طراحی یک دینامومتر اتصال سه نقطه پیشرفته (۱۰۶)

محسن بیگی[۱] ، محمدعلی قضاوی[۲]

چکیده

اندازه گیری مقادیر نیروهای پدیدآمده در بازوهای تراکتور در اثر کشش ادوات کشاورزی امری مهم و ضروری می‌باشد. این مقادیر می‌توانند در آزمایش ماشینهای کشاورزی، انتخاب مناسب تراکتور و.... مورد استفاده قرار گیرند. وسایلی که برای اندازه گیری این نیروها به کار برده می‌شود، دینامومتر نام دارند. در این طرح یک دینامومتر اتصال سه نقطه پیشرفته برای تراکتور جاندیر 3140 طراحی گردید. در این دینامومتر با نصب مبدل‌هایی روی بازوهای پائین و بالا، اقدام به اندازه گیری نیروهای کششی، عمودی و فشاری شد. قسمت‌های حساس در این مبدل پین‌هایی با مقطع مربع هستند، که کرنش سنج‌هایی روی آن نصب می شوند و نیرو توسط این کرنش سنج‌ها اندازه گیری می‌شود. یک رمزکننده نوری نیز برای اندازه گیری زاویه بازوهای تراکتور در نظر گرفته شد تا بتوان مؤلفه‌های نیرو در راستاهای مختلف را به دست آورد. دقت اندازه گیری زاویه ۰/۵ درجه در نظر گرفته شد. سایر زوایای بازوها توسط این زاویه و هندسه تراکتور- ادوات مشخص می‌شود. همچنین با نصب یک سرعت سنج روی چرخ جلوی تراکتور، سرعت لحظه ای تراکتور به صورت دقیق محاسبه می‌گردد تا توان مصرفی ادوات مشخص شود. برای ذخیره سازی اطلاعات به صورت پیوسته یک دیتالاگر مناسب انتخاب شد. سرعت برداشت اطلاعات در این دینامومتر ۲۰Hz می‌باشد. خطای اندازه‌گیری سرعت در این دینامومتر کمتر از ۲/۵ درصد می‌باشد. این دینامومتر خطاهای معمول اکثر دینامومترها مانند حساسیت دوجانبه و جابه جایی نقطه اتصال تراکتور را ندارد. هزینه‌های ساخت آن نیز نسبت به سایر دینامومترهای مشابه بسیار پائین تر است.

کلید واژه: دینامومتر اتصال سه نقطه، دیتالاگر، سرعت سنج، پیشرفته

۱- کارشناس ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پست الکترونیک: m_beigi_h@yahoo.com
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهرکرد

مقدمه

امروزه قسمت قابل توجهی از انرژی، برای انجام کارهای کشاورزی و مکانیزه کردن آنها بکار می‌رود و هزینه‌های قابل توجهی برای تامین قدرت مورد نیاز در مکانیزاسیون صرف می‌شود. گزارش‌ها درباره میزان مصرف انرژی در آمریکا نشان می‌دهد که کشاورزی و فعالیت‌های زنجیره غذایی مربوطه، حدود ۱۲درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند، که مصرف واقعی در کشاورزی بالغ بر سه درصد کل انرژی‌هاست. بیش از ۵۰ درصد این انرژی در بخش خاکورزی صرف می‌شود. عملیات مزبور سالانه بیش از ۲۲۵ بیلیون تن خاک را در بر می‌گیرد. برای اینکه این مقدار خاک یک بار شخم زده شود ۲ میلیون لیتر گازوئیل مورد نیاز است[۶].

اندازه‌گیری توان و کشش مورد نیاز ادوات خاکورزی در شرائط مختلف، برای انتخاب تراکتور و ادوات برای انواع عملیات کشاورزی مفید می‌باشد. اده‌های اطلاعاتی برای تولید کنندگان و سازندگان داخلی ماشین‌های کشاورزی ضروری می‌باشد. تطابق اندازه ادوات با تراکتورهای موجود در کشور با اندازه‌گیری پارامترهای اطلاعاتی تراکتور همچون توان کششی آن میسر است. این اطلاعات همچنین می‌توانند برای ارزیابی انواع سیستم‌های مکانیزه در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. کارخانجات سازنده ماشین‌های کشاورزی و تولید کنندگان کشاورزی از اطلاعات توان مورد نیاز و مقاومت کششی ادوات خاکورزی در انواع خاک‌های مختلف می‌توانند برای تعیین اندازه صحیح تراکتور استفاده کنند. کشاورزان اغلب بر اساس تجربیات گذشته برای انتخاب تراکتورها و ادوات برای انواع عملیات کشاورزی عمل می‌کنند. این تجربیات قبلی ممکن است تاثیر کمی‌در انتخاب ادوات جدید داشته باشند. بنابراین اطلاعات در خصوص مقاومت کششی ادوات جدید در خاک‌ها و شرائط مختلف می‌تواند عامل مهم انتخاب تراکتور و ادوات کشاورزی باشد[۳].

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بین تراکتور و ادوات سوارشونده نیاز به دینامومتر اتصال سه نقطه می‌باشد. بسیاری از دینامومترهای اتصال سه نقطه از سال ۱۹۶۰ طراحی و ساخته شده اند. درهمه طرح‌های اخیر از کرنش سنج‌ها مقاومتی برای اندازه‌گیری نیروها در لودسل‌های ساخته شده مخصوص، استفاده شده است. بعضی از طرح‌ها همه مولفه‌های نیرویی وارد به ادوات را با استفاده از دینامومتر اندازه‌گیری می‌کنند. بعضی از طرح‌های دیگر، تنها نیروهای افقی و عمودی را اندازه‌گیری می‌کنند و به علت کوچکی نیروهای جانبی از آن چشم پوشی می‌شود. بسیاری از سیستم‌ها فقط نیروی افقی(کشش) را اندازه‌گیری می‌کنند. بطور کلی دینامومترها را می‌توان به دو گروه عمده قابی و اتصالی تقسیم بندی کرد.

