ارائه طرح و ساخت دینامومتر اتصال سه نقطه

رضا علیمردانی[۱]- ضرغام فاضل نیاری[۲]- اسداله اکرم[۳]- اصغر محمودی[۴]

چکیده

استفاده صحیح از تراکتور و ادوات در بخش کشاورزی می تواند پاسخ مناسبی به رفع کمبود مواد غذائی و فقر و گرسنگی باشد که جوامع بشری را تهدید می کند. مکانیزه کردن فعالیتهای کشاورزی در کشورهای درحال توسعه غیر از استفاده از تراکتور به عنوان منبع توان برای کشیدن ادوات نیز تلقی می گردد. یکی از بخش های کشاورزی که انرژی زیادی را می طلبد، آماده کردن زمین و تهیه بستر برای کشت می باشد. دراین تحقیق ارائه طرح و ساخت یک دستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه برای اندازه گیری و ثبت مولفه های نیروی کششی انجام شد. این دینامومتر برای تراکتورهای گروه 0 و I طراحی و ساخته شده است (۶) و مجموعه شاسی بوزن ۴۹ کیلوگرم و به شکل U وارانه می باشد که امکان استفاده از محور تواندهی را نیز فراهم می سازد. دینامومتر فوق قادر به اندازه گیری نیروهای افقی و عمودی وارده به بازوهای اتصال سه نقطه تراکتور می باشد. سیستم از سه قسمت شاسی ، مبدلهای حساس اندازه گیری نیرو و واحد جمع آوری 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 مورد آزمایش قرار گرفت.

۱- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
۲- کارشناس ارشد گرو مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

مقدمه

نیاز به تولید محصولات کشاورزی به عنوان منبع اصلی غذای جمعیت روبه رشد جهان موجب شده است که کشاورزی به عنوان محور توسعه و استقلال کشورهای درحال توسعه مورد توجه قرار گیرد. برای کاهش هزینه های تولید، شناخت و آگاهی کافی از عملکرد وسائل پیچیده امروزی ضروری است که جایگاه خاصی در کشاورزی و نقش مهمی در افزایش تولید محصول دارند. تحقیقات نشان می دهد که مرحله آماده سازی زمین و تهیه بستر بذر بیش از ۵۰٪ انرژی لازم برای کشت و تولید محصول را به خود اختصاص داده است(۲). گریز از روشهای سنتی به دلیل پرهزینه بودن و روی آوردن به روش های نوین خاک ورزی می طلبد که عوامل موثر در این روشها منجمله نیروی کششی, سرعت, سوخت و ... اندازه گیری شوند تا بتوان از دیدگاه مصرف انرژی مزیت یک روش نسبت به روش های دیگر را تعیین کرد. با توجه به نوع انرژی مصرفی تراکتورها که عمدتا" از سوخت فسیلی تامین می گردند، متخصصین کشاورزی را بر آن داشته تا مطالعاتی را در زمینه استفاده بهینه از انرژی خصوصا" در مورد آن دسته از عملیات همچون خاک ورزی که انرژی بر می باشند را انجام دهند. آگاهی داشتن از میزان نیروی حاصل از کشش ادوات خاک ورزی به وسیله تراکتور می تواند راهکاری مناسب برای رسیدن به توان مورد نیاز ادوات مذکور باشد(۴). اندازه گیری این عامل ، بخش مهمی از داده های مورد نیاز برای تعیین عملکرد و کارآئی یک سیستم می باشد. مدیران و مهندسان کشاورزی از اطلاعات حاصل از توان مالبندی که مبتنی بر نیروی کششی ادوات در انواع خاکها بوده، قادر به توصیه ادوات مختلف خاک ورزی متناسب با تراکتور موجود می باشند. برای اندازه گیری توان کششی (مالبندی) مورد نیاز ادوات خاک ورزی از وسائلی بنام دینامومتر استفاده می شود. دینامومتر نوعی ابزار اندازه گیری است که توان مورد نیاز ادوات را با اندازه گیری نیروی کششی می توان تعیین کرد. دینامومتر های مالبندی برای ادوات کششی و نوع اتصال سه نقطه آنها برای ادوات سوار قابل استفاده هستند. دینامومتر ها در انواع مکانیکی, هیدرولیکی و الکتریکی موجود می باشند.

