که می‌توان از آن در مخزن خاک استفاده کرد. با در نظر گرفتن فواصل نقاط اتصال بازوها، ابعاد شاسی یعنی ارتفاع و عرض به ترتیب ٦٢ و ٦٤ سانتی‌متر انتخاب شد. شاسی از یک طرف به وسیله مبدل‌های نیروی طراحی شده به تراکتور و از طرف دیگر توسط گوش‌فیل‌ها به گاوآهن وصل می‌شود. با توجه به تجزیهٔ نیروهای وارده مقطع شاسی تحت نیروهای خمشی و پیچشی قرار می‌گیرد (Fazel Niari, 2002). با محاسبات انجام شده شاسی از پروفیل ST37-2 با مقطع ٤ × ٨ سانتی‌متر و ضخامت ٤ میلی‌متر استفاده شد. برای اطمینان از تغییر نکردن شکل شاسی به هنگام بیش باری، با استفاده از تسمه به ضخامت ٨ میلی‌متر قسمت داخلی و گوشه‌های شاسی تقویت شد و وزن شاسی به ٣٧ کیلوگرم رسید.

مبدل نیرو: مبدل نیرو وسیله‌ای است که کمیت مکانیکی را به الکتریکی تبدیل می‌کند. دو مبدل نیروی استفاده شده در این طرح یکی برای اندازه‌گیری نیروها روی بازوهای پایینی و دیگری برای اندازه‌گیری نیرو روی بازوی میانی است.

مبدل از دو قسمت: عنصر ارتجاعی(پین حساس) و پل ویتستون با ساختار چهار کرنش‌سنج تشکیل شده است. این ساختار علاوه بر بالا بردن حساسیت مبدل، خنثی‌کنندهٔ تغییرات دما نیز هست. در طراحی مبدل نیرو باید در نظر داشت که کرنش ناشی از اِعمال نیرو به عنصر ارتجاعی نباید از کرنش مجاز کرنش‌سنج بیشتر باشد. معادلات مربوط به محاسبات کرنش عنصر ارتجاعی به این شرح است (Fazel niari , 2002):

$$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_s + \varepsilon_P = \frac{F_s}{AE} + \frac{MC}{IE} \qquad (۱)$$

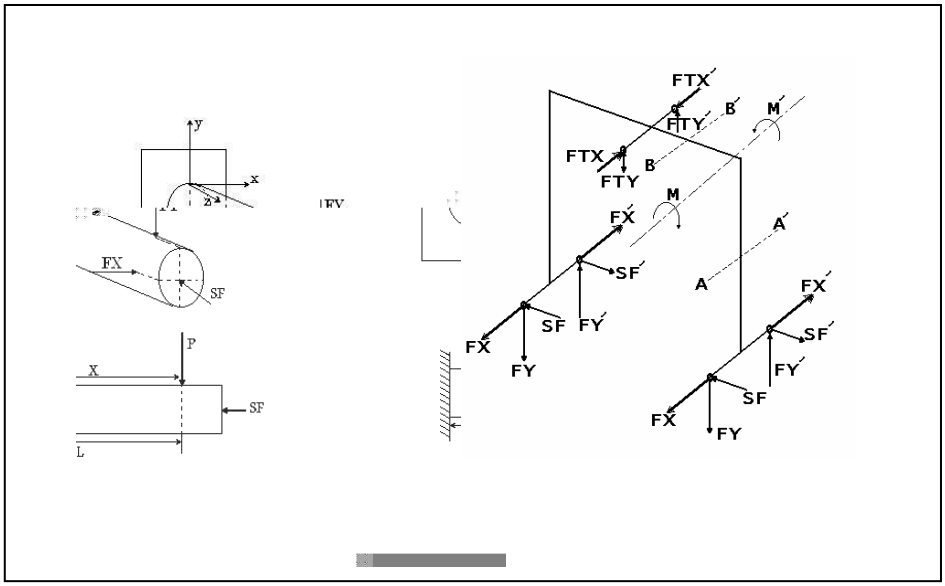
که در آن، $\varepsilon_p, \varepsilon_s$ = به ترتیب کرنش‌های جانبی و عمودی؛ F_s = نیروی جانبی؛ A = سطح مقطع عنصر ارتجاعی؛ M = گشتاور خمشی ناشی از نیروی عمودی؛ و C و I = شعاع و ممان اینرسی مقطع عنصر ارتجاعی هستند و ε_{Total} = کرنش بیشینهٔ حاصل از نیروهای عمودی و جانبی است که به عنوان معیار طراحی عنصر ارتجاعی استفاده شد. یادآور می‌شود که کرنش حاصل از ترکیب نیروهای عمودی و جانبی به مراتب کمتر از ε_{Total} است. برای تعیین کرنش مجاز کرنش‌سنج‌ها که روی عنصر ارتجاعی نصب شدند از رابطهٔ زیر استفاده شد.

