

طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه تک چرخ شنی آزمایشگاهی

هوشنگ محبوب ینگجه*^۱، مازیار فیض اله زاده^۲، عارف مردانی کرانی^۳

- ۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
- ۲- دانش آموخته دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
- ۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

تردد وسیله نقلیه بر روی خاک از طریق سطح تماس چرخ با خاک و اندرکنش چرخ-خاک صورت می‌گیرد. با توجه به گسترش کاربرد ماشین‌آلات و روند افزایشی وزن آن‌ها برای بالا بردن عملکرد، تردد این ماشین‌ها مباحثی از جمله تنش ایجاد می‌کند، بهبود کشش و کاهش مصرف انرژی را حائز اهمیت می‌سازد. در این پژوهش اقدام به طراحی و ساخت یک سامانه تک چرخ شنی آزمایشگاهی گردید. برای انجام آزمایش‌ها، تجهیز چرخ شنی و چرخ بادی بر روی حامل انباره خاک با خاکی از نوع لومی-رسی قرار گرفت. تنش‌ها و نشست خاک زیر چرخ‌ها در عمق‌های ۸، ۱۴ و ۲۴ سانتی‌متر خاک و در تردد‌های ۱، ۷ و ۲۰ با سرعت ثابت ۱ کیلومتر بر ساعت اندازه‌گیری شد. نتایج ارزیابی کار دستگاه و آزمایش‌ها حاکی از عملکرد قابل قبول و معنی دار مکانیسم چرخ شنی و همچنین پایین بودن فشار زیر چرخ شنی است. به طوری که در تردد‌های ۱، ۷ و ۲۰ به ترتیب ۲۲، ۷۰/۹۷ و ۷۵ درصد چرخ شنی نشست کمتری نسبت به چرخ بادی در خاک ایجاد کرده است.

کلمات کلیدی: چرخ شنی، چرخ بادی، تراکم خاک، انباره خاک، ترامکانیک.

*نویسنده مسئول: هوشنگ محبوب ینگجه

۱-مقدمه

امروزه کشاورزی مدرن مستلزم تحقیق در زمینه طرح‌های جدید در ارتباط با طراحی و چیدمان چرخ ماشین‌های برون‌جاده‌ای از جمله تراکتور را دارد. چراکه منجر به بهبود کشش تراکتور، کاهش تراکم خاک و حذف پارامترهای مزاحم در برهم‌کنش بین خاک و تایر می‌گردد. به طور کلی وظیفه یک چرخ تحمل بخشی از وزن ماشین، تأمین کشش و راه‌اندازی ماشین است. عملکرد یک چرخ، طی فرایند درگیری با زمین، علاوه بر شرایط بارگذاری و چگونگی سطح زیرین چرخ، تحت تأثیر هندسه و ساختار فیزیکی چرخ هم قرار دارد. همچنین در خصوص متغیرهای کلیدی در مدل‌های تحرک ماشین‌های برون‌جاده‌ای، می‌توان به شکل و طرح چرخ‌ها، خصوصیات خاک و ناهمواری‌های زمین، دینامیک وسایل نقلیه و برهم‌کنش وسایل نقلیه و زمین اشاره کرد. همچنین زمانی که بار عمودی وارده بر خاک

از محدوده مجاز تجاوز می‌کند در این وضعیت خاک با پدیده مخربی به نام تراکم مواجه خواهد شد. از عوامل تأثیرگذار بر پدیده تراکم خاک می‌توان به افزایش ادوات و ابزارهای درگیر با خاک، ماشین‌های کشاورزی جدید و سنگین، مشخصه‌های طرح و ابعادی لاستیک در تماس با خاک و غیره اشاره کرد. تراکم خاک یک نگرانی عمده در زمینه مدیریت کشاورزی است چراکه به صورت مثبت و یا منفی می‌تواند بر رشد و عملکرد محصول تأثیر بگذارد [۱]. تراکم متوسط می‌تواند سرعت جوانه‌زنی بذرها را افزایش و میزان تلفات آب را کاهش دهد در حالی که تراکم بیش از حد باعث افزایش سختی و مقاومت خاک و کاهش منافذ و فضای مناسب (کاهش تخلخل) برای طول عمر ریشه می‌گردد [۲و۳]. تراکم به وجود آمده در مزارع به نوبه خود منجر به فرسایش خاک، عدم نفوذ آب، جاری شدن سیلاب‌ها و جابجایی لایه خاک حاصلخیز سطحی، کاهش تهویه خاک، کاهش مواد در دسترس گیاه، کاهش عملکرد محصول در هکتار، تشکیل زودهنگام و سطحی لایه سخت، مشکلات زهکشی و شوری خاک، فرسایش شدید ابزار خاک‌ورز به‌ویژه در خاک‌ورزی اولیه، افزایش مصرف ویژه‌ی سوخت عملیات خاک‌ورزی و فرسایش آبی و خاکی را به دنبال دارد. مطالعات تحقیقاتی انجام‌شده در خصوص رابطه ماشین و خاک نشان می‌دهد که حدود ۲۰-۵۵٪ از انرژی انتقال‌یافته به چرخ‌های محرک یک کشنده برون‌جاده‌ای (تراکتور) در تعامل تیر-خاک هدر می‌رود. علاوه بر هدر رفت انرژی، بخشی از این انرژی صرف تراکم خاک می‌گردد که برای تولید محصولات مضر است [۴].

