

تعیین معادله‌ی عمومی عملکرد کششی به روش آنالیز ابعادی (۵۸۵)

امید فخرائی^۱، سید حسین کارپرورفرد^۲

چکیده

توان کششی تراکتور از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و بازده کششی تراکتور، مهمترین عامل در ارزیابی و تعیین عملکرد تراکتور محسوب می شود. هدف از انجام این تحقیق، تعیین رابطه ای جهت تخمین بازده کششی تراکتور با استفاده از روش آنالیز ابعادی است. در این تحقیق از تراکتور یونیورسال یو-۴۴۵ و گاواهن برگردان دار تک خیش استفاده شد. عوامل مؤثر بر بازده کششی که مورد توجه قرار گرفت، شامل: نیروی کشش مالبندی، نیروی مقاومت غلتشی چرخ های محرک، مقدار لغزش چرخ های محرک، شاخص مخروطی خاک، سرعت تئوری و واقعی تراکتور و بار دینامیکی وارد بر روی چرخ های محرک بود. نتایج حاصل از عملیات مزرعه ای ناشی از چهار عمق شخم زنی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متری در سه تکرار جهت تعیین معادله عمومی توسط رایانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نهایت رابطه کلی جهت تخمین بازده کششی تراکتور در محدوده تعیین شده به صورت ذیل به دست آمد:

$$T.E. = (10)^{2.830} \left[\left(\frac{P}{W} \right)^{(0.496)} \cdot \left(\frac{C_t \cdot b \cdot d}{W} \right)^{(-0.280)} \cdot (10)^{(-0.720)(S)} \cdot (10)^{(-4.841)\left(\frac{r}{d}\right)} \cdot (10)^{(9.965)\left(\frac{T.F}{W}\right)} \right]^{1.0076}$$

براین اساس می توان با ورود اطلاعات اولیه مورد نیاز در فرمول فوق بازده کششی هر تراکتور را در محدوده ای معین پیش بینی کرد.

کلیدواژه: تراکتور، بازده کششی، آنالیز ابعادی، گاواهن برگردان دار

۱- عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی موسسه آموزش عالی آبادانی و توسعه روستاها، همدان
۲- استادیار بخش مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه شیراز

فهرست نشانه گذاریها

$b(m)$	عرض یا پهناى چرخ محرک
$CI(kPa)$	شاخص مخروطی خاک
C_n	عدد چرخ
$d(m)$	قطر چرخ محرک
$F(kN)$	نیروی کشش مالبندی ناخالص
$P(kN)$	نیروی کشش مالبندی خالص
$R(kN)$	نیروی مقاومت غلتشی چرخ
$r(m)$	شعاع غلتشی چرخ محرک
$S(\%)$	لغزش چرخ محرک
$T.E.(\%)$	بازده کششی تراکتور
$T.F.(kN)$	نیروی کشیدنی
$V_a (km/h)$	سرعت واقعی تراکتور
$V_t (km/h)$	سرعت تئوری تراکتور
$W(kN)$	بار دینامیکی بر روی چرخ های محرک
$\delta (m)$	تغییر فرم تایر
$h (m)$	ارتفاع مقطع لاستیک
θ^o	زاویه ی برآیند نیرو های وارد بر وسیله با سطح افق

مقدمه :

توان مالبندی بوسیله دو پارامتر کشش و میزان سرعت تراکتور مشخص می شود. به طوریکه تحقیقات نشان داده است، حدود ۲۰ تا ۵۵ درصد انرژی در دسترس تراکتور توسط ادوات کشنده خاکورز تلف می شود. این میزان انرژی تایرها را فرسوده می کند و سبب فشردگی خاک می شود تا حدی که ممکن است صدمات و خسارات زیان آوری را به خاک زراعی وارد آورد [۱۲].

تعریف جامع و کاملی که برای تراکتورهای امروزی بیان می شود، این است که تراکتور، ماشین خودگردانی است که قابلیت تولید قدرت کششی، رانی و هیدرولیکی را دارد و تقریباً برای تمام کارهای کشاورزی به کار می رود. اما از میان این سه توان، توان کششی از اهمیت ویژه ای برخوردار است و بازده کششی تراکتورها مهمترین عامل در ارزیابی و تعیین عملکرد تراکتورها می باشد. بازده کششی به صورت درصدی از توان روی آکسل تراکتور که به توان مالبندی تبدیل می گردد، تعریف می شود که متأثر از ضریب کشش، مقاومت غلتشی و درصد لغزش چرخهای محرک تراکتور می باشد [۶].

از سوی دیگر بسیاری از شبیه سازیها و طراحی مدلها و تجزیه آنها بر اساس آنالیز ابعادی^۱ و بسط آن صورت گرفته است.

آنالیز ابعادی ابزار تحلیلی قدرتمندی است که توسط ابعاد و ملاحظات دخیل در هر پدیده و کمیت های وابسته به آن بیان می شود.

آنالیز ابعادی این امکان را فراهم می سازد که بتوان نتایج آزمایشگاهی را تعمیم داد. این تعمیم چندین نتیجه در بردارد، از جمله اینکه می توان پدیده ها را به طور کلی و بدون محدودشدن به حالت خاص آزمایش انجام شده تحلیل کرد. بنابراین می توان آزمایش کمتری را در مورد وجه ناشناخته مسأله انجام داد و به این وسیله در وقت و هزینه صرفه جویی های مهمی را صورت داد. نتایج حاصل را می توان به صورت فشرده تر و به روش مفید به سایر مهندسیین و دانشمندان ارائه کرد تا استفاده از آنها ساده تر شود. ارائه اطلاعات منظم، موجب می شود محققین قادر باشند جنبه های جدید و حوزه های نامعلوم دانستنیهای مسأله را کشف کنند [۸].

تحقیقات انجام شده :

زوز (۱۹۷۹) طی پژوهشی، با توجه به دیاگرام آزاد نیرویی تراکتور و تحلیل نیروهای آن، یک سری معادلات برای تخمین و پیش بینی بازده کشش تراکتورهای دو چرخ محرک بدست آورد که عبارتند از [۱۱]:

۱. Dimensional analysis

(۱)

$$DR = \frac{P}{RWS + P \left[\frac{H}{WB} + \left(1 + \frac{B}{WB} \right) \tan \theta \right]}$$

(۲)

$$TE = \frac{DBHP}{AHP} = \frac{P \cdot S_A}{3.6 AHP}$$

در این معادلات DR ضریب ینامیکی، RWS وزن استاتیکی روی چرخ های عقب بر حسب کیلو نیوتن ، H فاصله ی عمودی نیروی کشش از سطح زمین بر حسب متر ، WB فاصله افقی بین مرکز چرخ جلو و عقب تراکتور بر حسب متر ، B فاصله افقی محل برخورد نیروی P روی تراکتور تا مرکز اکسل چرخ های عقب بر حسب متر ، θ زاویه ی برآیند نیرو های وارد بر وسیله با سطح افق ، DBHP توان مالبندی بر حسب کیلو وات، AHP توان اکسل بر حسب کیلو وات و S_A سرعت واقعی پیشروی تراکتور بر حسب کیلو متر در ساعت می باشد.