$$\varepsilon_{SG} = (\Delta R / R) S_g \qquad (۲)$$

که در آن، ε_{SG} = کرنش حاصل از تغییر مقاومت کرنش سنج؛ ΔR = تغییرات مقاومت؛ S_g ضریب حساسیت؛ و R = مقاومت کرنش‌سنج است. در این مرحله، یک برنامه کامپیوتری در محیط ویژوآل بیسیک نوشته شد و مقادیر مشخص شده برای طراحی عنصر ارتجاعی (نیروهای وارده، طول، قطر، و جنس) به عنوان داده‌های ورودی به برنامه داده شد و سپس مقدار کرنش کل عنصر ارتجاعی ε_{Total} محاسبه گردید. از رابطهٔ شمارهٔ ۲ برای کرنش‌سنج انتخاب شده مقدار ε_{SG} نیز محاسبه می‌شود و کمتر بودن ε_{Total} از کرنش مجاز ε_{SG} نشان دهندهٔ این است که مقادیر طول مؤثر و قطر عنصر ارتجاعی مناسب انتخاب شده‌اند. برنامهٔ کامپیوتری به صورت آزمون و خطا اجرا شد و دو عنصر ارتجاعی با قطر ۲٤ میلی‌متر برای بازوهای پایینی و عنصر دیگر با قطر ۲۰ میلی‌متر برای بازوی میانی به دست آمد. از کاتالوگ ارسالی از طرف شرکت TML ژاپن، کرنش‌سنج‌ها با مقاومت ۱۲۰ اهم و $\Delta R = ۰/۳$ از سری FLA-3-11-1L انتخاب شدند (Anon, 2003). جهت اطمینان از صحت کرنش-سنج‌ها، ε_{SG} از رابطهٔ شمارهٔ ۲ محاسبه و با توجه به اینکه $\varepsilon_{SG} > \varepsilon_{Total}$ است، مشخص شد که انتخاب صحیح بوده است. پس از تهیهٔ کرنش‌سنج‌ها و ساخت عناصر ارتجاعی، براساس دستورالعمل نحوهٔ نصب کرنش‌سنج، اقدام به ساخت مبدل شد و روی عنصر ارتجاعی بازوی میانی تعداد ٤ کرنش‌سنج (یک پل ویتستون) و روی عناصر ارتجاعی هر یک از بازوهای پایینی دو پل ویتستون

و روی هر پل ٤ کرنش‌سنج نصب شد که در مجموع از ۲۰ کرنش‌سنج برای سه مبدل استفاده شد (شکل شمارهٔ ۲).

عضو رابط: عضو رابط متشکل از سه قسمت: حامی، قاب (ساخته شده از پروفیل ۸۰×٤۰ میلی‌متر با ضخامت ۸/۳ میلی‌متر)، و تکیه‌گاه است (شکل شمارهٔ ۲). مبدل‌ها ابتدا روی عضوهای رابط قرار داده شدند، سپس عضوهای رابط با پیچ و مهره به شاسی اصلی دینامومتر وصل شدند. سه عضو رابط برای دینامومتر یکی برای بازوی میانی و دو تا برای بازوهای پایینی در نظر گرفته شدند. عضو رابط علاوه بر ارتباط بین مبدل‌ها و بازوهای اتصال سه نقطهٔ تراکتور، به دلیل قرار گرفتن کرنش‌سنج‌ها داخل قاب عضو رابط از صدمه رسیدن به کرنش‌سنج‌ها جلوگیری می‌کند. لذا وزن دینامومتر شامل شاسی، مبدل‌ها، و عضوهای رابط در مجموع برابر ٤۹ کیلوگرم شد.



