دانشگاه ارومیه

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد رشته مکانیک ماشینهای کشاورزی

موضوع:

بررسی تقابل چرخ و مانع بر اساس پارامترهای چرخ، مانع و سرعت پیشروی در محیط انباره خاک

اساتید راهنما:

دکتر اسعد مدرس مطلق **دکتر عارف مردانی**

تنظیم و نگارش:

حبیب محمدزاده

بهمن ماه ۱۳۹۰

حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ است

چکیده

مدل‌های مربوط به مکانیک چرخ عمدتاً برای شرایط حرکت بر روی سطح صاف جاده و یا خاک تدوین شده است و اعتبار لازم برای توصیف حرکت چرخ بر روی سطوح ناهموار را دارا نیست. علیرغم پیچیدگی دینامیک حاکم بر این پدیده و با در نظر گرفتن اهمیت موضوع مخصوصاً برای شرایط مزرعه‌ای چرخ‌های حامل ادوات، تحقیق حاضر به بررسی تاثیر برخی از پارامترهای حاکم بر فرایند گذراندن موانع مقابل تایرهای پنوماتیکی پرداخته است. در این پژوهش اثر سرعت پیشروی چرخ، فشار باد تایر، بار عمودی روی چرخ و ارتفاع مانع بر روی ضربه دینامیکی وارد بر چرخ مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی پارامترهای در نظر گرفته شده در چهار سطح و سه تکرار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. آزمایش‌ها در محیط انباره خاک (سویل بین) و آزمونگر تک چرخ موجود در دانشگاه ارومیه به انجام رسیده است. چرخ بکار برده شده در این تحقیق، یک چرخ حمل و نقل (غیر محرک) می‌باشد. نتایج بدست آمده برای محدوده سطوح در نظر گرفته شده برای سرعت پیشروی اثر معنی‌داری را برای سرعت پیشروی بر روی ضربه دینامیکی وارده بر چرخ نشان نداده است ($P <$ ۰/۹۴۷۴). از طرفی، فشار باد تایر، بار عمودی و ارتفاع مانع اثر معنی‌داری بر روی ضربه دینامیکی وارده بر چرخ داشته است و در هر سه مورد این رابطه بصورت خطی مشاهده شده است ($P <$ ۰/۰۰۰۱). در بخش دیگری از این تحقیق، بررسی تقابل چرخ و مانع در قالب امکان سنجی بکارگیری یک شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین ضربه وارده بر چرخ به انجام رسیده است. ضریب رگرسیون بدست آمده برای شبکه عصبی بطور میانگین برای آموزش، تست و اعتبار سنجی حدود ۰/۹۴ بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: چرخ، مانع، ضربه، تقابل چرخ و مانع، آزمونگر تک چرخ، سویل بین

فصل اول

مقدمه

۱-۱. چرخ و اهمیت مطالعه عملکرد آن

چرخ، نشانه مشهوری از تولد صنعت و شکل گیری تمدن دانش محور امروزی بشر است، به گونه ای که اختراع چرخ، به عنوان استعاره ای درخور، برای آغاز ورود جدی فناوری به جای جای گستره زندگی در جوامع انسانی به کار می رود. اصطلاح ماشین، با وجود اطلاق عمومی آن به بیشتر بخشهای صنعت، واژه‌ای است که ذهن شنونده را در نخستین قدم، به سمت و سوی وسائط نقلیه و ساخته‌های سیار دست بشر می‌کشاند و این در حالی است که حرکت، به عنوان مهمترین مشخصه این سازه‌های صنعتی، به واسطه عواملی صورت می‌پذیرد که عمده‌ترین آنها چرخ است. یک چرخ ممکن است تنها وظیفه تحمل بخشی از وزن یک ماشین را بر دوش داشته باشد و یا اینکه علاوه بر این وظیفه، تامین کشش و راه اندازی ماشین را هم بر عهده داشته باشد. عوامل موثر بر عملکرد یک چرخ، سال‌ها پس از ساخته شدن چرخ‌های نخستین مورد توجه قرار گرفته است و شاید در آغاز، صرفاً گرد بودن و استحکام کافی داشتن برای یک چرخ کافی بوده باشد، اما امروزه طراحی و به کارگیری چرخ ها با وسواس قابل ملاحظه‌ای دنبال می‌شود. عملکرد یک چرخ، طی فرایند درگیری با زمین، علاوه بر شرایط بارگذاری و چگونگی سطح زیرین چرخ، تحت تاثیر هندسه و ساختار فیزیکی چرخ هم قرار دارد. مطالعه پارامترهای موثر بر عملکرد چرخ، بیشتر در ارتباط با بهینه سازی مصرف انرژی است. به عنوان مثال، وولفسون[1] (۱۹۸۷) اتلاف سوخت مصرفی در بخش کشاورزی آمریکا را که ناشی از بازده پایین در چرخ‌های ماشین‌های مزرعه‌ای بوده

[1] - *Wulfsun, 1987*

است، در حدود ۵۷۵ میلیون لیتر در سال گزارش کرده است.

