

## بررسی معادلات بار دینامیکی و انتخاب معادله مناسب با اندازه گیری لغزش چرخ تراکتور (۱۰۹)

مجتبی نادری بلداجی<sup>۱</sup>، رضا علیمردانی<sup>۲</sup>، روزبه عباس زاده<sup>۳</sup>، حجت احمدی<sup>۴</sup>

### چکیده

عوامل مختلفی بر کشش تراکتورهای دو چرخ محرک تاثیر گذارند که از آن جمله می توان به بار دینامیکی روی چرخ های محرک اشاره کرد. با افزایش بار دینامیکی روی چرخ ها، مقدار کشش خالص افزایش خواهد یافت، ولی افزایش بیش از حد نیروی عمودی روی چرخ های محرک موجب کاهش شدید بازده کششی می شود که باید از آن اجتناب نمود. توسعه و کاربرد روزافزون ادوات سوار به دلیل مانورپذیری خوب و انتقال وزن به محور عقب در تراکتور های دو چرخ محرک موجب افزایش کارایی تراکتور می شود. بنابراین داشتن دانش کافی برای شناخت پدیده انتقال وزن و پیش بینی یا اندازه گیری بار دینامیکی چرخ محرک ضروری می باشد. از آنجا که اندازه گیری بار دینامیکی روی محور کاری پر هزینه و مشکل می باشد، لذا در این تحقیق چهار معادله ارائه شده برای پیش بینی بار دینامیکی محور عقب تراکتورهای دو چرخ محرک توسط محققین قبلی، به منظور انتخاب بهترین معادله مورد ارزیابی قرار گرفت. معادله اول بار دینامیکی محور عقب در حین کشش وسیله را برابر با وزن استاتیکی کل تراکتور فرض می کند. در معادله دوم مجموع وزن های استاتیکی محور عقب و انتقال وزن از محور جلو در اثر نیروی کششی به عنوان بار دینامیکی محور عقب ارائه می شود و در معادله های سوم و چهارم اثرات مقاومت غلتشی و گشتاور ورودی محور محرک نیز در نظر گرفته می شود. به منظور انتخاب بهترین معادله جهت پیش بینی بار دینامیکی از معادله پیش بینی لغزش چرخ محرک توسط ASAE که یکی از پارامتر های موثر بر آن بار دینامیکی می باشد استفاده شد. لذا با وارد کردن مقادیر مختلف بار کششی و اندازه گیری آن توسط لودسل کششی و همچنین اندازه گیری لغزش چرخ محرک با روش استاندارد ASAE مقادیر لغزش اندازه گیری شده با پیش بینی شده توسط چهار معادله مقایسه شد. نتایج نشان داد که بهترین معادله جهت استفاده در پیش بینی لغزش چرخ محرک و همچنین بار دینامیکی معادله اول می باشد. مقادیر لغزش اندازه گیری شده برابر با  $0/915$  مقادیر پیش بینی شده توسط معادله اول بود ( $R^2 = 0/99$  و  $R.S.E = 0/55$ ). این نتایج در تائید با نتایج به دست آمده توسط محققین قبلی نیز می باشد.

**کلیدواژه:** بار دینامیکی، لغزش، انتقال وزن، مقاومت غلتشی، لودسل کششی

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران
- ۲- استاد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران
- ۳- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران
- ۴- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران

## مقدمه

انتقال وزن در تراکتورها و خودروها یکی از نقش های اصلی و مهم را در کنترل (هدایت) و ایمنی این وسائل ایفا می کند. علاوه بر این، کارکرد بهتر تراکتور در زمین های کشاورزی و ارایه کشش بهینه بستگی به انتقال وزن و مقدار بار دینامیکی روی چرخ های محرک دارد. هنگامیکه سرعت، شتاب و کشش خودرو یا تراکتور تغییر می کند، مقدار وزن روی چرخ های جلو و عقب نیز تغییر خواهد کرد. عامل اصلی انتقال وزن در خودروها تغییرات حاصل از نیروهای شتابی و یا نیروی ترمزی می باشد. در صورتیکه در مورد تراکتورها کشش ادوات پشت بند نیز به این موارد افزوده خواهد شد. با توجه به اینکه در کارهای اوزری تراکتور با سرعت تقریباً ثابتی حرکت می کند، معمولاً انتقال وزن ناشی از کشش ادوات بیشتر از موارد دیگر انتقال وزن (از جمله انتقال وزن ناشی از نیروی ترمزی یا تغییرات شتاب) جلوه می کند. در تراکتورها قابلیت کشش به سبب واکنش عمودی خاک در مقابل کشش چرخ های محرک حاصل می شود و نیرو های وارد بر تراکتور به وسیله ادوات، به علت اتصالات (مالبندی، سوار و نیمه سوار) تراکتور و ادوات تغییر می کنند. به منظور پیش بینی عملکرد تراکتور و همچنین شرایط بهینه استفاده از وزنه های اضافی و لغزش چرخ محرک برای دستیابی به بازده کششی بهینه نیاز به مقادیر بار دینامیکی چرخ های محرک در حین عملیات می باشد. به این منظور می توان این پارامتر را اندازه گیری کرد و یا از معادلات پیش بینی کننده این پارامتر به دست آمده بر مبنای اندازه گیری استفاده نمود. همچنین مدل های شبیه سازی عملکرد تراکتور نیز بر اساس این معادلات و اندازه گیری ها مورد استفاده قرار می گیرند.