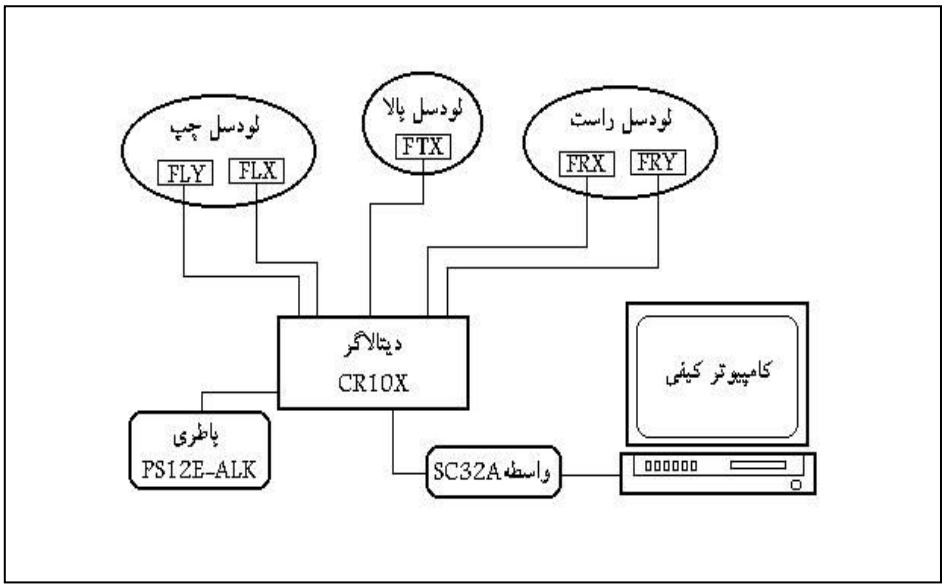
(ب) (الف)

شکل شمارهٔ ۳- (الف) وضعیت نیروها روی دینامومتر (ب) اثر مؤلفه‌های نیرو روی عنصر ارتجاعی

- سیستم تحصیل داده

سیستم تحصیل داده (Data Acquisition System) متشکل از یک دیتالاگر قابل برنامه‌ریزی (مدل CR10X) با ۸ کانال تغییرات ولتاژ و ٤ کانال تغییرات پالس به همراه یک رابط واسطه (SC32A) با کابل سریال RS-232 ساخت شرکت Campbell در امریکا (Anon, 2000) و یک کامپیوتر کیفی برای پردازش و مانیتورینگ سیستم است. شکل شمارهٔ ٤ ارتباط بین سخت‌افزارهای سیستم را نشان می‌دهد. ارتباط

بین ورودی مبدل‌ها و دیتالاگر از طریق نرم‌افزار (PC208-W3.3) برقرار می‌شود که به همراه دیتالاگر ارائه شده است. از نرم‌افزار مذکور برای برنامه‌نویسی دیتالاگر توسط کامپیوتر وصل شده به دیتالاگر استفاده شد. برنامه ارتباط بین مبدل‌ها و دیتالاگر و همچنین پردازش داده‌ها با کدهای اختصاصی شرکت سازنده دیتالاگر (CSI) نوشته شد. پس از اجرای برنامه، دیتالاگر قادر به دریافت سیگنال‌های ارسالی از مبدل‌هاست و خروجی به صورت متن یا گرافیک روی صفحهٔ کامپیوتر قابل مشاهده است و در دیتالاگر و کامپیوتر ثبت می‌شود.