۱-۲.مقدمه‌ای بر سامانه‌های آزمون خاک و ماشین

امروزه رویکرد غالبی که در کشورهای توسعه یافته در رابطه با کشاورزی و نهاده‌های آن مد نظر قرار گرفته است، عبارت است از کشاورزی پایدار و کنار گذاشتن نگاه ماشین محور و افزایش تولید به هر قیمت. از این‌رو، کیفیت مواجهه با خاک از دیدگاه مدیریت خاک و تولید محصول، مورد توجه بسیار است و کوشش می‌شود که ابزارها و روش‌های تقابل با خاک، به گونه‌ای طراحی و تدوین شود که تا حد امکان از پیامدهای تخریبی خاک و نیز هدررفت انرژی که خود در برگیرنده محدودیت‌های اقتصادی و زیست محیطی نیز می‌باشد، پیشگیری شود. بهتر کردن روش‌های روبرویی با خاک و اصلاح ابزارهای مربوط به آن، مستلزم انجام آزمون‌های مورد اعتمادی است که در شرایط واقعی خاک و ابزار صورت گرفته باشند و این مهم با توجه به پیچیدگی و تنوع متغیرهای حاکم بر تقابل خاک و ماشین، دشوار می‌نماید. بر همین اساس، ایجاد شرایط کنترل شده آزمون‌های مذکور در محیط-های از پیش آماده شده نظیر سویل بین‌ها، راه حل مناسبی به نظر می‌رسد به گون ای که بتوان با در دست داشتن یکنواختی مناسبی از کمیت‌هایی مانند رطوبت، وضعیت خاک، سرعت پیشروی ابزار و مواردی از این قبیل، تاثیر پارامترهای هدف را مورد مطالعه قرار داد.

چرخ به عنوان یکی از عمده‌ترین عوامل درگیر با خاک، در شمار ابزارهایی است که علاوه بر محیط‌های مزرعه‌ای، در محیط‌های کنترل شده مانند سویل بین‌ها هم قابل بررسی و شبیه‌سازی است به شرطی که آزمونگرهای ویژه چرخ را بتوان در ترکیب متناسبی با سویل بین‌های معمول آزمایش‌های خاک و ماشین به کار گرفت. این پایان نامه، به بررسی چند پارامتر محدود مربوط به رفتار چرخ و مانع در شرایط کنترل شده سویل بین می‌پردازد.

۱-۳. رویارویی چرخ و خاک و مقاومت غلتشی

مقاومت غلتشی، عامل ناخواسته‌ای است که به محض حرکت چرخ بر روی یک سطح به وجود می‌آید. این عامل در ارتباط مستقیم با چند و چون تغییر شکل‌های به وجود آمده در چرخ و سطح زیرین آن است و بر همین اساس، در شرایط حرکت بر روی سطح خاک، از پیچیدگی بیشتری برخوردار می‌باشد. کاهش هر چه بیشتر مقاومت غلتشی در فرایند طراحی و به کارگیری چرخ‌ها همواره مد نظر بوده و این پارامتر، در مدل‌ها و مطالعات مختلف انجام شده پیرامون تقابل چرخ و خاک، همواره دخیل بوده است. از طرفی مقاومت غلتشی ماشین‌های مزرعه بطور مستقیم روی مصرف سوخت منبع تولید نیروی آنها تاثیرگذار می‌باشد. بنابراین بررسی عملکرد ادوات چرخ‌دار روی خاک، یک مساله مهم در مهندسی کشاورزی می‌باشد.

تراکتور یکی از اجزا مهم هر سیستم کشاورزی می‌باشد و شناسائی ویژگی‌های آن برای مهندسانی که در کار کشاورزی درگیرند برای بهبود توانایی و دانش آنها در امر بررسی و ارتقاء توانایی تراکتورها امری مهم می‌باشد. توانائی‌های کششی تراکتورها و فشردگی خاک در زیر تایرهای تراکتور همواره بوسیله انجام آزمایشات مزرعه‌ای و یا با استفاده از سویل بین مشخص شده است. این تستها برای انتخاب ابعاد مناسب تایر (پهنا، قطر وارتفاع مقطع)، نوع تایر (رادیال یا بایاس)، طرح آج، فشار باد تایر و بار دینامیک روی اکسل برای استفاده‌های متنوع در مزرعه در شرایط کاری متفاوت مفید می‌باشد. علاوه براین، داده‌های حاصل از این آزمایشات برای مهندسان در امر طراحی تایرهایی که قادر به انجام بهتر مسئولیت‌های مورد نظر کاربران باشند قابل استفاده می‌باشد (آپادیایا ۱۹۸۸[1]).

با توجه به این موضوع که در بسیاری از فعالیت‌های مربوط به بخش کشاورزی از تراکتور و ادوات چرخ‌دار استفاده می‌شود و در اکثر موارد در کشور ما، کاربران فاقد دانش کافی در مورد مفاهیم مرتبط با این پارامترها و

[1] *Upadhyaya, 1988*

تاثیرات آن بر راندمان کاری ماشین می‌باشند و با توجه به این نکته که اطلاعات کشاورزان در این مورد اغلب به صورت تجربی و غیر علمی می‌باشد نیاز به بررسی و تحلیل اثرات آنها می‌باشد. این واقعیت غیر قابل انکاری است که فشار باد تایر ادوات کشاورزی، سرعت پیشروی و همچنین میزان بار مناسب اعمالی روی دستگاه‌ها کمتر مورد توجه کاربران آن واقع می‌شود. از طرف دیگر مزارع کشاورزی به دلیل وجود ناهمواری‌های متعدد، چرخ را دچار نیروهای دینامیکی ناگهانی می‌نماید. این ناهمواری‌ها با ارتفاع‌های مختلف وجود دارند. لذا اطلاع از این نیروها و اعمال آنها در محاسبات طراحی چرخ و اکسل منجر به مدیریت بهتر تقابل چرخ و سطح خواهد گردید. در تحقیق پیش رو، به بررسی نحوه و میزان تاثیر این پارامترها براندازه مقاومت غلتشی و ضربه دینامیکی وارد بر چرخ که عامل مهمی در میزان نیروی مصرفی ادوات است، پرداخته شده و همچنین ارتباط میان بار روی چرخ، فشار باد تایر، سرعت پیشروی و ارتفاع مانع و تاثیر متقابل این پارامترها بر روی یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته است.