در راستای اندازه گیری بار دینامیکی محور های تراکتور عباسپور (۱۳۸۰) یک تراکتور میتسوبیشی MT-250D را برای اندازه گیری بار دینامیکی محور عقب مجهز به سیستم اندازه گیری کرد. از آنجا که قطر محور تراکتور بزرگ می باشد، لذا نصب کرنش سنج ها بر روی خود محور جهت اندازه گیری بار دینامیکی حساسیت کمی داشته که از این روش بیشتر در اندازه گیری گشتاور محور استفاده می شود. لذا آنها از دو قطعه محور اضافه شده (Extended axle) با قطر کوچکتر که با فلانج بین سر محور و چرخ تراکتور وصل شدند، استفاده کرده و با نصب کرنش سنج بر روی آن و تشکیل پل وتسون بار دینامیکی را توسط یک ولتمتر دیجیتال حافظه دار اندازه گیری کردند [۱].

کلارک و ادسیت<sup>۱</sup> (۱۹۸۵) یک تراکتور را برای اندازه گیری بازده مزرعه ای به سیستم اندازه گیری مجهز کردند. آنها در این سیستم برای اندازه گیری بار محورهای تراکتور از مبدل کرنش سنجی استفاده کردند. کالیبره کردن مقدار وزن روی هر یک از چرخها با قرار دادن یک سکوی توزین وزن زیر تایر ها و ثبت کردن خروجی مبدل انجام شد [۲].

بورت و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۹) اثرات بار دینامیکی، نوع و شرایط فشردگی خاک را روی نسبت تنش مماسی و تنش نرمال در سطح تماس تایر و خاک مورد بررسی قرار دادند [۳]. در این تحقیق، بهترین مقدار برای این نسبت در ارتباط با شرایط خاک دد یک به دست آمد. آنها همچنین تنش های قائم در سطح خاک با تایر را با تغییر دادن بار دینامیکی اندازه گیری کردند و بدین منظور مبدل های فشاری را داخل آج تایر نصب کردند. با توجه به این که مبدل ها در داخل سوراخ های از قبل ایجاد شده در داخل تایر قرار می گیرند، این کار مستلزم از بین بردن و سوراخ کردن تایر می باشد که توجیه اقتصادی ندارد.

مک لافین و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۳) تراکتوری را برای اندازه گیری پارامترهای عملکردی مزرعه مجهز کردند. آنها در این سیستم برای اندازه گیری مقدار وزن روی محور جلو یک پین حساس را که حسگر های کرنش سنجی روی آن نصب شده بودند بر روی محور جلوی تراکتور نصب کردند و با استفاده از آن به مقدار وزن روی محور پی بردند. به منظور ثبت داده ها در این سیستم اندازه گیری از یک سیستم تحویل داده بر پایه کامپیوتر شخصی استفاده شد [۴]. کلارک و داهو<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) یک مدلی را برای انتقال وزن و کشش برای واحد های توان مزرعه ای ارایه کردند. در سیستم به کار گرفته شده هر کدام از چرخ های عقب توسط یک سیلندر هیدرولیکی حمایت شد و با توجه به جابجایی سیلندرها مقدار وزن روی هر یک از چرخ ها اندازه گیری شد [۵].

<sup>1</sup> - Clark and Adsit

<sup>2</sup> - Bort et al.

<sup>3</sup> - Mclaughlin

<sup>4</sup> - Clark and Dahua

- ژانک و چنسلر<sup>۱</sup> (۱۹۸۹) چهار عامل مربوط به هم و در عین حال متضاد که در طراحی و کارکرد یک تراکتور دو چرخ محرک در ارتباط با مقادیر توزیع نیروی حامل بین خاک- چرخ روی محور جلو و عقب وجود دارند را بشرح ذیل بیان کردند [۶]:
- ۱- افزایش کلی وزن تراکتور، انرژی تلف شده ناشی از مقاومت حرکتی را افزایش می دهد.
  - ۲- افزایش نیروی عمودی چرخ - خاک در محور محرک حداکثر کششی که در هر سطحی از لغزش چرخ در پهای کشاورزی به دست می آید را افزایش می دهد.
  - ۳- افزایش نسبتی از کل وزن که روی محور عقب اعمال می شود حداکثر نیروی کششی نسبت به وزن کل تراکتور را افزایش، و مقاومت کلی در برابر حرکت را کاهش می دهد.
  - ۴- لازم است که مقدار مشخصی نیروی حامل چرخ - خاک روی محور جلو بماند تا تعادل طولی تراکتور حفظ شود و موجب نیروی کافی برای فرمان دادن شود.

از آنجا که در ایران تراکتورهای مجهز به سیستم های اندازه گیری صرفاً جهت تحقیقات به کار رفته و کمتر در اختیار مراکز کشاورزی بزرگ از جمله شت و صنعت ها می باشد و همچنین پر هزینه و مشکل بودن فرایند اندازه گیری، لذا استفاده از معادلات پیش بینی کننده و همچنین شبیه سازی عملکرد تراکتور با استفاده از مدل های کامپیوتری مناسب و کم هزینه بوده و تا حد زیادی دقت لازم برای تنظیمات تراکتور جهت عملکرد بهینه را دارا می باشند.