دینامومترهای نوع قابی شامل لودسل‌هایی هستند، که روی یک قاب مخصوص نصب می‌شوند، که این قاب بین تراکتور و ادوات قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، قاب طوری طراحی می‌شود که از یک طرف به وسیله کشنده و از طرف دیگر به ادوات وصل شود. مزیت اصلی دینامومتر نوع قابی این است که برای یک نوع تراکتور خاص نمی‌باشد. اما دینامومترهای قابی اشکالاتی زیادی دارند. این اشکالات عبارتند از:

۱-قاب مخصوصی لازم است ساخته شود که ساختن این قاب بسیار مشکل، زمانبر و با هزینه بالا می‌باشد، زیرا قطعات این قاب در عین حالیکه بزرگ و سنگین می‌باشند که باید دقت بالایی نیز داشته باشند زیرا نباید مشکلی در اتصال به تراکتور و اتصال ادوات به آن‌ها بوجود آید.

۲-قاب نقطه اتصال ادوات به تراکتور را به اندازه ۲۰۰ تا۳۰۰ میلیمتر به عقب تراکتور جابجا می‌کند. این جابجایی وضعیت نیروهای وارد به تراکتور را به طور کامل به هم می‌ریزد و بسته به میزان این جابجایی‌ها خطاهای کوچک و بزرگی ایجاد می‌کند.

۳-جرم قاب می‌تواند تا بالای ۲۰۰ کیلوگرم باشد و که همین جرم بالا در نیروهای وارد به تراکتور و انتقال وزن در تراکتور نقش به سزائی دارد که خود باعث ایجاد خطا می‌شود.

۴-قاب مشکلاتی را در اتصال ادوات بوجود می‌آورد مثل سختی اتصال ادوات به جهت عدم انعطاف قاب، مشکل در اتصال محور PTO در صورت عدم طراحی مناسب قاب.

در عوض دینامومترهای اتصالی دارای مزایای زیر می‌باشد:

۱-به علت نبود قاب طراحی و ساخت آن ساده و با هزینه کم می‌باشد.

۲-به هیچ وجه نیروهای وارد به تراکتور را به هم نمی‌ریزد و خطائی ایجاد نمی‌کند.

۳-در اتصال ادوات به تراکتور انعطاف پذیری بهتری دارد.

۴-مشکلی در برقرار شدن محور PTO بوجود نمی‌آورد.

با توجه به نیاز کشور و با در نظر داشتن مزایا و دقت خوب دینامومترهای اتصالی اقدام به طراحی یک دینامومتر اتصالی پیشرفته گردید.

مواد و روش‌ها

دینامومترهای اتصالی بایستی برای یک تراکتور به خصوص طراحی شوند، لذا از بین تراکتورهای موجود در کشور تراکتور جاندیر3140 به دلیل مرسوم بودن در کشور و همچنین قدرت مناسب(۹۵ اسب بخار) جهت آزمایش ادوات بزرگتر انتخاب گردید. همچنین شکل بازوهای پائینی این تراکتور بنحوی است که طراحی مبدل‌های این دینامومتر را ساده تر می‌نماید.

این دینامومتر دارای مبدل‌هایی است که بر روی بازوهای پائینی نصب می‌شود و نیروها را در دو راستای افقی و عمودی اندازه گیری می‌کند. همچنین با نصب کرنش سنج‌هایی روی بازوی بالائی نیروی محوری این بازو نیز محاسبه می‌گردد.

برای تجزیه نیروهای اندازه گیری شده در راستای کشش و عمودی باید زاویه بازوها نسبت به صفحه افقی و عمودی تراکتور مشخص باشد. به همین دلیل سیستم محاسبه زاویه ای برای تعیین زاویه بازوهای پائینی نسبت به صفحه افقی طراحی گردید. زاویه بازوی پائینی نسبت به صفحه عمودی دستگاه و زاویه بازوی بالائی نسبت به افق با توجه به هندسه تراکتور و ادوات قابل اندازه گیری است.

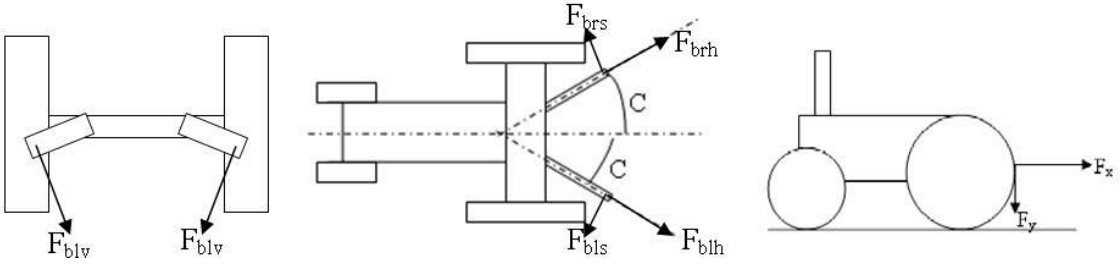
برای اندازه گیری توان کششی تراکتور علاوه بر اندازه گیری نیروی کشش باید سرعت لحظه‌ای نیز در دست باشد. برای اندازه گیری سرعت لحظه ای سرعت سنجی بر روی چرخ جلوی تراکتور نصب گردید.

یک سیستم جمع آوری اطلاعات نیز برای جمع آوری داده‌ها انتخاب شد.