هدف اصلی این تحقیق اندازه‌گیری میزان مقاومت غلتشی تایر و ضربه دینامیکی وارد بر آن در مسیر صلب می‌باشد. زیرا به دلیل ناهمگونی بافت خاک بررسی اثر متقابل چند پارامتر بر روی یکدیگر امری مشکل می‌باشد. اندازه مقاومت غلتشی در طول مسیر حمل تا مزرعه تاثیر بسزایی بر نیروی کششی مصرفی و مصرف سوخت ماشین‌های کشاورزی مورد استفاده دارد.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱. کلیات

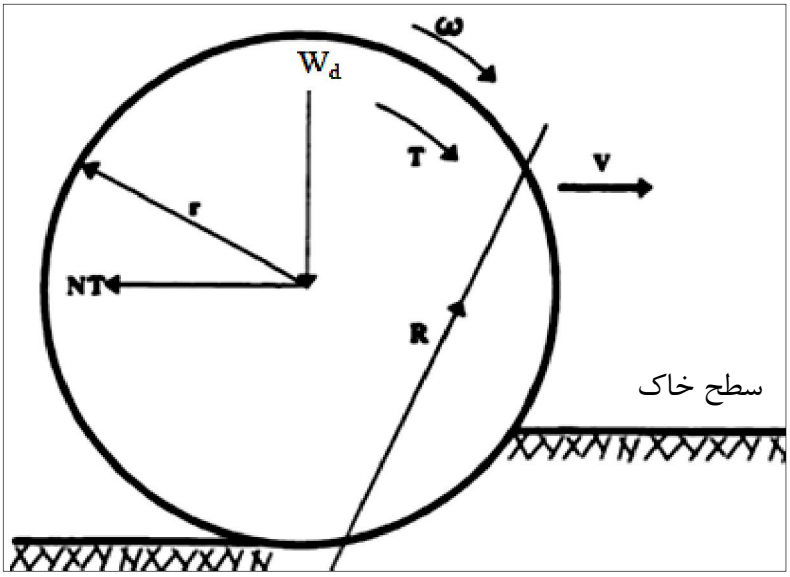
افزایش در تولید نفت خام در جهان یکی از نتایج وابستگی جهان به نفت است. تخمینی که از هدررفت سالیانه سوخت در ایالات متحده بخاطر راندمان کششی کم بدست آمد، ۵۷۵ میلیون لیتر بود (گیل و وندنبرگ[1]، ۱۹۶۸). بنابراین هر بهبودی که بتوان در کشش صورت داد، مستقیماً روی عملکرد تراکتور و ادوات کشاورزی و نیز حفاظت از منابع سوخت و انرژی تاثیر می‌گذارد. یکی از عوامل موثر بر راندمان کششی ماشین‌ها میزان نیروهای مقاومی است که بر آنها وارد می‌شود که مقاومت غلتشی میان تایر و سطح مسیر یکی از این نیروهاست که عاملی بسیار تاثیر گذار بر راندمان توانی و میزان توان باقی مانده برای مصرف در سایر بخش‌های کاری دستگاه و همچنین میزان مصرف سوخت ماشین می‌باشد. در نتیجه پرداختن به عواملی که بر روی مقدار مقاومت غلتشی وارد بر یک چرخ اثر گذار می‌باشند، امری ضروری می‌نماید. در این بین فاکتورهای مهمی بر روی مقاومت غلتشی بوجود آمده در یک چرخ تاثیر گذار می‌باشند که از این فاکتورها می‌توان به فشار باد تایر، سطح تماس تایر و خاک، سرعت پیشروی، بار عمودی چرخ، هندسه چرخ و مواردی از این دست اشاره کرد. از طرف دیگر ماشین‌ها و ادوات کشاورزی چرخ‌دار، در حین حرکت خود در مزرعه دستخوش نیروهای آنی و ناگهانی ناشی از ناهمواری‌ها و موانع با هندسه‌های متفاوت، می‌شوند. این نیروها به نوبه خود سهم زیادی در مقدار مقاومت غلتشی بوجود آمده در مقابل چرخ دارند.

