طراحی و ساخت دینامومتر سه‌محوره ادوات خاک‌ورزی

مرتضی خان‌رمکی[۱]، یوسف عباسپور گیلانده[۲]، عزت‌اله عسکری اصلی اردهٔ[۲] و حسین رستمیان[۳]

۱و۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد واستادیار، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

m.khanramaki5@gmail.com

چکیده

در این تحقیق دینامومتری طراحی و ساخته شد که بتواند نیروهای وارد بر ادوات خاک‌ورزی را در سه جهت عمود برهم (در راستای محورهای مختصات) تا محدوده حداکثر ۲۰ کیلونیوتن و همچنین گشتاورهای ایجاد شده را حول محورهای مختصات تا حداکثر۲۰ کیلونیوتن متر را اندازه‌گیری نماید. واحد اندازه‌گیری نیرو و گشتاور شامل دو مبدل رینگی با ساختار هشت وجهی که عمود بر هم سوار شده‌اند و همچنین یک مبدل برای اندازه‌گیری گشتاور(لوله گشتاورسنج) می‌باشد که توسط دو رینگ واسط به هم پیچ می‌شوند و لودسل نیز بر روی یک شاسی قابل اتصال به تراکتور سوار می‌گردد. نیروها و گشتاورهای وارد بر دینامومتر از طریق کرنش‌سنج‌هایی که روی اجزای لودسل نصب شده‌اند، اندازه‌گیری می‌شوند. به‌منظور طراحی مکانیکی شاسی دینامومتر و همچنین واحد اندازه‌گیری آن از روش اجزای محدود و از نرم‌افزار CATIA استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل نیروهای وارد بر دینامومتر، نحوه طراحی رینگ‌ها ولوله گشتاورسنج، نحوه سوار شدن اجزای لودسل روی هم، نحوه سوارشدن لودسل روی شاسی و نحوه قرارگیری کرنش سنج روی لودسل، به عبارت دیگر چگونگی قرارگیری اجزای دینامومتر در این مقاله بیان می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دینامومتر، مبدل رینگی هشت وجهی، کرنش‌سنج، پل وتستون.

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش تصاعدی جمعیت جهان و لزوم تهیه مواد غذایی بعنوان اصلی‌ترین نیاز بقای انسان با توجه به محدودیت زمین‌های قابل کشت و زرع از یک طرف باید از روشهای نوین در کشاورزی بهره جست و از طرف دیگر به نوعی باید بر بومی سازی ادوات کشاورزی اهتمام ورزید. تولید مواد غذایی مراحل مختلفی را می‌طلبد که خاک‌ورزی و آماده سازی بستر بذر به عنوان یکی از مراحل آن می‌باشد که نیاز به انرژی بالایی دارد. با عنایت به اینکه انرژی مصرفی تراکتورها عمدتاً از سوختهای فسیلی تامین می‌گردد و سوختهای فسیلی نیز جزو منابع انرژی تجدید ناپذیر و محدود در جهان بوده و روز به روز بر قیمت آن افزوده می‌شود، بهینه کردن عملکرد ادوات خاک‌ورزی و بومی کردن ادوات مطابق

با شرایط کشور می‌تواند بسیاری از افت‌های انرژی را کاهش دهد که لازمه این امر دانستن نیروهای وارد از طرف خاک بر ادوات خاک‌ورزی می‌باشد.

اندازه‌گیری نیروهایی که به منظور برش خاک در طول عملیات خاک‌ورزی لازم است یکی از هدف‌های اصلی بسیاری از تحقیقات در زمینه خاک‌ورزی و دینامیک خاک می‌باشد. مولفه‌های افقی برش خاک و کشش توجه بسیاری از محقّقین را به خود جلب کرده است زیرا این مولفه ها ارتباط مستقیمی با احتیاجات انرژی خاک‌ورزی و همچنین اندازه تراکتور (منبع توان) به‌منظور کشیدن ادوات خاک‌ورزی دارند. همچنین مکرراً مشاهده شده است که یکی از هدف‌های اصلی این مطالعات مشخص کردن و بررسی رابطهٔ این نیروها با خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد.

به‌منظور تعیین نیروی‌های وارد بر ادوات خاک‌ورزی از طرف خاک در حین اجرای عملیات خاک‌ورزی باید از دینامومترها استفاده شود. واژه دینامومتر از دو کلمه دینامو[1] به مفهوم نیروی حاصل از توان و میتر[2] به معنی اندازه‌گیری تشکیل شده است. بنابراین دینامومتر یک وسیله اندازه‌گیری نیرو می‌باشد. گرچه ممکن است دینامومتر همه کمیت‌های موردنیاز برای محاسبه توان اعمال شده، یعنی نیرو، مسافت و زمان را اندازه بگیرد. اما اصطلاح دینامومتر عموماً به وسایلی اطلاق می‌شود که فقط نیرو و گشتاور اعمال شده را می‌سنجند.

بطورکلی هدف از این تحقیق طراحی و ساخت یک دینامومتر ادوات خاک‌ورزی بود بطوریکه که قادر باشد نیروها و گشتاورها وارد بر ادوات خاک‌ورزی مختلف را در جهات سه‌گانه و حول محورهای مختصات اندازه‌گیری نماید.