چرخ‌شنی نیز یکی از سامانه‌های مهم تحرکی برای وسایل نقلیه برون‌جاده‌ای است، بنابراین مطالعه رفتار آن از اهمیت اساسی برخوردار است. آزمایش‌های تجربی متعددی برای مقایسه عملکرد بین سامانه‌های چرخ‌بادی و چرخ‌شنی اجرا شده است. در این تحقیقات استفاده بیشتر از چرخ‌های معمولی بادی ارائه شده است و مزایای صریح آن‌ها از نقطه نظر فنی و عملکردی بیان شده است، اما از طرفی محدودیت آن‌ها در حمل و نقل و عملکرد کششی در اراضی و زمین‌های نامساعد (برون‌جاده‌ای) مطرح شده است [۵]. طی تحقیقی به بررسی و بهبود عملکرد کشش تراکتورهای مجهز به چرخ‌شنی لاستیکی در چند نمونه خاک کشاورزی پرداخته شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در تمام خاک‌های مورد آزمایش کشش مالبندی و بازدهی کششی در تراکتور مجهز به چرخ‌شنی بیشتر از تراکتور چرخ‌بادی است [۶].

سیستم‌های چرخ‌شنی از لحاظ طراحی و فناوری پیچیده‌تر هستند. مطالعات زیادی بر مسائلی همچون راحتی رانندگی، مقایسه چرخ‌شنی لاستیکی با چرخ‌شنی زنجیری در موقعیت حمل و نقل، هزینه ساخت، وزن چرخ‌ها، هزینه‌های سرویس و تعمیر انجام شد. در نتایج چرخ‌شنی لاستیکی دارای مقبولیت بیشتری است و معمولاً از شنی‌های فلزی برای وسایل نقلیه سنگین نظیر تانک‌ها و وسایل راه‌سازی و یا صنعتی بزرگ استفاده می‌شود. همچنین پژوهش‌هایی در تأیید عملکرد کششی مطلوب‌تر و آسیب کمتر به خاک توسط چرخ‌شنی لاستیکی در مقایسه با چرخ‌شنی فولادی ارائه شده است [۷، ۸ و ۹]. اگرچه چرخ‌شنی دارای محدودیت‌هایی در خصوص هدایت و فرمان‌گیری است [۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳]. اما مطالعات متعددی در این زمینه برای پیشنهاد طرحی بهتر و ایمن‌تر به انجام رسیده است [۱۴]. همچنین شبیه‌سازی‌های سه‌بعدی از برهم‌کشش چرخ‌شنی-خاک با نرم‌افزارها انجام شده است. در پژوهشی شبیه‌سازی برای ارائه مدل دینامیکی ساده، سریع و قابل اعتماد برای وسیله نقلیه شنی برون‌جاده‌ای در زمین دارای موانع کار شد. در این تحقیق مدل بر اساس روش دینامیک اجرای گسسته (DBD) و تکیه بر معادلاتی که برای وسیله نقلیه چرخ‌دار اثبات شده است، انجام گرفت. نتایج قابل قبولی در تشابه با برنامه‌های تجاری و کاهش سرعت در محاسبات ارائه گردید [۱۵]. همچنین طی مطالعاتی فرض بر این بود که بار از طرف چرخ منبع اصلی تنش‌های زیاد در زیر خاک است. اهداف این مطالعات، استفاده از چرخ‌شنی به جای چرخ‌بادی به عنوان یک راه حل فنی برای