---

[1] ***Gill and Vandenberg, 1968***

۲-۲. بررسی نیروهای وارده بین چرخ و خاک

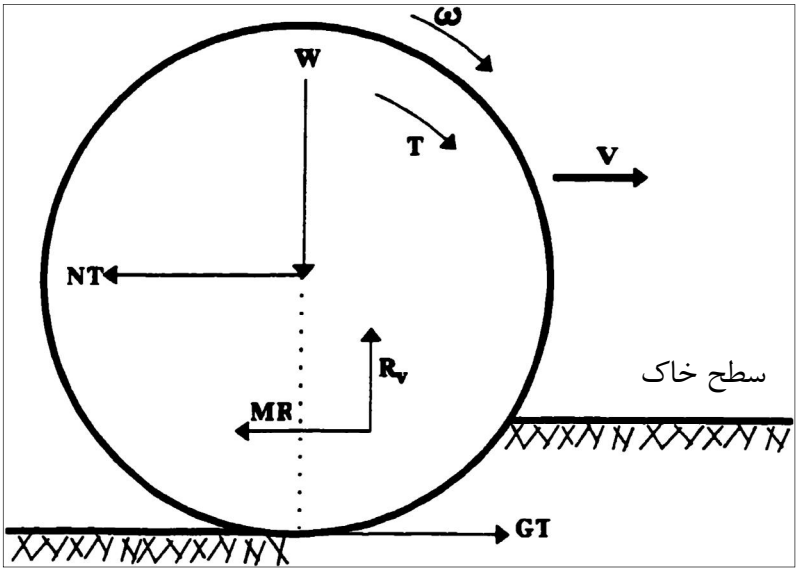
بار دینامیکی (W_d)، کل نیروهای عمودی بر سطح خاک که توسط تایر وسیله نقلیه کششی یا حمل ونقل، تحت شرایط کاری اعمال می‌گردد، می‌باشد و بار استاتیکی (W_s)، کل نیروهای عمود بر سطح خاک است که توسط تایر وسیله نقلیه کششی یا حمل و نقل در شرایط بی‌حرکت با کشش خالص صفر و گشتاور ورودی صفر می‌گردد. بنابراین (W_d-W_s) را انتقال وزن می‌نامند که تغییر در نیروهای عمودی زیر چرخ‌های ادوات کششی و حمل و نقل تحت شرایط کاری، در مقایسه با وسیله نقلیه بی‌حرکت است. شکل ۲-۱ حالت بار دینامیکی را نشان می‌دهد. مطابق شکل (۲-۱) گشتاور T، ممان محرک در محور وسیله کششی می‌باشد.



شکل ۲-۱. نیروها و سرعت‌های پایه‌ای روی یک چرخ منفرد با منتجه نیروی عکس‌العمل خاک.

نیروی عکس‌العمل خاک R، منتجه همه نیروهای عمل‌کننده بر چرخ است که این نیرو غالباً به دو مولفه R_V و M_R تجزیه می‌شود که این دو مولفه درشکل (۲-۲) نشان داده شده است. مقاومت غلتشی M_R، برابر است با نیروی مخالف حرکت چرخ به هنگام غلتیدن روی سطح زمین که تابعی از خواص استحکامی و تغییر شکل سطح زمین و ویژگی‌های اندازه و تغییر شکل چرخ می‌باشد.

نسبت بین مقاومت غلتشی و بار دینامیکی را ضریب مقاومت غلتشی می‌نامند. نیروی کششی مالبند[1]، نیروی کششی اعمال شده از طریق مالبند یا نقاط اتصال تراکتور به وسایل دنباله‌بند می‌باشد. مجموع نیروی مالبند و مقاومت غلتشی تراکتور را کشش خالص[2] می‌نامند، که این نیرو در جهت حرکت تراکتور می‌باشد و کشش ناخالص[3] عبارت از نیروی حاصل از تقسیم گشتاور نهاده در چرخ محرک بر شعاع چرخ بوده و در امتداد جهت حرکت تراکتور می‌باشد (کماری‌زاده، ۱۳۸۴).



شکل ۲-۲. نیروها و سرعت‌های پایه‌ای روی یک چرخ منفرد با مولفه نیروهای عکس‌العمل خاک.

[1] ***Drawbar pull***

[2] ***Net Traction***

[3] ***Gross Traction***

۲-۳. مقاومت غلتشی

در حالت کلی مقاومت غلتشی را می‌توان مقاومتی نامید که تحت تاثیر دو عامل ایجاد می‌شود، این دو عامل نیروهایی هستند که باعث تغییر شکل ماده می‌شوند که عبارتند از نیرویی که صرف تغییر شکل تایر شده و به آن پسماند حرارتی[1] اطلاق می‌شود. دومین عامل نیروئی است که صرف تغییر شکل خاک یا مسیر حرکت تایر می‌شود و برای نفوذ تایر به داخل خاک و کنار زدن توده خاک از مقابل تایر مصرف می‌شود. بنابر این کلیه پارامترهایی که بر اندازه مقاومت غلتشی موثرند به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر این دو عامل اثر می‌گذارند.

مقاومت غلتشی که در تایر خودروهای سواری و بر روی سطح سخت ایجاد می‌شود، از نظر ماهیت با مقاومت غلتشی که در ماشین‌های کشاورزی و در شرایط خاک نه چندان سخت به وجود می‌آید، یکسان است. اما عامل ایجاد کننده این نیروها با یکدیگر متفاوت می‌باشد. به بیان دیگر از بین عواملی که بر مقاومت غلتشی مؤثرند برخی بر تایرهای خودروهای سواری و برخی دیگر بر تایرهای کشاورزی تاثیر گذارند. البته این وضعیت در شرایطی است که هر دوی این تایرها در شرایط معمول کاری خود حرکت نمایند. در صورتی که از تایر سواری مخصوص آسفالت و سطوح سخت در زمین خاکی و بالعکس استفاده شود، شرایط متفاوت خواهد بود.

بنابراین در حالت کلی راه‌کارهای ارائه شده برای کاهش مقاومت غلتشی در تایرهای مختلف بنا بر شرایط کاری متفاوت آنها با یکدیگر متمایز خواهد بود. یعنی روشی که برای اینکار استفاده می‌شود با تغییر شرایط زمین و تایر، متفاوت خواهد بود. به عبارت دیگر اگر روشی در یک نوع خاک و مسیر تاثیر مثبتی بر کاهش مقاومت غلتشی داشته باشد ، ممکن است در شرایط متفاوت تاثیر متفاوتی (مثبت یا منفی) از خود به جا بگذارد. بنابراین در استفاده از تایر باید به شرایطی که تایر در آن فعالیت می‌کند توجه کافی نمود و تنظیمات مربوطه را با توجه به شرایط حاکم اعمال نمود.