مواد وروشها

۱- طراحی و ساخت شاسی دینامومتر

ساختار دینامومتر ادوات خاک‌ورزی طراحی و ساخته شده در این تحقیق، شامل یک شاسی و واحد اندازه‌گیری نیرو می‌باشد. شاسی دینامومتر از یک قابی به مشخصات شکل ۱ ساخته شده است که شامل قسمت‌های دربرگیرنده واحد اندازه‌گیری نیرو و قسمت اتصال به سیستم اتصال سه‌نقطه تراکتور می‌باشد. شاسی از یک ناودانی فولادی ١٤ با تنش تسلیم ۲۳۵ مگاپاسکال ساخته شده است. دو لبه ناودانی روی هم قرارگرفته و جوش داده شد تا تشکیل یک قوطی به ابعاد ١٤×١٢ سانتی‌متر به ضخامت ۵ میلی‌متر را بدهد. در درون قاب طراحی و ساخته شده، جهت اتصال واحد اندازه‌گیری نیرو و گشتاور به شاسی، از یک ورق فولادی ۲۰ میلیمتر از جنس فولاد به‌ترتیبی که در شکل ۱ نشان داده شده است، استفاده گردید. طراحی، تجزیه و تحلیل تنش و کرنش در شاسی توسط نرم افزار CATIA انجام شد.

در محیط طراحی ابتدا شاسی دستگاه و واحد اندازه‌گیری به همان صورت که ساخته می شد، شبیه سازی و طراحی شد و سپس به محیط تحلیل منتقل گردید. در این محیط ابتدا تمام خطوط، نقاط جوش، شرایط مرزی (از قبیل نقاط تکیه‌گاهی و نقاط اعمال نیرو و گشتاور) و مقدار نیرو وگشتاور اعمالی تعریف شد. در این تحلیل که از روش اجزاء

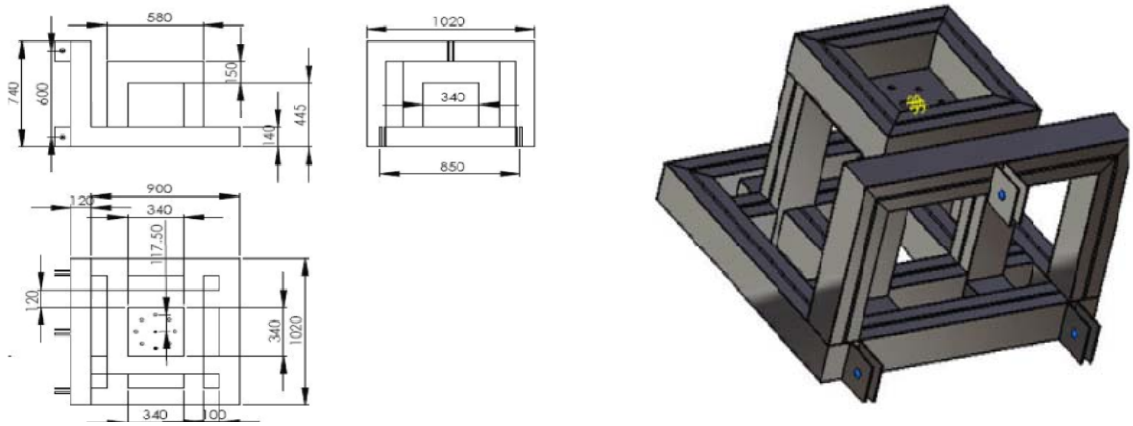
---

[1]- Daynamo
[2]- Meter

محدود استفاده شد اجزاء(المان‌ها) از نوع حجمی و چهار وجهی بودند. نقاط تکیه‌گاهی به عنوان یکی از موارد شرایط مرزی، سه نقطه بر روی دستگاه که جهت اتصال شاسی دستگاه به تراکتور تعبیه گردیده، در نظر گرفته شده است. یکی دیگر از موارد شرایط مرزی، نقاط اعمال نیرو و گشتاور است که بر روی صفحه بالایی قاب که به صورت گسترده توزیع شده است، می‌باشد.

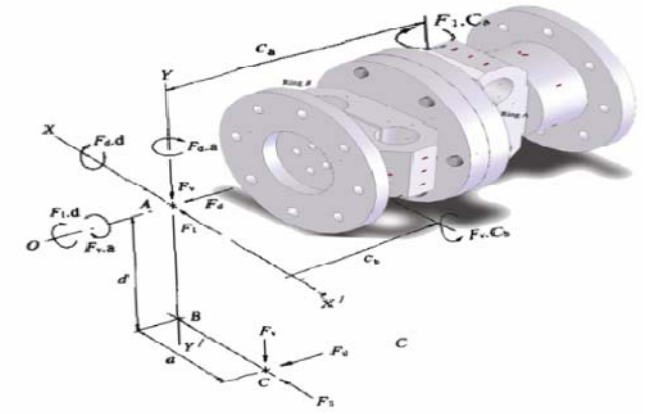
۲- طراحی و ساخت واحد اندازه‌گیری دینامومتر

واحد اندازه‌گیری نیرو در این دینامومتر، شامل دو مبدل با ساختار هشت وجهی هشت[۳] وجهی می باشد که توسط رینگ واسط با پیچ بصورت عمود برهم به یکدیگر متصل می شوند که این مجموعه از یک طرف به یک مبدل گشتاورسنج جهت اتصال به شاسی و از طرف دیگر به یک رینگ برای سوار کردن ادوات به دینامومتر پیچ می شود. مبدل‌ها با ساختار هشت وجهی و گشتاورسنج با ماشینکاری و ازجنس فولاد ۱۰۱۵ ساخته شدند. شکل ۲ نیروهای و گشتاورهای وارد بر واحد اندازه‌گیری دینامومتر را نشان می‌دهد.