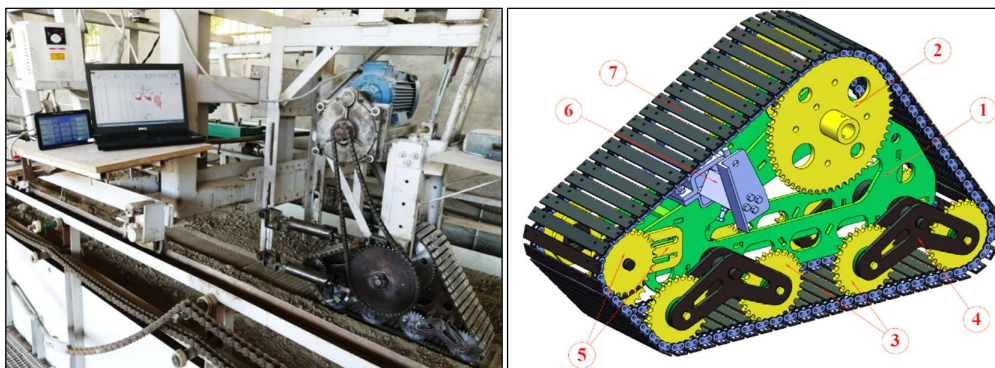
افزایش سطح تماس و کاهش میزان تنش‌های تماسی، مقایسه اثرات تردد دو چرخ بر خصوصیات فیزیکی خاک و ارزیابی روشی برای کاهش تراکم خاک در زیر چرخ‌ها در عمق ۳۵ سانتی‌متری است. نتایج ارائه شده از این پژوهش نشان داد که تنش عمودی حداکثر در زیر چرخ شنی کمتر از زیر چرخ بادی بود. توزیع تنش در زیر شنی لاستیکی کاملاً یکنواخت نبوده و تنش‌های اوج را در زیر غلتک‌های شنی ایجاد شده است. چگالی خاک بعد از تردد برای دو سیستم حامل مشابه گزارش شد، اما نفوذپذیری خاک پس از تردد با استفاده از چرخ شنی کمتر است. همان‌طور که از سطح تماس و تنش اندازه‌گیری شده، انتظار می‌رود چرخ شنی می‌تواند بارهای بیشتری نسبت به تایر را حمل کند. با این حال، نتایج نفوذپذیری هوا به دلیل تحریک خاک در اثر نیروهای برشی بالا در زیر شنی لاستیک تفسیر می‌شود [۱۶].

محاسبه و مقایسه پارامترهای خاک تحت اثر متقابل چرخ-خاک با چرخ‌شنی-خاک به صورت مزه‌ای به دلیل عدم شرایط کنترلی، افزایش هزینه‌ها و همچنین زمان بر بودن نتایج مطلوبی حاصل نمی‌گردد. لذا ارائه روشی که بتوان از طریق آن نتایج مفید و قابل اعتماد به دست آورد و در عین حال قابل استناد باشد، ضروری است. بنابراین هدف کلی از این تحقیق طراحی و ساخت یک سامانه تک‌چرخ شنی (متناسب با ابعاد آزمونگر تک‌چرخ انباره خاک گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه) است که پس از ساخت در محیط آزمایشگاهی انباره خاک ارزیابی گردد. به منظور ارزیابی چرخ شنی ساخته شده، تنش‌های ایجاد شده و میزان نشست خاک پس از تردد چرخ شنی و چرخ بادی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در مرحله آخر چرخ شنی ساخته شده با چرخ موجود مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

طرح اولیه و قسمت‌های مختلف چرخ شنی

چرخ شنی طراحی و ساخته شده در این پژوهش، شامل شاسی، چرخ محرک، چرخ‌های حامل (متحرک)، مکانیسم اسبکی، مکانیسم چرخ کشش و تثبیت کشش شنی، شنی درگیر با خاک، مکانیسم ضد گشتاور، سیستم انتقال نیرو و تجهیزات اتصالات است. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته و شناسایی قطعات و واحدهای مورد نیاز، طرحی اولیه از سیستم چرخ شنی لاستیکی در نرم‌افزار Solidworks جهت تعیین فضاهای مورد نیاز و به وجود آوردن مکانیسم اولیه طراحی و مدل‌سازی گردید. در مراحل آتی تحقیق بخش‌های مختلف با ابعاد آزمونگر تک‌چرخ بادی آزمایشگاه ترا مکانیک گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه منطبق گردیده و قطعات قبل از اقدام به ساخت، تحلیل و طراحی نهایی آن به صورت نقشه استخراج گردید. چرخ شنی طراحی و ساخته شده دارای ابعاد به ترتیب طول، عرض و ارتفاع $90 \times 22 \times 55$ سانتی‌متر است. برای ارزیابی عملکرد و مقایسه با چرخ بادی، بر روی آزمونگر تک‌چرخ انباره خاک سوار شد. شکل (۱) نقشه و همچنین تصویری از چرخ شنی نصب شده بر روی حامل انباره خاک را نمایش داده است.



شکل ۱- نقشه سه بعدی کامپیوتری و تصویری از چرخ شنی نصب شده بر روی حامل انباره خاک: ۱- شاسی، ۲- چرخ محرک، ۳- چرخ های حامل، ۴- مکانیسم اسبکی، ۵- مکانیسم چرخ کشش و تثبیت کشش شنی، ۶- مکانیسم ضد گشتاور و ۷- شنی درگیر با خاک.