---

[1] ***Hysterics loss***

۲-۳-۱. مقاومت غلتشی در تایر خودروها

اساساً هر تمهیدی که باعث کاهش تغییر شکل و کرنش در اثر اعمال نیرو به تایر شود، در کاهش پسماند حرارتی یا به عبارتی مقاومت غلتشی آن موثر است. در مورد تایرهای مورد استفاده در اتومبیل‌ها که معمولا روی آسفالت و در مسیرهای غیر خاکی حرکت می‌کنند این عوامل را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

• افزایش فشار یکی از راه‌های کاهش انرژی کرنشی است چرا که این حالت باعث سفت‌تر شدن بیشتر تایر و افزایش مقاومت آن در برابر تغییر شکل در اثر اعمال نیرو می‌گردد. افزایش فشار باد تایر یک راه موثر و شاید ساده‌ترین راه کاهش مقاومت غلتشی باشد. اما بایدتوجه نمود که هر چه میزان فشار افزایش یابد از تاثیر آن روی مقاومت غلتشی کاسته می‌شود و اساساً محدودیت این اثرگذاری را نمی‌توان نادیده گرفت.

• کاهش نسبت مقطع (نسبت ارتفاع به عرض مقطع تایر) که بصورت درصد بیان می‌شود در بیشتر موارد می‌تواند باعث سفت‌تر شدن تایر و بنابراین کاهش پسماند حرارتی گردد و امروزه بیشتر تایرها در سری‌های ۷۰ به پایین تولید می‌گردند و به هر حال در تغییر این پارامتر نیز محدودیت وجود داشته و ممکن است در پاره‌ای موارد نتایج عکس حاصل شود.

• کاهش وزن تایر نیز یکی از مؤثرترین راه‌های کاهش مقاومت غلتشی می‌باشد. شاید بهترین راه کاهش مقاومت غلتشی تایر کم کردن وزن آن باشد. اما باید توجه نمود که طول عمر تایر نباید فدای این امر گردد و استفاده ازآمیزه‌ای با کیفیت بالا می‌تواند کارساز باشد.

• عامل موثر دیگر بر روی کاهش مقاومت غلتشی، عامل ساختار می‌باشد. نوع مواد به کار رفته در ساخت تایر از این حیث که ماهیت پسماند حرارتی کمتری داشته باشند مورد توجه می‌باشد.

اما در مورد تایرهای مورد استفاده در بخش کشاورزی وضعیت متفاوتی وجود دارد که در ادامه به بیان مسئله و روش‌های محاسبه آن پرداخته می‌شود. راندن بر روی زمین نرم کاملاً با زمین آماده شده سخت، متفاوت است. یکی از اصلی‌ترین تفاوت‌ها مربوط به رد تایر می‌باشد، که پشت سر تایر ایجاد می‌شود. این رد به خاطر تغییر

شکل پلاستیک خاک ایجاد می‌شود. با نفوذ تایر به داخل خاک، خاک زیر چرخ متراکم می‌شود و به سمت پهلوها و جلوی چرخ حرکت کرده و موج کمانی ایجاد می‌کند. تغییر فرم پلاستیک خاک عامل اصلی ایجاد مقاومت غلتشی در خاک نرم می‌باشد. در خاک سخت که مقاومت غلتشی تنها از طریق انرژی جذب شده بوسیله تایر ایجاد می‌شود، مقاومت غلتشی بسیار کمتر می‌باشد.

تفاوت دیگر خاک نرم در محدودیت اصطکاک آن می‌باشد. واضح است که در مسیر سخت نیروی محیطی بوسیله اصطکاک محدود می‌شود. در خاک نرم این محدودیت مربوط به کرنش برشی خاک می‌باشد.در نتیجه باعث ایجاد نیروی محیطی کمتری در خاک نرم نسبت به زمین سخت می‌شود. بر روی زمین، ماکزیمم نمودن کشش نه تنها برای ایجاد سرعت بلکه برای بالا رفتن از سراشیبی و عبور از موانع بسیار مهم می‌باشد. بنابراین افزایش نیروی مالبندی که معادل تفاضل نیروی محیطی و مقاومت غلتشی می‌باشد در سیستم‌های متحرک بر روی زمین، جنبه مهمی در تکامل آنها می‌باشد. یک راه‌کار ممکن و مناسب جهت افزایش نیروی کششی در زمین نرم، افزودن بر طول سطح تماس تایر و خاک است. که این کار با کاهش فشار باد تایر عملی است. در یک بار ثابت روی تایر، افزایش در سطح تماس تایر و خاک موجب کاهش فشار تماسی تایر و خاک و درنتیجه نفوذ کمتر تایر به خاک و مقاومت غلتشی کمتر آن می‌شود (لاچ[1]، ۱۹۹۶).

۲-۳-۲. مقاومت غلتشی در ارتباط با نیروی مالبندی

نیروی مالبندی را می‌توان به صورت معادله (۲-۱) در نظر گرفت.

$$P = F - R_R \qquad (۲-۱)$$

که در این رابطه (***P***) نیروی مالبندی، (***F***) نیروی کششی و (***R***) نیروی مقاومت غلتشی می‌باشند.

[1] ***Lach, 1996***

ظاهراً چنین به نظر می‌رسد که مقاومت غلتشی به راحتی قابل محاسبه باشد، ولی در واقع مقدار دقیق آن تنها وقتی که M (گشتاور وارده به چرخ) صفر باشد، قابل محاسبه است. در این صورت مقدار مقاومت غلتشی برابر با نیروی لازم برای حرکت چرخ خواهد بود. برای حالتی که نیروی مالبندی برابر صفر بوده و مقدار M فقط برای فائق آمدن بر R_R کفایت کند، مقدار آن به صورت رابطه (۲-۲) خو اهد بود که در آن r شعاع فرضی چرخ از محل اثر R_R است. از آنجائی که مقدار آن به صورت دقیق قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد، لذا بدست آوردن R_R نیز از رابطه (۲-۲) میسر نخواهد بود. مقدار r نسبت به شرایط مختلف خاک، فرورفتگی چرخ و مقدار بار روی مالبند متغیر خواهد بود (کماری زاده، ۱۳۸۴).