طبق گزارشهای ارائه شده, سابقه اندازه گیری نیرو بین تراکتور و ادوات کشاورزی به صده ۱۸۰۰ میلادی بر میگردد و از نیمه دوم قرن نوزدهم, ساخت دینامومترهای الکتریکی گزارش شده است(۸). لال در سال ۱۹۵۹ در تحقیقی گزارش نمود که برای داشتن تعریف کاملی از رابطه نیروئی ادوات سوار، اندازه گیری نیرو روی بازوهای اتصال و رابط بازوها و موقعیت زاویه ای بازوی میا نی لازم است. او با استفاده از حسگرهای کرنش سنجی، دینامومتر الکتریکی طراحی نمود که قادر به اندازه گیری نیروها روی بازوها و رابط بازهای پائینی بود . دینامومتر فوق اندازه گیری نیرو را با دقت ۵ $\pm$درصد انجام می داد(۱۰). محققین با قرار دادن کرنش سنج ها در جهات مختلف روی عناصر ارتجاعی بعنوان پین های حساس بجای بازوهای اتصال سه نقطه تحولی در اندازه گیری نیرو با دینامومترهای الکتریکی ایجاد نمودند. سادگی طرح و قرار نگرفتن حسگرهای کرنش سنجی روی بازوها و رابط بازوها از مزایای این نوع دینامومترها است . این دینامومترها که امروزه کاربرد زیادی دارند، از نوع شاسی دار هستند که شاسی دینامومتر بین تراکتور و ادوات قرار می گیرد. شولتز در سال ۱۹۹۶ دینامومتری شاسی دار با عناصر ارتجاعی $\mathcal{L}$ شکل طراحی کرد که کرنش سنج ها روی آن نصب شدند. دینامومتر فوق نیروهای افقی و عمودی را اندازه می گیرد. شاسی طرح فوق بالغ بر ۱۱۸ کیلوگرم وزن داشته و نقاط اتصال ادوات به تراکتور نزدیک به ۲۳ سانتی متر به عقب رانده می شد(۱۲). پالمر درسال ۱۹۹۲، دینامومتری ساخت که قادر به تجزیه

نیروها و گشتاورهای ما بین تراکتور و ادوات به سه مولفه و قابل نصب روی تراکتورهای گروه I و II است(۱۱). اتصال این دینامومتر به شکل کوپلر اتصال سریع مطابق استاندارد $ASAE$ می باشد. شاسی از دو قسمت به شکل U وارانه تشکیل شده است. وزن دستگاه ۳۵۰ کیلوگرم و ظرفیت آن ۵۰ کیلونیوتن می باشد. دینامومتر فوق هنگام استفاده نقطه اتصال ادوات به تراکتور را حدود ۱۷ سانتی متر به عقب می راند. در سال ۲۰۰۱، الجلیل و همکاران دینامومتری را با سه بازوی کشویی و شاسی به شکل T وار نه ساختند. این آرایش امکان تنظیم شدن عرضی و عمودی شاسی دستگاه را به بازوهای اتصال سه نقطه می دهد. در انتهای هر بازو یک تیر طره دار به شکل U وارانه قرار دارد. برای اندازه گیری نیروی کشش افقی, دوکرنش سنج روی هر تیر نصب شد. از دو کرنش سنج غیر فعال نیز برای خنثی کردن دما و تکمیل پل ویتستون استفاده گردید. ظرفیت دینامومتر فوق ۳۵ کیلونیوین و برای تراکتورهای گروه I و II قابل استفاده می باشد(۵).

