تاثیر گشتاور لغزشی در طراحی سیستم انتقال قدرت تراکتورهای کشاورزی (طراحی سیستم انتقال قدرت تراکتور ITM 8200) (۶۲۷)

محمد رضا کماندار[۱] ، سید کاظم شهیدی[۲]

چکیده

تراکتورهای کشاورزی جهت انجام عملیات های مختلف زراعی تا حمل و نقل در جاده ها به ترکیب های مختلفی از قدرت و سرعت نیاز دارند. برای مثال عملیات شخم به گشتاور بالا و سرعت پایین نیاز داشته در حالی که حرکت در جاده نیازمند گشتاور پائین و سرعت بالا می باشد، و تراکتور باید بتواند این ترکیب های مختلف را فراهم کند. برای هماهنگی و ارتباط بین قدرت موتور و سرعت و گشتاور مورد نیاز عملیات های کشاورزی، لازم است تا یک سیستم انتقال قدرت مناسب را برای تراکتور طراحی کرد. طراحی سیستم انتقال قدرت تراکتورهای کشاورزی به جهت کاردر مزرعه و حرکت در جاده بر دو اساس توان موتوری (گشتاور موتور) و توان قابل انتقال (گشتاور لغزشی) انجام می گیرد. گشتاور موتور همان گشتاور تئوری خروجی از موتور می باشد، اما گشتاور لغزشی به عنوان یک عامل محدود کننده در سیستم انتقال قدرت تراکتورهای کشاورزی مطرح می باشد. در طراحی سیستم انتقال قدرت تراکتور ITM8200 که از طرح های شرکت تراکتور سازی تبریز جهت تولید و ساخت یک تراکتور سنگین با قدرت ۱۵۴ اسب بخارمی باشد، هر دو گشتاور مذکور لحاظ گردیده وتاثیر گشتاور لغزشی در طراحی سیستم انتقال دارای نتایج ذیل است:

۱- عدم کاهش توانایی سیستم انتقال قدرت تراکتور با لحاظ کردن گشتاور لغزشی در طراحی

۲- کوچکتر شدن ابعاد اندازه های اجزای طراحی شده سیستم انتقال قدرت تراکتور

مقاله حاضر اشاره ای به تاثیرات و نقش گشتاور لغزشی در طراحی سیستم انتقال قدرت تراکتور جدیدITM8200 دارد.

کلید واژه: تراکتور، سیستم انتقال قدرت، طراحی، گشتاور لغزشی، گشتاور موتور

۱- عضو هیات علمی گروه ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی جیرفت

۲- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه ارومیه

مقدمه:

کار موتور در دور نامی باعث عملکرد بهتر موتور می گردد و در این حالت موتور میتواند بهترین میزان گشتاور و قدرت را فراهم نماید. در حالی که عملیاتهای زراعی همچون شخم، کولتیواترزدن و حمل و نقل در جاده ها به ترکیب های مختلفی از قدرت و سرعت نیاز دارند. برای مثال عملیات شخم به گشتاور بالا و سرعت پایین نیاز داشته در حالی که حرکت در جاده نیازمند گشتاور پائین و سرعت بالا می باشد، و تراکتور باید بتواند این ترکیب های مختلف را فراهم کند . برای هماهنگی و ارتباط بین قدرت موتور و سرعت و گشتاور مورد نیاز عملیات های کشاورزی, لازم است از سیستم انتقال قدرت مناسب استفاده کرد. سیستم انتقال قدرت وسائط نقلیه دارای وظایف کلی زیر است: **[۳]**

الف. انتقال قدرت از موتور به چرخ ها

ب. تغییر گشتاور و سرعت موتور متناسب با نیازهای وسائط نقلیه

اما سیستم انتقال قدرت تراکتور نسبت به اتومبیل ها بسیار تفاوت داشته که برخی از تفاوت های آن عبارتند از: **[۴]**

الف. سیستم انتقال قدرت بعنوان بخشی از شاسی تراکتور عمل می کند.