محققین زیادی معادلات پیش بینی کننده برای عملکرد مزرعه ای تراکتور ارائه کردند (پرسن<sup>۲</sup> (۱۹۶۹)، زوز<sup>۳</sup> (۱۹۷۰)، ویسمر و لوت<sup>۴</sup> (۱۹۷۲)، اوزکان و ادوارد<sup>۵</sup> (۱۹۸۳) [۱۰ و ۹ و ۸ و ۷] و همچنین مدل ای کامپیوتری شبیه سازی عملکرد مزرعه ای تراکتور نیز مورد استفاده بسیاری از محققین قرار گرفت (دیویس و رهوگلر<sup>۶</sup> (۱۹۷۴)، ماکناب و همکاران<sup>۷</sup> (۱۹۷۷)، کالوین و همکاران<sup>۸</sup> (۱۹۸۴)، علیمردانی و همکاران (۱۹۸۹)، الحمد و الجانوبی<sup>۹</sup> (۲۰۰۱)، و کاتالان و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۷) [۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶].  
بار دینامیکی چرخ محرک تاثیر مستقیم بر فرو رفتگی چرخ و نسبت کشش خالص می گذارد. این پارامتر توسط وزنه های اضافه چرخ، انتقال وزن از محور جلو و همچنین انتقال وزن از ادوات افزایش می یابد. این پارامتر با جمع کردن بار استاتیکی و انتقال وزن به دست می آید. معادلاتی که در این تحقیق استفاده شدند عبارتند از :

$$\begin{aligned} ۱) & \quad ([DWL_1 = TSWT] \quad ۱۳ \quad [ \text{کالوین و همکاران، ۱۹۸۴} ] ) \\ ۲) & \quad ([DWL_2 = SWL + DBP \left( \frac{DBH}{WB} \right)] \quad ۱۷ \quad [ \text{ارگر و همکاران، ۱۹۶۳} ] ) \\ ۳) & \quad ([DWL_3 = SWL + \frac{[TI - DBP(RRR - DBH) - RRFW(RRR)]}{WB}] \quad ۱۸ \quad [ \text{اروین، ۱۹۶۱} ] ) \\ ۴) & \quad ([DWL_4 = SWL + \frac{[TI - DBP(RRR - DBH) - RRFW(RRR - FRR)]}{WB}] \quad ۱۹ \quad [ \text{پرلارگ، ۱۹۶۹} ] ) \end{aligned}$$

که در این معادلات  $DWL$  بار دینامیکی چرخ  $(N)$ ،  $TSWT$  وزن استاتیکی کل تراکتور  $(N)$ ،  $SWL$  بار استاتیکی چرخ عقب  $(N)$ ،  $DBP$  کشش مالبندی  $(N)$ ،  $DBH$  ارتفاع مالبند  $(m)$ ،  $WB$  فاصله افقی دو محور تراکتور  $(m)$ ،  $TI$  گشتاور ورودی به

<sup>1</sup> - Zhang and Chancellor

<sup>2</sup> - Persson

<sup>3</sup> - Zoz

<sup>4</sup> - Wismer and Luth

<sup>5</sup> - Ozkan and Edwards

<sup>6</sup> - Davis and Rehkugler

<sup>7</sup> - Macnab et al.

<sup>8</sup> - Colvin et al.

<sup>9</sup> - Al-Hamed and Al-Janobi

<sup>10</sup> - Catalan et al

محور عقب (N-M)، شعاع غلتشی چرخ جلو (m)، شعاع غلتشی چرخ عقب (m)،  $RRFW$  مقاومت غلتشی چرخ های جلو (N) می باشند.

معادله (۱) بار دینامیکی محور عقب را برابر با وزن استاتیکی کل تراکتور قرار داده و در این معادله فرض بر این است که در حین کشش چرخ جلو در آستانه بلند شدن از روی زمین بوده و تمام وزن تراکتور بر روی محور عقب می باشد. معادله دوم بار دینامیکی را از جمع کردن بار استاتیکی محور عقب و انتقال وزن از محور جلو در اثر بار کششی قرار ده و اثرات مقاومت غلتشی و گشتاور ورودی در این معادله در نظر گرفته نشده است. در معادلات (۳) و (۴) اثرات مقاومت غلتشی و گشتاور محور نیز در نظر گرفته شده است.

هدف از این تحقیق بررسی معادلات ارایه شده برای پیش بینی بار دینامیکی محور عقب و انتخاب بهترین معادله با استفاده از اندازه گیری لغزش چرخ محرک می باشد.

### مواد و روش ها

#### ۱- پیش بینی لغزش چرخ محرک

لغزش بر حسب عشار و مطابق با استاندارد ASAE, STANDARD D497.4 از رابطه (۵) به دست می آید [۲۰]:

$$s = \frac{1}{0.3C_n} \ln \left( \frac{0.75}{0.75 - \left( \frac{NDBP}{DWL} + \frac{1.2}{C_n} + 0.079 \right)} \right) \quad (5)$$

$$C_n = \frac{b \cdot d \cdot CI}{DWL} \quad (6)$$

که در این رابطه  $s$  لغزش چرخ محرک تراکتور بر حسب اعشار،  $C_n$  در رابطه (۶) عدد بدون بعد چرخ،  $b$  و  $d$  عرض و قطر تایر بر حسب میلی متر،  $CI$  شاخص مخروطی خاک بر حسب مگا پاسکال،  $NDBP$  کشش خالص بر حسب نیوتون،  $DWL$  بار دینامیکی که از معادلات (۱) و (۲) و (۳) و (۴) محاسبه می شوند.

به منظور انجام آزمایش ها، یک دستگاه تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ و یک دستگاه تراکتور میتسوبیشی مدل MT-250D و همچنین از یک لودسل کششی ۲۰ kN و سیستم تحویل داده استفاده شد. تراکتور جان دیر به عنوان کشنده و تراکتور میتسوبیشی و گاواهن متصل به آن به منظور اعمال سطوح مختلف بار کششی به تراکتور کشنده مورد استفاده قرار گرفت. لودسل کششی بین دو تراکتور و آزمایش ها بر اساس آزمون RNAM انجام شدند [۲۱]. آزمایش در ۱۵ سطح نیروی کششی و هر سطح در ۵ تکرار انجام شد. برای اعمال سطوح مختلف نیروی کششی، از ترکیب ترمز دستی تراکتور میتسوبیشی و عمق شخم استفاده شد.