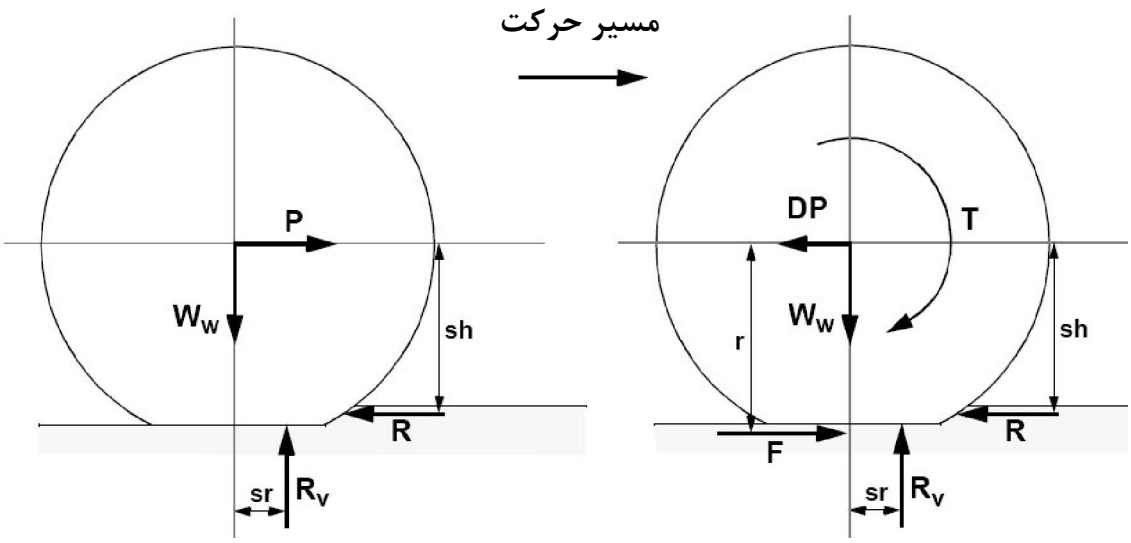
$$M = r.R_R \qquad (۲-۲)$$

۲-۳-۲-۱. چرخ متحرک یا آزاد گرد

در حالت اول می‌توان چرخ را به صورت متحرک (غیر محرک یا آزادگرد) تصور نمود که این حالت مشابه چرخ-های جلوی تراکتورهای دو چرخ محرک می‌باشد. بر اساس استاندارد $ASAE$[1] ضریب مقاومت غلتشی برای خاک‌های متوسط و سنگین به صورت رابطه (۲-۳) به دست می‌آید.

$$\frac{R}{W_w} = \left(\frac{1.2}{c_n} + 0.04\right) \qquad (۳-۲)$$

[1] *ASAE Data : ASAE D497, ASAE Standard 1992*



شکل ۲-۳. نیروهای وارده به چرخ متحرک (شکل سمت چپ) و چرخ محرک (شکل سمت راست)

چرخ متحرک چرخی است که گشتاور وارده بر محور آن از طرف ماشین صفر می‌باشد (شکل ۲-۳). نیروی کششی لازم برای کشیدن چرخ در این حالت برابر است با مقاومت غلتشی چرخ که برای خاک‌های متوسط و سنگین از رابطه (۲-۴) بدست می‌آید.

$$P = R_c = N(\frac{1.2}{C_n} + 0.04) \qquad (۴-۲)$$

معادله فوق توسط ویسمر و لوث[1] معرفی گردیده است که جزو متداول‌ترین روش‌ها برای محاسبه مقاومت غلتشی به شمار می‌رود. در این رابطه (C_n) عدد چرخ، (N) بار روی چرخ و (P) نیروی بوکسیری چرخ می‌باشند. C_n ضریبی بدون واحد و تابع شاخص مخروطی خاک می‌باشد. مقدار آن از رابطه (۲-۵) قابل محاسبه است (ساریلاتی[2]، ۲۰۰۵). به C_n در اصطلاح، عدد چرخ می‌گویند و از آن می‌توان برای محاسبه ضریب مقاومت غلتشی استفاده نمود.

[1] *Wismer and Luth, 1974*

[2] *Saarilahti, 2005*

$$C_n = \frac{CI.b.d}{N} \qquad (۵-۲)$$

در رابطه (۲-۵)، ***CI*** شاخص مخروطی، (***b***) عرض تایر و (***d***) قطر تایر می‌باشند.