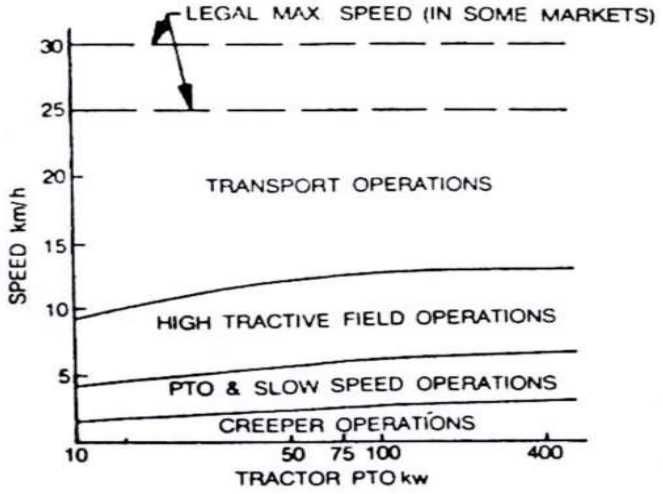
ب. تراکتور بر خلاف اتومبیل در حین انجام عملیاتهای مربوطه کمتر به تغییر گشتاور و سرعت نیاز دارد.
(زیرا بسیاری از عملیات های کشاورزی برای انجام به سرعت ثابت نیاز دارند.)

ج. تعداد انتخاب سرعت در تراکتورها زیاد است.

د. انتقال سرعت پایین و گشتاور بالا جزء ویژگی های سیستم انتقال قدرت تراکتور می باشد.

سیستم انتقال قدرت باید قدرت موتور را علاوه بر چرخ ها به شافت **P.T.O** و وسایل جانبی تراکتور نیز برساند و در این سیستم آهنگ تغییر سرعت و نحوه توزیع قدرت بین اجزای سیستم انتقال در طول انجام کار بوسیله اپراتور انجام می گیرد. موتور و اجزای سیستم انتقال قدرت بصورت یک مجموعه عمل کرده، که تحمل مقاومت و کار یکی از آنها می تواند جبران کننده کوتاهی دیگر اجزای سیستم باشد. در صورتی که از یک موتور دارای گشتاور ذخیره بالا در سیستم استفاده گردد، میزان نارضایتی ناشی از کمبودهای سیستم انتقال قدرت به حداقل مقدار خود رسیده و برعکس یک سیستم انتقال قدرت پاور شیفت چند سرعته می تواند به خوبی کمبود گشتاور ذخیره موتور را جبران نماید. **[۴]**

دایویس (**Davis**) دیاگرام سرعت مورد نیاز تراکتورهای کشاورزی را که سیستم انقال قدرت باید آن را پوشش دهد به صورت دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱ ارائه کرده است. که بر اساس این دیاگرام عملیات های کشاورزی مورد انتظار از تراکتور به چند گروه زیر تقسیم می گردند:**[۵]**



شکل ۱. دیاگرام سرعت های مورد نیاز تراکتور جهت انجام عملیاتهای مختلف

الف. عملیاتهای حداقل سرعت

این عملیاتها دارای سرعت های زیر ۲ کیلومتر بر ساعت بو ه، و در بیشتر مناطق توسعه یافته، این رنج از سرعت مهم و در خور توجه است و همچنین در بخشی از اروپا اغلب از این نوع سرعت برای برداشت، نشاکاری و دیگر عملیاتها استفاده می گردد.

ب. عملیات های سرعت کم

سرعت های زیر۵ کیلومتر بر ساعت بطور گسترده در عملیاتهائی که از شافت **P.T.O** استفاده می گردد و یا در عملیاتهای با نیاز سرعتی پائین، استفاده می گردد. نظیر کولتیواترزدن که این رنج سرعت جزء عملیات های با سرعت کم محسوب می شود و استفاده از این رنج سرعتی وسیع و گسترده است.