شاسی یکی از بخش های اصلی این تجهیز و از لحاظ طراحی دارای اهمیت است. شاسی علاوه بر این که برای جایگیری دقیق ملحقات دستگاه و سیستم انتقال قدرت است، باید مقاومت کافی را داشته و از طرفی نیز نباید خیلی سنگین باشد. به همین دلیل تحلیل در خصوص بهینه سازی ابعادی و مقاومت سازه ای نیاز است. بعد از در نظر گرفتن پارامترهایی طراحی از جمله محدودیت ها هندسی در ابعاد و متعلقات در چرخ شنی و پیشینه بار اعمالی به شاسی، شاسی در نرم افزار SolidWorks طراحی شد سپس در نرم افزار ANSYS Workbench مورد تحلیل قرار گرفت. شاسی از دو ورق استاندارد ۸ میلی متر با فولاد St37 به صورت موازی مونتاژ شده در ابعاد کلی ۳۵×۱۰×۶۷ سانتی متر که در شکل (۱) با شماره ۱ نشان داده شده، طراحی شده است.

چرخ دنده محرک در واقع جایگزین رینگ اصلی چرخ است زیرا چرخ محرک توان دریافتی را به شنی زنجیری انتقال می دهد. چرخ دنده محرک متشکل از دو چرخ دنده با استاندارد نمره ۵۰ و ۵۵ دنده ای از جنس فولاد و است (شکل (۱) شماره ۲). چرخ دنده محرک بر روی شاسی اصلی، بلبرینگ بندی شده و همچنین بر روی محور دریافت توان از سیستم انتقال توان توسط پین به محور متصل و سوار شده است.

مکانیسم اسبکی و چرخ دنده های حامل و متحرک بخش دیگر از چرخ شنی است که دو قانده تجهیز را تشکیل می دهند. چرخ دنده ها از طریق بلبرینگ و محور بندی به مکانیسم اسبکی مرتبط شده اند و در واقع وظیفه مهار و هدایت شنی، تثبیت شکل چرخ شنی و حمل وزن کل مجموعه را به عهده دارند. چرخ دنده ها حامل و متحرک تشکیل شده از ۸ چرخ دنده با استاندارد نمره ۵۰ و ۳۵ دنده ای از جنس فولاد و است (شکل (۱) شماره ۳). همچنین مجموعه مکانیسم از طریق محور بندی به صورت لولایی به شاسی اصلی متصل شده است تا مانع نوسان بیش از حد و حرکتی نرم تر به هنگام تردد و انطباق خوبی با عوارض زمین فراهم کند (شکل (۱) شماره ۴).

مکانیسم کشش و تثبیت کشش شنی (شکل (۱) شماره ۵) از دو چرخ دنده، یک عدد فنر، پیچ تنظیم فشار فنر در قالب یک مجموعه در دست شده است. این بخش تأمین کننده کشش اولیه و ثبات کشش مطلوب شنی در شرایط مختلف زمین، هدایت و قابلیت نصب و تعویض شنی را به عهده دارد. چرخ دنده های مورد استفاده از نمره استاندارد ۵۰ و ۳۰ دنده ای و بر یک محور بلبرینگ بندی سوار شده است. محور چرخ دنده در یک شیار لولایی شکل در قاب مجموعه، توسط فنر و پیچ تنظیم فشار فنر محدود شده و مجموعه نیز به شاسی اصلی متصل گردیده است.

سیستم ضد گشتاور میزان پیچش چرخ شنی را محدود و به چرخ شنی اجازه می دهد تا در حالت کشش شنی، یا برخورد با عوارض زمین حالت مفصلی پیدا نماید و بعد از عبور از مانع به طور خود کار چرخ به وضعیت عادی خود

باز خواهد گشت. سیستم ضد گشتاور در این تجهیز از نوع مکانیکی با مانع پلاستیکی و فنر است و میزان پیچش و اندازه آن توسط پیچ‌های تنظیم معین می‌گردد (شکل (۱) شماره ۶). این سیستم از یک طرف به چرخ شنی متصل و از طرف دیگر توسط رابط اتصال به شاسی انباره خاک محدود شده است.

شنی بخش درگیر با خاک در این پژوهش از نوع چرخ زنجیری است. با توجه به ابعاد چرخ شنی، بخش شنی از بخش‌های چون چرخ زنجیر شاخک‌دار نمره استاندارد ۵۰، ورق با ضخامت ۳ میلی‌متری در ابعاد ۲۲×۳ سانتی‌متری ساخته شده است. همان‌طور که در شکل (۱) شماره ۷ مشاهده می‌گردد، ورق‌ها بعد از عمل سوراخ‌کاری بر روی شاخک‌های چرخ زنجیر توسط پرچ شماره ۶ نصب شد.