(ب) (الف)

شکل ۱: (الف) طرح شاسی دینامومتر (ب) نقشه شاسی



شکل ۲: نیروها وگشتاورهای وارد بر واحد اندازه‌گیری دینامومتر

[1-] Extended Octagonal Ring

نسبت بالای حساسیت به سختی، اندازه مناسب و نصب آسان از ویژگی های مبدل‌های رینگی هشت وجهی نیرو می‌باشند. همچنین این مبدل ها قابلیت تجزیه و نمایش همزمان نیروهای وارد بر رینگ را به صورت مولفه های قائم و افقی و نیز نمایش گشتاورهای خمشی ایجاد شده در اثر نیروهای اعمال شده بر روی رینگ را دارند. مبدل‌های رینگی هشت وجهی نیرو به علت قابلیت اندازه گیری مستقل نیرو در دو بعد افقی و قائم و نیز اندازه‌گیری گشتاور برآیند ناشی از دو نیروی افقی و قائم در یک بعد، به عنوان مناسب‌ترین مبدل های حس کننده نیرو برای کار بر روی دینامومترهای سه‌محوره شناخته می شوند و تحقیقات بسیاری برای توسعه این گونه از مبدل‌ها در حال انجام است اصول حاکم بر این مبدل بدین صورت است که زمانی که نیروهای افقی و قائم عمود برهم، بر روی مبدل‌ها اعمال می‌شود، تعدادی ازگره‌های تنش (کرنش) برروی مبدل ایجاد می‌گردد که به عنوان مبنایی برای اندازه گیری مستقل مولفه‌های نیروی افقی و قائم بر روی مبدل به کار گرفته می‌شود. دو مولفه نیروی وارده بر روی مبدل باید به گونه‌ای اندازه‌گیری شود که حداقل مقدار اثر متقابل در اندازه گیری این نیروها ایجاد شود. موقعیت زوایایی که در آنها ممان خمشی و کرنشهای مماسی ناشی از ممان خمشی بر روی مبدل برابر صفر میباشند، عموماً به نام گره‌های کرنش شناخته می‌شوند.

اولین مرحله برای طراحی مبدل‌ها، تعیین جنس مناسب برای این‌گونه از مبدل‌ها می‌باشد، زیرا در این مبدل به منظور اندازه‌گیری نیروها و ممان وارده بر روی مبدل از کرنش‌سنج‌های الکتریکی که بر روی سطح مبدل نصب می‌گردد و کرنش‌های سطحی ایجاد شده بر روی مبدل را اندازه‌گیری می‌نماید، استفاده می‌شود. بنابراین جنس مبدل‌ها باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر داشتن استحکام کافی در برابر نیروهای وارده از طرف تراکتور و ماشین‌های کشاورزی سوار، دارای مقادیر مناسبی از کرنش بر روی سطح مبدل در اثر نیروها و ممان وارده بر آن باشد، که کرنش‌سنج‌های الکتریکی قادر به اندازه‌گیری موثر آن باشند. با توجه به این مطلب که فولادهای موجود در بازار ایران به دو صورت فولادهای معمولی و فولادهایی با پایه آلیاژی ارائه می‌گردند و فولادهای آلیاژی دارای تنش تسلیم نسبتاً بالا و کرنش‌های کوچک می‌باشند، برای طراحی و ساخت مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی در این تحقیق، فولادهای معمولی که دارای استحکام تسلیم متوسط و مقادیر کرنش قابل اندازه‌گیری توسط کرنش‌سنج‌های الکتریکی می‌باشند، انتخاب گردید. بنابراین به منظور طراحی و ساخت مبدل‌های رینگی نیرو با ساختار هشت وجهی در دینامومتر اتصال سه‌نقطه از فولاد AISI 1015 استفاده شد، که دارای خواص مکانیکی تنش تسلیم $(S_y = 235\ Mpa)$،تنش نهایی $(S_u = 320\ Mpa)$ و مدول الاستسیته $(E = 207\ Gpa)$ می‌باشد.

تحقیقات مختلفی بر روی طراحی و ساخت مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی توسط اشخاص متفاوت صورت گرفته است و روش‌های متنوعی برای طراحی این نوع از مبدل‌ها معرفی شده است. یکی از متداول‌ترین و کارآمدترین روش‌ها برای طراحی این نوع از مبدل‌ها روشی است که توسط کوک و رابینویچ ارائه شده است. در این روش، طراحی و ساخت مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی با توجه به حداکثر گشتاور خارجی اعمال شده بر روی مبدل در طی انجام عملیات و با در نظر گرفتن ضریب سختی مبدل برابر با ۱/٦ که باعث بوجود آمدن حساسیت گشتاوری معادل ۰/٤ برای مبدل می‌شود، انجام می‌گیرد. شکل ۳ برخی پارامترهای مهم در طراحی مبدل نیرو با ساختار هشت وجهی را نشان می‌دهد.