#### ۲- شعاع غلتش رخ

شعاع غلتش چرخ با توجه به استاندارد ASAE, STANDARD S296.4 برابر  $\frac{D}{2\pi n}$  در شرایط بدون بار اضافی بوده که  $D$  برابر فاصله معیار طی شده و  $n$  تعداد دور چرخش می باشد [۲۲]. فاصله طی شده در ۹ دور چرخ جلو و ۵ دور چرخ عقب و هر کدام با ۳ تکرار اندازه گیری شد. شعاع چرخ جلو ۰/۴۰۷ m و چرخ عقب ۰/۷۸ m به دست آمد.

### ۳- مقاومت غلتشی چرخ جلو

مقاومت غلتشی مطابق با استاندارد ASAE, STANDARD D497.4 برابر با حاصل ضرب بار دینامیکی در ضریب مقاومت غلتشی می باشد که ضریب مقاومت غلتشی از رابطه (۷) به دست می آید و رابطه (۸) برای محاسبه مقاومت غلتشی استفاده می شود.

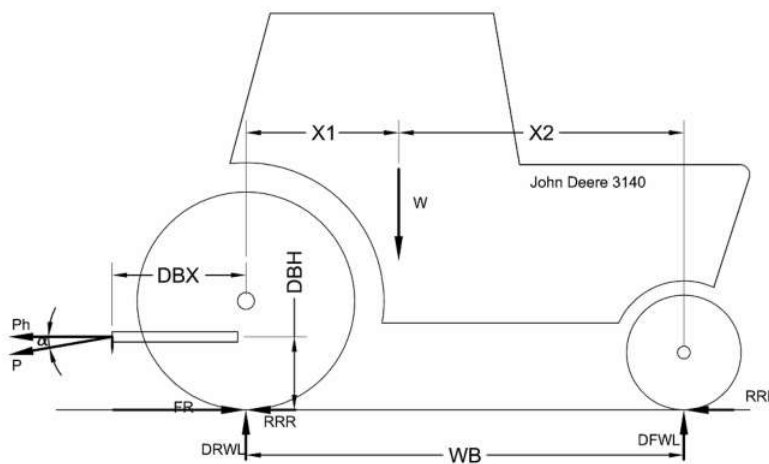
$$\rho_R = \left( \frac{1.2}{C_n} \right) + 0.04 \quad (7)$$

$$MR = \rho_R \cdot DWL \quad (8)$$

به منظور محاسبه بار دینامیکی محور جلو، از روش گشتاور گیری استفاده شد. در ابتدا محور جلو و عقب تراکتور جان دیر با استفاده از باسکول دیجیتال وزن شد که وزن محور جلو ۱۴/۷۲ kN و محور عقب در حالت استاتیک برابر با ۲۵/۰۱ kN بود. ارتفاع اتصالات دو تراکتور طوری تنظیم شد که در حین آزمایش ها زاویه کشش صفر بود و زنجیر متصل کننده لودسل به تراکتور موقعیت کاملاً افقی داشت. شکل (۱) نمودار جسم آزاد تراکتور جلویی را نشان می دهد. به منظور محاسبه بار دینامیکی محور جلو از گشتاورگیری حول نقطه تماس چرخ عقب با زمین استفاده شده که در این حالت بار دینامیکی محور جلو برابر خواهد بود با:

$$(9) \quad DFWL = \frac{W(X_1) - P_v(DBX) - P_h(DBH)}{WB}$$

که  $P_h$  مولفه افقی کشش می باشد که با استفاده از یک لودسل کششی اندازه گیری شد. همچنین مقادیر  $DBH$  و  $WB$  به ترتیب برابر ۸۲ cm و ۲۵۷ cm اندازه گیری شد. در این روش دو فرضیه استفاده شده است: ۱- عکس العمل خاک بر روی چرخ درست در زیر محور است. ۲- شیب زیر ۵ درصد بر روی توزیع وزن تراکتور روی دو محور تاثیر دارد (شیب مزرعه ۳٪).



شکل ۱- نمودار جسم آزاد تراکتور در حین کشش

### ۴- اندازه گیری شاخص مخروطی خاک

به منظور اندازه گیری شاخص مخروطی خاک برای جایگذاری در رابطه عدد چرخ از یک نفوذسنج دستی دیجیتال استفاده شد. در این دستگاه (شکل ۲) برای اندازه گیری مقاومت به نفوذ خاک از یک لودسل یک سر گیردار و برای اندازه گیری عمق نفوذ از یک فرستنده و گیرنده نوری استفاده شد. برای ذخیره داده های شاخص مخروطی از سیستم تحویل داده بر پایه میکرو کنترلر استفاده شد [۲۳]. مقادیر شاخص مخروطی تا عمق ۳۰ cm اندازه گیری شد.

مقدار میانگین شاخص مخروطی در ۱۰ تکرار برابر ۲۷۹۵/۴۴ kPa (۳۰-۰) cm اندازه گیری شد. با نمونه برداری از خاک در سه عمق ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ سانتی متر، مقدار رطوبت خاک با استفاده از روش آون ۱۶٪ بر پایه وزن خشک به دست آمد.