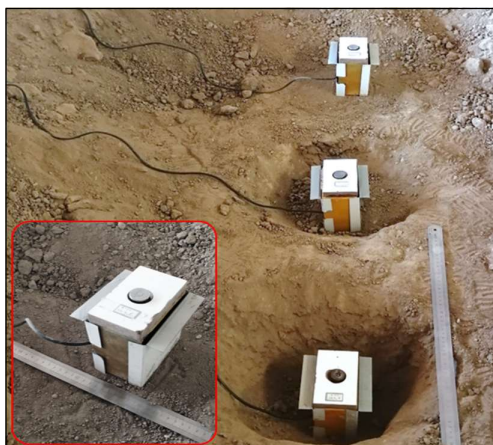
آزمونگر تک‌چرخ و مراحل آزمایش‌ها

آزمایش‌های عملی در این پژوهش با استفاده از مخزن خاک واقع در دانشگاه ارومیه انجام شد (شکل ۲). این محیط آزمایشگاهی شامل بخش‌های متنوعی از جمله انباره خاک به طول معادل ۲۴ متر، عرض کانال ۲ متر و عمق لایه خاک یک متر که شرایط مناسب برای آزمایش‌های با حذف اثرات مرزی را فراهم آورده، حامل یا کشنده ابزار، تجهیزات آماده‌سازی خاک (دنباله بندهای ویژه انباره خاک)، سامانه‌های کنترل و توان دهی برای حرکت حامل، ابزارهای اندازه‌گیری است [۱۷]. دو نوع چرخ در آزمایش‌های این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت: چرخ شنی طراحی و ساخت شده در این پژوهش و چرخ بادی (شکل ۲). چرخ بادی با مشخصات استاندارد (8) Barez 8.25-16 (P.R HLF) است. وزن نهایی دو چرخ توسط نیروسنج که بر روی آزمونگر تک‌چرخ نصب شده اندازه‌گیری گردید. سپس با اضافه کردن وزنه بر روی شاسی وزن چرخ‌ها در محدوده ۲۰۰ کیلوگرم کنترل شد.



شکل ۲- آزمونگر تک‌چرخ شنی، تک‌چرخ بادی و انباره خاک مورد استفاده در آزمون‌های تجربی.

برای انجام آزمون‌های تجربی، از سامانه اندازه‌گیری تنش عمودی که متشکل از نیروسنج (لودسل S شکل) با ظرفیت ۱۰۰ کیلوگرم، مکانیسم نگه‌دارنده نیروسنج، سوپاپ دریافت‌کننده تنش، دیتالاگر به‌عنوان ذخیره‌کننده و کامپیوتر برای فراخوانی اطلاعات ذخیره‌شده، استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد نیروسنج‌ها در گودال‌های حفاری شده در عمق‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ سانتی‌متری قرار داده شد. با تردهای ۱، ۷ و ۲۰ چرخ‌ها در سرعت ثابت ۱ کیلومتر بر ساعت از روی تنش سنج‌ها که در عمق‌های مختلف و زیرخط مرکزی چرخ مدفون شده بودند، تنش وارده به خاک در عمق‌های مختلف با سه تکرار اندازه‌گیری شد.



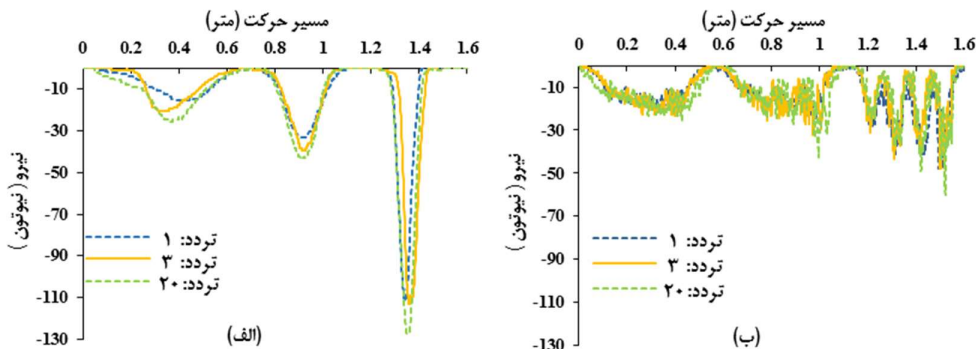
شکل ۳- سامانه اندازه‌گیری تنش عمودی در خاک: ۱- چرخ بادی (چرخ پنوماتیک)، ۲- چرخ شنی طراحی و ساخته شده در این پژوهش، ۳- دیتالاگر و ذخیره‌کننده اطلاعات حسگرهای نیروسنج ۴- نیروسنج‌های دفن شده در عمق‌های مختلف خاک.

واحد تحصیل داده

دقت در سامانه اندازه‌گیری تنش عمودی در خاک به‌عنوان مهم‌ترین قسمت در زمان داده‌برداری است بنابراین نیروسنج‌ها (لودسل S شکل از نشانه Bongshin ساخت کره) ابتدا واسنجی شد. داده‌های سنجیده شده توسط نیروسنج‌ها با استفاده از یک دیتالاگر با قابلیت اتصال نیروسنج ۱۰ کاناله که به یک سیستم رایانه‌ای ارتباط دارد، ذخیره می‌گردد. داده‌های نیرو از نیروسنج‌ها به‌طور هم‌زمان، توسط دیتالاگر دریافت و در ستون‌هایی بر روی حافظه جانبی و با مستقیماً به کامپیوتر منتقل و ثبت می‌شوند.