روابطی که توسط کوک و رابینویچ برای طراحی مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی ارائه گردیدند، عبارتند از:

$$K = \frac{L}{r} \qquad (۱)$$

$$M_S = \frac{\varepsilon E b t^2}{M_O} \qquad (۲)$$

که در آن:

K: ضریب سختی مبدل

L: نصف فاصله بین مراکز حلقه‌ها بر روی مبدل(mm)،

r: شعاع متوسط هر کدام از حلقه‌های مبدل(mm)،

M_s: حساسیت گشتاور مبدل(kN.m)،

M_o: گشتاور خارجی اعمال شده بر روی مبدل،

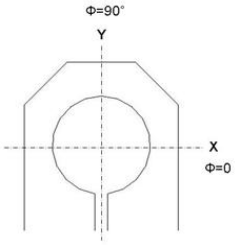
ε: کرنش ناشی از نیروهای اعمالی بر روی مبدل،

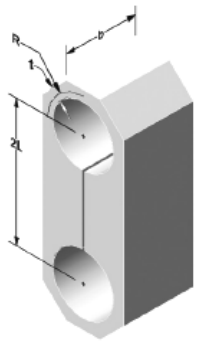
E: مدول الاستسیته مبدل(Gpa)،

b: پهنای مبدل(mm)،

t: ضخامت رینگ مبدل(mm)،

بنابراین برای طراحی مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی، در گام نخست باید حداکثر گشتاور خارجی اعمال شده بر روی مبدل در اثر نیروهای وارده بر مبدل (M_o)، مشخص گردد. همانطوریکه قبلاً نیز اشاره گردید، این گشتاور ۲۰ کیلونیوتن بر متر در نظر گرفته شد.





شکل ۳: برخی پارامترهای مهم در طراحی مبدل نیرو با ساختار هشت وجهی

حال با در دسترس بودن گشتاور خارجی اعمال شده بر روی مبدل و با استفاده از روابط ارائه شده توسط کوک و رابینویچ می‌توان اقدام به طراحی مبدل نمود.رعایت نمودن یکسری از فرضیات برای طراحی مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی ضروریست، از آن جمله می‌توان به پهنای مبدل (b) و قطر سوراخ‌کاری‌های موجود بر روی مبدل (φ) اشاره نمود. در این تحقیق پهنایی معادل با ۱۱۰ میلی‌متر برای مبدل در نظر گرفته می‌شود، همچنین با توجه به اینکه در بسیاری از تحقیقات پیشین که در مورد مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی انجام گرفته است،

به منظور افزایش حساسیت رینگ مبدل‌ها، قطر سوراخ‌کاری‌های موجود بر روی مبدل، معادل با ٦٠ میلی‌متر در نظر گرفته شده است، در این تحقیق اندازه فوق برای سوراخ‌کاری‌ها در طراحی مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی رعایت خواهد شد و محاسبات طراحی بر اساس فرضیات فوق انجام می گیرد بنابراین داریم:

با در نظر گرفتن اطلاعات فوق و آگاهی از مقدار تنش تسلیم فولادی که مبدل با استفاده از آن ساخته می‌شود و با بکار بردن روابط معرفی شده توسط کوک و رابینویچ می‌توان ابعاد مطلوب برای مبدل را به شرح زیر محاسبه نمود.

با توجه به اینکه مقدار گشتاور اعمالی خارجی بر روی مبدل مقدار ٢٠ کیلو نیوتن متر می باشد. همچنین با توجه به این نکته که پهنای مبدل برابر با ٩٠ میلی‌متر در نظر گرفته شده است و با عنایت به فرمول $\sigma = \varepsilon E$ و مقدار تنش تسلیم ٢٣٥ MPa و ضریب ایمنی ٢ برای مبدل و روابط کوک و رابینویچ داریم:

$b = 110\ mm$
$M_o = 20kN.m$
$\sigma = \varepsilon E$ (٣)

$E(AISI\ 1015)=207\ Gpa$ $S_y\ (AISI\ 1015) = 235\ Mpa$

$$M_S = \frac{\varepsilon E b t^2}{M_O} = 0.4 \quad (٤)$$

در نتیجه، با توجه به روابط فوق خواهیم داشت:

$$\frac{Sy.bt^2}{M_O} = 0.4 \quad (٥)$$

$$t^2 = \frac{0.4 M_O}{Sy.b} \quad (٦)$$

با جایگذاری مقادیر معلوم در رابطه فوق، می‌توان مقدار ضخامت t رینگ‌های مبدل را محاسبه نمود.