جی-کلاف و همکاران (۱۹۷۸) با استفاده از نتایج تحقیقاتی که در ۱۷۰ مزرعه مختلف انجام شده، معادلات تجربی زیر را جهت تعیین عملکرد کششی چرخ محرک ارائه نمودند. در این آزمایش عملکرد کششی یک تراکتور دو چرخ محرک در حین انجام خاک‌ورزی اولیه با استفاده از این معادلات مورد ارزیابی قرار گرفت. معادلات مذکور به شرح زیر است.

$$(c_t)_{\max} = 0.796 - \frac{0.92}{M} \quad (۳)$$

$$K(c_t)_{\max} = 4.838 + (0.061 \cdot M) \quad (۴)$$

$$c_{rr} = 0.049 + \frac{0.287}{M} \quad (۵)$$

همچنین رابطه زیر در مزارع با وضعیت‌های گوناگون قابل استفاده می‌باشد.

$$c_t = (c_t)_{\max} \left[1 - e^{-ks} \right] \quad (۶)$$

در این روابط $(c_t)_{\max}$ ضریب کشش ماکزیمم ، K ضریب ثابت ، (c_t) ضریب کشش خالص یا نسبت کشش ایجاد شده به بار عمودی دینامیکی روی محور محرک ، (s) لغزش چرخ و (c_{rr}) ضریب مقاومت غلتشی یا نسبت نیروی مقاومت غلتشی به بار دینامیکی وارد بر چرخ است. آنها مقدار ۱۰٪ را برای لغزش چرخ جهت دستیابی به بازده ماکزیمم توصیه نمودند [۵].

M عدد پویایی چرخ می باشد که توسط فری تاگ (۱۹۶۵) بیان گردید. او با استفاده از آنالیز ابعادی دریافت که پارامترهای مختلفی که روی عملکرد یک چرخ اثر می‌گذارند، توابعی از یک ترم بدون بعد می‌باشند که وی آن را عدد پویایی^۱ مید و به صورت زیر تعریف نمود.

(۷)

$$M = \frac{CI \cdot b \cdot d}{W} \sqrt{\frac{\delta}{h}}$$

در این رابطه M عدد پویایی، CI شاخص مخروطی^۱ خاک بر حسب کیلو پاسکال، b و d به ترتیب پهنا و قطر چرخ بر حسب متر، (W) وزن روی چرخ

۱- Mobility number

محرك بر حسب كيلو نيوتن، δ تغيير فرم تاير (درحاليكه تاير روي زميني سخت قرار گيرد) بر حسب متر و h ارتفاع مقطع^۲ لاستيك بر حسب متر مي باشد [۳].
طی تحقیقی که توسط زوز و بریکسیوز (۱۹۷۹) صورت گرفت، روابط زیر برای پیش بینی پارامترهای عملکرد تراکتور روی سطح سخت (بتن) به دست آمد.

$$\frac{F}{W} = A \cdot \left[1 - e^{-k \frac{b.d}{w} s} \right] + 0.02 \quad (۸)$$

$$c_t = \frac{P}{W} = A \cdot \left(1 - e^{-k \frac{b.d}{w} s} \right) \quad (۹)$$

$$T.E = \frac{\frac{P}{W}}{\frac{F}{W}} (1 - S) \quad (۱۰)$$

$$T.E = \frac{A \left[1 - e^{-k \frac{b.d}{w} s} \right]}{A \left[1 - e^{-k \frac{b.d}{w} s} \right] + 0.02} (1 - S) \quad (۱۱)$$

در این روابط A و K ضرایبی ثابت می باشند که مقدار آنها به ترتیب $۱/۰۲$ و ۴۰۰ بدست آمد. شایان ذکر است بر اساس مدل پیشنهادی آنان ضریب مقاومت غلتشی برابر با $۰/۰۲$ می باشد. بعبارت دیگر مقاومت غلتشی معادل دو درصد بار دینامیکی وارد بر چرخها می باشد [۱۱].

بنا بر اظهار نظر اکثر محققین از جمله هائوک و همکاران (۱۹۸۴)، بازده کششی مهمترین پارامتر ارزیابی عملکرد یک تراکتور می باشد. آنان وزن تراکتور، شرایط خاک، فشار باد لاستیک و اندازه چرخ را از عوامل مؤثر بر بازده کششی و میزان سوخت مصرفی ذکر کرده اند. بر اساس نتایج حاصل از آزمایشهای آنان میزان لغزش چرخ بین ۸ تا ۱۶ درصد متغیر بوده است و در ۱۰ تا ۱۵ درصد لغزش، بهترین بازده کششی حاصل گردید. افزایش وزنه روی چرخهای محرك جهت کاهش لغزش به پایین تر از ۸ درصد موجب فشردگی خاک می گردد. از طرفی لغزش بیشتر از ۱۶ درصد مصرف سوخت را بالا برده و فرسایش شدید لاستیکهای تراکتور را به دنبال خواهد داشت [۶].

در تحقیقی که توسط لغوی و ملاصادقی (۱۳۸۱) انجام گرفت، بازده کششی دو تراکتور متداول در ایران (تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسال ۶۵۰) در سطوح مختلف از عمق شخم و سه وضعیت تراکتور بررسی شد. نتایج بدست آمده با مدلهای پیش بینی عملکرد تراکتور مورد مقایسه قرار گرفت، که نتایج آن حاکی از عدم کارایی تراکتور مسی فرگوسن در عملیات خاک ورزی با عمق زیاد حتی در حالت سنگین بود. لازم به ذکر است که تراکتور فوق تنها در حالت سنگین شده با تراکتور یونیورسال ۶۵۰ در اجرای شخم سطحی و متوسط قابل رقابت بود [۱].

۲- Cone index

۱- Section height

به کارگیری روش آنالیز ابعادی در تحقیقات:

در راستای ارائه روابطی جهت پیش بینی و تخمین پارامترهای عملکرد کششی مانند ضریب کشش و ضریب مقاومت غلتشی تحقیقاتی صورت گرفته است. در تحقیقی که توسط ویسمر و لوث (۱۹۷۳) انجام گرفت، با به کارگیری روش آنالیز ابعادی، معادلات تجربی زیر را جهت پیشگویی عملکرد مزرعه‌ای تراکتورهای چرخ‌دار بدست آوردند [۱۰]. آنها در این معادلات از عدد پویایی چرخ که توسط فری تاگ (۱۹۶۵) معرفی شده و توسط تورناز (۱۹۷۲) اصلاح شده بود [۹]، استفاده کردند.