۳- تحلیل نتایج

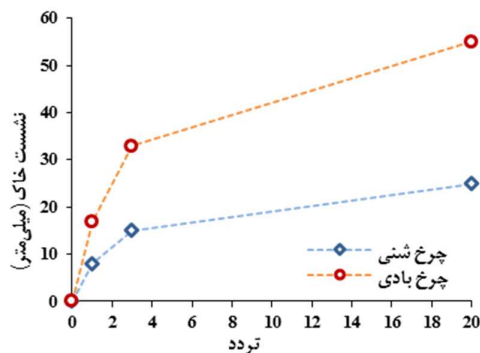
در این پژوهش پس از طراحی و ساخت تجهیز چرخ شنی و سوار کردن آن بر روی سیستم انباره خاک برای انجام آزمایش‌ها، رفتار چرخ شنی ساخته شده با چرخ بادی مورد مطالعه قرار گرفت. پس از آماده‌سازی بستر خاک و قرار دادن سامانه اندازه‌گیری تنش عمودی به‌طور هم‌زمان در عمق‌های ۸، ۱۴ و ۲۴ سانتی‌متر خاک، آزمایش‌های مقایسه‌ای بین دو چرخ در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی در تردهای ۱، ۳، و ۲۰، سرعت ثابت ۱ کیلومتر بر ساعت و سه تکرار انجام گردید. نیروهای سنجش توسط نیروسنج‌ها در اثر تردد چرخ‌ها، به‌وسیله دیتالاگر بر روی حافظه جانبی ثبت و به محیط اکسل منتقل شد. نتایج آزمایش‌ها به‌صورت نمودار فشار-طول مسیر حرکت چرخ‌ها در شکل‌های (۴) ارائه گردید. در این نمودارها، انطباق نتایج حاصل از داده‌برداری، دقت قابل قبولی را با توجه به شرایط یکسان آزمایش‌ها و خاک را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- نتایج داده‌های ثبت شده به صورت نمودار نیرو-جابجایی توسط سامانه اندازه‌گیری تنش عمودی در عمق‌های ۸، ۱۴ و ۲۴ سانتی‌متری در ترددهای مختلف: (الف) چرخ بادی، (ب) چرخ طراحی و ساخته شده در این پژوهش.

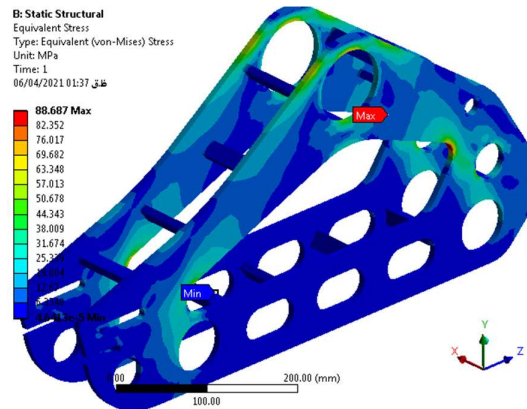
همان‌طور که از نمودارها شکل (۴) مشاهده می‌گردد، در تمام نتایج مربوط به آزمون مقایسه‌ای در شرایط یکسان در دو چرخ و ترددها مختلف، اندازه نیرو در عمق ۸ سانتی‌متری در تایلر بادی مقداری حدوداً دو برابر نسبت به چرخ شنی ثبت شده است. همچنین در تمام نتایج آزمون‌ها در شرایط یکسان در دو چرخ و ترددها مختلف، اندازه فشار در عمق ۲۴ سانتی‌متری در تایلر بادی و چرخ شنی طراحی و ساخته شده به صورت حدودی برابر ثبت گردیده است. به این معنی است که، چرخ بادی به هنگام تعامل چرخ-خاک در ایجاد تنش سطحی و تخریب خاک سهم دو برابری در شرایط یکسان با چرخ شنی در سطح خاک ایجاد کرده است و همچنین به دلیل این که بارمحوری هر دو چرخ ثابت بوده مقدار تنش به عمق‌های زیرین رفته‌رفته بین دو چرخ به مقدار یکسان نزدیک شده است [۱۸].