$t^2 = 618.95\ mm^2$
$t = 25\ mm$

بنابراین مقدار ضخامت رینگ‌های مبدل نیرو با ساختار هشت وجهی برابر با ٢٥ میلی‌متر محاسبه گردید. با توجه به اینکه به‌منظور اهداف ماشین‌کاری بر روی رینگ هشت وجهی، شعاع‌های سوراخ‌های داخلی مبدل به اندازه ٣٠ میلی‌متر در نظر گرفته شده است، با استفاده از روابط هندسی حاکم بر رینگ هشت وجهی می‌توان ابعاد و مشخصات دیگر مبدل را محاسبه نمود (شکل ٤). روابط هندسی حاکم بر رینگ‌های هشت وجهی عبارتند از:

شعاع متوسط: $r = 425\ mm$

فاصله بین مراکز رینگ‌های مبدل: $2L = 1088\ mm$

عرض مبدل: $W = 110\ mm$

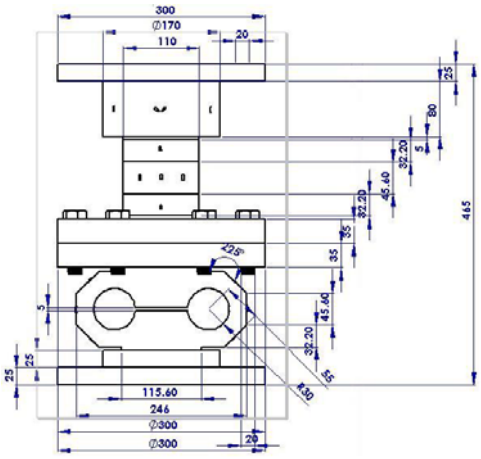
طول مبدل: $P = 246 \quad mm$

طول تکیه‌گاه: $Q = 115.6 \quad mm$

برای محاسبه ابعاد گشتاورسنج که ضخامت لوله مهمترین آن می باشد،از رابطه زیر استفاده می شود:

$$r_i^4 = r_o^4 - \frac{2r_o(M-\sqrt{(M^2+T^2)})}{(\pi\sigma_y)} \qquad (۷)$$

با توجه به اینکه دو گشتاور حاصل از دو نیروی افقی سبب پیچش لوله می‌شود برابر ٤٠ کیلو نیوتن‌متر و گشتاور حاصل از نیروی عمودی که سبب خمش آن می‌شود، برابر۲۰ کیلونیوتن می‌باشد. با فرض اینکه شعاع بیرونی ۸۵ میلیمتر باشد، براساس رابطه(۷) شعاع داخلی ٦٨ میلیمتر محاسبه گردید.



شکل ٤: ابعاد واحد اندازه‌گیری نیرو در دینامومتر سه محوره ادوات خاک‌ورزی

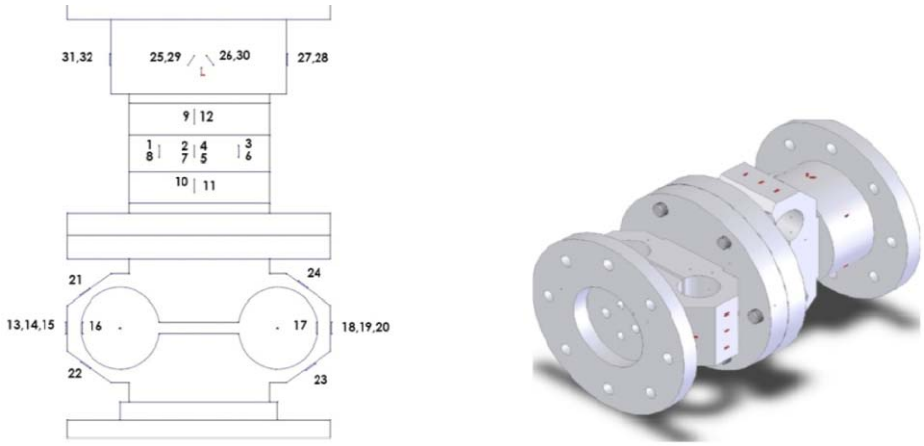
پس از طراحی مبدل‌ها و مشخص شدن ابعاد آنها، اقدام به مشخص‌نمودن محل نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی هر کدام از مبدل‌ها می‌نماییم. بر روی هر کدام از مبدل‌های با ساختار هشت وجهی تعداد دوازده عدد کرنش‌سنج به منظور اندازه‌گیری نیروهای افقی ، قائم و گشتاور ناشی از آنها وارد بر مبدل و بر روی مبدل گشتاورسنج تعداد هشت کرنش‌سنج برای اندازه گیری گشتاور وارد بر مبدل نصب گردید (شکل ٥). به منظور معین نمودن موقعیت نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی هر کدام از مبدل‌ها در این طرح، مطابق با تئوری انرژی کرنش و با استفاده از فرمول‌های طراحی ارائه شده توسط مک‌لافلین (۱۹۹٦) برای مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی ارائه گردید، به‌منظور مشخص نمودن نقاط گرهی کرنش بر روی هر کدام از مبدل‌ها یک برنامه کامپیوتری در نرم افزار MATLAB نوشته شد.

$$\varepsilon_\varphi = \frac{6M_\varphi}{Ebt^2} \qquad (۸)$$

با عنایت به اینکه، فرمول‌های ارائه شده فوق مقادیر ممان خمشی M_φ را در زوایای مختلف φ روی رینگ مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی، زمانی که دو نیروی عمود برهم F_X و F_Y و گشتاورخارجی M_O بر روی مبدل اعمال می‌شود را نشان می‌دهند.