شکل ۲- نفوذ سنج دستی دیجیتال (نادری و علیمردانی، ۱۳۸۶، [۲۴])

### ۵- اندازه گیری لغزش چرخ تراکتور

درصد لغزش چرخ محرک تراکتور در حین کشش با استفاده از استاندارد ASAE, STANDARD S209.5 از رابطه (۱۰) به دست می آید [۲۰].

$$s\% = \frac{V_t - V_a}{V_t} \cdot 100 \quad (10)$$

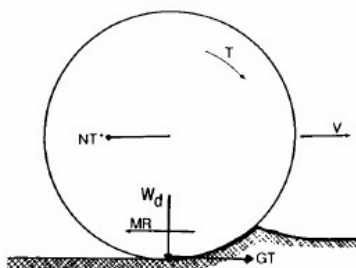
در این رابطه  $V_t$  سرعت تئوری یا بدون لغزش می شد و  $V_a$  سرعت واقعی با لغزش می باشد. به منظور اندازه گیری این سرعت ها مسافت و زمان پیمایش تراکتور در حین کشش در ۱۰ دور اندازه گیری شد و همچنین در شرایط بدون کشش و روی آسفالت نیز سرعت واقعی بدون لغزش در شرایط مشابه به دست آمد.

### ۶- گشتاور ورودی به محور محرک تراکتور

با توجه به دیاگرام جسم آزاد چرخ محرک که در شکل (۳) نشان داده شده است، چنانچه مطابق با رابطه (۱۱)، کشش خالص را که با لودسل اندازه گیری شد با مقدار مقاومت غلتشی جمع ده و در شعاع غلتش ضرب شود، مقدار  $T$  (گشتاور چرخ) به دست می آید [۲۲].

$$T = (NT + MR) \cdot r \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) کشش خالص  $NT$  و مقاومت غلتشی  $MR$  بر حسب نیوتون،  $r$  شعاع غلتش بر حسب متر و  $T$  گشتاور ورودی چرخ بر حسب نیوتون-متر می باشد.



## شکل ۳- دیاگرام آزاد چرخ کششی (ASAE, STANDARD S296.4)

به منظور محاسبه گشتاور ورودی چرخ محرک، نیاز به مقادیر مقاومت غلتشی چرخ های جلو و عقب می باشد. مقاومت غلتشی چرخ های جلو از روابط (۸) و (۹) به دست می آید. چون مقدار بار دینامیکی محور عقب جزء مجهولات مسئله می باشد، لذا فرض دیگری در این مورد اتخاذ گردید و مقادیر بار دینامیکی صرفاً به منظور محاسبه مقاومت غلتشی چرخ های عقب نیز از گشتاور گیری حول نقطه تماس چرخ جلو با زمین به دست آمد (شکل ۱). در این صورت:

$$DRWL = \frac{P_h(DBH) + W(X_2)}{WB} \quad (12)$$

با محاسبه مقادیر بار دینامیکی دو محور از روابط (۹) و (۱۲) در سطوح مختلف بار کششی و جایگذاری این مقادیر در روابط (۷) و (۸) مقادیر عدد چرخ و مقاومت غلتشی محاسبه گردید و در نتیجه گشتاور ورودی به محور محرک در هر کدام از سطوح بار کششی به دست آمد.

## ۷- سیستم تحصیل داده

سیستم تحصیل داده (Data Acquisition System) متشکل از یک دیتالاگر قابل برنامه ریزی (مدل CR10X) با ۸ کانال تغییرات ولتاژ و ۴ کانال تغییرات پالس به همراه یک واسطه (SC32A) با کابل سریال RS232 ساخت شرکت Campbell<sup>۱</sup> در امریکا و یک کامپیوتر کیفی برای پردازش و پایش داده ها است. ارتباط بین ورودی مبدل ۱ و دیتالاگر از طریق نرم افزار (PC208-W3.3) برقرار می شود که به همراه دیتالاگر ارائه شده است. از نرم افزار مذکور برای برنامه نویسی دیتالاگر توسط کامپیوتر وصل شده به دیتالاگر استفاده شد. پس از اجرای برنامه دیتالاگر قادر به دریافت سیگنال های ارسالی از مبدل ها است و خروجی به صورت متن یا گرافیک روی صفحه کامپیوتر قابل مشاهده ست و در دیتالاگر و کامپیوتر ثبت می شود. از این سیستم تحصیل برای ذخیره داده های لود سل کششی استفاده شد.

## نتایج و بحث

## ۱- آزمون مزرعه ای

آزمون ها در مزرعه آموزشی- پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهرستان کرج انجام شد. بافت خاک مزرعه لومی- رسی می باشد. رطوبت خاک در حین آزمون ۱۶٪ بر پایه وزن خشک اندازه گیری شد. نیروهای کششی به تراکتور جان دیر در ۱۵ سطوح مختلف و به وسیله گاوآهن و ترمز دستی تراکتور میتسوبیشی اعمال شد (شکل ۴). مقادیر لغزش چرخ محرک در حین کشش با استفاده از روش استاندارد و با ۵ تکرار در هر سطح بار کششی اندازه گیری شد. داده های لود سل کششی در سیستم تحصیل داده ذخیره و پس از انتقال به کامپیوتر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

<sup>1</sup> Campbell Co, 2002, U.S.A.