ج. عملیاتهای رنج سرعتی مزرعه

عملیاتهای مربوط به این رنج از سرعت در تمام سطوح بسیار مهم و موثر می باشند، و در حدود۹۰ درصد از عملیاتهای زراعی در این رنج از سرعت انجام میگیرد. انتقال قدرت در این رنج از سرعت می تواند بالا باشد، خصوصا در عملیاتهای خاکورزی که می تواند در حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد باشد. سرعتهای این رنج مشخص کننده محاسبات عمر سیستم انتقال قدرت است.

د. عملیاتهای حمل و نقل

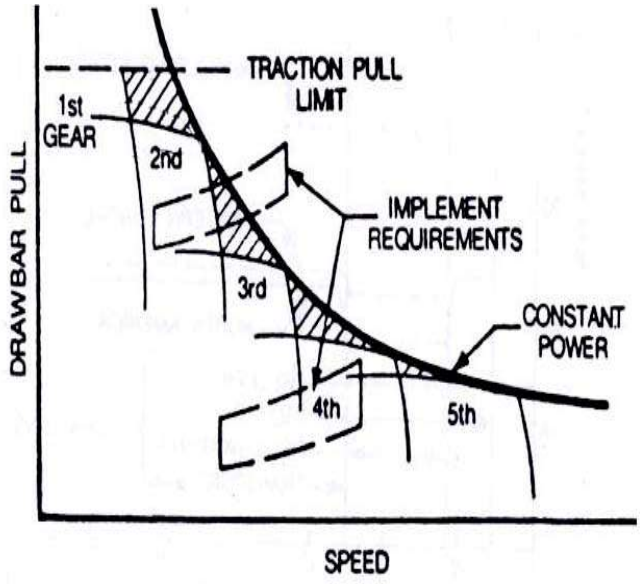
سرعتهای حمل و نقل نسبت به گذشته تفاوت زیادی داشته و تراکتورها اغلب بین ۳۰ تا ۴۰ درصد از زمان کار خود را در وضعیت حمل و نقل می باشند. ماکزیمم سرعتهای در نظر گرفته شده در بعضی از مدل ها ی قدیم در حدود ۲۵ تا ۳۰ کیلومتر بر ساعت می باشد اما سرعت حمل و نقل در تراکتورهای امروزی در حدود ۵۰ کیلومتر در ساعت می باشد.