لذا با توجه به داده‌های به‌دست آمده از برنامه MATLAB در مورد نقاط گرهی کرنش و مطابق با تئوری انرژی کرنش، محل نصب کرنش‌سنج‌های نیروهای عمودی ، افقی و گشتاور ها بر روی مبدل نیرو با ساختار هشت وجهی به منظور اندازه‌گیری نیروهای افقی و قائم به ترتیب زاویای ۹۰ و ۳۹/۵٤ درجه و روی مبدل گشتاورسنج زوایای ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۳٦۰ درجه در نظر گرفته شد.

به منظور انتخاب کرنش‌سنج مناسب برای نصب در نقاط گرهی کرنش مبدل‌های نیرو با ساختار هشت وجهی ، مبدل گشتاورسنج و تشکیل پل‌های وتستون مربوط به اندازه‌گیری نیروهای افقی ، عمودی و گشتاورهای وارد بر مبدل، بایستی حداکثر کرنش مماسی را که بر روی سطح مبدل بر اثر اعمال نیروهای افقی و عمودی طراحی، ایجاد می‌شود را محاسبه نمود، تا با مقایسه‌ی این مقدار با حداکثر مقادیر کرنش که کرنش‌سنج‌های مختلف قادر به اندازه‌گیری آن می‌باشند، کرنش‌سنج مناسب برای نصب بر روی مبدل‌ها را انتخاب نمود.



شکل ۵: موقعیت کرنش‌سنج‌ها بر روی واحد اندازه‌گیری نیرو و ممانها در دینامومتر سه محوره ادوات خاک‌ورزی

با استفاده از برنامه‌ی نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB برای محاسبه کرنش مماسی در زوایای مختلف بر روی مبدل‌های رینگی نیرو با ساختار هشت وجهی بر اساس فرمول‌های طراحی مک‌لافلین (۱۹۹٦)، حداکثر کرنش مماسی بر روی گره‌های کرنش برابر با ۱۵۰۰ میکروکرنش بدست‌آمد. بنابراین با مراجعه به راهنمای کرنش‌سنج‌ها، می‌توان کرنش‌سنجی را که قادر به اندازه‌گیری کرنش مماسی حداکثر مبدل باشد، انتخاب نمود.

با توجه به این نکته که جنس مبدل‌ها از فولاد می‌باشد و همانطور که می‌دانیم هرچه طول موثرکرنش‌سنج بلندتر باشد، محدودیت آن برای کرنش کمتر است و هرچه کوتاه‌تر باشد، دارای حساسیت بیشتری خواهد بود، بنابراین کرنش‌سنج FLA-3-11-1L را برای نصب بر روی مبدل انتخاب شد.

باعنایت به این مطلب که حداکثر کرنشی را که می‌توان با استفاده از یک کرنش‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری کرد، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{S_g} \qquad (۹)$$

که در آن

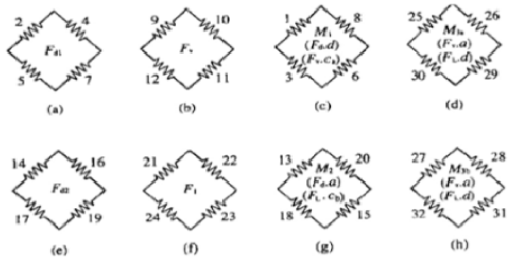
ε: کرنش قابل تحمل کرنش‌سنج،

ΔR : تغیرات مقاومت کرنش‌سنج،

R: مقاومت کرنش‌سنج،

S_g: فاکتور کرنش‌سنج، می‌باشد.