شکل ۴- آزمون مزرعه ای

## ۲- نتایج

با استفاده از پارامتر های اندازه گیری شده در حین آزمایش مقادیر بار دینامیکی با استفاده از ۴ معادله ارایه شده محاسبه شد. این مقادیر در رابطه پیش بینی لغزش چرخ محرک جایگزین شده (روابط (۵) و (۶)) و مقادیر لغزش حاصل از این چهار معادله و مقادیر لغزش اندازه گیری شده با استفاده از نرم افزار EXCEL-2003 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین با استفاده از آنالیز برازش خطی بهترین معادله برای محاسبه بار دینامیکی انتخاب شد. میانگین مقادیر اندازه گیری شده لغزش در ۱۵ سطح بار کششی و هر کدام در ۵ تکرار در جدول ۱ نشان داده شده است. از آنجا که در این آزمایش، لغزش چرخ به صورت دستی و از یک سمت اندازه گیری می شد (چرخ محرک سمت چپ)، لذا در مسیرهای مستقیم از قفل دیفرانسیل استفاده شد که باعث کاهش خطا در حین اندازه گیری مخصوصاً در سطوح بار کششی زیاد گردید. در سیستم های اندازه گیری لغزش الکترونیکی از یک رادار برای اندازه گیری سرعت واقعی و یک بارگیر مغناطیسی برای اندازه گیری سرعت تئوری (چرخ جلو) استفاده می شود. در چنین شرایطی اگر از قفل دیفرانسیل هم استفاده نشده باشد، مقدار واقعی لغزش به دست می آید. با استفاده از تحلیل برازش خطی، معادله (۱) که در آن مقدار بار دینامیکی برابر وزن استاتیکی کل تراکتور می باشد به عنوان بهترین رابطه پیش بینی بار دینامیکی انتخاب شد که دارای کمترین مقادیر خطا می باشد. نتایج تحلیل برازش در جدول ۲ نشان داده شده است. معادله (۱۳) ارتباط بین لغزش اندازه گیری شده و مقادیر پیش بینی شده با استفاده از معادله اول بار دینامیکی را نشان می دهد. جدول ۲ نتایج حاصل از برازش خطی را با چهار معادله نشان می دهد. ملاحظه می شود که پیش بینی با استفاده از معادله (۱) کمتر از مقدار واقعی اندازه گیری شده می شد و شیب خط مقدار نزدیک تری به ۱ دارد. در شکل (۵)، مقادیر پیش بینی شده با استفاده از چهار معادله بار دینامیکی در مقابل مقادیر اندازه گیری شده نشان داده شده است. ملاحظه می شود که معادله های (۲) و (۳) و (۴) مقادیر بزرگ تری را نسبت مقدار واقعی لغزش تخمین زده در حالی که معادله (۱) به خط ۴۵ درجه که بیانگر تساوی مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده است، نزدیک تر می باشد.

$$S_p = 0.915 S_m \quad (13)$$

که  $S_m$  و  $S_p$  به ترتیب لغزش پیش بینی شده و اندازه گیری شده می باشد.

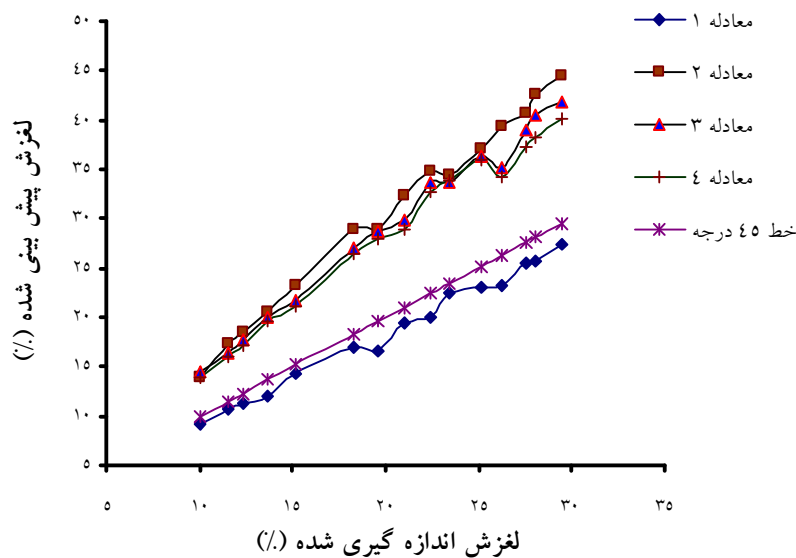
جدول ۱- میانگین مقادیر لغزش (اندازه گیری و پیش بینی شده) و بار کششی



لغزش (%)						
ردیف	نیروی کششی (kN)	اندازه گیری شده	معادله ۱	معادله ۲	معادله ۳	معادله ۴
۱	۶/۵	۱۰	۹/۱	۱۳/۸	۱۴/۴	۱۳/۹
۲	۸/۴	۱۱/۵	۱۰/۷	۱۷/۴	۱۶/۴	۱۶
۳	۹/۴	۱۲/۳	۱۱/۲	۱۸/۴	۱۷/۷	۱۷/۱
۴	۱۰/۸	۱۳/۷	۱۲/۱	۲۰/۵	۱۹/۹	۱۹/۷
۵	۱۱/۶	۱۵/۲	۱۴/۳	۲۳/۱	۲۱/۷	۲۱/۰.۵
۶	۱۳/۳	۱۸/۳	۱۷	۲۸/۸	۲۷	۲۶/۴
۷	۱۴/۱	۱۹/۶	۱۶/۶	۲۹	۲۸/۷	۲۸
۸	۱۴/۶	۲۱	۱۹/۴	۳۲/۳	۲۹/۸	۲۸/۹
۹	۱۵/۳	۲۲/۴	۲۰	۳۴/۷	۳۳/۶	۳۲/۶
۱۰	۱۵/۹	۲۳/۴	۲۲/۵	۳۴/۳	۳۳/۷	۳۳/۹
۱۱	۱۷/۶	۲۵/۱	۲۳/۱	۳۷/۱	۳۶/۴	۳۵/۹
۱۲	۱۸/۶	۲۶/۲	۲۳/۳	۳۹/۴	۳۵/۱	۳۴/۲
۱۳	۱۹/۱	۲۷/۶	۲۵/۴	۴۰/۷	۳۹/۱	۳۷/۳
۱۴	۱۹/۶	۲۸/۱	۲۵/۶	۴۲/۵	۴۰/۵	۳۸/۲
۱۵	۲۰/۶	۲۹/۵	۲۷/۴	۴۴/۴	۴۱/۷	۴۰/۱