در ادامه آزمون‌های مقایسه‌ای بین دو چرخ، نشست خاک در اثر تردد چرخ‌ها اندازه‌گیری گردید. مقدار نشست چرخ شنی و چرخ بادی در اثر ترددها در نمودار شکل ۵ ارائه شده است. در مقایسه تردد-نشست بین دو چرخ به صورت اختلاف درصدی در ترددهای ۱، ۳، ۷، ۱۵ و ۲۰ به ترتیب ۲۲، ۷۵، و ۷۵ درصد چرخ شنی نشست کمتری در خاک ایجاد کرده است. همچنین در تحلیل‌های صحرایی و آزمایشگاهی مختلفی نشان‌دهنده کاهش فشردگی خاک و در نتیجه کاهش فرورفتن چرخ شنی در خاک بوده است [۱۹]. بنابراین در چرخ شنی طراحی و ساخته شده نسبت به چرخ بادی، شاهد کاهش فشردگی و تنش چشم‌گیری در خاک هستیم.

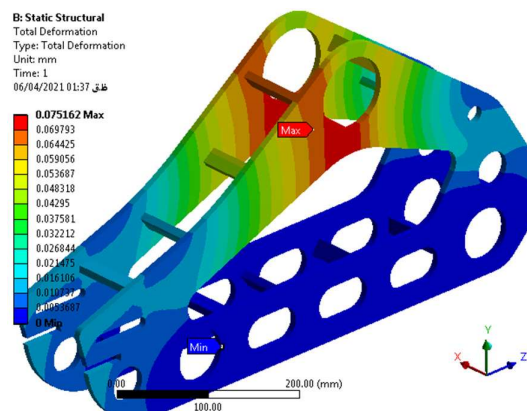


شکل ۵- اثر چرخ لاستیکی مرسوم و چرخ شنی بر روی خاک

تجهیز چرخ شنی تحت تأثیر بارهای مکانیکی نسبتاً بالایی است و لازم دیده شده قبل از ساخت شاسی که در ارتباط با تمام بخش‌های تجهیز است، استحکام مکانیکی آن بررسی گردد. پس از طراحی شاسی و دخیل دادن تمام محدودیت‌ها برای تحلیل مکانیکی از نرم‌افزار ANSYS استفاده گردید. همان‌طور که نتایج و نمای گرافیکی مربوط به تنش‌های وان‌مسیز بر اساس تحلیل اجزای محدود در (شکل ۶) مشاهده می‌شود، تنش ماکزیمم ایجاد شده در شاسی با ضریب اطمینان ۳، در حدود ۹۰ مگاپاسکال در شاسی مشاهده شد. بر اساس مشاهدات، ضریب اطمینان به دست آمده بالاتر از ۳ است که با توجه به شرایط کاری در سخت‌ترین وضعیت بارگذاری، ضریب اطمینان قابل قبولی به نظر می‌رسد. همچنین مطابق با تحلیل اجزای محدود انجام شده، تغییر شکل‌های به وجود آمده در شاسی بررسی گردید. نتایج و نمای گرافیکی تحلیل نشان می‌دهد (شکل ۷)، در یاتاقان بندی چرخ دنده محرک تجهیز چرخ شنی بیشترین تغییر شکل به وجود آمده است. بیشترین تغییر شکل‌های ایجاد شده در شاسی در حدود ۰.۷ میلی‌متر است که مقدار آن با توجه شکل و اندازه شاسی، ناچیز است.



شکل ۶- نمای گرافیکی از تحلیل تنش شاسی دستگاه در نرم‌افزار ANSYS17 در محیط workbench.



شکل ۷- نمای گرافیکی از تغییر شکل شاسی دستگاه در نرم‌افزار ANSYS17 در محیط Workbench.

۵- نتیجه‌گیری

این شامل طراحی و ساخت یک تجهیز چرخ شنی است که به طور خاص برای انجام آزمون‌های ترامکانیک و امکان آزمایش‌های مقایسه‌ای تجربی چرخ بادی چرخ زنجیر است. نتایج کلی این تحقیق را می‌توان به شرح موارد زیر دسته‌بندی کرد:

- ۱- پس از طراحی، ساخت و مونتاژ بخش‌های مختلف تجهیز چرخ شنی، مکانیسم‌ها بر اساس هدف تحقیق به خوبی در کنار یکدیگر عمل نمود.
- ۲- استحکام مکانیکی تجهیز بر اساس بیشینه بارهای مکانیکی محتمل، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد تنش ماکزیمم در شاسی با ضریب اطمینان ۳، در حدود ۹۰ مگاپاسکال خواهد بود. همچنین حداکثر تغییر شکل به وجود آمده در شاسی در حدود ۰/۷ میلی‌متر مشاهده گردید. نتایج حاصله نشان از ایمنی قابل قبول دستگاه از دیدگاه استحکام مکانیکی است.
- ۳- نتایج حاصل از آزمون‌های مقایسه‌ای بین چرخ شنی و چرخ بادی نشان می‌دهد که تنش سطحی در زیر چرخ شنی تا دو برابر از چرخ بادی کمتر است و نتایج نشست خاک نیز پایین بودن فشار زیر چرخ شنی را نشان می‌دهد به طوری که، در تردهای ۱، ۷ و ۲۰ به ترتیب ۷۲، ۷۵ و ۷۵ درصد چرخ شنی نشست کمتری نسبت به چرخ بادی در خاک ایجاد کرده است.