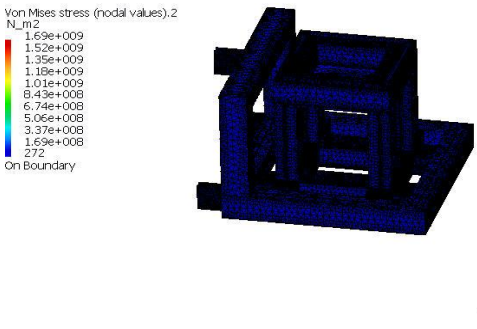
با توجه به این نکته که کرنش‌سنج FLA-3-11-1L با توجه به رابطه‌ی (۹) قادر به اندازه‌گیری حداکثر کرنش مماسی در نقاط گرهی کرنش مبدل‌های رینگی نیرو بر اثر اعمال نیروهای افقی و عمودی طراحی می‌باشد و دارای حساسیت بیشتری نسبت به FLA-5-11-1L است، بنابراین از این کرنش‌سنج در این طرح استفاده گردید.
روش نصب پس از مشخص‌شدن نقاط گرهی به منظور کاهش تاثیرات متقابل مولفه‌های نیروی افقی و عمودی برهم باید مورد توجه قرار گرفته شود. گره‌های کرنش برای اندازه‌گیری نیروی عمودی و نیروی افقی، با استفاده از یک شابلون که به شکل دید از روبروی مبدل بود و در ابعاد واقعی ساخته شد بود و بر روی آن زوایای ۳۹/۵٤ و ۹۰ درجه به صورت دقیق مشخص شده بود، معین گردید. کرنش‌سنج‌های مربوط به اندازه‌گیری نیروی عمودی و نیروی افقی در این زوایا نصب گردید. هر مبدل دارای تعداد هشت عدد کرنش‌سنج می‌باشد که در گره‌های زاویه‌ای ۳۹/۵٤ و ۹۰ درجه بر روی مبدل نصب گردید. کرنش‌سنج‌های انتخاب شده برای نصب بر روی مبدل نیرو با ساختار هشت وجهی عبارتند از کرنش‌سنج‌های نوع FLA-3-11-1L ساخت شرکت TML با ضریب کرنش‌سنج ۲/۱ و مقدار مقاومت کرنش‌سنج برابر۱۲۰ اهم می‌باشند. هر کدام از کرنش‌سنج‌های انتخاب شده، برای اجتناب از لحیم‌کاری، دارای یک رشته سیم به طول یک متر می‌باشند. نصب کردن کرنش‌سنج‌ها بر روی سطح مبدل بعد از تمیز کردن سطح مبدل با استفاده از سمباده ریز سیلیکون کاربید و الکل انجام می‌گیرد. کرنش‌سنج‌ها با استفاده از ماده چسبی Epoxy به نقاط مخصوص روی مبدل چسبانده می‌شوند. از پوشش محافظ SG ۲۸۰ برای محافظت از کرنش‌سنج‌ها استفاده می‌شود. محافظت مکانیکی کرنش‌سنج‌های نصب شده بر روی مبدل‌ها به طور اختصاصی توسط پایه‌هایی که بر روی مبدل‌ها نصب می‌شود، تامین می‌گردد. برای اینکه بتوانیم از مبدل‌های رینگی نیرو با ساختار هشت وجهی ومبدل گشتاورسنج برای اندازه‌گیری نیروهای افقی، عمودی وگشتاورهای وارد بر مبدل استفاده کنیم، باید کرنش‌سنج‌های نصب شده در گره‌های کرنش مربوط به اندازه‌گیری نیروهای افقی، عمودی و گشتاورهای وارد بر مبدلها، به صورت یک مدار پل وتستون آرایش شوند و در ساختار پل وتستون به یک جریان مستقیم متصل گردند. محل نصب کرنش‌سنج‌های مقاومت الکتریکی و چگونگی آرایش کرنش‌سنج‌ها بر روی مدار پل وتستون در شکل ٦ نشان داده شده است.



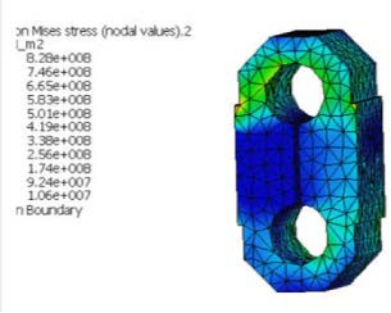
شکل ٦: پل‌های وتستون تشکیل شده جهت اندازه گیری نیروها و گشتاورها

نتایج و بحث

نتیجه تحلیل با استفاده از روش اجزای محدود نشان می‌دهد که در هیچ نقطه ای از شاسی تنش ایجاد شده در اثر اعمال نیرو وگشتاور بالاتر از تنش تسلیم و مجاز نمی باشد و تمام تغییر شکلهای (کرنشهای) در محدوده الاستیک می بلشد و هیچ گونه تغییرشکل پلاستیکی در شاسی ایجاد نمی گردد. درمورد واحد اندازه‌گیری دینامومتر نیز وضع به همین منوال می باشد. به این ترتیب که نوع المان انتخاب شده شبیه نوع المان در شاسی می باشد. اما نقاط تکیه گاهی به عنوان یکی از شرایط مرزی اعمال شده در واحد اندازه گیری، یکی از رینگهای دوطرف واحد اندازه‌گیری دینامومتر می باشد و به رینگ دیگر نیرو وگشتاور اعمال می گردد که به عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته شد. نقاط در نظر گرفته شده در رینگ های میانی و رینگ های هشت وجهی به عنوان نقاط ثابت در منظور گردید. نتیجه تحلیل نیز شبیه تحلیل انجام شده برای شاسی می باشد که در تمام موارد تنش ایجاد شده در کلیه نقاط تحت هیچ شرایطی بالاتر از تنش مجاز نمی باشد و تغییر شکلهای ایجاد شده نیز در حد الاستیک باقی می‌ماند. شکل ۷ نتیجه تحلیل شاسی و شکل ۸ نتیجه تحلیل یکی از مبدلهای رینگی با ساختار هشت وجهی را نشان می‌دهد.