شکل شمارهٔ ۴- ارتباط سخت افزاری مجموعه سیستم

- کالیبره کردن مبدل‌ها

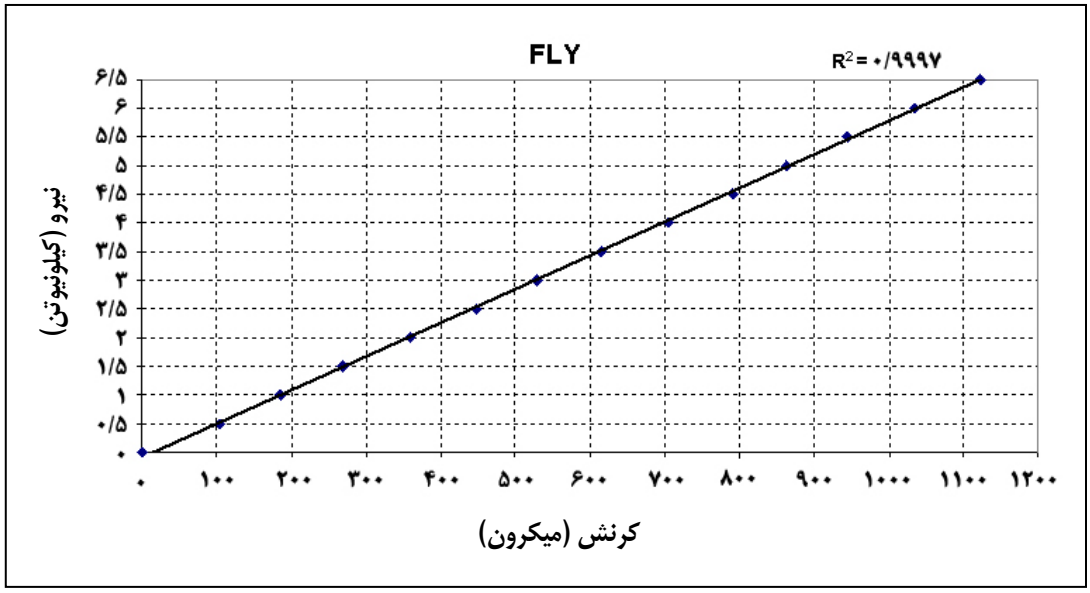
مبدل‌ها باید کالیبره شوند تا پارامترهایی چون حساسیت، میزان پسماند[1]، قابلیت تکرارپذیری، و ضرایب کالیبراسیون تعیین شود. بدین منظور مبدل‌ها جداگانه در آزمایشگاه مقاومت مصالح با دستگاه کشش (Amsler) کالیبره شدند. ابتدا پایه‌ای برای قرار گرفتن مبدل بین دوفک دستگاه ساخته شد به طوری که شرایط اعمال نیرو روی دینامومتر را وقتی که به تراکتور و گاوآهن وصل می‌شود شبیه‌سازی کند. برای هر کدام از مبدل‌ها، بسته به حداکثر بار مجاز، مراحل کالیبراسیون انجام شد. هر مبدل جداگانه بین دوفک دستگاه قرار داده شد و نیرو به صورت پله‌ای از صفر تا حداکثر نیروی مجاز با افزایش ۵۰۰ کیلونیوتن در هر مرحله توسط دستگاه کشش به مبدل اعمال شد (برای مبدل‌های بازوهای پایینی ٦۵۰۰ کیلونیوتن و بازو میانی ٤۵۰۰ کیلونیوتن). تغییرات کرنش مبدل‌ها با دستگاه کرنش‌نما ثبت شد. کرنش ثبت شده در ضریب حساسیت کرنش‌سنج ضرب شد تا تغییرات مقاومت $\Delta R/R$ به دست آید (معادلهٔ شمارهٔ ۲). یادآور

1- Hysteresis

می‌شود که پس از رسیدن نیرو به حداکثر مقدار مجاز، برای تعیین میزان پسماند مبدل‌ها، نیروی وارده بین دو فک دستگاه به صورت پله‌ای ۵۰۰ کیلو نیوتن کاهش داده شد و کرنش حاصل مجدداً ثبت گردید. سپس از رابطهٔ زیر نسبت $E_o \times ۱۰۰۰ / E_i$ به دست آمد (عدد ۱۰۰۰ برای تبدیل ولت به میلی‌ولت):

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{r}{(1+r)^2} \sum \frac{\Delta R}{R} \qquad (۳)$$

نمونه‌ای از منحنی کالیبراسیون برای بازوی سمت چپ در شکل شمارهٔ ۵ نشان داده شده است. پس از انجام شدن مراحل رگرسیون، ضریب تبیین(R-Square) بین نیروی وارده و نسبت $E_o \times ۱۰۰۰ / E_i$ برای بازوهای اتصال سه نقطه در جهت افقی و عمودی در جدول شمارهٔ ۱ آمده است. ضریب تبیین بالای ۰/۹۹۹ نشان دهندهٔ رابطهٔ خطی خیلی خوب بین نیرو و نسبت ولتاژ است. میزان پسماند حاصل از کالیبراسیون انجام شده بسیار ناچیز بود به طوری که پسماند ثبت شده برای کرنش هر سه مبدل به طور متوسط حدود ۱۰ میکرون به دست آمد. مبدل‌ها نیز از حساسیت بالایی داشتند که به طور متوسط میزان آن ۳/۷۵ میلی‌ولت بر هر کیلونیوتن بود. آزمون عملکرد مبدل‌ها برای تکرار پذیری نیز اجرا و هر مرحله آزمایش سه بار تکرار شد و اختلاف ناچیزی در نتایج وجود داشت.