و. عملیات های سرعت معکوس

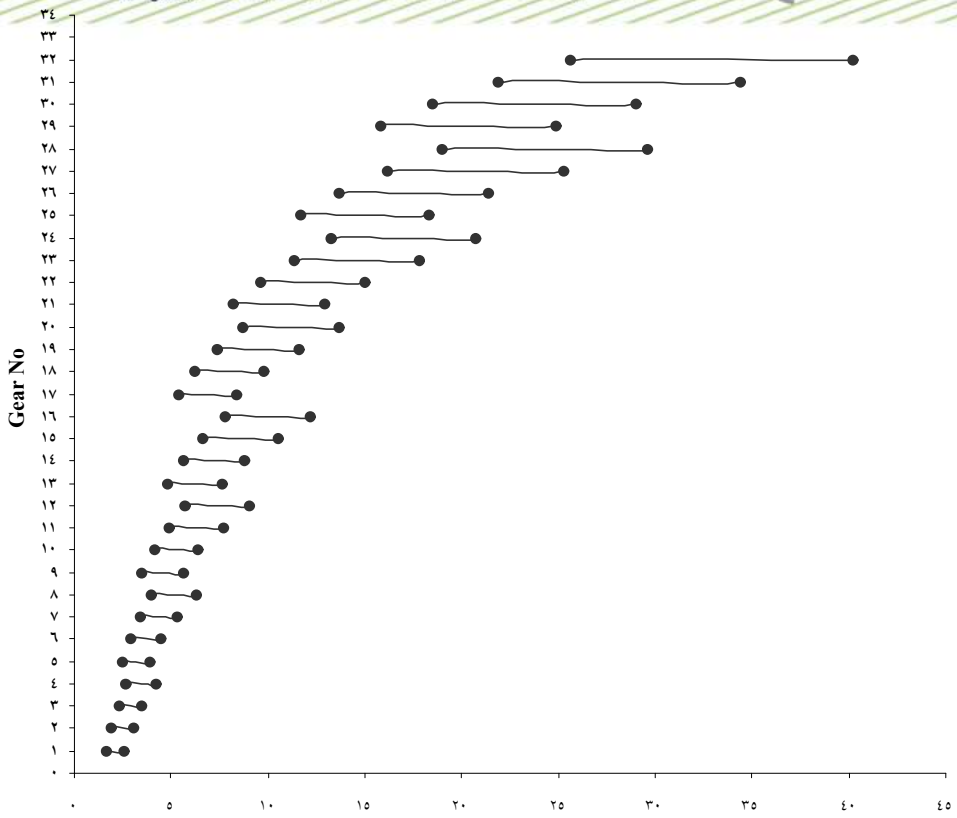
این سرعت ها برای لودرهای جلوسوار، برف روبهای عقب سوار و در بعضی از مدلها برای ادوات طراحی شده جهت عملیاتهای رو به عقب مورد استفاده قرار می گیرند. سرعت رو به عقب برای عملیاتهای بار کردن در حدود ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت می باشد. سرعتهای دنده عقب نوعا به بیشتر از ۱۴ کیلومتر بر ساعت نیز رسد.

تراکتورهای کشاورزی، در هنگام عملیات در محدوده سرعت کاری مزرعه، که بهترین و بیشترین حالت کشش را تراکتور دارد، به تمام قدرت موتور جهت ورود به سیستم انتقال نیاز دارد. واز طرفی با توجه به اینکه انتقال قدرت بوسیله توانایی کشش چرخهای تراکتور محدود می گردد، بنابراین اجزای سیستم انتقال فقط تا حد کنش ماکزیمم که بوسیله چرخها و لغزش محدود می گردد، از لحاظ اقتصادی و طراحی جوابگو خواهند بود و طراحی چرخدنده ها، بیرینگ ها و شافت ها تحت سرعتی که در آن قدرت انتقالی موتور به سیستم بیشترین باشد، غیرممکن است. تراکتورهای دارای جعبه دنده مکانیکی که آهنگ انتقال قدرت در این جعبه دنده ها بصورت پله ایست، از لحاظ سرعت و کشش دارای محدودیت می باشند. نمونه ای از این محدودیت انتقال قدرت در دیاگرام شکل ۲ نشان داده شده است.[۵]

در ارتباط با طراحی سیستم انتقال ق رت علاوه بر کشش مالبندی، گاورنر موتور و ویژگی های گشتاوری آن محدودیت ایجاد کرده که اجازه افزایش قدرت یا سرعت موتور را نخواهد داد. با توجه به این محدودیت ها ماکزیمم قدرت انتقالی برای اجزای سیستم انتقال محدود بوده و مبنای طراحی آنها این مقدار قدرت می باشد. به محدوده تشکیل دهنده قدرت موتورو ماکزیمم کشش مالبندی تراکتور، محدود کننده اجرائی تراکتور گفته می شود و این محدودیت در طراحی سیستم انتقال تراکتور جدید لحاظ گردیده است. و بر این اساس دیاگرام سرعتی نشان داده شده در شکل۳ برای آن در نظر گرفته شده است.