- نیروهای ایجاد شده در نقاط اتصال ادوات سوار

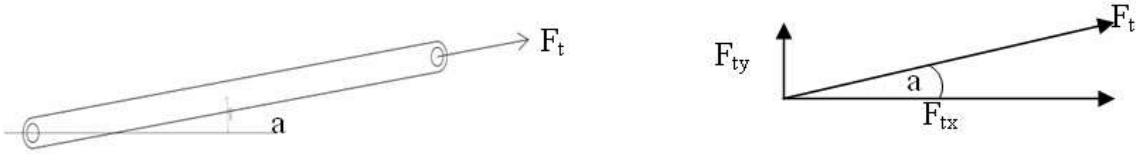
در ادوات سوار، وسیله به نقطه اتصال بالائی ودو نقطه اتصال پائینی تراکتور متصل می‌گردد. در نقطه اتصال بالائی فقط در امتداد محور بازوی بالائی(F_t) نیرو اعمال می گردد، ولی در دو نقطه اتصال پائینی نیروها در سه جهت راستای محور بازو(F_{brh} و F_{blh})، عمود بر راستای بازوی(F_{brh} و F_{blh}) و جانبی(F_{bls} و F_{brs}) پدید می‌آیند(شکل ۱-چپ و وسط و شکل ۲).

نیروهای ذکرشده باید با توجه به زوایای بازوها تجزیه شده و مولفه‌های آنان در راستاهای کشش(F_x) و عمودی(F_y) بدست آید(شکل ۱-راست). سپس با جمع جبری مولفه‌های افقی، نیروی کشش(F_x) و با جمع جبری مولفه های عمودی، نیروی عمودی(F_y) بدست آید.



شکل ۱- چپ و وسط: نحوه اعمال نیروها در بازوهای پایین تراکتور-راست: نیروی کشش و عمودی

نیروی محوری بازوی بالائی با توجه به زاویه بازو نسبت به صفحه افقی(a) به مولفه‌هایش در راستای کشش(F_{tx}) و عمودی(F_{ty}) تجزیه می‌شود (شکل ۲).



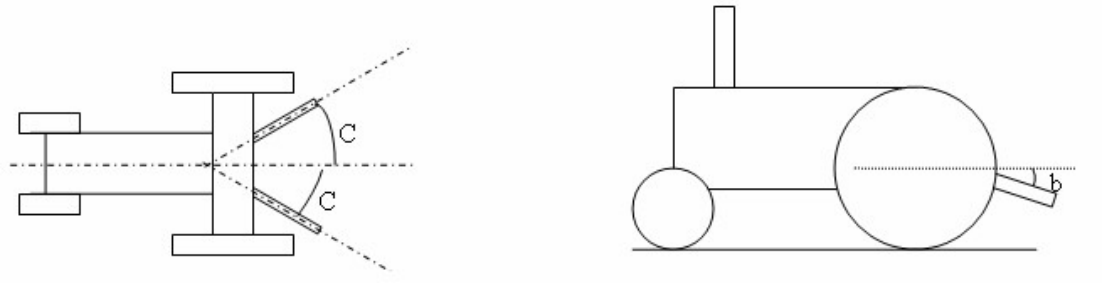
شکل ۲-وضعیت نیروها در بازوی بالا-چپ: نیروی محوری و زاویه آن با صفحه افقی(a)-راست: تجزیه نیروی محوری به مولفه‌های کششی و عمودی

$$F_{tx}=F_t \cdot \cos a \quad (۱)$$

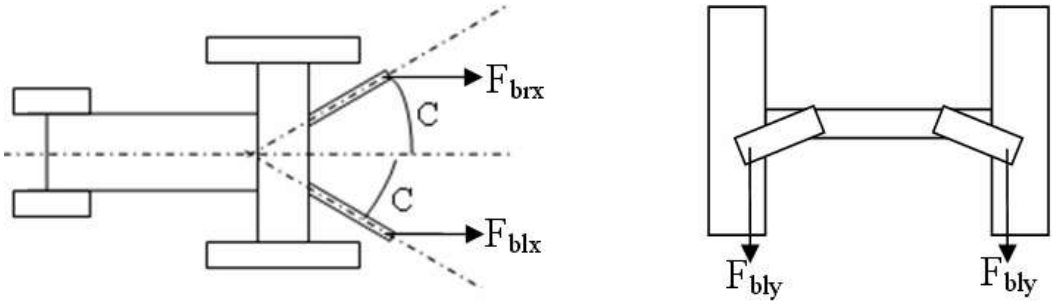
$$F_{ty}=F_t \cdot \sin a \quad (۲)$$

نیروهای جانبی معمولا در برابر نیروهای افقی و عمودی قابل اغماض می‌باشند و همچنین این نیروها کمتر در تجزیه تحلیل‌ها بجز در موارد خاص مورد تاکید می‌باشند. از طرفی بـ ای اندازه گیری این نیرو دستگاه دارای پیچیدگی‌های فراوان در ساخت می‌گردید. به همین دلایل از اندازه گیری نیروهای جانبی صرفنظر شد.

با صرف نظر کردن از نیروهای جانبی و با توجه به دو زاویه نشان داده شده در شکل ۳ می‌توان نیروهای محوری(F_{blx} و F_{brx}) و عمودی(F_{bly} و F_{bry}) در بازوهای پایین را بدست آورد(شکل ۴).



شکل ۳-راست: زوایه بین بازوهای پایین و سطح افق (b)-چپ: زاویه بین بازوهای پایین و صفحه عمودی تقارن تراکتور(c).