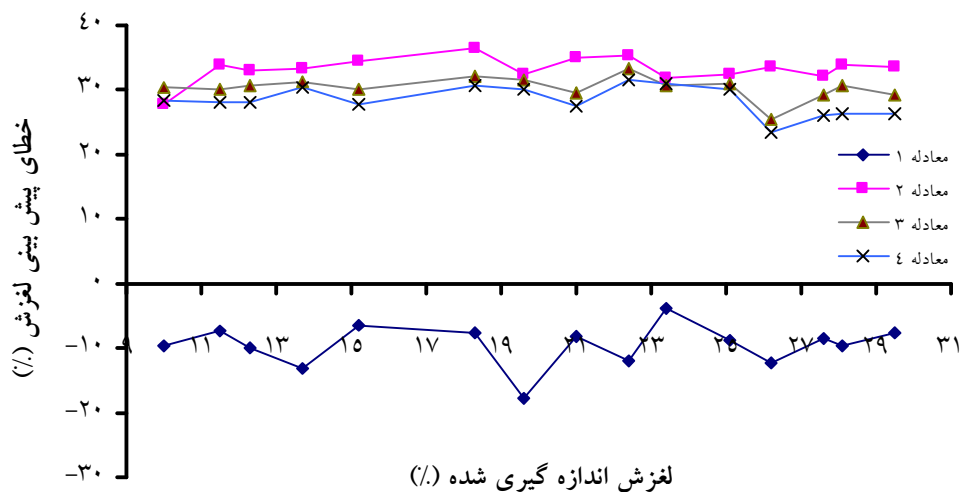
جدول ۲- نتایج آزمون برازش برای لغزش پیش بینی شده و اندازه گیری شده

مدل	معادله برازش شده	خطای استاندارد برازش	ضریب تبیین
معادله ۱	$S_p = 0.915 S_m$	۰/۵۵۱	۰/۹۹
معادله ۲	$S_p = 1.504 S_m$	۰/۷۱۱	۰/۹۷
معادله ۳	$S_p = 1.432 S_m$	۰/۸۴۰	۰/۹۶
معادله ۴	$S_p = 1.389 S_m$	۱/۰۳۸	۰/۹۵



شکل ۵- خطوط برازش لغزش های اندازه گیری شده و پیش بینی ۵۸  
معادلات دیگر (۲) و (۳) و (۴) مقادیر لغزش را با انحراف زیادی پیش بینی می کنند. درصد مقادیر خطا در شکل (۶) نشان داده شده است. درصد خطا از رابطه (۱۴) به دست آمده است:

$$\% \varepsilon = 100 \left[ 1 - Sm / Sp \right] \quad (14)$$



شکل ۶- مقایسه درصد خطای پیش بینی لغزش توسط چهار معادله

### ۳- بحث

با توجه به داده های موجود در جدول ۱، با افزایش بار کششی مقادیر لغزش افزایش پیدا کرده است. البته در بعضی شرایط ممکن است چنین روندی به دست نیاید چرا که با افزایش بار کششی میزان فرورفتگی چرخ در خاک زیادتر شده و در شرایطی که

لایه های زیرین دارای فشردگی زیادی باشند ممکن است با افزایش بار کششی مقادیر لغزش در یک محدوده ای تغییر محسوسی نداشته باشند چون افزایش فشردگی خاک باعث درگیری بهتر چرخ با خاک می گردد. مورد دیگری که بر این امر تاثیر گذار می باشد، افزایش رطوبت در لایه های زیر سطح خاک می باشد که باعث افزایش لغزش چرخ خواهد شد. همچنین موارد دیگری از قبیل شرایط آج لاستیک، فشار باد چرخ و نیز استفاده از قفل دیفرانسیل بر این مقوله تاثیر گذار خواهند بود. علیمردانی و همکاران (1989) در تحقیقی یک دستگاه تراکتور جان دیر 4430 را مجهز به سیستم اندازه گیری رده و پارامترهایی از قبیل لغزش چرخ محرک، مصرف سوخت تراکتور، گشتاور ورودی محور محرک و بار کششی را با استفاده از ادوات کششی از قبیل دیسک، گاوآهن چیزل و کارنده اندازه گیری کردند. آنها هم در نتایج خود اعلام نتیجه گیری کردند که بهترین معادله برای پیش بینی بار دینامیکی محور عقب معادله اول می باشد [14].

### نتیجه گیری

به منظور انتخاب بهترین معادله برای پیش بینی بار دینامیکی وارد بر محور عقب تراکتور دو چرخ محرک، آزمایشی بر مبنای اندازه گیری لغزش چرخ محرک تراکتور انجام شد. مقادیر لغزش اندازه گیری شده و محاسبه شده با استفاده از برآزش خطی مقایسه شد و معادله کالوین به عنوان بهترین معادله برای پیش بینی بار دینامیکی انتخاب شد و بر اساس آن وزن استاتیکی کل تراکتور جایگزین مناسبی برای بار دینامیکی می باشد.