$$C_n = \frac{Cl.b.d}{W} \quad (12)$$

$$c_{rr} = \left[\frac{1.2}{c_n} + 0.04 \right] \quad (13)$$

$$c_t = 0.75 \cdot (1 - e^{-0.3 \cdot c_n \cdot s}) \quad (14)$$

$$P_{db} = Pull \cdot V_{ac} \quad (15)$$

$$Pull = C_t \cdot W_{ac} \quad (16)$$

$$P_{db} = Pull \cdot V_{ac} \quad (17)$$

جی-کلاف و همکاران (۱۹۷۸) بر پایه آنالیز ابعادی معادله ای جهت پیشگویی مقاومت کششی گاوآهن به دست آوردند که به صورت زیر بیان شده است:

$$\frac{D}{aw\sigma} = K_1 \left(\frac{\gamma.a}{\sigma} \right) + K_2 \left(\frac{\gamma.a}{\sigma} \right) \left(\frac{V^2}{g.a} \right) \quad (18)$$

در این رابطه (D) مقاومت کششی گاوآهن، (a) عمق شخم، (w) عرض برش گاوآهن، (σ) تنش خاک^۱، (K_1) و (K_2) ضرایبی هستند که بر اساس آزمایشات و بر پایه آنالیز ابعادی به دست می آیند، (γ) جرم مخصوص خاک، (V) سرعت پیشروی و (g) شتاب ثقل می باشند. این محققین با کمک آزمایش های مزرعه ای نهایتاً معادله فوق را به صورت زیر ساده تر کردند:

$$\frac{D}{aw} = 1.33\gamma.a + 3.06 \frac{\gamma.V^2}{g} \quad (19)$$

1- Soil stress

لازم به ذکر است که مقدار لغزش مورد نظر جهت دستیابی به بازده ماکزیمم توصیه شده برابر ۱۰٪ در این تحقیق در نظر گرفته شد [۵].

بنابراین با جمع بندی مطالعات انجام شده، تحقیق حاضر به منظور تعیین رابطه ای کلی و عمومی جهت تخمین بازده کششی تراکتور به روش آنالیز ابعادی بر اساس عوامل موثر بر آن در شرایط مزرعه صورت گرفت.

واد و روش ها:

در این تحقیق، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده و رسم نمودارها و محاسبات لازم از بسته نرم افزار کامپیوتری Ms-Office xp، نرم افزار Ms Excel استفاده شد.

عوامل مورد ارزیابی در آزمون مزرعه ای عبارتند از: نیروی کشش مالمبندی، نیروی مقاومت غلتشی چرخهای تراکتور، درصد لغزش چرخهای محرک تراکتور، بازده کششی تراکتور، شاخص مخروطی خاک^۱، سرعت واقعی تراکتور در سطح مزرعه و سرعت ایده آل آن که همگی از شاخصه های عمده عملکرد کششی می باشند. به علاوه وزن تراکتور، میزان بار دینامیکی بر روی چرخ های محرک تراکتور، خصوصیات فیزیکی خاک و میزان رطوبت خاک نیز جهت پیش بینی و تخمین بازده کششی تراکتور هنگام اجرای عملیات خاک ورزی اولیه با گاوآهن برگردان دار نیز اندازه گیری شدند.

داده برداری ها در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. قبل از اجرای آزمون، زمین به زیر کشت گندم رفته بود و پس از برداشت محصول، کاه و بقایای گیاهی توسط دستگاه بسته بند جمع آوری و از مزرعه خارج گشته و مابقی کاه و کلش در سطح مزرعه پخش بود. در سطح مزرعه، به جز پشته هایی به ارتفاع ۱۵ سانتی متری که از آنها به عنوان مرز پلات های آزمایشی استفاده شد، عارضه ای وجود نداشت. شیب زمین حدود دو در هزار بود. مساحت هر پلات ششصد متر مربع و با ابعاد ۱۰۰ متر در ۶ متر در نظر گرفته شد.

برای داشتن رطوبت مطلوب در هنگام شخم زنی، سطح مزرعه آبیاری شد و پس از اندازه گیری و رسیدن رطوبت به میزان ۱۸٪-۱۶٪ بر مبنای وزن خشک، عملیات مزرعه ای آغاز گردید.

تراکتور مورد استفاده در این تحقیق تراکتور یونیورسال یو-۴۴۵ بود که توسط تراکتور سنگین مسی فرگوسن ۳۹۹ تحت نیروی کششی قرار می گرفت. در اجرای این تحقیق از گاوآهن برگردان تک خیش به عرض ۳۳ سانتی متر که به صورت سوار به پشت تراکتور وصل می شد استفاده گردید. عملیات خاک ورزی در سه سطح ۱۵-۱۰ سانتی متری (سطحی)، ۲۰-۱۵ سانتی متری (متوسط)، و ۲۵-۲۰ سانتی متری (عمیق) و در ۳ تکرار به اجرا درآمد. در هنگام داده برداری، عمق شخم به طور دقیق کنترل شد. قابل ذکر است که قبل از شروع آزمون مزرعه ای جهت به حداقل رساندن نیروهای غیر مفید وارد بر ادوات خاک ورز اقدام به تنظیم گاوآهن و ایجاد ترازهای طولی و عرضی گردید. شاخص مخروطی خاک مزرعه توسط نفوذسنج مخروطی ثابت مدل SP - 1000 تا عمق ۲۵ سانتی متری اندازه گیری شد. در هر تکرار، به ازای هر عمق شخم دو خط به فاصله ۴۰ (cm) از یکدیگر در نظر گرفته شد. قبل از شخم زنی اولین خط با عمق مورد نظر، در فواصل ۲۰ متر اول، سوم و پنجم دو نقطه به طور تصادفی از زمین شخم نخورده انتخاب گردید و مقادیر شاخص مخروطی آن ها ثبت شد. پس از شخم زنی این خط، دو نقطه در فواصل بیست متر دوم و چهارم از خاک شخم خورده نیز به طور تصادفی انتخاب شد. مقادیر شاخص مخروطی آن ها نیز ثبت گردید. سپس در فواصل دوم و چهارم از خط دوم، شاخص مخروطی دو نقطه از خاک شخم نخورده ثبت

شد. آن گاه نقاطی از فواصل بیست متر اول، سوم و پنجم از خاک شخم خورده ی همان خط با همان عمق مورد نظر جهت تعیین شاخص مخروطی انتخاب شدند. در پایان عملیات، داده هایی که به منظور بررسی میزان مقاومت خاک و ارزیابی تاثیر فشردگی خاک بر بازده کششی برداشت شده بودند توسط برنامه ی خاصی روی رایانه فرا خوان شدند. نهایتاً از داده هایی که در نواحی یکسانی قرار داشته میانگین گرفته شده و نتیجه ی آن به عنوان شاخص مخروطی آن نقطه منظور گردید. به عبارت دیگر در هر تکرار ۴۰ داده جهت شاخص مخروطی ثبت گردید. شکل (۱) نحوه ی تقسیم بندی زمین و نقاط مورد نظر جهت نمونه برداری ها را نشان می دهد.