شکل شمارهٔ ۵- منحنی کالیبراسیون بازوی سمت چپ

جدول شمارهٔ ۱- ضرایب تبیین نیرو و نسبت ولتاژ برای بازوهای اتصال سه نقطه

وضعیت بازو	نیروی افقی	نیروی عمودی
میانی	۰/۹۹۹۵	-
سمت راست	۰/۹۹۹۱	۰/۹۹۹۰
سمت چپ	۰/۹۹۹٤	۰/۹۹۹۷

- برنامه‌نویسی دیتالاگر

از نرم‌افزار PC-208 W3.3 که مخصوص برنامه‌نویسی دیتالاگر است برای وارد کردن ضرایب کالیبراسیون و آماده‌سازی دیتالاگر برای داده برداری استفاده شد. ابتدا سیم‌های خروجی مبدل‌ها به کانال‌های ورودی دیتالاگر وصل شدند و ارتباط دیتالاگر از طریق کابل رابط SC32A به کامپیوتر برقرار شد. در نرم‌افزار PC-208 W3.3 برای هر مبدل ضرایب کالیبراسیون وارد شد. با عملیات ریاضی مورد لزوم ولتاژ خروجی پل ویتستون برای هر مبدل به ولتاژ ورودی پل تقسیم و نتیجه در عدد ۱۰۰۰ ضرب شد. حال با استفاده از رابطهٔ زیر ضرایب کالیبراسیون (S) و انحراف از صفر (C) برای هر مؤلفه نیرو وارد شد تا خروجی ثبت شده در دیتالاگر نیروی محاسبه شده (F) باشد، (مقادیر S و C برای محاسبه F از منحنی‌های رگرسیون به دست آمد):

$$F = C + S\,(E_o \times ۱۰۰۰/E_i) \qquad (٤)$$

نرم‌افزار دیتالاگر قابلیت نمایش نمودار نیروها و همچنین ضبط نیروها را نسبت به زمان تعیین شده برای داده برداری و همچنین جمع یا معدل‌گیری نیروها را برای زمان دلخواه فراهم می‌کند.

نتایج و بحث

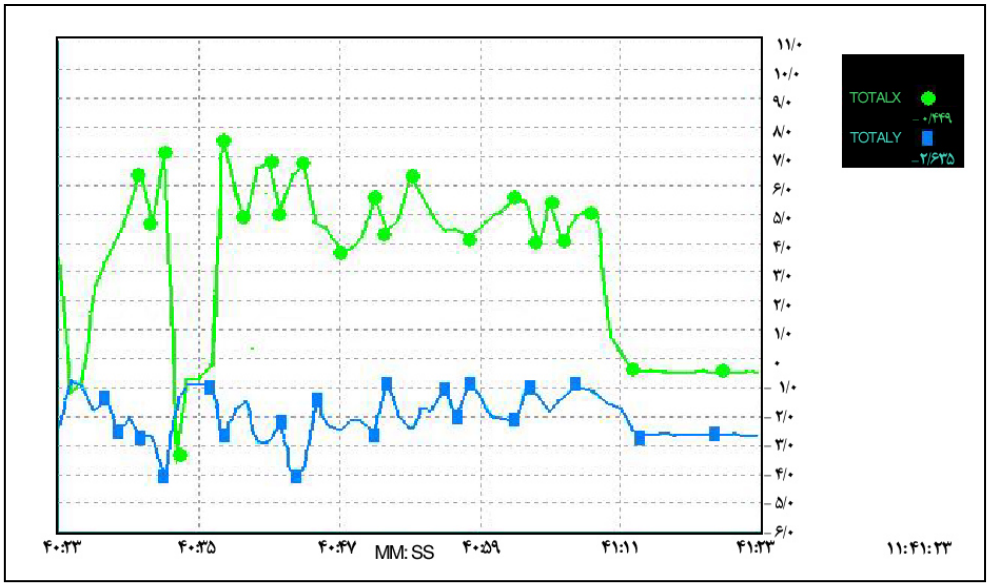
در دینامومتر طراحی شده، برای اندازه‌گیری نیروها در محل اتصال سه نقطه تراکتور، ابتدا مبدل‌ها که در واقع اندازه‌گیری نیروها را انجام می‌دهند جداگانه کالیبره شدند. پس از کالیبره کردن مبدل‌ها، ضرایب کالیبراسیون به دست آمده برای تبدیل تغییرات ولتاژ به نیرو استفاده شد تا دستگاه در مزرعه با شرایط واقعی آزمایش شود.