شکل۲. دیاگرام محدودیت ایجادی توسط کشش مالبندی در سیستم انتقال نیروی تراکتور



شکل ۳. دیاگرام سرعتی سیستم انتقال نیروی تراکتور **ITM 8200**

مواد وروش ها:

اولین توجه در طراحی تعیین نوع گشتاور انتقالی توسط سیستم انتقال بوده که بیانگر چگونگی آنالیز نیروهای اعمالی بر اجزای سیستم انتقال می باشد. از دو نوع گشتاور زیر برای طراحی سیستم انتقال نیروی تراکتور ها استفاده میگ دد.[۶]

الف. گشتاور موتور

ب. گشتاور لغزشی

در بیشتر وسائل نقلیه، گشتاور حاکم بر سیستم انتقال نیرو ماکزیمم گشتاور موتور است که همان مقدار تئوری گشتاوری است که توسط موتور به چرخهای وسیله نقلیه تحویل داده می شود. ماکزیمم گشتاور موتور محاسبه شده روی چرخ وسائل نقلیه از روابط زیر بدست می آید. [۶]

$$T_{PMG} = \frac{K_C . K_o . T_E . m_A . m_C . m_G}{N_D}$$

T_{PMG}: مقدار گشتاور موتور روی چرخ وسایل نقلیه

K_o: فاکتور تصحیح پیش باری سیستم انتقال

T_E: ماکزیمم گشتاور خروجی از موتور

m_A: نسبت انتقال دیفرانسیل

m_G: نسبت انتقال کاهنده نهایی

N_D: تعداد محورهای محرک
K_C: فاکتور تبدیل واحد

اگر در دور ثابت موتور سرعت حرکت تراکتور را با تعویض دنده کاهش دهیم، این موضوع سبب افزایش گشتاور روی چرخ های تراکتور و افزایش نیروی مالبندی میگردد. این موضوع تا زمان شروع لغزش و بکسوات چرخ های تراکتور صادق خواهد بود و با شروع لغزش به مقدار گشتاور روی چرخ ها و سایر اجزای سیستم انتقال نیرو گشتاور لغزشی گویند.
گشتاور لغزشی به عنوان یک محدودیت در سیستم انتقال نیروی تراکتورهای کشاورزی عمل می کند. گشتاور لغزشی روی چرخها با تغییر در وضعیت بار یا جاده تغییر می نماید (همچون میزان وزن روی اکسل محرک، وضعیت جاده، ضریب اصطکاک بین چرخ و جاده و....). بنا به نظر جان توماس مقدار ماکزیمم گشتاور لغزشی روی پینیون دیفرانسیل تراکتور بوسیله رابطه زیر قابل محاسبه است. [۶]

$$T_{WSG} = \frac{K_N . W_D . F_S . r_R . M_G}{N_D . M_A}$$

K_N: فاکتور تبدیل واحد
T_{WSG}: گشتاور لغزشی روی پینیون دیفرانسیل
W_D: وزن توزیع شده روی اکسل های تراکتور
F_S: ضریب اصطکاک بین چرخ و جاده
r_r: شعاع غلتشی تایر

اما برای تراکتورهای مزرعه که از نیروی مالبندی نیز بطور وسیعی ذر آنها استفاده می گردد لازم است از رابطه زیر برای محاسبه مقدار گشتاور لغزشی روی پینیون استفاده کرد. [۷]

$$T_{WSG} = \frac{K_N . W_D . F_S . r_r}{N_D . M_A . M_G}$$

لازم به ذکرست که رابطه ارائه شده فوق ناقص رابطه ارائه شده توسط جان توماس خواهد بود. و در رابطه مذکور مقدار نیروی وزن توزیع شده روی محورها از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود. **[۷]**

$$W_D = \frac{W_l . (X_1 - X_2) + P.Y}{X_1}$$

W_l: وزن کل تراکتور
P: کشش مالبندی ماکزیمم تراکتور
Y: ارتفاع مالبند
X_1: فاصله بین چرخهای عقب و جلو
X_2: فاصله مرکز ثقل تا چرخ عقب