منابع

- [1] Chen, G., & Weil, R. R. (2011). Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil and Tillage Research*, 117, 17-27.
- [2] Modolo, A. J., Trogello, E., Nunes, A. L., Silveira, J. C. M. D., & Kolling, E. M. (2011). Effect of soil compaction upon the seed on the development of bean culture. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(1), 89-95.
- [3] Tolon-Becerra, A., Toum, M., Botta, G. F., & Lastra-Bravo, X. (2011). Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. *Soil and Tillage Research*, 117, 184-190.
- [4] Burt, E. C. (1993). Soil-tire/track interaction—current and future research needs. *Journal of terramechanics*, 30(5), 317-323.
- [5] Rasool, S., & Raheman, H. (2018). Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks. *Biosystems engineering*, 167, 51-62.
- [6] Arvidsson, J., Westlin, H., Keller, T., & Gilbertsson, M. (2011). Rubber track systems for conventional tractors—Effects on soil compaction and traction. *Soil and Tillage Research*, 117, 103-109.
- [7] Keller, T., Trautner, A., & Arvidsson, J. (2002). Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. *Soil and Tillage Research*, 68(1), 39-47.
- [8] Servadio, P., Marsili, A., Pagliari, M., Pellegrini, S., & Vignozzi, N. (2001). Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. *Soil and Tillage Research*, 61(3-4), 143-155.
- [9] Crolla, D. A., & Schwanghart, H. (1992). Vehicle dynamics—steering I. *Journal of*

- Terramechanics*, 29(1), 7-17.
- [10] Tran, D. T., O'Brien, J., & Muro, T. (2002). An optimal method for the design of a robotic tracked vehicle to operate over fresh concrete under steering motion. *Journal of terramechanics*, 39(1), 1-22.
- [11] Wong, J. Y. (2009). *Terramechanics and off-road vehicle engineering: terrain behaviour, off-road vehicle performance and design*. Butterworth-heinemann.
- [12] Park, W. Y., Chang, Y. C., Lee, S. S., Hong, J. H., Park, J. G., & Lee, K. S. (2008). Prediction of the tractive performance of a flexible tracked vehicle. *Journal of Terramechanics*, 45(1-2), 13-23.
- [13] Franceschetti, B., Capacci, E., & Rondelli, V. (2016). Effects of rubber tracks on narrow-track tractors on the non-continuous rolling prediction model. *Journal of agricultural safety and health*, 22(4), 262-273.
- [14] Gat, G., Franco, Y., & Shmulevich, I. (2020). Fast dynamic modeling for off-road track vehicles. *Journal of Terramechanics*, 92, 1-12.
- [15] Lamandé, M., Greve, M. H., & Schjønning, P. (2018). Risk assessment of soil compaction in Europe—Rubber tracks or wheels on machinery. *Catena*, 167, 353-362.
- [16] Lamandé, M., Greve, M. H., & Schjønning, P. (2018). Risk assessment of soil compaction in Europe—Rubber tracks or wheels on machinery. *Catena*, 167, 353-362.
- [17] McKyes, E., & Fan, T. (1985). Multiplate penetration tests to determine soil stiffness moduli. *Journal of terramechanics*, 22(3), 157-162.
- Ansorge, D., & Godwin, R. J. (2008). The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction—Part 2: Multi-axle machine studies. *Biosystems Engineering*, 99(3), 338-347.

Design, fabrication and Evaluation of a laboratory single-wheel Track system

Houshang Mahboub Yangeje^{*a}, Maziar Faizollahzadeh^b, Aref mardani Korani^c

^a PhD student, Department of Biosystems Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

^b PhD Graduated, Department of Biosystems Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

^c Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

Abstract

Vehicle traffic on the ground takes place through the wheel-to-ground surface contact and the wheel-soil interaction. Due to the expansion of the use of machines and the increasing trend of their weight to increase performance, the traffic of these machines raises the importance of issues such as creating stress on the soil, improving traction and reducing energy consumption. In this research, an experimental single wheel track wheel system was designed and built. To perform the experiments, the track wheel and Pneumatic wheels were placed on a soil bin carrier with loamy-clay soil. Soil stresses and soil sinkage under wheels were measured at depths of 8, 14 and 24 cm and at 1, 7 and 20 traffic at a constant speed of 1 km/h. The results of the evaluation of the operation of the device and the experiments indicate the acceptable and significant performance of the track wheel mechanism as well as the low pressure under the track wheel. So that in 1, 7 and 20 traffic, 72, 70.97 and 75% of the track wheel has caused less sinkage than the Pneumatic wheels in the soil, respectively.

Keywords: Chain Track, Pneumatic Wheels, Soil compaction, Soil bin, Tramcanic.

*Corresponding author

E-mail: h.mahboub@urmia.ac.ir