- آزمون مزرعه‌ای

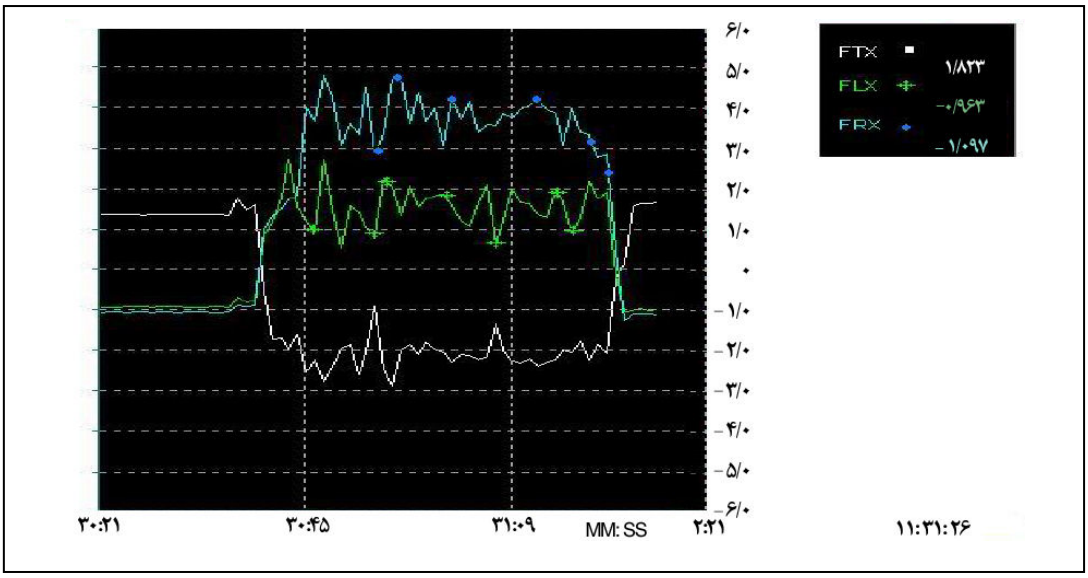
پس از آماده شدن دینامومتر و سیستم تحصیل داده، مجموعهٔ سیستم برای ارزیابی به مزرعه منتقل شد. در مزرعه از یک گاوآهن تک‌خیش و تراکتور میتسوبیشی مدل MT-250D استفاده شد (شکل شمارهٔ ٦). دینامومتر بین تراکتور و گاوآهن وصل و دیتالاگر و کامپیوتر هم در جایگاهی کنار راننده قرار داده شد. آزمایش‌ها در مزرعه به طول ۳٦ متر برای چهار تکرار با سرعت متوسط ۲/۲ کیلومتر در ساعت انجام شد (سرعت متوسط تراکتور با ثبت

زمان برای طی مسافت ۳۶ متر به دست آمد). قبل از آزمایش، ابتدا دینامومتر به صورت قائم نسبت به سطح زمین تنظیم و زاویهٔ بازوی میانی اندازه‌گیری و وارد دیتالاگر شد تا مؤلفه نیروی افقی بازوی میانی نیز قابل محاسبه باشد. این کار برای بازوهای پایینی لازم نبود زیرا با سطح زمین موازی بودند. پس از تنظیم گاوآهن در عمق ۲۴ سانتی‌متر و با زدن دکمه اجرای برنامه و حرکت تراکتور، داده‌برداری آغاز گردید. نتایج اندازه‌گیری مجموع نیروهای افقی و عمودی جداگانه روی نمودار در شکل شمارهٔ ۷ نشان داده شده است. همچنین وضعیت نیروها به طور جداگانه برای بازوی میانی و بازوهای پایینی نیز ثبت شد تا نیروها روی هر بازو نیز مشخص شوند (شکل شمارهٔ ۸).