شکل۴-نیروهای معرفی شده در نماهای مختلف تراکتور-راست: نمای عقب تراکتور-چپ: نمای بالای تراکتور

$$F_{blx}=F_{blh} . \cos b . \cos c - F_{blv} . \sin b . \cos c \quad (۳)$$

$$F_{brx}=F_{brh} . \cos b . \cos c - F_{brv} . \sin b . \cos c \quad (۴)$$

$$F_{bly}=F_{blh} . \sin b + F_{blv} . \cos b \quad (۵)$$

$$F_{bry}=F_{brh} . \sin b + F_{brv} . \cos b \quad (۶)$$

-محاسبه نیروی کشش و عمودی

نیروی کششی و عمودی از جمع جبری مولفه‌های این نیروها در سه نقطه اتصال بدست می‌آیند:

$$F_x=F_{tx} + F_{blx}+ F_{brx} \quad (۷)$$

$$F_y=F_{ty}+ F_{bly}+ F_{bry} \quad (۸)$$

با جایگذاری روابط (۱)، (۳) و (۴) در رابطه (۷) نیروی کشش بدست می‌آید:

$$F_x=F_t.\cos a+F_{blh}.\cos b.\cos c - F_{blv}.\sin b . \cos c+F_{brh}.\cos b.\cos c-F_{brv}.\sin b.\cos c \quad (۹)$$

و همچنین با جایگذاری روابط (۲)، (۵) و (۶) در رابطه(۸) نیروی عمودی بدست می‌آید:

$$F_y= F_t . \sin a + F_{blh} . \sin b + F_{blv} . \cos b + F_{brh} . \sin b + F_{brv} . \cos b \quad (۱۰)$$

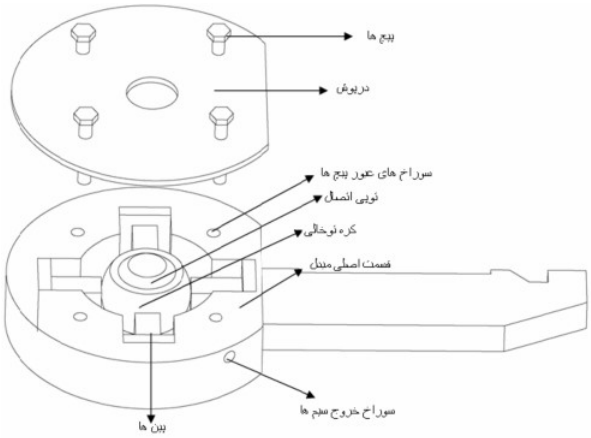
حال با اندازه گیری نیروی محوری (F_{blh} و F_{brh})، عمود بر محور (F_{blv} و F_{brv}) بازوهای پائین و نیروی محوری بازوی بالائی (F_t) و همچنین اندازه گیری زوایای بازوهای بالائی و پائینی (a،b و c) می‌توان مقادیر نیروی کشش و عمودی را محاسبه کرد.

-اندازه گیری نیرو در بازوهای پائین

برای اندازه گیری نیروها در بازوها لودسلی برای هر یک از بازوها طراحی گردید. با توجه به دو تکه بودن بازوهای پائین تراکتور جاندیر 3140 (شکل ۵) لودسل‌ها طوری طراحی گردید تا فقط قسمت کوچک انتهائی تراکتور برای قرارگیری لودسل تغییر نماید. لودسل طراحی شده(شکل ۶) به جای قسمت انتهائی بازوی پائینی در قسمت کشوئی بازوی پائینی تراکتور(شکل ۵-چپ) به جای

قسمت انتهایی بازوی پایین(شکل ۵–راست) قرار می‌گیرد. این روش علاوه بر ساخت ساده‌تر دقت دستگاه را نیز به این دلیل که اختلالی در هندسه تراکتور–ادوات ایجاد نمی‌کند بسیار مطلوب می‌باشد. سعی شد که بهترین شکل ممکن برای قطعات این لودسل در نظر گرفته شود تا علاوه بر تحمل مناسب نیروها و بالا نرفتن ماکزیمم تنش در قطعه از حد مجاز، وزن قطعه نیز افزایش زیدی پیدا نکند و ساخت قطعه نیز براحتی صورت گیرد. پس از طراحی چندین مدل برای این قطعه و تحلیل اجزاء محدوداین قطعات در سخت ترین شرائط ممکن و همچنین محاسبه وزن و روش ساخت این قطعات مدل فعلی انتخاب گردید. این قطعه از لحاظ تحمل نیروها، وزن و روش ساخت در وضعیت بهینه‌ای قرار دارد.

شکل ۵– راست: قسمت اصلی بازوی تراکتور جاندیر 3140.چپ: قسمت انتهائی بازوی تراکتور جاندیر 3140.

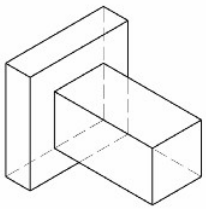


شکل ۶–اجزاء لودسل بازوهای پائینی

نرم افزار CATIA V5R7 برای طراحی و تحلیل اجزاء محدود انتخاب گردید. دلایل انتخاب این نرم افزار قابلیت بسیار بالا در مدلسازی می‌باشد. به نحوی که محیط طراحی این نرم افزار بسیار پیشرفته تر از سایر نرم افزارهای موجود می‌باشد. دلیل اصلی انتخاب این نرم افزار برای مدلسازی و تحلیل اجزاء محدود قدرت بسیار بالای ویرایش این نرم افزار می‌باشد. ویرایش قطعات در نرم افزار بسیار سریع و با دقت بسیار بالا و اشکالات بسیار کم صورت می‌گیرد. در طراحی این لودسل به علت این که به تغییرات بسیار زیاد برای رسیدن به شکل بهینه نیاز بود، کار با دیگر نرم افزارهای موجود به علت سرعت بسیار پائین، دقت کم و اشکالات بسیار زیاد امکان پذیر نبود. هر قطعه پس از ایجاد در محیط طراحی این نرم افزار مطابق با نیاز و شرایط دستگاه، در محیط تحلیلی اجزاء محدود آن با توجه به بارگذاری‌های موجود امتحان گردید تا از لحاظ تحمل نیروهای اعمالی مشکلی نداشته باشد. برای رسیدن به شکل بهینه مدل‌های بسیار زیادی طراحی و تحلیل شد تا بالاخره مدل موجود به عنوان مدلی که نیازهای دستگاه ما را برطرف می‌سازد و همچنین هزینه‌های ساخت مناسبی دارد، انتخاب گردید.