سیستم انتقال قدرت تراکتور مورد بحث ترکیب مناسبی از کلاچ صفحه ای خشک، دایناشیفت، حعبه دنده مکانیکی، دیفرانسیل و کاهنده نهایی می باشد. کلاچ قدرت را از موتور به سیستم دایناشیفت منتقل کرده که دایناشیفت یک سیستم کمک چهارحالته می باشد و ق رت را به یک جعبه دنده مکانیکی می رساند که سرعت های جلو و عقب تراکتوربا ترکیبی از چرخدنده ها بوجود می آید وکاهنده نهایی قدرت را از دیفرانسیل تحت یک نسبت خاص به چرخها منتقل خواهد کرد.**[۱]**
سیستم داینا شیفت یک سیستم کمک بی نظیر و ساده بوده و یک تغییر چهارحالته را در هر یک از هشت حالت در نظر گرفته شده برای جعبه دنده اصلی، بوجود می آورد. در مجموع ۳۲ دنده جلو و ۳۲ دنده عقب را برای این تراکتور فراهم خواهد کرد. برای تراکتور **ITM8200** ویژگی های موتور و مقادیر گشتاورهای روی سیستم انتقال قدرت به صورت زیر محاسبه گردیده است. **[۱]**

سرعت در نیروی مالبندی ماکزیمم: $V = 3.2 \frac{Km}{h}$

ماکزیمم نیروی مالبندی: $P = 55.5\ KN$

فاصله چرخ های جلو و عقب: $X_1 = 2.83\ m$

ضریب اصطکاک بین چرخ و زمین زراعی: $F_s = 0.6$

نسبت انتقال دیفرانسیل: $m_A = 3.8889$

ماکزیمم نسبت انتقال جعبه دنده: $m_C = 10.03$

نسبت انتقال کاهنده نهایی: $m_G = 4.5$

شعاع غلتشی تایر تراکتور: $r_D = 0.855\ m$

ارتفاع مالبند: $Y = 0.855\ m$

فاصله مرکز ثقل تا چرخ عقب: $X_2 = 0.83\ m$

ماکزیمم گشتاور موتور: $T = 510\ N.m$

وزن تراکتور: $W_l = 6610\ Kg$

وزن جلو تراکتور: $W_1 = 1930\ Kg$

وزن عقب تراکتور: $W_1 = 4680\ Kg$

ماکزیمم سرعت حرکت در دور موتور $2200\ rpm$: $V_{\max} = 40.2 \frac{Km}{h}$

مینیمم سرعت حرکت در دور موتور $2200\ rpm$: $V_{\min} = 2.6 \frac{Km}{h}$

با توجه به پارامترهای فوق در طراحی سیستم انتقال قدرت این تراکتور مقادیر گشتاورهای لغزشی و موتور روی اجزای مختلف به صورت زیر تعیین گردیده است:

مقدار گشتاور لغزشی روی پینیون دیفرانسیل و جعبه دنده تراکتور برابرست با:

$$T_{WSG} = \frac{F_s.r_D.W_D}{N_D.m_A.m_G} = \frac{0.6 \cdot\ 0.855 \cdot\ 62547.17}{1 \cdot\ 3.8889 \cdot\ 4.5} = 1833.5\ N.m$$

مقدار گشتاور لغزشی روی کاهنده نهایی تراکتور برابرست با:

$$T_{WSG} = \frac{F_s.r_D.W_D}{N_D.m_A} = \frac{0.6 \cdot\ 0.855 \cdot\ 62547.17}{1 \cdot\ 3.8889} = 8250.84\ N.m$$

مقدار گشتاور لغزشی روی چرخ های تراکتور برابرست با

$$T_{WSG} = \frac{F_s.r_D.W_D}{N_D} = \frac{0.6 \cdot\ 0.855 \cdot\ 62547.17}{1} = 32086.6\ N.m$$

پس از محاسبه گشتاور لغزشی به طریق زیر مقدار گشتاور موتور روی اجزای سیستم انتقال قدرت تراکتور جدید محاسبه شده که مقدار گشتاور موتور روی پینیون دیفرانسیل تراکتور برابرست با:

$$T_{PMG} = \frac{K_o.T_E.m_T}{N_D} = \frac{1 \cdot\ 1 \cdot\ 510 \cdot\ 10.03}{1} = 5115\ N.m$$