شکل شمارهٔ ۶- آزمون مزرعه‌ای دینامومتر



شکل شمارهٔ ۷- مجموع نیروهای افقی (منحنی بالایی) و نیروهای عمودی (منحنی پایینی) دینامومتر در آزمون مزرعه‌ای



شکل شمارهٔ ۸- وضعیت نمودار نیرویی بازوها به طور جداگانه: بازوی سمت راست (منحنی بالا)، بازوی سمت چپ (منحنی وسط)، و بازوی میانی (منحنی پایین)

شکل‌های شمارهٔ ۷ و ۸ نشان می‌دهند که نیروهای ثبت شده روی بازوی پایینی مثبت و در بازوی میانی منفی و تائیدکننده این واقعیت است که همواره هنگام شخم بازوهای پایینی در کشش و بازوی میانی در فشار است. در بازوهای پایینی ممکن است نیروها به طور مساوی تقسیم نشوند و دلیل آن یک طرفه کارکردن گاوآهن است. همان طور که در شکل شمارهٔ ۸ مشاهده می‌شود، گاوآهن برگرداندار به دلیل عکس‌العمل خاک روی خیش گشتاوری در جهت عقربهٔ ساعت (صفحه برگردان راست ریز) ایجاد کرده که باعث افزایش نیرو روی بازوی سمت راست شده است. دلیل نوسان در داده‌های ثبت شده در شکل‌های شمارهٔ ۷ و ۸ را می‌توان این طور توجیه کرد که بیش از ۲۰ داده‌برداری در مدت یک دقیقه انجام شده است (البته تغییرات جزئی در مقاومت کششی ناشی از شکست خاک است). تصاویر ضبط شده گرافیکی این شکل‌ها داده‌برداری را برای فریم یک دقیقه‌ای نشان می‌دهد، ولی سیستم تحصیل داده‌ها قادر است با معدل‌گیری در مدت زمان بیشتر نمودارهایی را با نوسانات کمتر نشان دهد.

به منظور بررسی و تائید مقادیر اندازه‌گیری شده با دینامومتر از طریق روابط موجود در استاندارد ASAE از معادله شمارهٔ ۵ برای محاسبه مقاومت کششی استفاده شد. پارامترهای وسیله و خاک در مزرعه مشخص و استفاده شد (Anon, 1998).

$$D = F_i[A + B(S) + C(S^2)]WT \qquad (۵)$$

که در آن، D= مقاومت کشش افقی؛ F_i = پارامتر بافت خاک (بافت خاک در محل آزمایش لومی رسی، F_2 =۰/۷)؛ A، B و C= مقادیر ویژه وسیله (برای گاوآهن برگرداندار A=٦٥٢، B=۰ و C=٥/١)؛ S= سرعت پیشروی؛ T = عرض؛ W = عمق کار وسیله است. در سرعت ۲/۲ کیلومتر در ساعت و در عمق ٢٤ سانتی‌متری و عرض کار یک خیش (٣٤سانتی‌متر)، مقدار D برابر ٤ کیلو نیوتن به دست آمد. با توجه به تغییرات ٤٠ ± درصدی گزارش شده در استاندارد ASAE، مقدار D محاسبه شده عددی بین ٢/٦ و ٥/٦ کیلونیوتن است. متوسط نیروی افقی اندازه‌گیری شده در آزمون مزرعه‌ای، ٤/٢ کیلونیوتن (معدل ۲۰ عدد استخراج شده از فایل داده‌های ضبط شدهٔ شکل شمارهٔ ۷) به دست آمد که به عدد ٤ کیلونیوتن نزدیک و از همخوانی بالایی برخوردار است. خطای مقدار D محاسبه و اندازه‌گیری شده ٥ ± درصد است. البته می‌توان انتظار داشت که با معدل‌گیری داده‌های اندازه‌گیری شده در مدت زمان بیشتر، خطا کاهش یابد.