برای اندازه گیری نیروی مقاومت غلتشی و نیروی کشش ناخالص از روش متداول تست دو تراکتوری استفاده شد. دستگاه لودسل توسط یک زنجیر بین دو تراکتور نصب گردید. در این وضعیت تراکتور کشنده ۳۹۹ - MF وظیفه کشش را برعهده داشت و تراکتور مورد ارزیابی پشت تراکتور کشنده بسته شده بود. در حالیکه دستگاه لودسل همواره بنا به تنظیم فاصله زمانی (Delay)، نیروهای اعمالی را ثبت می کرد در دو وضعیت داده برداری انجام شد. در حالت اول داده برداری، وسیله خاکورز به عمق مورد نظر در داخل خاک می رسید. در نتیجه نیرویی که در این وضعیت توسط لودسل اندازه گیری می گردید همان نیروی کشش ناخالص بود. این مرحله از آزمایش تا حصول اطمینان از بدست آوردن تعداد مناسبی از داده ها ادامه می یافت. قابل ذکر است که قبل از ثبت داده ها بوسیله لودسل، دقت زیادی برای رسیدن به عمق شخم معین و تراز بودن گاوآهن در آن عمق به عمل می آمد و بعد از رسیدن به عمق شخم معین (از طریق اندازه گیری مستقیم) و سرعت پیشروی مناسب (۳ کیلو متر در ساعت)، داده برداری شروع می گردید.

در مرحله بعد با بیرون آوردن وسایل خاکورز از خاک، آزمایش مشابه حالت قبل انجام شد. در این حالت نیرویی که توسط لودسل اندازه گیری می گردید مقدار مقاومت غلتشی مربوط به تراکتور مورد ارزیابی بود. شایان ذکر است که تراکتور مورد ارزیابی ایجاد کشش نمی نماید و نیروی کشش لازم جهت کشیدن تراکتور و وسیله خاکورزی در خاک توسط تراکتور جلویی تأمین می گردید شکل (۹).

برای اندازه گیری درصد لغزش چرخهای محرک از روش استاندارد (RNAM)^۱ و رابطه زیر که روش معمول و قابل اعتمادی است استفاده شد.

$$S(\%) = \frac{A - B}{A} \cdot 100 \quad (20)$$

در رابطه بالا (S) درصد لغزش چرخهای محرک، (A) مسافت طی شده به ازاء ده دور گردش چرخهای محرک در حالت بدون بار، (B) مسافت طی شده به ازاء همان تعداد دور گردش چرخهای محرک تحت بار می باشد. برای تعیین مقادیر A و B ابتدا نقطه ای از دیواره خارجی لاستیک های عقب با گچ علامت گذاری شد، سپس تراکتور تحت ارزیابی در حالت بدون بار جهت تعیین مقدار A (گاو آهن از خاک بیرون بوده و در پشت تراکتور در حالت سوار قرار داشت) در دنده و دور موتور مناسب (دنده ۳ سنگین و دور موتور ۲۰۰۰rpm) قرار گرفته و مسافت طی شده به ازاء ۱۰ دور چرخش چرخ های محرک اندازه گیری شد.

در حالت دوم برای اندازه گیری مقدار B، گاو آهن در خاک و در عمق مورد نظر برای آن تکرار قرار گرفت. در این حالت نیز مسافت طی شده به ازاء ۱۰ دور چرخش چرخهای محرک اندازه گیری شد. در هر دو حالت مسافتهایی را که هر یک از چرخهای محرک سمت چپ و راست به ازاء ۱۰ دور چرخش طی کرده بودند، اندازه گیری شد. میانگین این دو عدد به عنوان مسافت طی شده چرخهای عقب در وضعیت مورد نظر محسوب می شد. لازم به ذکر است که در طول هر کرت آزمایشی و در فاصله ۴۰ متری بین دو تیرک، اندازه گیری جهت سرعت پیشروی و درصد لغزش چرخهای محرک صورت می گرفت. حدود ۳۰ متر قبل از تیرک اول، جهت رسیدن به سرعت مورد

نظر، تراکتور در دنده و دور موتور مورد نظر قرار می گرفت. با ثبت زمان طی شده در فاصله ۴۰ متری، سرعت پیشروی از تقسیم مسافت طی شده بر زمان، حاصل می گردید. جهت تعیین مقدار بازده کششی تراکتور، با استفاده از مقادیر نیروی کشش ناخالص، نیروی کشش خالص و لغزش چرخهای محرک از رابطه زیر استفاده کرده و بازده کششی تراکتور محاسبه گرید.

$$T.E. = \frac{P}{P+R}(1-S) \quad (21)$$

تجزیه و تحلیل داده ها :

با توجه به تعدد تیمارها، استفاده از روش آماری فاکتوریل قابل توصیه نمی باشد. بنابراین با بررسی های به عمل آمده و به منظور معرفی گروههای بدون بعد جهت تعیین اثرات اصلی و متقابل هر یک از تیمارها و به منظور تعیین رابطه ای خطی برای بیان اثرات هر یک از عوامل موثر بر عملکرد کششی، رابطه زیر ارائه گردید [۷]:

$$T.E. = F_1\left(\frac{P}{W}\right)F_2\left(\frac{C.I.b.d}{W}\right)F_3(S)F_4\left(\frac{r}{d}\right)F_5\left(\frac{T.F}{W}\right) \quad (22)$$

گروههای اول و دوم رابطه (۲۲) تابعی از "W" می باشند. بنابراین چنانچه در هر گروه اثرات بار دینامیکی، ثابت در نظر گرفته شود به راحتی اثرات عامل بعدی آن گروه بر T.E. قابل تفکیک خواهد شد. به عبارت دیگر در هر عمق شخم زنی، مقادیر کشش خالص تغییر یافته و چنانچه اثرات بار دینامیکی وارد بر چرخهای محرک در آن عمق ثابت نگاه داشته شود، می توان نحوه تغییرات مقدار کشش خالص بر T.E. را مورد بررسی قرار داد. سپس اثرات مقدار شاخص مخروطی خاک یا سختی خاک (CI) را نیز بر روی بازده کششی تراکتور بررسی کرد. به منظور تعیین بار دینامیکی، ابتدا وزن استاتیکی وارد بر چرخهای محرک با قرار دادن چرخهای عقب تراکتور بر روی باسکول تعیین گردید. سپس گاوآهن به بازوهای هیدرولیک متصل شده و پس از بالا آوردن بازوها، علاوه بر محاسبه وزن تراکتور و گاوآهن، وزن روی چرخهای عقب نیز تعیین شد تا به عنوان تخمینی از بار دینامیکی وارد بر محور محرک استفاده شود. جهت تخمین دقیق تر و با توجه به ابعاد تراکتور، از طریق ترسیم خط کشش حاصل از به هم وصل کردن نقاط مرکز مقاومت خیش و مرکز کشش تراکتور [۴] و تعیین زاویه ی شیب این خط با سطح افق (θ) که به ازاء عمق های مختلف، متفاوت می باشد، مقدار مولفه عمود ی بردار نیروی کشش خالص موثر در انتقال وزن تراکتور بر چرخ های عقب نیز محاسبه و با مقدار قبلی جمع گردید.