دینامومتر اتصال سه نقطه به عنوان یک ابزار مهم تحقیقاتی همواره مورد توجه مراکز تحقیقاتی بوده است و کمتر مراکز تحقیقاتی در خارج از کشور را می توان یافت که آن را نداشته باشند. متاسفانه در مراکز تحقیقاتی کشورمان که محققین به عنوان پیشگامان توسعه فنون مهندسی و علوم کاربردی فعالیت دارند چنین ابزاری (دینامومتر اتصال سه نقطه) در اختیار ندارند. خرید این وسیله بصورت تجاری ممکن نیست ولی تهیه آن با هزینه گزاف به صورت سفارش خاص میسر می باشد. از اینرو در این تحقیق نسبت به ارائه طرح و ساخت یک دستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه اقدام شد. پارامترهای طراحی ملاحظه شده در این طرح شامل اتصال سریع, امکان استفاده همزمان از محور تواندهی, سازگاری با اکثر تراکتورهای موجود, سبک بودن شاسی برای اتصال راحت تر و اندازه گیری مولفه های افقی و عمودی نیروی کششی می باشد.

مواد و روشها

با توجه به اینکه دینامومترهای اتصال سه نقطه شاسی دار از انعطاف پذیری بیشتری برخوردارند و به یک تراکتور محدود نیست ، در این تحقیق ، اقدام به طراحی و ساخت دینامومتری از نوع شاسی دار گردید. در طرح مزبور اجزاء دینامومتر شامل قاب اصلی (شاسی)، مبدلهای اندازه گیری نیرو و عضوهای رابط می باشد و سیستم جمع آوری داده را یکدستگاه کامپیوتر کیفی *(Toshiba Notebook)*، دیتالاگر *(CR10X)*، منبع تغذیه *(PS12E)* و رابط دیتالاگر و کامپیوتر *(SC32A)* تشکیل می دهد (شکل۱).

طراحی و ساخت دینامومتر

دینامومتر طراحی شده برای اهداف تحقیقاتی منجمله اندازه گیری مقاومت کشش ویژه ادوات خاک ورزی ساخته شده است . این دینامومتر برای نصب روی یک دستگاه تراکتور میتسوبیشی دو چرخ محرک *(MT-250D)* بوزن ۱۲۰۰ کیلوگرم و توان ۱۸ کیلووات مورد نظر می باشد و محاسبات مربوط به شاسی دینامومتر براساس ملاحظات تراکتور مذکور انجام شده است. در تحقیقی حداکثر نیروئی که توسط بازوهای پایینی تراکتوری تحمل می شود را می توان معادل با ۰/۷۵ وزن کل تراکتور در نظر گرفت (۹). لذا با فرض مذکور، حداکثر نیروی افقی اعمال شده را ۹ کیلو نیوتن در نظر گرفته که با احتساب ضریب اطمینان ۱/۵ ، محاسبات براساس ۱۳/۵ کیلونیوتن صورت گرفت. این نیرو برای هر یک از بازوهای پایینی ۶/۷۵ کیلونیوتن فرض شد. برای محاسبه حداکثر 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 بدست آمد. برآیند نیروهای وارده از طرف تراکتور که همان نیروی کششی P می باشد در نقاط اتصال سه نقطه روی بازوهای پایینی به مولفه های افقی (Fx) ، عمودی (Fy) و جانبی (Fs)و روی بازوی میانی به Fy وFx تجزیه می شود. با توجه به کم اهمیت بودن نیروی جانبی (Fs) در مقایسه با مولفه های دیگر نیروی کششی، از اندازه گیری نیروی جانبی صرف نظر شد و در بازوی میانی فقط به اندازه گیری نیروی افقی بسنده گردید.