شکل۷: نتیجه تحلیل شاسی دینامومتر ادوات خاک‌ورزی با استفاده از روش اجزای محدود



شکل۸: تحلیل مبدل با ساختار هشت وجهی با استفاده از روش اجزای محدود

نتیجه‌گیری

دینامومتر طراحی و ساخته شده در این تحقیق می‌تواند نیروهای وارد بر ادوات خاک‌ورزی را در سه جهت عمود برهم (در راستای محورهای مختصات) تا محدوده حداکثر ۲۰ کیلونیوتن و همچنین گشتاورهای ایجاد شده را حول محورهای مختصات تا حداکثر۲۰ کیلونیوتن‌متر را اندازه‌گیری نماید. طراحی و تحلیل نمونه شبیه‌سازی شده دینامومتر نشان می‌دهد که کلیه اجزای دینامومتر در اثر اعمال نیرو و گشتاور اعمالی در سه جهت از طرف ادوات خاکورزی در محدوده مجاز تنش و کرنش (محدوده الاستیک) عمل می‌کند. در این تحقیق نقاط گرهی کرنش جهت اندازه‌گیری نیروهای عمودی، افقی و گشتاورهای وارد بر روی مبدل نیرو با ساختار هشت وجهی به‌منظور اندازه‌گیری نیروهای افقی و قائم به ترتیب زوایای ۹۰ و ۳۹/۵٤ درجه و روی مبدل گشتاورسنج زوایای ۰، ۹۰، ۱۸ و ۳٦۰ درجه در نظر گرفته شد.

منابع

۱-ثقفی، م. ،۱۳٦۹. تراکتور و مکانیسم آن. مرکز نشر دانشگاهی تهران.

۲- ساعتچی،ا. ، ادریس،ح. ،۱۳۸۵.کلید فولاد.انتشارات ارکان دانش.

3-Al-Janobi , A.A. and S.A. Al- Suhaibani. 1998. Draft of primary tillage implements in sandy loam soil. *Applied Engineering in Agriculture.* 14(4): 343 – 348.

4-Chen, Y., Mclaughlin, N.B., Tessier, S., 2006. Double extended octagonal ring (DEOR) drawbar dynamometer. *Soil & Tillage Research*. 93: 462-471.

5-Cook,N.H.;Rabinowiez,E.Physical measurement and analysis .New York,Addison-wesley,1963.

6- Dally, J. W.; Riley, W. F. Experimental stress analysis. New York, McGraw-Hill,1965.

7-Den Hartog, J. P. Strength of materials. New York: Dover Publications, 1961

8-Godwin, R .J. Force measurements on tillage implements .Proceedings of the 9th Conference of the International Soil Tillage Research Organisation, 1982, Yugoslavia , Osijek.

9-Godwin, R. J., A. J. Reynolds, M. J. O'Dogherty, A. A. Al-Ghazal, 1993. A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements . *Journal of Agricultural Engineering Research*. 55 : 189 – 205.

10-Godwin, R. J. An extended Octagonal ring transducer for use in tillage studies. Journal of Agricultural Engineering research 1975, 20(4):347-352.

11-Hoag, D.L., Yoerger, R.R., 1975. Analysis and design of load rings. *Transaction of the ASAE*. 19: 995-1000.
12-Khan, J., Godwin, R.J., Kilgour, J., Blackmore, B.S., 2007. Design and calibration of a Bi-Axial extended octagonal ring transducer system for the measurement of tractor- implement forces. Asian Research Publishing Network. Vol 2: 16-20.
13-Kheiralla, A.F., Yahya, A., Zohadie, M., Ishak, W., 2003. Design and development of three- point auto hitch dynamometer for an agricultural tractor. AJSTD. Vol 20 271-288.
14-Lowen, E, G.; Marshall, E. R; Shaw, M, C. Electric strain gauge tool dynamometers. Proceeding of the Society of Experimental Stress Analysis 1951, 8(2); 1.
15- Lowen , E. G.; Cook, N. G. Metal cutting measurements and their interpretation. Proceedings of the society of Experimental Stress Analysis 1956, 13(3): 57.
16-McLaughlin, N.B., 1996. Correction of an error in equations for extended ring transducers. Transactions of the ASAE. Vol 39: 443-444.
17- McLaughlin, N.B., Chen, Y., Tessier, S., 2005. Effect of strain gage misalignment on cross sensitivity in extended ring transducers. CSAE Paper 05-063. CSAE, Winnipeg, MB, Canada.
18- Timoshenko, S. P.; Gere , J. M. Mechanics of materials. Van Nostrand Reinhold, 1972.
19-Thakur, T. C.; Godwin, R. J. Design of extended octagonal ring dynamometer for rotary studies. Agricultural Mechanisation in Asia, Africa and Latin America 1988, 19(3):23-28.
20- Roark, R. J. Formulas for stress and strain. New York, McGraw Hill, 1965.

Abstract
In this research, a dynamometer was designed to measure the forces and moments acting on a tillage implement for use in the field. The instrument is able to measure the three orthogonal forces acting on the implement and the three moments acting about the orthogonal axes, up to a maximum force of 20 kN and a maximum moment of 100 kNm. The dynamometer employs two extended orthogonal rings mounted in a “back-to-back” arrangement with their axes at right angles and a torque tube. In order to mechanical design of the dynamometer frame and its units, the finite element method and CATIA software were used. The device was machined from the solid using a high tensile steel. The forces and moments acting on the dynamometer were measured by the use of strain gauge bridges. The results of the design criteria of the rings and the torque tube and the arrangement and function of the strain gauge bridges are described in the paper.
Keywords: Dynamometer, extended octagonal ring transducer, strain gauge and Wheateston Bridge