تجزیه و تحلیل گروه $F_1\left(\frac{P}{W}\right)$:

لگاریتم داده های مربوط به عدد چرخ و بازده کششی تراکتور نسبت به یکدیگر رسم گردیدند (شکل ۲). $Log\left(\frac{P}{W}\right)$ هر یک از این نقاط در جدول داده ها موجود بود. بنا براین در هر نمودار پس از تعیین و دسته بندی نقاطی که دارای $Log\left(\frac{P}{W}\right)$ یکسان یا نزدیک به هم بودند، فواصل طولی آن ها نسبت به مبدا مختصات بر روی هر نمودار به روش ترسیمی تعیین گردید. این فواصل بیانگر شاخصی از تغییرات لگاریتم تابع $\frac{P}{W}$ در مقابل مقادیر عددی $Log\left(\frac{P}{W}\right)$ هستند. با متناظر قرار دادن طول هر یک از این فواصل با مقادیر عددی $Log\left(\frac{P}{W}\right)$ مربوط به خود، نمودار های هر

تکرار حاصل گردید. با رسم بهترین خط انطباق، هر یک از نمودارها دارای شیب "n" مربوط به خود بوده که با توجه به تعداد تکرار ها و متوسط گیری از کلیه شیبهای حاصله، مقدار عددی "n" برابر ۰/۴۹۶ به دست آمد. بنابراین:

$$\text{Log}F_1\left(\frac{P}{W}\right) = 0.496 \text{Log}\left(\frac{P}{W}\right) \quad (23)$$

و یا

$$F_1\left(\frac{P}{W}\right) = \left(\frac{P}{W}\right)^{0.496} \quad (24)$$

نتایج حاصل از تکرار اول فرایند فوق الذکر در شکل (۳) نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل گروه $F_2\left(\frac{CI.b.d}{W}\right)$:

برای آنالیز این گروه ابتدا مقادیر عددی رابطه زیر محاسبه شد.

$$\text{Log}(T.E.) - \text{Log}F_1\left(\frac{P}{W}\right) = \text{Log}F_2\left(\frac{CI.b.d}{W}\right) \quad (25)$$

این رابطه به عنوان "باقیمانده اول" معروف است. به عبارت دیگر اثر تغییرات تابع $\frac{P}{W}$ از بازده کششی، در قالب رابطه

ای خطی، حذف گردید. مقادیر عددی از رابطه فوق در مقابل $\text{Log}\left(\frac{CI.b.d}{W}\right)$ متناظر با آن ترسیم شدند. با توجه به تعداد تکرار ها، پس از محاسبه مقادیر ضریب زاویه هر یک از نمودارها و معدل گیری از آنها، ضریب زاویه "n" به دست آمد. (شکل ۴).

بنا بر این می توان نوشت:

$$\text{Log}F_2\left(\frac{CI.b.d}{W}\right) = n \text{Log}\left(\frac{CI.b.d}{W}\right) \quad (26)$$

که در آن

$$n = -0.280 \quad (27)$$

بنابر این خواهیم داشت:

$$\text{Log}F_2\left(\frac{CI.b.d}{W}\right) = -0.280 \text{Log}\left(\frac{CI.b.d}{W}\right) \quad (28)$$

$$F_2\left(\frac{CI.b.d}{W}\right) = \left(\frac{CI.b.d}{W}\right)^{-0.280} \quad (29)$$

تجزیه و تحلیل گروه $F_3(S)$:

در این مرحله پس از محاسبه مقادیر عددی $\text{Log}F_3(S)$ که به عنوان "دومین باقیمانده" از رابطه (۲۷) تعیین می گردد و هم چنین تعیین مقادیر عددی (S) متناظر به آنها، با رسم نمودارهای مربوطه معادله خطی زیر بدست آمد.

۱- First residual

۱- Second residual

ضریب زاویه این خط نیز حاصل میانگین شیب سه نمودار فوق الذکر بود. تکرار اول این نمودار ها در شکل (۵) نشان داده شده است.

$$\text{First Residual} - \text{Log}F_2\left(\frac{CI.b.d}{W}\right) = \text{Log}F_3(S) \quad (30)$$

$$\text{Log}F_3(S) = -0.720(S) \quad (31)$$

$$F(S) = (10)^{(-0.720)(S)} \quad (32)$$

تجزیه و تحلیل گروه $F_4\left(\frac{r}{d}\right)$:

معادله "سومین باقیمانده" به صورت زیر نوشته شد:

$$\text{Second Residual} - \text{Log}F_3(S) = \text{Log}F_4\left(\frac{r}{d}\right) \quad (33)$$

مقادیر حاصله از کاربرد ۱۲۰ داده در رابطه فوق در مقابل " $\frac{r}{d}$ " محاسبه گردید و پس از تعیین متغیر مستقل و وابسته رابطه بهترین خط انطباقی به صورت زیر حاصل شد.

$$\text{Log}F_4\left(\frac{r}{d}\right) = -4.841\left(\frac{r}{d}\right) \quad (34)$$

$$F_4\left(\frac{r}{d}\right) = (10)^{(-4.841)\left(\frac{r}{d}\right)} \quad (35)$$

شکل (۶) تکرار اول تجزیه و تحلیل این گروه را نمایش می دهد.

تجزیه و تحلیل گروه $F_5\left(\frac{T.F}{W}\right)$:

"چهارمین باقیمانده" به شکل زیر حاصل گردید:

$$\text{Third Residual} - \text{Log}F_4\left(\frac{r}{d}\right) = \text{Log}F_5\left(\frac{T.F}{W}\right) \quad (36)$$

داده های مربوط به ۱۲۰ نقطه حاصله از ۴ عمق شخم نی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متری دسته بندی شده و پس از معدل گیری جداگانه از هر گروه، چهار نقطه به عنوان داده های مستقل و چهار نقطه به عنوان داده های وابسته حاصل گردید. آنگاه رابطه بهترین خط انطباقی به صورت زیر حاصل شد (شکل ۷).

$$\text{Log}F_5\left(\frac{T.F}{W}\right) = 9.965 \left(\frac{T.F}{W}\right) \quad (37)$$

$$F_5\left(\frac{T.F}{W}\right) = (10)^{(9.965)\left(\frac{T.F}{W}\right)} \quad (38)$$

معادله عمومی بازده کششی:

با استفاده از معادلات (۲۴)، (۲۹)، (۳۲)، (۳۵) و (۳۸) در معادله (۲۲) خواهیم داشت:

$$T.E. = C \left[\left(\frac{P}{W}\right)^{0.496} \cdot \left(\frac{C.I.b.d}{W}\right)^{-0.280} \cdot (10)^{(-0.720)(S)} \cdot (10)^{(-4.841)\left(\frac{r}{d}\right)} \cdot (10)^{(9.965)\left(\frac{T.F}{W}\right)} \right]^n \quad (39)$$

با توجه به معادله (۲۲) می توان نوشت:

$$T.E. = C (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5)^n \quad (40)$$

بنابر این:

$$\text{Log}(T.E.) = \text{Log}(C) + \text{Log}(F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5)^n \quad (41)$$