–پین‌ها

چهار قطعه پین برای حس کردن نیرو در قسمت اصلی مبدل قرار می‌گیرد و قسمت کره توخالی را در جهت‌های عمودی و افقی مهار می‌کنند. کرنش سنج‌ها روی این چهار پین نصب می‌گردند. دلیل انتخاب شکل چهار گوش برای این قطعات نصب دقیق کرنش سنج‌ها می‌باشد(شکل۷).



شکل ۷-نمای ایزومتریک پین حس کننده نیروی لودسل بازوهای پائینی

برای طراحی لودسل بازوی پایین باید نیروی بوجود آمده در این بازو محاسبه شود. برای تعیین حداکثر نیروی کششی که از زمین به ادوات وارد می‌شود، یک گاوآهن ۶ خیش، با عرض کار هر خیش ۴۰ Cm و عمق کار ۳۰ Cm که با سرعت ۷/۲ Km/h در خاک لومی‌کار می‌کند، در نظر گرفته شد. به این روش حداکثر نیروی بوجود آمده در هر دو بازوی تراکتور ۱۶۷۴۰۰ N و در نتیجه در هر بازو ۸۳۷۰۰ N بدست آمد.

در بازوهای پائینی نیرو توسط کرنش سنج‌هایی که بر روی پین‌هایی نصب می‌شوند حس می‌گ دد. بنا شد تنش در پین‌ها از MPa ۲۰۰ بالاتر نرود.

$$\sigma = \frac{P}{A} \Rightarrow A = \frac{P}{\sigma}$$

$$A = \frac{83700}{200 \cdot 10^6} \Rightarrow A = 0.0004185\text{m}^2$$

با فرض مربع بودن مقطع پین‌ها داریم:

$$A = a^2 = 4.017 \cdot 10^{-4} m^2 \Rightarrow a \approx .02m = 2Cm$$

با استفاده از فولادهای با مدول الاستیسیته پائین تر می‌توان دقت دستگاه را بالا ببرد. یکی از قابلیت‌های این دینامومتر قابل تعویض بودن پین‌های آن می‌باشند. بطوریکه با جایگزین کردن پین‌هایی با سطح مقطع کوچکتر می‌توان دقت اندازه گیری را بالا ببرد. البته باید پین‌های در نظر گرفته شده برای لودسل تحمل مناسبی برای نیروهای اعمالی داشته باشد. به طور کلی می‌توان برای اندازه گیری نیروهای ادوات کوچکتر از پین‌های با سطح مقطع کمتر استفاده نمود تا دقت اندازه گیری بالا رود.

-اندازه گیری نیرو در بازوی بالا

با توجه به اینکه در بازوی بالائی تنها نیروی محوری وجود دارد اندازه گیری نیروها در آن آسان تر می‌باشد. این نیروهای محوری را می‌توان با نصب کرنش سنج‌هایی روی خود بازو اندازه گیری نمود[۲].

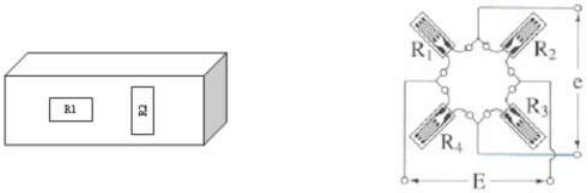
در انتهای بازوی بالای تراکتور جاندیر 3140 قسمتی مکعب مستطیل وجود دارد که مناسب نصب کرنش سنج‌ها می‌باشد.

-انتخاب کرنش سنج

کرنش سنج‌ها از محصولات شرکت TML ژاپن با توجه به کیفیت و دسترس بودن محصولات آن برای تهیه انتخاب گردید. تمام کرنش سنج‌های این دینامومتر از نوع FLA-10-11 انتخاب شد. با توجه به محل قرارگیری کرنش سنج‌ها و میزان فضای موجود بر روی پین‌های حس کننده نیرو نصب این نوع کرنش‌سنج با توجه به ابعاد آن مناسب می‌باشد. روش نصب آن راحت است و قیمت آن نیز نسبت به سایر کرنش سنج‌ها کمتر می‌باشد. حداکثر کرنش پدید آمده در روی پین ها نیز از حداکثر کرنش مجاز کرنش سنج ها کمتر می باشد.

-مدارات کرنش سنج‌ها در بازوی بالا

اگر شکل ۸-چپ را به عنوان مقطعی از بازوی بالا در نظر بگیرید، کرنش سنج‌ها مطابق این شکل نصب می‌شوند. دو کرنش سنج R3 و R4 نیز در وجه مقابل به ترتیب به جای R1 و R2 نصب می‌گردند. این نحوه آرایش به علت بالا بردن حساسیت و همچنین از بین بردن اثرات دما در نظر گرفته می‌شود. کرنش سنج‌ها را مطابق شکل ۸-راست در یک مدار الکتریکی قرار می‌دهیم.