شاسی : طراحی شاسی به شکل U وارانه انجام شد تا امکان استفاده از محور تواندهی وجود داشته باشد. از آنجا که این دینامومتر برای تراکتورهای سبک طراحی شده است حتی المقدور سعی شد تا وزن شاسی سبک باشد. لذا بجای قلاب اتصال سریع از طرح گوش فیل معمول استفاده گردید تا دینامومتر قابلیت اندازه گیری شوکها و بارهای دینامیکی را نیز داشته باشد. همچنین طرح شاسی به گونه ای است که می توان از آن در مخزن خاک استفاده کرد. با در نظر گرفتن فواصل نقاط اتصال بازوها, ابعاد شاسی با ارتفاع ۶۲ سانتی متر و عرض ۶۴ سانتی متر انتخاب شد. شاسی از یک طرف بوسیله مبدلهای نیرو به تراکتور و از طرف دیگر توسط گوش فیل ها به گاوآهن وصل می شود. با توجه به تجزیه نیروهای وارده مقطع شاسی تحت نیروهای خمشی و پیچشی قرار می گیرد(۳). با محاسبات انجام شده شاسی از پروفیل $ST37\text{-}2$ با مقطع ۸x۴ سانتی متر و ضخامت۴ میلی متر استفاده شد. برای اطمینان از عدم تغییر شکل شاسی, با استفاده از تسمه با ضخامت ۸ میلی متر قسمت داخلی و گوشه های شاسی تقویت شد و لذا وزن شاسی ۳۷ کیلوگرم گردید.

مبدل نیرو: مبدل نیرو وسیله ای است که یک کمیت مکانیکی را به الکتریکی تبدیل می کند. مبدلهای نیرویی که در این طرح استفاده شدند شامل دو مبدل برای اندازه گیری نیروها روی بازوهای پایینی و یک مبدل برای اندازه گیری نیرو روی بازوی میانی می باشد. مبدل از دو قسمت عنصر ارتجاعی و پل ویتستون با ساختار چهار کرنش سنج *(Strain Gauge)* تشکیل شده است . در طراحی مبدل نیرو باید در نظر داشت که کرنش ناشی از اعمال نیرو به عنصر ارتجاعی نبایستی از کرنش مجاز کرنش سنج بیشتر باشد. معادلات مربوط به محاسبات کرنش عنصر ارتجاعی بشرح ذیل می باشد.

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

که $\varepsilon_s, \varepsilon_p$ بترتیب کرنش های جانبی و قائم می باشند. F_s نیروی جانبی, A سطح مقطع عنصر ارتجاعی, M گشتاور خمشی ناشی از P (نیروی قائم), C و I شعاع و ممان اینرسی مقطع عنصر ارتجاعی می باشد. ε_{Total} ماکزیمم کرنش حاصل از نیروهای قائم و جانبی است که بعنوان معیار طراحی عنصرارتجاعی استفاده شد. یادآور می شود که کرنش حاصل از ترکیب نیروهای عمودی و جانبی بمراتب کمتر از ε_{Total} است. برای تعیین کرنش مجاز کرنش سنج ها که روی عنصر ارتجاعی نصب شدند از رابطه زیر استفاده گردید.

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

که ε_{SG} کرنش حاصل از تغییر مقاومت کرنش سنج, ΔR تغییرات مقاومت, S_g ضریب و R مقاومت کرنش سنج می باشد. در این مرحله یک برنامه کامپیوتری بزبان ویژال بیسیک نوشته شد و مقادیر مشخص شده برای طراحی عنصر ارتجاعی (نیروهای وارده, طول, قطر و جنس) به عنوان داده های ورودی به برنامه داده شده و مقدار کرنش کل عنصر ارتجاعی ε_{Total} محاسبه گردید. سپس از رابطه (۲) برای کرنش سنج انتخاب شده مقدار ε_{SG} محاسبه و در صورتی که ε_{Total} کمتر از کرنش مجاز ε_{SG} باشد ، مقادیر طول موثر و قطر عنصر ارتجاعی مناسب انتخاب شده اند. اجرای برنامه کامپیوتری بصورت آزمون و خطا انجام شد و عناصر ارتجاعی با قطر ۲۴ میلی متر برای بازوهای پائینی و با قطر ۲۰ میلی متر برای بازوی میانی بدست آمدند. کرنش سنج های انتخابی از شرکت *TML* ژاپن با مقاومت ۱۲۰ اهم و از سری *FLA-3-11-1L* می باشند(۱). پس از انتخاب کرنش سنج ها و ساخت عناصر ارتجاعی و براساس دستورالعمل نحوه نصب کرنش سنج اقدام به ساخت مبدل شد و روی عنصر ارتجاعی بازوی میانی تعداد ۴ کرنش سنج (یک پل ویتستون) و روی عناصر ارتجاعی بازوهای پائینی هر کدام ۸ عدد کرنش سنج (دو پل وتیستون برای هر عنصر ارتجاعی) نصب شد (شکل ۲).