مقادیر داخل کروشه معادله (۳۹) در مقابل بازده کششی "T.E." به صورت لگاریتمی رسم گردید. (شکل ۸). در نتیجه $\text{Log}(C) = 2.830$ و $n = 1.0076$ به دست آمد. بنابراین معادله عمومی بازده کششی تراکتور به صورت نهایی زیر به دست آمد.

$$T.E. = (10)^{2.830} \left[\left(\frac{P}{W}\right)^{(0.496)} \cdot \left(\frac{C.I.b.d}{W}\right)^{(-0.280)} \cdot (10)^{(-0.720)(S)} \cdot (10)^{(-4.841)\left(\frac{r}{d}\right)} \cdot (10)^{(9.965)\left(\frac{T.F}{W}\right)} \right]^{1.0076} \quad (42)$$

محدوده به کارگیری معادله عمومی بازده کششی تراکتور:

دامنه تغییرات گروه های بدون بعد به کار رفته در این تحقیق به شرح ذیل می باشد:
بازده کششی تراکتور:

$$0.250 \leq T.E. \leq 0.678$$

نسبت کشش خالص به وزن دینامیکی:

$$0.098 \leq \left(\frac{P}{W}\right) \leq 0.933$$

عدد چرخ:

$$67.628 \leq \left(\frac{CI.b.d}{W}\right) \leq 86.123$$

میزان لغزش:

$$0.021 \leq (S) \leq 0.168$$

نسبت شعاع غلتشی به قطر چرخ محرک:

$$0.4816 \leq \left(\frac{r}{d}\right) \leq 0.4941$$

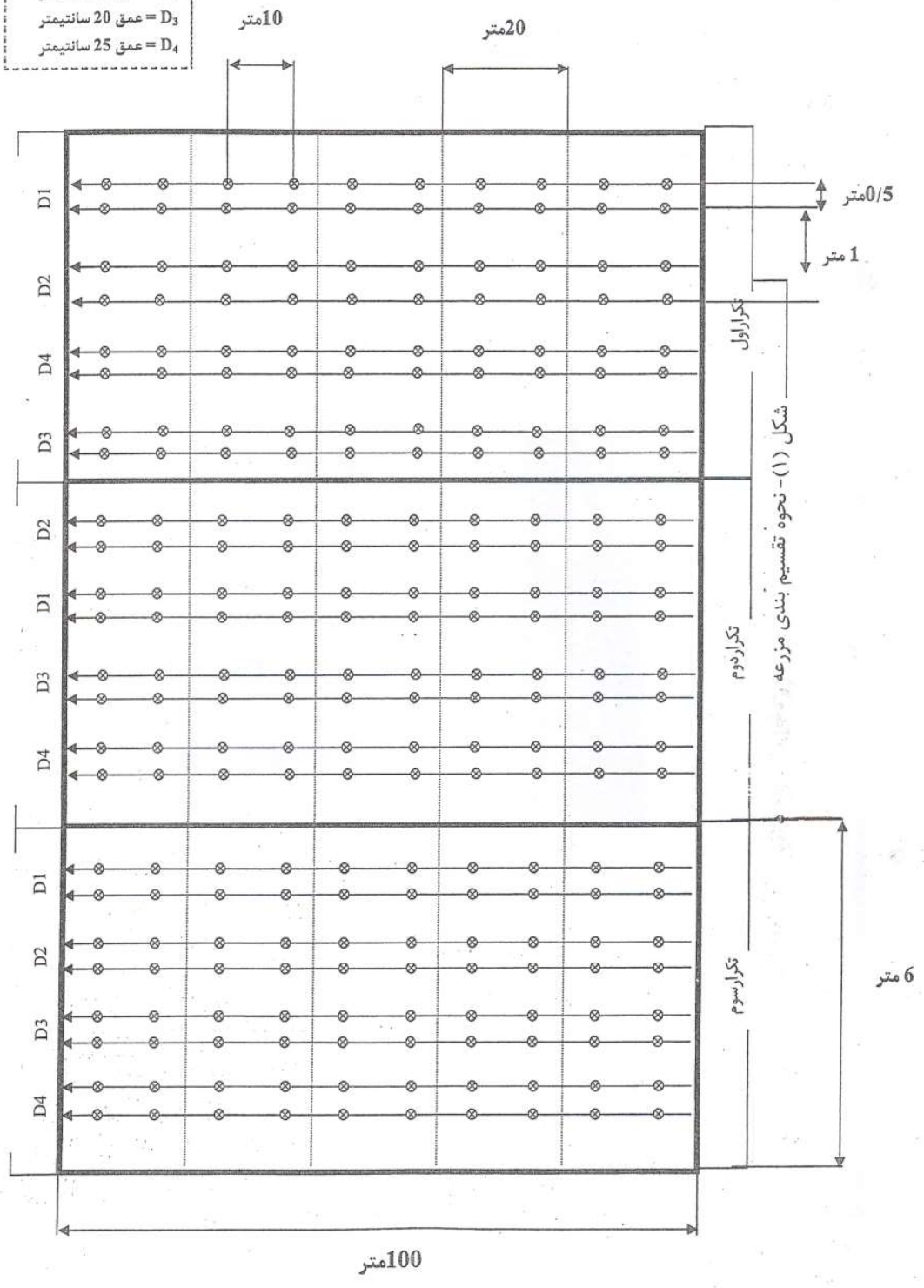
نسبت نیروی کشیدنی به وزن دینامیکی:

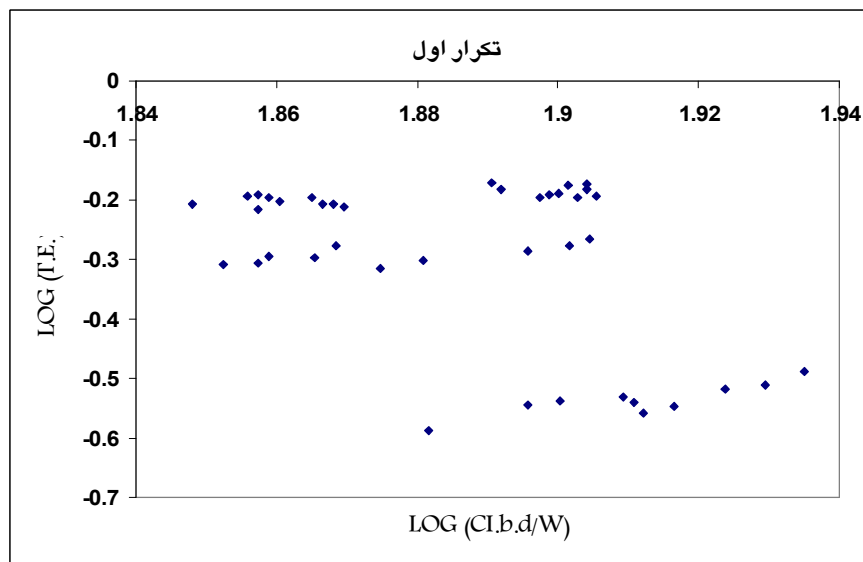
$$0.0539 \leq \left(\frac{T.F}{W}\right) \leq .0577$$