نتیجه‌گیری

توان کششی یا مالبندی تراکتور به این دلیل مورد توجه استفاده کنندگان و محققان است که این وسیله بیشتر برای کشیدن ادوات به کار می‌رود. اکثر ادوات امروزی به سه نقطه اتصال تراکتور وصل می‌شوند که ادوات سوار تلقی می‌شوند. اندازه‌گیری نیروی لازم برای کشیدن ادوات از دیرباز مورد توجه بوده است. ضرورت آگاهی داشتن از نیروی بین ادوات سوار و تراکتور، نیاز به دینامومتر اتصال سه نقطه را توجیه می‌کند. در این تحقیق، یک دستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه طراحی و ساخته شد که ویژگی‌های آن از این قرار است: وزن کل آن ٤٩ کیلوگرم، دارای حساسیت و استحکام بالا، با قابلیت اندازه‌گیری ٥ مؤلفه نیرویی به طور همزمان (شکل‌های شمارهٔ ۷ و ۸)، خنثی‌کنندهٔ تغییرات دما (استفاده از پل کامل ویتستون)، و قابل استفاده با تراکتورهای گروه 0 و I. استحکام شاسی در مزرعه قبل از نصب مبدل‌ها برای یک گاوآهن برگرداندار تک خیش در عمق ۳۰ سانتی‌متر مورد تائید واقع شد. قابلیت تکرارپذیری خوب دینامومتر و پسماند ناچیز از موارد دیگر کارکرد مناسب دستگاه است. آزمون مزرعه‌ای نیز نشان داد که دینامومتر به خوبی قادر به اندازه‌گیری و تجزیهٔ نیروها روی بازوهای اتصال سه نقطه است و سیستم تحصیل داده علاوه بر ثبت لحظه‌ای داده‌ها قادر است داده‌ها را به صورت نمودار نمایش دهد یا جدول داده‌ها را در حافظه کامپیوتر ثبت کند. آزمون مزرعه‌ای با ادواتی مثل گاوآهن چیزل، زیرشکن، یا خاک‌ورز دوار به دلیل ایجاد نکردن گشتاور می‌تواند تاییدکنندهٔ برابری نیرو روی بازوهای پایینی باشد.

مراجع

1- **Alimardani, R. 2002. Tractor-Implement System. Agriculture Science Pub. Tehran. Iran. (In Farsi)**

2- **Al-Jalil, H. F., Khadrir, A., Mukahal, W. 2001. Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. Soil &Tillage Res. 62, 153-156.**

3- **Anon. 1998. Agricultural machinery management data. ASAE Standard. 45th Ed. D497. 4, ASAE. St. Joseph. Michigan. WWW.asae.org**

4- **Anon. 2000. Instrumentation manual - CR10X measurement and control module. Campbell Scientific Inc. Campbell Park. 80 Hathern Road. Shepshed. Loughborough. LE12 9GX. UK.**

5- **Anon. 2003. Characteristics and Gauide to strain gauges. Elhamsaz Co. Tehran. Africa Blvd. Shahroukh Vally. # 8. (In Farsi)**

6- **Clyde, A. W. 1995. Drawbar dynamometer using strain gauges. J. of Agric. Eng. Res. 36, 521-522, 529.**

7- **Fazel Niari, Z. 2002. Developing design and construction of three point hitch dynamometer. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Theran University. Karaj. Iran. (In Farsi)**

8- **Godwin, R. J., Reynolds, A. J. 1993. A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. J. of Agric. Eng. Res. 55, 189-205.**

9- **Lal, R. 1959. Measurement of force on mounted implements. Trans. of the ASAE. 1, 109-112.**

10- **Palmer, A. L. 1992. Development of a three-point linkage dynamometer for tillage research. J. of Agric. Eng. Res. 52, 151-167.**

11- Schultz, B. C. 1996. A three points linkage dynamometer for restrained linkages. J. of Agric. Eng. Res. 11, 33-37.

12- Shafeii, A. 1990, Tillage machines. University Center Pub. Tehran. Iran. (In Farsi)

Design and Manufacturing of a Three-Point Hitch Dynamometer

R. Alimardani, Z. Fazel Niari, A. Akram and A. Mahmoudi

Tractor is used as a main source of power in developing countries. In order to reduce the cost of production, knowledge of today's complicated tools is essential. In this research, a three-point hitch dynamometer system was manufactured for the category 0 & I tractors with the weight of 49kg and the chassis is in a reversed U-shaped frame which allows the use of PTO at the same time. With the strain gages installed on the three sensing pins and developed five wheatstone bridges in such a manner that, the draft forces on each link in addition to vertical forces on the lower links are measured. The dynamometer system consists of three parts including: the chassis, sensing components, and recording system. The recording system consisted of a Campbell datalogger (CR10X) with a notebook computer. The dynamometer system was calibrated and several field tests were conducted to measure the force required to pull the different mounted plows. The data were collected and dumped to a remote computer for further analysis. The field tests showed that the dynamometer worked well without malfunction and the system is able to provide on-line graph and save the data in the memory.

Key words: Datalogger, Dynamometer, Three point hitch