مقدار ضریب مقاومت غلتشی برابر قسمت دوم معادله (۲-۴) می‌باشد که به صورت رابطه (۲-۶) تعریف می‌شود.

$$\mu = (\frac{1.2}{C_n} + 0.04) \qquad (۶-۲)$$

اگر اندازه چرخ‌های جلو و عقب یکسان نباشد، مقدار این شاخص را باید از رابطه (۲-۷) محاسبه کرد.

$$C_n = \frac{2.CI\left(b_f d_f + b_r d_r\right)}{N} \qquad (۷-۲)$$

۲-۳-۲-۲. چرخ محرک

چرخ محرک چرخی است که برای ایجاد حرکت از آن استفاده می‌شود، به عبارت دیگر گشتاور ورودی آن بر خلاف چرخ متحرک، صفر نمی‌باشد. اگر گشتاور ***(Q)*** وارده بر محور چرخ محرک برای ایجاد نیروی کششی لازم باشد، این گشتاور ممکن است باعث بوجود آمدن مقداری بوکساوات در چرخ شود. مقدار گشتاور را می‌توان از رابطه (۲-۸) محاسبه نمود (شکل ۲-۳).

$$\begin{cases} Q = R_c r \\ \frac{Q}{rN} = 0.75(1 - e^{-0.3 c_n s}) \end{cases} \qquad (۸-۲)$$

نیروی کششی ***(DP)*** در این حالت از تفاضل نیروی کشش ناخالص ***(F)*** ناشی از گشتاور وارد بر چرخ و مقاومت غلتشی بدست می‌آید که در رابطه (۲-۹) نشان داده شده است (شهیدی و احمدی مقدم، ۱۳۸۴).

$$\begin{cases} DP = F - R = \frac{T}{r} - P \\ DP = 0.75N(1 - e^{-0.3 c_n s}) - N(\frac{1.2}{c_n} + 0.04) \end{cases} \qquad (۹-۲)$$

در تحقیقی که نانگ گیون وان و همکاران[1] در سال ۲۰۰۷ در مورد تاثیر فشار باد تایر بر فشار تماسی تایرو

[1] ***Nang Nguyen Van et al., 2007***

خاک و مقاومت غلتشی تراکتورهای کشاورزی به انجام رساندند، نشان دادند که فشار باد تایر تعیین کننده سختی تایر می‌باشد، که دارای تاثیر مشخصی بر سطح تماسی تایر و توزیع فشار بر سطح تماسی می‌باشد. تنظیم فشار باد تایر به عنوان ابزاری برای کاهش تراکم خاک و بهبود توانائی‌های کششی تراکتور مورد استفاده واقع می‌شود. امروزه تاثیر فشار باد تایر بر فشار تماسی خاک زیر چرخ همانند بازده کششی، مخصوصاً برای تایرهای رادیال، مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است (رپر[۱]، ۱۹۹۵؛ بایلی[۲]، ۱۹۹۶؛ ریول[۳]، ۱۹۹۷؛ جان و آدامز[۴]، ۲۰۰۴؛ وای[۵]، ۲۰۰۴؛ پیتکا[۶]، ۲۰۰۵)

مشخص است که کارآیی مناسب یک تایر محرک با تنظیم فشار باد تایر متناسب با وضع خاکی که تایر بر روی آن در حال حرکت است، قابل دستیابی می‌باشد. مزیت فشار باد پائین ممکن است شامل کاهش در فشار تماسی تایر با خاک، افزایش کارائی تایر، کاهش تراکم خاک و حرکت روانتر باشد. معمولاً فشار باد مناسب تایر در بار مشخص اعمالی به آن در کاتالوگ تایر که توسط کارخانه ارائه می‌شود، مشخص می‌گردد که مشخص کننده مینیمم باد تایر مجاز برای آن بار می‌باشد. این امر باعث کاهش تنش و فشردگی خاک و افزایش بازده کششی می‌شود (نانگ گیون وان و همکاران، ۲۰۰۷).

در تحقیقات ایشان مشخص شد که مزایای فشارهای پائین باد تایر در تایرهای تراکتورهای کشاورزی عبارت از کاهش فشار تماسی تایر و خاک ، افزایش کارایی فرمان و کاهش تراکم خاک می‌باشد. اندازه‌گیری فشار تماسی خاک، در خط المرکزین چرخ جلو و رأس چرخ عقب یک تراکتور دو چرخ محرک کشاورزی مورد استفاده در خاک شنی در چهار ترکیب از باد تایر و بار روی چرخ به انجام رسید و مقاومت غلتشی تراکتور نیز هم زمان

---

[1] ***Raper, 1995***

[2] ***Bailey, 1996***

[4] ***Ryol, 1997***

[5] ***Jun and Adams, 2004***

[3] ***Way, 2004***

[6] ***Pytka, 2005***

اندازگیری شد. این اندازه‌گیری‌ها نشان داد زمانی که فشار باد تایر کاهش یابد، فشار تماسی تایر و خاک به انـدازه ۱۹٪ برای چرخ جلو و به اندازه ۱۷٪ برای چرخ عقب کاهش می‌یابد که در نتیجه میزان مقاومت غلتشی به اندازه ۲۵٪ کاهش می‌یابد (نانگ گیون وان و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۳-۳. پیشینه مطالعات پیرامون تاثیر بار دینامیکی و سرعت پیشروی بر مقاومت غلتشی چرخ

بیشتر مدل‌های تجربی اولیه چرخ و خاک با فرض اعمال بارهای استاتیکی بر روی چرخ بنا شـده اسـت و ایـن در حالی است که طبیعت واقعی برهم کنش چرخ و خاک بسیار پیچیده‌تر از این ساده سازی بوده و بـار روی چـرخ، عملاً یک بار دینامیکی و متغیر می‌باشد. این پیچیدگی، با وارد شدن پارامتر سرعت پیشروی چرخ نیـز دوچنـدان می‌گردد.

باشفورد و همکاران[1] (۱۹۹۲) به بررسی رابطه نسبت کشش دینامیکی و بـازده کششـی تراکتورهـا در شـرایط مختلف خاک پرداختند. این محققین دریافتند که کم کردن فشار باد تایر بر روی خاک‌هـای نـرم باعـث افـزایش کشش خالص و افزایش بازده کششی می‌گردد.