بحث و نتیجه گیری:

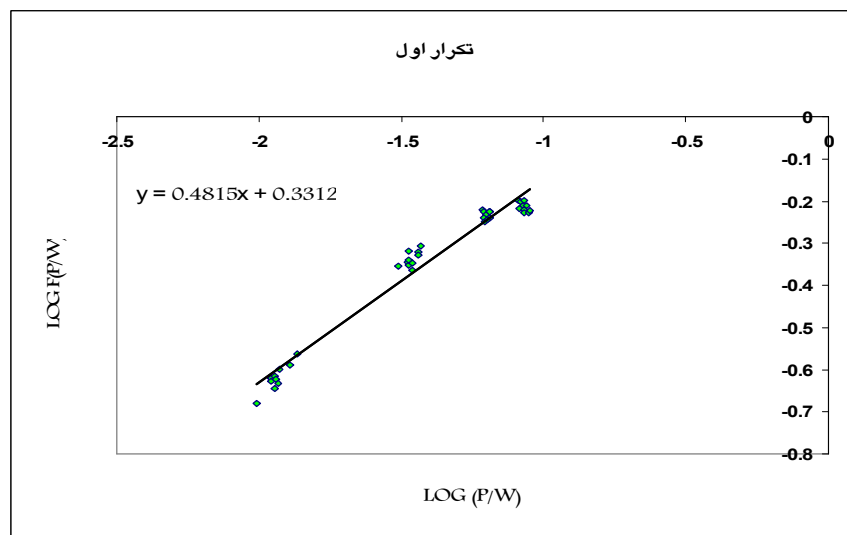
رابطه به دست آمده به وضوح مبین این واقعیت است که در برآورد دقیق تر مقدار بازده کششی تراکتور نه تنها نیروهای کششی، مقاومت غلتشی و میزان لغزش چرخ های محرک موثر می باشند بلکه اثرات سایر عوامل از جمله میزان سختی خاک، پهنا، قطر، شعاع غلتشی و وزن دینامیکی وارد بر چرخ های محرک را نیز باید به حساب آورد. با مقایسه ی میانگین مقادیر عملکرد کششی حاصل از کار برد داده های موجود در معادلات (۲۱) و (۴۲) مستخرج از جدول (۱)، به طور متوسط شاهد ۹/۴ درصد افزایش در عملکرد کششی تراکتور از طریق معادله ی (۴۲) خواهیم بود. همچنین از مدل حاضر می توان نتایج تحقیقاتی را که داده های آنها در محدوده ی گروه های بدون بعد معرفی شده در رابطه ی (۴۲) باشد را باز نگری نمود. نتایج حاصله از تحقیق ملکی [۲] از طریق این مدل، افزایشی در حدود ۱۰ درصد را برای عملکرد کششی تراکتور مورد نظر نشان می دهد.

$D_1 = \text{عمق 10 سانتیمتر}$
 $D_2 = \text{عمق 15 سانتیمتر}$
 $D_3 = \text{عمق 20 سانتیمتر}$
 $D_4 = \text{عمق 25 سانتیمتر}$

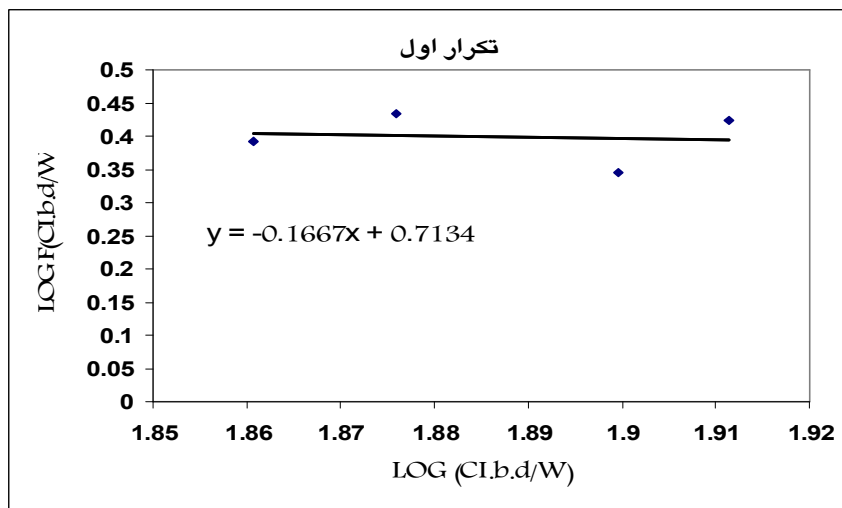




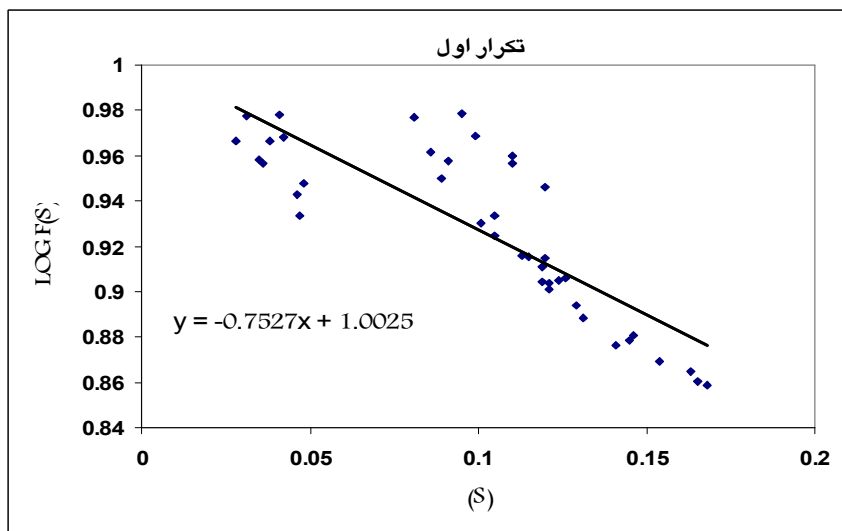
شکل (۲) - نمودار LOG (T.E.) و LOG (CI.b.d/W)



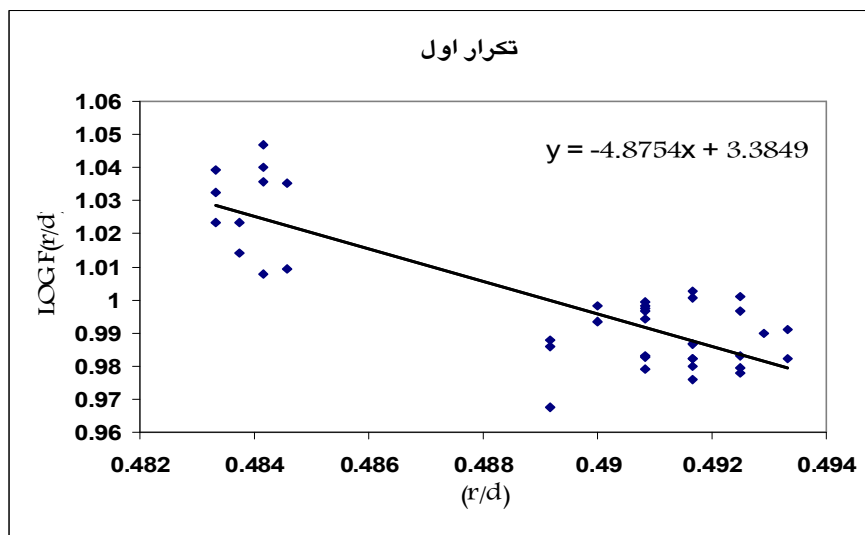
شکل (۳) - نمودار LOG F(P/W) و LOG (P/W)