### مراجع

- 1- عباسپور گیلانده، ی، 1380، اندازه گیری وزن دینامیکی وارد بر محور عقب تراکتور، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی.
- 2- Clark, R.L., A.H. Adsit. 1985. Microcomputer based instrumentation system to measure tractor field performance. Transaction of the ASAE, v (28): 393-396
- 3- Burt, E.C., R.K. Wood and A.C. Baily. 1989. Dynamic load effect on tangential – to – normal stress ratio for pneumatic tiers. Transaction of the ASAE, v(23): 1177-1181
- 4- Mclaughlin, N.B., L.C. Heslop, D.J. Buckley, G.R. St. Amour, B.A. Compton, A.M. Jones and P. Van Bodegom. 1993. A general purpose tractor instrumentation and data logging system. Transaction of the ASAE, v(36): 265-268
- 5- Clark, R.L., and Z. Dahua. 1995. A theoretical ballast and traction model for a wide span tractor. Transaction of the ASAE, v(38): 1613-1620
- 6- Zhang, N. and W. Chancellor. 1989. Automatic ballast position control for tractor. Transaction of the ASAE, v(32): 1159-1164
- 7- Persson, S.P.E., and S. Johanson. 1967. A weight transfer hitch for pull-type implement. Transaction of the ASAE, v(10): 487-489
- 8- Zoz, F.M. 1970. Predicting tractor field performance. ASAE Paper No. 70-118. St. Joseph, MI: ASAE
- 9- Wismer, R.D. and H.L. Luth. 1972. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. ASAE paper No. 72-619. St. Joseph, MI: ASAE
- 10- Ozkan, E. and W. Edwards. 1983. Machinery management with microcomputers. CP/AG6.1. Iowa State University. Ames
- 11- Davis, D.C. and G.E. Rehkugler. 1974. Agricultural wheel tractor overturns – Part 1: Mathematical model. Transaction of the ASAE, v(17): 477-483
- 12- Macnab, J.E., R.B. Wensink and D.E. Booster. 1997. Modeling wheel tractor energy requirements and tractive performance. Transaction of the ASAE, v(40): 602-605



- 13- Colvin, T.S., K.L. McConnel and B.J. Catus. 1984. A computer model for field simulation. ASAE Paper No. 84-1523. St. Joseph, MI: ASAE
- 14- Alimardani, R., T.S. Colvin, and S.J. Marley. 1989. Verification of the "TERMS" traction prediction model. Transaction of the ASAE, v(32): 817-821
- 15- Al-Hamed S.A, and A.A. Al-Janobi. 2001. A program for predicting tractor performance in visual C++. Computers and Electronics in Agriculture, v(31): 137-149
- 16- H. Catalan, P. Linares, and V. Mendez. 2007. A traction prediction software for agricultural tractors. Computer and Electronic in Agriculture. In Press
- 17- Barger, E.L., J.B. Liljedahl, W.M. Carleton and E.G. Mckibben. 1963. Tractors and Their Power Units. New York: John Wiley
- 18- Erwin, R.L. 1961. Agricultural Engineering Handbook, Ch. 6. New York: McGraw- Hill.
- 19- Berlarg, A.G. and W.F. Buchele. 1969. Mechanics of tractor operating on yielding soil. ASAE Paper No. 66-147. St. Joseph, MI: ASAE
- 20- ASAE Standards. 2006. ASAE Standard D497.4. Agricultural Machinery Management Data. ASAE St. Joseph, MI 49805
- 21- Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. RNAM Test Codes and Procedures of Farm Machinery. Technical Series No. 12. Bangkok, Thailand. 129p.
- 22- ASAE Standards. 2006. ASAE Standard 296.4. General Terminology for Traction of Agricultural Tractors, Self-Propelled Implements, and Traction and Transport Devices. ASAE St. Joseph, MI 49805
- 23- Naderi, M., R. Alimardani, A. Tabatabaeefar, and A. Sharifi. 2008. A microcontroller-based data logging system for cone index measurement. In Progress.
- 24- Naderi, M., R. Alimardani, and A. Sharifi. 2008. Design, fabrication and evaluation of a digital hand-pushed penetrometer. In Progress.

## Assessment of Dynamic Load Equations for Selecting the Most Appropriate Ones through Drive Wheel Slip Measurement

### ABSTRACT

Many parameters such as dynamic load of tractor's drive wheels influence the traction of tractors. An increase in drive wheel's dynamic load increases the net traction, but high dynamic load decreases the tractive efficiency that must be avoided. Development of tractor-mounted implements due to good maneuvering and weight transfer from front axle to rear axle led to effective performance of tractors. Therefore, sufficient knowledge regarding weight transfer phenomenon and dynamic load measurement or prediction is essential. Direct measurement of tractor dynamic load of drive wheel encounters some problems and obstacles. An alternative approach to determine this important parameter is to use equations of dynamic load prediction. In this regard, a research effort was undertaken to choose the best equation. Four equations were considered; in equation 1, which dynamic rear wheel load is assumed equal to tractor total static weight, in equation 2, the static rear wheel load and the amount of weight transfer is considered and equations 3 and 4 in which moment effect of front wheel rolling resistance in addition to static weight was taken into account. In this study, the equation given by ASAE in which wheel slip is calculated based on dynamic load was applied. The calculated magnitudes were then compared to measured amounts through field tests. Results showed that equation 1 is the most fitting one and a relationship was obtained as the slip predicted by equation 1 is 0.915 of slip measured ( $R^2 = .99$ , R.S.E = 0.55). This conclusion is in agreement with other researchers' finding.

**Keywords:** Dynamic load; Wheel slip; Weight transfer; Tractor; Rolling resistance, Tensile load cell