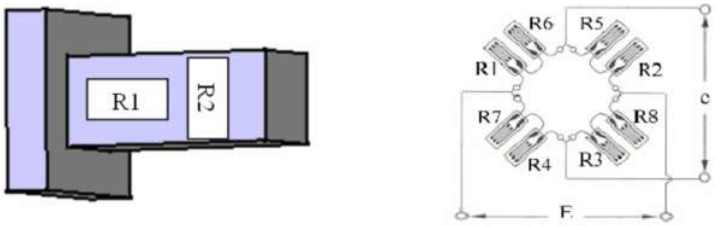


شکل ۸-چپ: نحوه قرارگیری کرنش سنج‌ها روی مقطع بازوی بالائی-راست: نحوه قرار گیری کرنش سنج‌ها در مدار

-مدار کرنش سنج در بازوی پائین

در مبدل پائینی برای اندازه گیری نیروها در هر راستا دو پین طراحی شده است. در حین بارگذاری یکی از پین‌ها تحت فشار قرار می‌گیرند و پین مقابل در حالت بی باری است. روی هر پین چهار کرنش سنج به شکل زیر قرار داده شد. کرنش سنج‌ها در پین‌های تحت فشار برای حس کرنش و در پین‌های بی بار برای تکمیل پل‌های الکتریکی و از بین بردن اثرات دما در نظر گرفته می‌شود. نحوه قرارگیری کرنش سنج‌ها و همچنین مدارات الکتریکی دو راستای محوری و عمود بر محور مشابه هم می‌باشد.

کرنش سنج‌ها مطابق شکل ۹-چپ در وسط وجه نشان داده شده نصب می‌گردند. نحوه نامگذاری کرنش سنج‌ها روی پین تحت فشار به شکل زیر است. دو کرنش سنج دیگر روی وجه مقابل پین مانند همین وجه نصب می‌شوند به نحوی که کرنش سنج R3 به جای کرنش سنج R1 و کرنش سنج R4 به جای کرنش سنج R2 قا ر می‌گیرد. روی پین بی بار نیز R5 در جای R1، R6 به جای R2، R7 به جای R3 و R8 به جای R4 قرار می‌گیرد. نحوه آرایش کرنش سنج‌ها مطابق شکل ۹-راست است. این آرایش علاوه بر حداکثر حساسیت اثرات دما را نیز از بین می‌برد.



شکل ۹-چپ: نحوه قرارگیری کرنش سنج‌ها روی پین‌های حس کننده کرنش لودسل بازوی پائین-راست: نحوه آرایش کرنش سنج‌های لودسل بازوی پائینی

-اندازه گیری زوایای بازوهای بالائی و پائینی

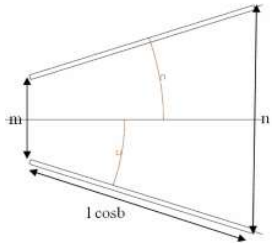
برای تجزیه نیروهای اندازه گیری شده در بازوی بالا و لودسل‌های بازوهای پائینی احتیاج به زوایای مختلف این بازوها می‌باشیم. سه زاویه (a، b و c) در تجزیه نیروها در راستاهای مختلف به کار رفته اند.

۳-۸-۱-زاویه بازوی پائین با صفحه افقی(b)

برای تعیین این زاویه سنسورهای نوری در نظر گرفته شد. این روش دقت اندازه‌گیری بسیار مناسبی دارد، بطوریکه دقت اندازه‌گیری نسبت به سایر دینامومترها بسیار بالاتر است. همچنین ساخت آن نیز براحتی صورت می‌گیرد. بازوهای پائین تقریبا ۱۶ درجه حرکت می‌کنند. ما برای داشتن دقت نیم درجه که دقت مناسبی برای کار ما می‌باشد احتیاج به ۳۲ حالت داریم که با ۵ نوار بدست می‌آید ($۲^۵=۳۲$).

-زاویه بازوهای پائین با صفحه عمودی(c)

برای تعیین این زاویه از هندسه تراکتور-ادوات استفاده می‌کنیم. با توجه به شکل ۱۰ داریم:



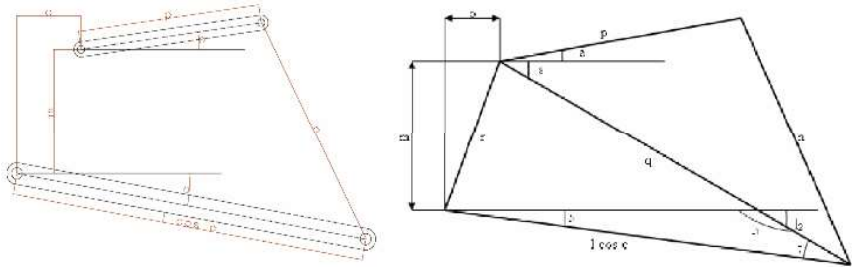
شکل ۱۰-بازوهای پائین در صفحه افقی

که در شکل n،۱۰ فاصله بین دو نقطه اتصال تراکتور پس از اتصال ادوات (بر حسب سانتیمتر)،m فاصله بین دو نقطه اتصال بازوهای پائین به شاسی (بر حسب سانتیمتر) و l طول بازوی پائین (بر حسب سانتیمتر) می‌باشد. در نتیجه زاویه c از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$c = \sin^{-1}\left(\frac{\frac{n-m}{2}}{l\cos b}\right)$$

-زاویه بازوی بالا با صفحه افقی(a)

این زاویه نیز با توجه به هندسه تراکتور-ادوات قابل اندازه گیری است. با داشتن اطلاعات شکل ۱۱ از هندسه تراکتور-ادوات می‌توان زاویه a را تشخیص داد.