عضو رابط : مبدل ها ابتدا روی عنصرهای رابط قرار گرفتند و پس از عضوهای رابط به شاسی اصلی دینامومتر پیچ شدند. سه عضو رابط برای دینامومتر در نظر گرفته شد که یکی برای بازوی میانی و دو تا برای بازوهای پائینی استفاده شد. عضو رابط علاوه بر ارتباط بین مبدلها بازوهای اتصال سه نقطه تراکتور, بدلیل قرار گرفتن کرنش سنج ها داخل قاب عضو رابط از صدمه رسیدن به کرنش سنج ها جلوگیری می کند. عضو رابط از سه قسمت حامی, قاب تشکیل شده از پروفیل ۸۰×۴۰ میلی متر با ضخامت ۸/۳ میلی متر و تکیه گاه ساخته شد.

سیستم جمع آوری داده

سیستم جمع آوری داده متشکل از یک دیتالاگر قابل برنامه ریزی (مدل *CR10X*) با ۸ کانال تغییرات ولتاژ و ۴ کانال تغییرات پالس بهمراه یک رابط واسطه *(SC324)* با کابل سریال *RS232* ساخت شرکت *Campbell* در امریکا (۸) و یک کامپیوتر کیفی برای مانیتورینگ سیستم می باشد. شکل ۳ ارتباط بین سخت افزارهای سیستم را نشان می دهد. ارتباط بین ورودی مبدلها و دیتالاگر از طریق نرم افزار *(PC208-W3.3)* که بهمراه دیتالاگر ارائه شده است برقرار می گردد. از نرم افزار مذکور برای برنامه نویسی دیتالاگر توسط کامپیوتر وصل شده به دیتالاگر استفاده شد. پس از اجرای برنامه دیتالاگر قادر به دریافت سیگنالهای دریافتی از مبدلها بوده و خروجی به صورت متنی و یا گرافیکی روی صفحه کامپیوتر قابل مشاهده و ثبت می باشد.

نتایج و بحث

در دینامومتر طراحی شده، برای اندازه گیری نیروها در اتصال سه نقطه لازم است که ابتدا هر یک از مبدلها که در واقع اندازه گیری نیروها را انجام می دهند کالیبره شوند و پس از کالیبره کردن مبدلها, ضرایب کالیبراسیون برای تبدیل تغییرات ولتاژ به نیرو استفاده شود تا دستگاه در مزرعه با شرایط واقعی آزمایش گردد.

کالیبره کردن مبدلها

مبدلها از آن جهت باید کالیبره شوند که پارامترهائی چون حساسیت, میزان پس ماند *(Hysteresis)* ، قابلیت تکرار پذیری و ضرایب کالیبراسیون تعیین گردند. بدین منظور هر یک از مبدلها جداگانه در آزمایشگاه مقاومت مصالح با دستگاه کشش (*Amsler*) کالیبره شدند. ابتدا پایه ای برای قرار گرفتن مبدل بین دوفک دستگاه ساخته شد بطوری که شرایط اعمال نیرو روی دینامومتر وقتی که به تراکتور و گاوآهن وصل می شود را شبیه سازی کند. برای هر کدام از مبدلها بسته به حداکثر بار مجاز مراحل کالیبراسیون انجام شد. مبدلها هر کدام جداگانه بین دوفک دستگاه قرار داده شدند و نیرو به صورت پله ای از صفر تا حداکثر نیروی مجاز با افزایش ۵۰۰ کیلو نیوتن در هر مرحله توسط دستگاه کشش به مبدل اعمال شد (برای مبدلهای بازوهای پایینی ۶۵۰۰ کیلونیوتن و بازو میانی ۴۵۰۰ کیلو نیوتن). تغییرات کرنش مبدلها توسط دستگاه استرین نما ثبت شد. کرنش ثبت شده در ضریب حساسیت کرنش سنج ضرب شده تا تغییرات مقاومت $\Delta R/R$ بدست آید (معادله ۲). یادآور می شود که پس از رسیدن نیرو به حداکثر مقدار مجاز، برای تعیین میزان پس ماند مبدلها, نیروی وارده بین دو فک دستگاه به صورت پله ای ۵۰۰ کیلو نیوتن کاهش داده شد و کرنش حاصله مجددا" ثبت گردید. سپس از طریق رابطه ذیل نسبت $E_o x1000/E_i$ بدست آمد.