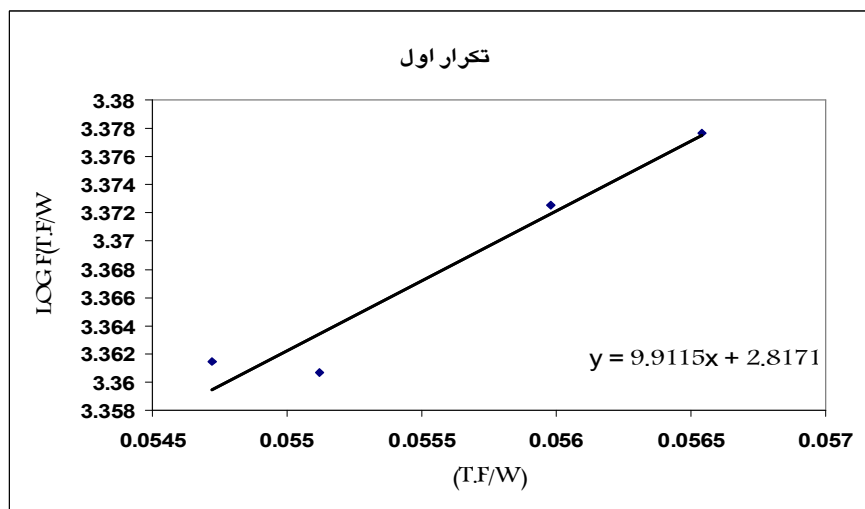
شکل (۴) - نمودار LOG F(CI.b.d/W) و LOG (CI.b.d/W)



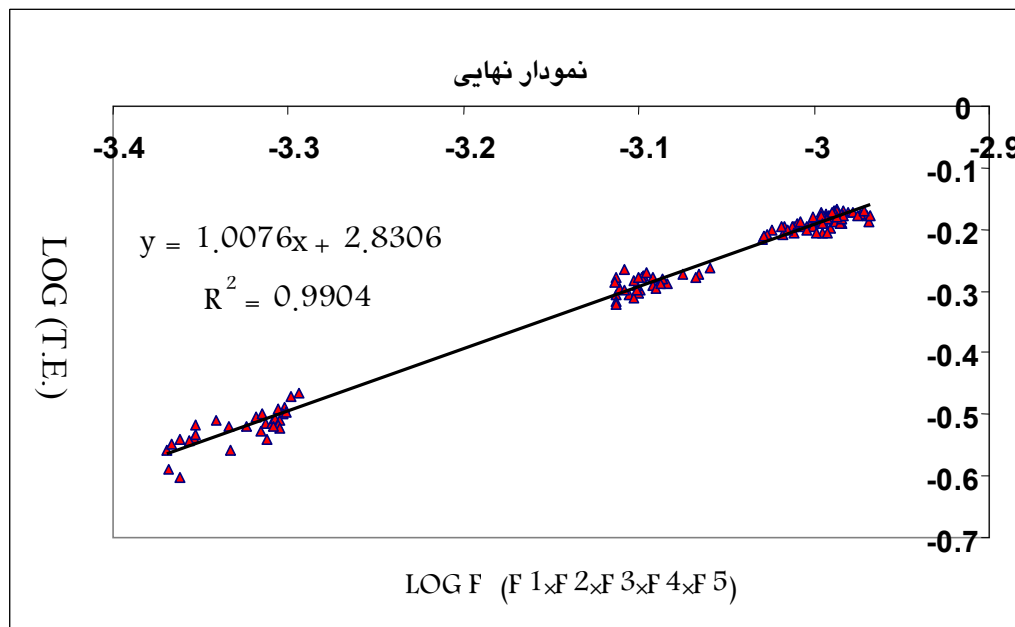
شکل (۵) - نمودار LOG F(S) و (S)



شکل (۶) - نمودار (r/d) و LOG F(r/d)



شکل (۷) - نمودار (T.F/W) و LOG F(T.F/W)



شکل (۸)- نمودار LOG(T.E.) و LOG F(F₁*F₂*F₃*F₄*F₅)



شکل (۹)- روش تست دو تراکتوری در مزرعه

منابع مورد استفاده

- ۱- لغوی، م. و ا. ملاصادقی. ۱۳۸۱. ارزیابی و مقایسه بازده کششی تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسال ۶۵۰ در اجرای شخم با گاوآهن برگرداندار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۶ شماره ۲.
- ۲- ملکی، ع. تاثیر دور موتور، نسبت انتقال جعبه دنده و بار محوری بر عملکرد کششی و مصرف سوخت تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵. ۱۳۸۱. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی. ۱۹۹ صفحه.
- 3- Freitag, D. R. 1965. A dimensional analysis on the performance of pneumatic tire on soft soil. U.S. Army Waterways Experiment Station. Technical Report No. 3-688.
- 4- Fundamentals of Machine Operation, Tillage, 1976. John Deere Service Publications, p.83.
- 5- Gee-Clough, D., M. McAllister, G. Pearson and D. W. Evernden. 1978. The empirical prediction of tractor implement field performance. *Journal of Terramechanics*. 15(2):81-94.
- 6- Hauck, D., V. Hofman and H. Kucera, 1984. Traction – horsepower demonstration. *ASAE Paper No. 84 – 1061*, St. Joseph, MI 49085, U.S.A. 10P.
- 7- Liljedahl, J. B. and Walter M. Carleton and Paul K. Turnquist and David W. Smith. 1979. Tractors and Their Power Units, John Wiley and Sons, New York, Third Edition, p. 231.
- 8- Murphy, G. C. 1950. Similitude in Engineering. Ronald Press Company. New York.
- 9- Turnage, G. W. 1972. Tire selection and performance prediction for off-road wheeled vehicle operation. Proc. 4 th Int. Conference of the Int. Soc. For the Terrain Vehicle Systems, Vol. 1, Stockholm, Sweden.



10- Wismer, R. D. and H. J. Luth. 1973. Off-road traction performance for wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics*. 10(2): 49-61.

11- Zoz, F. M. and W. W. Brixius. 1979. Traction prediction for agricultural tires on concrete. *ASAE Paper 79-1046*. ASAE, St. Joseph, MI. 49085.

12- Zoz, F. M. and R. D. Grisso. 2003. Traction and Tractor Performance. ASAE Publication Number 913C0403.