مقدار گشتاور موتور روی کاهنده نهایی تراکتور برابرست با:

$$T_{PMG} = \frac{K_o.T_E.m_T.m_C}{N_D} = \frac{1\cdot\ 1\cdot\ 510\cdot\ 10.03\cdot\ 3.8889}{1} = 19892.8\ N.m$$

مقدار گشتاور موتور روی چرخ های تراکتور برابرست با:

$$T_{PMG} = \frac{K_o.T_E.m_T.m_C.m_G}{N_D} = \frac{1\cdot\ 1\cdot\ 510\cdot\ 10.03\cdot\ 3.8889\cdot\ 4.5}{1} = 89518\ N.m$$

در نهایت برای مقادیر محاسبه شده می توان جدول زیر را ارائه کرد.

جدول ۱. مقایسه گشتاور های لغزشی و موتور در روی اجزای مختلف تراکتور**ITM8200**

گشتاور لغزشی (نیوتن بر متر)	گشتاور موتور (نیوتن بر متر)	اجزای سیستم انتقال
۱۸۳۳/۵	۵۱۱۵	پینیون دیفرانسیل
۸۲۵۰/۸	۱۹۸۹۲/۸	کاهنده نهایی
۳۲۰۸۶/۶	۸۹۵۱۸	چرخ های تراکتور

نتایج:

در طراحی انجام گرفته هر دو گشتاور مورد بحث برای تک تک اجزای سیستم انتقال قدرت از قبیل چرخدنده ها، شافت ها، بیرینگ ها و ... محاسبه گردیده است. در طراحی اجزای متعلق به کاهنده نهایی، دیفرانسیل و برخی از اجزای جعبه دنده، طراحی بر اساس گشتاور لغزشی انجام گرفته است. برای طراحی سایر اجزای جعبه دنده سرعت لغزش ($V = 3.2\frac{km}{h}$) محاسبه گردیده و اجزایی که در تامین سرعت بین ($0 - 3.2\frac{km}{h}$) تاثیر گذار می باشند از گشتاور لغزشی استفاده گردیده است. با توجه به مقادیر بدست آمده برای گشتاورهای روی اجزای سیستم انتقال قدرت تراکتور **ITM8200** می توان به نتایج زیر دست یافت:

۱. لحاظ کردن گشتاور لغزشی در طراحی سیستم انتقال قدرت خصوصا جعبه دنده از مقدار توانایی سیستم انتقال تراکتور نخواهد کاست.
۲. لحاظ کردن گشتاور لغزشی در طراحی سیستم انتقال قدرت سبب کوچکتر شدن ابعاد اندازه های سیستم انتقال قدرت تراکتور میگردد.
۳. مقدار گشتاور موتور روی اجزای سیستم انتقال در حدود ۲/۵ تا ۳/۵ برابر گشتاور لغزشی رمی سیستم می باشد.

منابع

[۱] بخش اسناد و مدارک فنی شرکت تراکتور سازی ایران
[۲] بهروزی لار، منصور، شناخت و کاربرد تراکتور

[3] D. E. Borgman, E. Hainline, M. E. Long. Fundamentals of machine operation. John deere services training.
[4] H. N. Dizajvar. 1997. Design of MF399 tractor gearbox using MF285 model. MS. Thesis. Univ. Tarbiat Modarres.

[5] E. P. Browing.1985. Design of agricultural tractor transmission elements. Distinguished series of ASAE,

Heavy [6] Thomas J.1990. Design and Manufacturing of Spiral Bevel and Hypoid Duty Drive Axels, Gear Design Manufacturing and Inspection Manuel of SAE

[7] M. R. Kamandar. 2004. The gearbox design for heavy duty tractors of ITM 8200 series. Thesis. Univ. Urmia