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

نمونه ای از منحنی کالیبراسیون برای بازوی پائینی سمت راست در شکل ۴ نشان داده شده است. پس از انجام رگرسیون لازم, ضریب تبیین *($\mathcal{R}$-Square)* بین نیروی وارده و نسبت $E_0 x1000/E_i$ برای بازوهای اتصال سه نقطه در جهت افقی و عمودی در جدول ۱ آمده است. ضریب تبیین بالای ۰/۹۹۹ نشان دهنده رابطه خطی خیلی خوب بین نیرو و نسبت ولتاژ می باشد. میزان پس ماند حاصل از کالیبراسیون انجام شده بسیار ناچیز بود بطوری که در معدل پس ماند ثبت شده برای کرنش هر سه مبدل حدود ۱۰ میکرون بدست آمد. مبدلها نیز از حساسیت بالائی برخوردار بودند که بطور متوسط حساسیت مبدلها ۳/۷۵ میلی ولت بر هر کیلونیوتن بود. آزمون عملکرد مبدلها برای تکرار پذیری نیز انجام گردید. هر مرحله آزمایش سه بار تکرار شد و اختلاف ناچیزی در نتایج وجود داشت.

جدول 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	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۷

تنظیم و برنامه نویسی دیتالاگر

از نرم افزار *PC-208* که مخصوص برنامه نویسی دیتالاگر می باشد برای وارد کردن ضرایب کالیبراسیون و آماده سازی دیتالاگر برای داده برداری استفاده شد. ابتدا سیم های خروجی مبدلها به کانال های ورودی دیتالاگر وصل شدند و ارتباط دیتالاگر از طریق رابط *SC324* به کامپیوتر انجام شد. در نرم افزار *PC-208* برای هر مبدل ضرایب کالیبراسیون وارد گردید و با انجام عملیات ریاضی مورد لزوم ولتاژ خروجی پل ویتستون برای هر مبدل به ولتاژ ورودی پل تقسیم گردید و سپس در عدد ۱۰۰۰ ضرب شد. حال با استفاده از رابطه زیر ضرایب کالیبراسیون *(S)* و انحراف از صفر *(C)* برای هر مولفه نیرو وارد شد تا خروجی ثبت شده در دیتالاگر نیروی محاسبه شده باشد.

$$P = C + S(E_0 x 1000 / E_i) \qquad (۴)$$

نرم افزار دیتالاگر قابلیت نمایش نمودار نیروها و همچنین ضبط نیروها را نسبت به زمان تعیین شده برای داده برداری *(Scan Rate)* و همچنین جمع یا معدل گیری نیروها را برای زمان دلخواه فراهم می نماید.