گو و کوشواها[2] (۱۹۹۲) به بررسی اثر بار دینامیکی بـر روی کشـش و بـازده کششـی چـرخ در وضـعیت‌هـای مختلف خاک دست زده‌اند. براساس پژوهش آنها که در شرایط سویل بین به انجام رسیده است، بار دینامیکی، اثر معنی‌داری را بر روی کشش چرخ داشته است. این محققین، مدلی را برای رابطه بار دینامیکی، لغـزش و عملکـرد کششی چرخ ها معرفی کرده‌اند. بازده کششی بهینه در این تحقیق در سطح لغـزش حـدود ۱۰ تـا ۱۲ درصـد بـه دست آمده است.

---

[1] ***Bashford et al., 1992***

[2] ***Gu and Kushwaha, 1992***

سلف و سامرز[1] (۱۹۸۸) مطالعه فراگیرتری را بـر روی بـار دینـامیکی روی چـرخ بـا در نظـر گـرفتن سـرعت پیشروی، لغزش و پارامتر شاخص مخروطی خاک انجام داده‌اند. بر اساس تحقیق مزبور، مقاومت غلتشی چرخ، بـه صورت معنی‌داری تحت تاثیر سرعت پیشروی و همچنین بـار دینـامیکی روی چـرخ، مـی‌باشـد. ضـریب کشـش دینامیکی هم در این تحقیق، به صورت معنی‌داری، متاثر از سرعت پیشروی، لغـزش و بـار دینـامیکی روی چـرخ بوده است. بازده کششی چرخ هم شرایط مشابهی داشته و اثر معنی‌دار سرعت پیشـروی، بـار دینـامیکی و لغـزش چرخ بر روی این پارامتر، تایید شده است.

ترنر[2] (۱۹۹۳) طی تحقیقات خود پیرامون رابطه چرخ و خاک، بر صادق بودن مدل‌های کلاسـیک مربـوط بـه چرخ، صحه گذاشت. این محقق، تحقیقات خود را بر روی تراکتور و در شرایط مزرعه‌ای به انجام رسانده است.

گادبول و آلکاک[3] (۱۹۹۲) مدل تازه‌ای را برای تخمین کشش چـرخ بـر روی خـاک پیشـنهاد کـرده‌انـد. ایـن معادله به صورت معادله (۲-۱۰) است.

$$\frac{P}{\mathrm{W}} = \left(\frac{A}{W}C + W\,tan\varphi\right)\left[1 + \frac{K}{iL}\left(e^{\frac{iL}{K}} - 1\right)\right] \qquad (۲-۱۰)$$

در این معادله، A سطح تماس چرخ با خاک، L طول سـطح تمـاس چـرخ بـا خـاک، C کـوهیژن خـاک، φ زاویـه اصطکاک داخلی خاک، W بار روی چرخ، i لغزش چرخ، K مدول برشی خاک و P کشش چرخ است. مقدار مدول برشی خاک، برگرفته از منحنی برش- تغییر مکان زیر چرخ در تنش‌های عمودی مختلف می‌باشد.

لویتیکوس و ریز[4] (۱۹۸۶) در مرکز تست نبراسکا به مطالعه متمایزی در مورد تراکتورها بر روی سـطح بتنـی پرداخته و مدل ویسمر و لوث را به عنوان مبنای کار خود انتخاب نمودند. مـدل بـه دسـت آمـده توسـط ایـن دو

---

[1] *Self and Summers, 1988*

[2] *Turner, 1993*

[3] *Godbole and Alcock, 1992*

[4] *Leviticus and Reyes, 1986*

محقق به صورت رابطه (۲-۱۱) است.

$$\frac{P}{W} = A^{\left(1-e^{\frac{b.d}{W}S}\right)} \qquad (۱۱-۲)$$

که در این رابطه، S لغزش چرخ، A سطح تماس چرخ با خاک، W بار دینامیکی روی محور چرخ، b و d به ترتیب عرض و قطر چرخ، P کشش و K عبارت از ثابت سختی بدنه تایر است. این محققین، K را به عنوان جایگزین شاخص مخروط بر روی سطح بتن معرفی کرده‌اند.

اوانز، کلارک و مانور[1] (۱۹۸۹) مدل اصلاح شده دیگری را برای چرخ ارائه کرده‌اند که به صورت رابطه (۲-۱۲) است.

$$GT = W\left[C_a\left(1 - e^{C_b B_n}\right)\left(1 - e^{-C_c S}\right) + 0.04\right] \qquad (۱۲-۲)$$

که در این رابطه، C_a و C_b و C_c ثابت‌های رگرسیونی هستند. B_n عدد چرخ و GT کشش ناخالص تولیدی توسط چرخ می‌باشد.

گریسو و همکاران[2] (۱۹۹۱ و ۱۹۹۲) مدل دیگری را به صورت غیر خطی ارائه کرده‌اند که به صورت رابطه‌های (۲-۱۳) و (۲-۱۴) می‌باشد.

$$\frac{P}{W} = C_d\left(1 - e^{C_e S}\right) + C_f \qquad (۱۳-۲)$$

$$\frac{GT}{W} = C_g\left(1 - e^{C_h S}\right) + C_i \qquad (۱۴-۲)$$

که در این روابط، C_h، C_g، C_i، C_f، C_e و C_d ثابت‌های رگرسیون مربوط به این مدل هستند. آزمون‌های گریسو و همکاران در فشارهای بالای باد تایر به انجام رسیده است که در این شرایط از اثر فشار باد تایر چشم پوشی شده است.

---

[1] *Evans, clark and Manor, 1989*

[2] *Grisso et al., 1991, 1992*