شکل ۱۱-چپ: بازوهای بالا وپائین در صفحه عمودی-راست: شکل هندسی برای بدست آوردن اندازه زاویه a

که در شکل ۱۱-راست، l طول بازوی پائین، m فاصله عمودی نقاط اتصال بازوهای بالا و پائین به تراکتور،n فاصله نقاط اتصال بالا و پائین به ادوات در صفحه عمودی تراکتور،o فاصله افقی نقاط اتصال بازوهای بالا و پائین به تراکتور، p طول بازوی بالا می‌باشد. با توجه به هندسه شکل ۱۱-راست زاویه a با استفاده از رابطه زی بدست خواهد آمد:

$$(a+s) = \cos^{-1}\left(\frac{p^2+q^2-n^2}{2pq}\right)$$

-اندازه گیری سرعت واقعی

برای اندازه گیری سرعت واقعی ما از یک چرخش سنج که روی چرخ جلوی تراکتور نصب می‌شود استفاده کردیم. چرخ جلوی تراکتور دارای بکسوات کم می‌باشد به همین علت مانند چرخ عقب خطا ایجاد نمی‌کند. استفاده از چرخ جلو در مقایسه با چرخ پنجم نیز به علت هزینه ساخت کمتر و همچنین بکسوات کمتر (به علت وزن بیشتر روی چرخ جلو) می‌تواند طراحی مناسبتری باشد. طراحی سرعت سنج دستگاه نیز مانند تعیین زاویه بازوی بالائی توسط یک سیستم رمز کننده نوری می‌باشد. با این تفاوت که در تعیین زاویه ما تنها ۱۶ درجه را تحت پوشش ق ار می‌دادیم ولی در سرعت سنج دوایر ما کامل می‌باشند. با توجه به دقت مورد نیاز تعداد ۱۱ حلقه برای رمز کننده نوری در نظر گرفته شد. این ۱۱ حلقه ۲۰۴۸=2^{11} حالت را برای ما ایجاد می‌کند. دقت اندازه گیری زاویه از تقسیم ۳۶۰ درجه بر ۲۰۴۸ حالت یعنی ۰/۱۷۵۷۸۱۲۵ درجه بدست می‌آید. با اندازه گیری مقدار زاویه چرخش و داشتن شعاع دینامیکی چرخ جلوی تراکتور(شعاع درحین عملیات کار چرخ جلوی تراکتور)، و زمان‌های بین برداشت اطلاعات می‌توان سرعت خطی تراکتور را بدست آورد.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta\theta \cdot 2\pi R}{360}$$

v سرعت خطی واقعی (متر بر ثانیه)، Δx مقدار پیشروی (متر)، Δt مدت زمان (ثانیه)، $\Delta\theta$ مقدار چرخش چرخ جلوی تراکتور (درجه)، R شعاع دینامیکی چرخ جلوی تراکتور (متر) می‌باشد.

Δt توسط واحد جمع آوری اطلاعات اندازه گیری وثبت می‌شود. این مقدار با کم کردن زمان فعلی ثبت از زمان قبلی بدست می‌آید. معمولا این مقدار ثابت و برابر نرخ برداشت اطلاعات می‌باشد. مثلا اگر در هر ثانیه دو بار اطلاعات برداشت می‌شود، این زمان برابر نیم ثانیه می‌باشد. R نیز مقدار تقریبا ثابتی برای هر تراکتور می‌باشد. $\Delta\theta$ توسط سیستم زاویه سنج بدست می‌آید.
شعاع چرخ جلوی تراکتور(R) جاندیر 3140 ، ۳۹ سانتیمتر می‌باشد. با توجه به این داده رابطه زیر برای تعیین سرعت حرکت تراکتور بدست می‌آید:

$$dx = \frac{0.17578125 \cdot 2 \cdot 3.1415 \cdot 0.39}{360} \approx 0.0012\,(m)$$

و با در نظر گرفتن نرخ برداشت اطلاعات ۲۰Hz، حداقل سرعت ۱ m/s و با توجه به این که دقت دیتالاگر ۵۰ KHz می‌باشد، خطای اندازه گیری سرعت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$dv = \frac{tdx - xdt}{t^2} = \frac{1}{t}(dx - vdt) = \frac{1}{0.05}\left(0.0012 - 1 \cdot \frac{1}{50000}\right) = 0.0236$$

که خطائی کاملا قابل قبول (کمتر از ۲/۵٪) می‌باشد.

-سیستم جمع آوری اطلاعات

اطلاعات بدست آمده از مدارات کرنش سنج‌ها و زاویه بازوی پائینی و همچنین سرعت سنج بخش ورودی و خروجی آن در کامپیوتر محفوظ می گردد و توسط مانیتور قابل نمایش است.
برای جمع آوری اطلاعات یک دیتالاگر انتخاب شد. دیتالاگر انتخاب شده برای دستگاه دارای کانال‌های کافی ورود اطلاعات می باشد. در این دستگاه دو خروجی ولتاژ مدار الکتریکی برای هر کدام از لودسل‌های پائینی و یک خروجی ولتاژ برای مدار بالائی وجود دارد. بدین ترتیب نیاز به حداقل ۵ کانال آنالوگ برای دیتالاگر می‌باشد. همچنین زاویه سنج ۵ خروجی و سرعت سنج ۱۱ خروجی دارد، پس نیاز به ۱۶ کانال ورودی دیجیتال است. سرعت برداشت اطلاعات نیز ۲۰ Hz در نظر گرفته شد.
برای این دینامومتر دیتالاگر نوع SDA-810C از محصولات شرکت TML ژاپن انتخاب گردید. این دیتالاگر علاوه بر قابلیت‌های ذکر شده دارای نرم افزار مخصوص می‌باشد که این نرم افزار قابل برنامه ریزی توسط کامپیوتر می‌باشد. همچنین رای یک نمایشگر می‌باشد که نمودارها و اعداد را به صورت همزمان ارائه می‌دهد. این دیتالاگر توانائی تحریک مدارات کرنش سنج را دارد. ولتاژ تحریک کلیه مدارات موجود در دینامومتر ۵V می‌باشد. این دیتالاگر از باطری تراکتور تغذیه می‌گردد.
در نرم افزار دیتالاگر، ورودی‌ها دریافت می‌شود و روابط بدست آمده در قسمت‌های قبلی برای محاسبه نیروی کشش و عمودی و توان کششی به آن داده می‌شود و بدینوسیله پارامترهای مورد نظر بدست می‌آید. همچنین می‌توان اطلاعات خام را نیز به رایانه برد و در رایانه برنامه نویسی‌های لازم را انجام داد.