آزمون مزرعه ای

پس از آماده شدن دینامومتر و سیستم جمع آوری داده مجموعه سیستم به مزرعه منتقل شد. در مزرعه یک گاوآهن تک خیش و تراکتور *MT-250D* استفاده شد. دینامومتر بین تراکتور و گاوآهن وصل شد و دیتالاگر و کامپیوتر هم در جایگاهی کنار راننده قرار گرفت. قبل از انجام آزمایش, ابتدا دینامومتر به صورت قائم نسبت به سطح زمین تنظیم شد و زاویه بازوی میانی اندازه گیری و وارد دیتالاگر شد تا نیروی افقی بازوی میانی نیز بدست آید. برای بازوهای پائینی چون با سطح زمین موازی بودند این کار لازم نبود. پس از تنظیم گاوآهن در عمق ۲۴ سانتی متر و با زدن دکمه اجرای برنامه و حرکت تراکتور داده برداری آغاز گردید. نتایج اندازه گیری مجموع نیروهای افقی و عمودی جداگانه روی نمودار در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین وضعیت نیروها بطور جداگانه برای بازوی میانی و بازوهای پائینی نیز ثبت شد تا نیروها روی هر بازو نیز مشخص شود (شکل ۶). آزمایش ها در مزرعه بطول ۳۶ 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 بدست آمد). از شکلهای ۵ و ۶ مشخص است که نیروهای ثبت شده روی بازوی پائینی مثبت و در بازوهای میانی منفی است که تائید می کند همواره هنگام شخم بازوهای پائینی در کشش و بازوی میانی در فشار است. در بازوهای پائینی ممکن است که نیروها بطور مساوی تقسیم نشوند و علت آن یک طرفه کار کردن گاوآهن می باشد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود گاوآهن برگرداندار بدلیل عکس العمل خاک روی خیش گشتاوری در جهت عقربه ساعت (صفحه راست ریز) ایجاد کرده که باعث افزایش نیرو روی بازوی سمت راست شده است. علت نوسان در داده های ثبت شده در شکل ۵ و ۶ را می توان اینطور توصیف کرد که بیش از ۲۰ داده برداری در مدت یک دقیقه انجام شده است ولی سیستم جمع آوری داده ها قادر است با معدل گیری نمودارهائی با نوسانات کمتر را نشان دهد.

به منظور بررسی و تائید مقادیر اندازه گیری شده توسط دینامومتر از طریق روابط موجود در استاندارد *ASAE* رابطه نیروی کشش بشرح ذیل مورد استفاده قرار گرفت (۶) و برای محاسبه نیروی کششی پارامترهای وسیله و خاک در مزرعه مشخص و استفاده شد.

$$D = F_i[A + B(S) + C(S^2)]WT \qquad (۶)$$

که D نیروی کشش افقی, F پارامترهای بافت خاک, C,B,A مقادیر ویژه وسیله, S سرعت پیشروی و T,W بترتیب عرض و عمق کار وسیله می باشند. در سرعت ۲/۲ کیلومتر در ساعت و در عمق ۲۴ سانتی متر و عرض کار یک خیش (۳۴سانتی متر) و مقادیر دیگر D برابر ۴۰٪ ± ۴ کیلو نیوتن بدست آمد که عددی بین ۲/۶ و ۵/۶ کیلونیوتن می باشد. متوسط نیروی افقی اندازه گیری شده در آزمون مزرعه ای برابر ۴/۲ کیلونیوتن بدست آمد که به عدد متوسط ۴ کیلونیوتن نزدیک و از همخوانی بالائی برخوردار است .

نتیجه گیری

توان کششی یا مالبندی تراکتور بدلیل اینکه این وسیله بیشتر برای کشیدن ادوات بکار می رود مورد توجه استفاده کنندگان از تراکتور و محققین می باشد. اکثر ادوات امروزی به سه نقطه اتصال تراکتور وصل می شوند و در گروه ادوات سوار تلقی می شوند. اندازه گیری نیروی لازم برای کشیدن ادوات از دیر باز مورد توجه بوده است. ضرورت آگاهی داشتن از نیروی بین ادوات سوار و تراکتور نیاز به داشتن یکدستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه را توجیه می کند. در این تحقیق طراحی و ساخت یکدستگاه دینامومتر اتصال سه نقطه انجام شد که وزن کل آن (۴۹ کیلوگرم با مبدلها و عضوهای رابط) و حساسیت بالا و استحکام بالای شاسی از ویژگیهای دستگاه می باشد. استحکام شاسی در مزرعه قبل از نصب مبدلها برای یک گاوآهن سه خیش در عمق ۳۰ سانت انجام و مورد تائید واقع شد. قابلیت تکرار پذیری خوب و پس ماند ناچیز از موارد دیگر کارکرد مناسب دستگاه می باشد. آزمون مزرعه ای نیز نشان داد که دینامومتر بخوبی قادر به اندازه گیری و تجزیه نیروها روی بازوهای اتصال سه نقطه می باشد و سیستم جمع آوری داده علاوه بر ثبت لحظه ای داده ها قادر است داده ها را به صورت نمودار نمایش دهد یا جدول داده ها را در حافظه کامپیوتر ثبت نماید.