نتیجه گیری

دینامومتر طراحی و ساخته شده در کشور تاکنون از نوع قابی بوده است. دینامومترهای قابی با توجه به طراحی پیچیده، ساخت دشوار و خطاهائی که دارا می‌باشند، نتوانسته اند نیاز کشور به این وسیله را برآورده سازند. لذا سعی شد یک دینامومتر اتصالی مناسب شرایط کشور طراحی گردد. بنحوی که در انتخاب مواد ساخت و تمام موارد مورد نیاز از محصولات موجود در کشور انتخاب گردد. اکثر دینامومترهای ساخته شده تحقیقاتی و تجاری دارای توانائی‌های بسیار کمتر از دینامومتر طراحی شده فوق می‌باشند. در بسیار از دینامومترها فقط قابلیت اندازه‌گیری نیروی کشش وجود دارد و نیروی عمودی قابل محاسبه نیست. در بسیاری دیگر از دینامومترها زاویه بازوها اندازه گیری نمی‌شود و باید در ابتدا زاویه بازوها را اندازه گیری نمود و در حین کار نباید زاویه بازوها تغییر کند، که این امر نیز گریزناپذیر می‌باشد و در نتیجه خطا ایجد می‌کند. در اکثر دینامومترها از اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای صرفنظر شده است و درنتیجه اندازه‌گیری توان میسر نمی‌باشد. در این دینامومترها اثر بسیار مهم سرعت در مقاومت خاک لحاظ نمی‌گردد. در حین کار با این دینامومترها فرض می‌شود سرعت ثابت باقی بماند، که این موضوع هیچگاه تحقق نمی‌یابد و باعث خطا می‌گردد. اما در طراحی این دینامومتر سعی شد تا از فرض‌هایی که باعث خطاهای زیادی در دینامومترها می‌گردد، پرهیز شود. همچنین سعی شد دینامومتر قابلیت و انعطاف مناسبی داشته باشد تا اندازه‌گیری با دقت و سهولت مناسب انجام گیرد. زاویه بازوها در هر لحظه محاسبه می‌شود و تغییر زاویه بازوها خطائی در وسیله ایجاد نمی‌کند، و نیاز به اندازه‌گیری زوایای بازوها در ابتدای کار نمی‌باشد. سرعت لحظه‌ای محاسبه می‌گردد تا لازم نباشد سرعت در حین کار ثابت باقی بماند. همچنین می‌توان تاثیر سرعت بر

مقاومت خاک را با این دینامومتر اندازه گرفت. در مجموع هزینه‌های ساخت این دینامومتر در حدود ۱/۶۶۰/۰۰۰ ریال پیش بینی می‌گردد.

پیشنهادات

پیشنهادات زیر برای طراحی‌های مجدد و ساخت دستگاه توصیه می‌شود:

۱–با توجه به نیاز مبرم کارگاه‌های تولید ادوات کشاورزی کشور و مراکز تحقیقاتی این دستگاه ساخته شود و مزایا و معایب آن در عمل مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲–در ساخت دینامومتر حداکثر دقت به عمل آید زیرا ساخت یک وسیله اندازه گیری بسیار مهم می‌باشد و در صورت ساخت نامناسب دقت دستگاه به کاهش می‌یابد توصیه می‌شود ساخت لودسل‌های دستگاه با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته مانند CNC انجام گیرد.

۴–با توجه به اینکه با کاهش نیروی جانبی و همچنین زاویه بازوهای پائین با صفحه تقارن عمودی تراکتور دقت دستگاه افزایش می‌یابد، توصیه می‌شود که در حین کار با دینامومتر از افزایش این دو مقدار جلوگیری شود.

۵–در هنگاه کار باید زاویه بازوهای پائین با صفحه افقی و صفحه تقارن عمودی تراکتور برابر باشد.

۶–در صورت کافی نبودن دقت اندازه گیری در بازوی بالائی می‌توان با تغییر مقطعی که کرنش سنج‌ها در آن قرار دارند با مقطعی از جنس بهتر دقت اندازه گیری را افزایش داد.

۷–قبل از شروع کار، ابتدا باید سیستم اندازه گیری زاویه بازوهای پائینی در زوایای مختلف کالیبره شود، سپس سرعت سنج در سرعت‌های مختلف کالیبره گردد و مبدل‌ها نیز با دستگاه‌های مناسب و دقیق کالیبره گردند.

۸–با توجه به دقت بالا، با نصب این دستگاه به تراکتورهای مجهز به سیستم‌های کشاورزی دقیق اطلاعات مفیدی می‌توان کسب نمود.

منابع:

۱– بیگی، م. ۱۳۸۴. طراحی و روش ساخت یک دینامومتر اتصال سه نقطه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.

۲– درفشی، م. مردانی، ع. ۱۳۸۲. تئوری تعیین نیروی کششی و توان کششی دنباله بندها و تراکتورها در وضعیت مختلف اتصالات. اولین کنفرانس دانشجوئی مهندسی ماشین های کشاورزی، ارومیه.

3-Al-Janobi, A. Khadir and W. Mukuhal. 2000. Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. Soil & Tillage Research, 62:152-156.

4-Ghazavi, M.A. 1997. Energy inputs and resulting soil physical conditions of primary tillage implements. thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Newcastle Upon Tyne.

5-Godwin, R.J. Reynolds, A.J., Dogherty, M.J., and Chasal, A. 1993. Atriaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. Journal of agricultural engineering research., VOL55:189-205.

6-Smith, L.A. and Barker, G.L. 1995. Equipment to monitor field energy requirements. Transaction of the ASAE,25(6):1556-1559.