منابع

۱- شرکت الهام ساز، ۱۳۸۲. مشخصات و راهنمای کرنش سنجها. تهران، بلوار آفریقا، کوچه شاهرخ. پلاک ۸

۲- شفیعی ، احمد. ۱۳۶۹. ماشینهای خاک ورزی. چاپ اول. مرکز نشر دانشگاهی. تهران.

۳- فاضل نیاری، ضرغام. ۱۳۸۳، طراحی تکمیلی و ساخت دینامومتر اتصال سه نقطه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۴- علیمردانی، رضا. ۱۳۸۱. سیستم های تراکتور و ادوات خاک ورزی. نشر علوم کشاورزی. تهران.

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

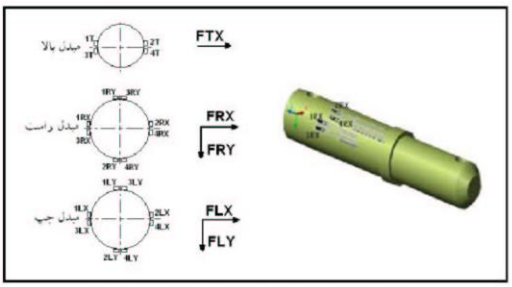
6- *ASAE STANDARD. 2000. Agricultural Machinery Management Data. WWW.asae.org*

7- *Campbell Scientific Inc. 2000, Instrumentation Manual-CR10X Measurement and Control Module. Campbell Park, 80 Hathern Road, Shepshed, Loughborough, LE12 9GX, UK.*

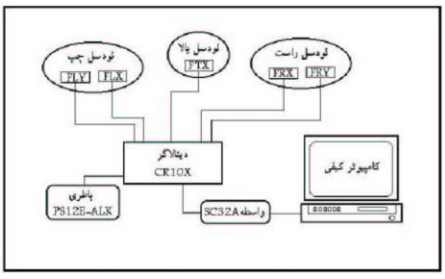
8- *Clyde, A.W. 1995. Drawbar dynamometer using strain gauges. Journals .of Agric. Engineering Research. Vol. 36: 521-522, 529.*

9- *Godvin, R. J., A. J. Reynolds, 1993. A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. Journals of Agric. Engineering Research (55) : 189-205.*
10- *Lal, R. 1959. Measurement of force on mounted implements. TRANS. Of the ASAE (1): 109-112.*
11- *Palmer, A.L.1992. Development of a three-point linkage dynamometer for tillage research. Journals .of Agric. Engineering Research. Vol. 52: 151-167.*
12- *Schultz, B.C. 1996. A three points linkage dynamometer for restrained linkages. Journals .of Agric. Engineering Research. Vol. 11:33-37.*

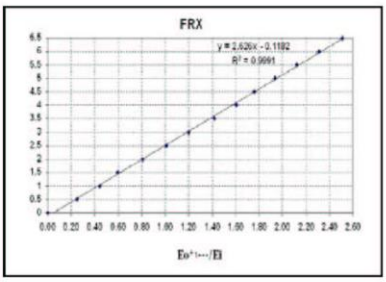
شکل ۱ ـ دینامومتر وسیستم جمع آوری داده



شکل ۲ ـ نمونه مبدل و آرایش کرنش سنجها



شکل ۳ ـ ارتباط سخت افزاری مجموعه سیستم



شکل ٤ ـ منحنی کالیبراسیون بازوی سمت راست