



بررسی مزرع‌های و تدوین معادله عمومی انرژی ویژه گاوآهن قلمی در زمین‌های لومی -

رسی

علیرضا مرتضایی^۱، سید حسین کارپورفرد^{۲*} و حسین رحمانیان کوشکی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری بخش مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی

دانشگاه شیراز

ایمیل مکاتبه کننده: karparvr@shirazu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق رابطه‌ای بی بعد جهت پیش بینی انرژی ویژه گاوآهن قلمی بدست آمد. بدین منظور از یک تراکتور MF-399 و یک گاوآهن قلمی ۹ شاخه سوار با پهنا ۵ سانتی متر استفاده گردید. آزمایش‌ها در خاک لومی-رسی و در محتوای رطوبت ۸ درصد بر پایه وزن خشک انجام شد. عوامل موثر بر انرژی ویژه عبارتند از: سرعت پیش‌روی، نسبت ظاهری تیغه، عدد چرخ، ضریب کشش خالص، بکسوات و ضریب مقاومت غلتشی. این عوامل در آزمون مزرع‌های توسط سامانه داده برداری اندازه‌گیری شدند. در این آزمون سه سطح عمق شخم (۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر)، سه سطح سرعت پیش‌روی (۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت) و در سه تکرار استفاده گردید. نتایج حاصل از آزمون F در سطح احتمال ۹۵٪ نشان داد که شیب نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی انرژی ویژه حاصل از مدل تحلیل ابعادی نسبت به خط ۱:۱ اختلاف معنی داری ندارد.

واژه‌های کلیدی: انرژی ویژه، تحلیل ابعادی، سامانه داده برداری، گاوآهن قلمی

فهرست نمادها

b	پهنای چرخ محرک (m)	F_r	نیروی مقاومت غلتشی (N)	W	پهنای تیغه (cm)
C	ظرفیت موثر مزرعه ای (ha/h)	g	شتاب گرانش (m/s^2)	W_d	بار دینامیکی روی چرخ‌های محرک (N)
CI	شاخص مخروطی خاک (kPa)	K	عرض از مبدا خط لگاریتمی		
D	عمق کار تیغه (cm)	N	شیب خط لگاریتمی		
d	قطر چرخ محرک (m)	P_{eq}	توان معادل (kW)		
E_{sc}	انرژی ویژه (kW h/L)	S	بکسوات چرخ محرک (%)		
FC	مصرف سوخت (L/h)	SE	انرژی ویژه (بی بعد)		
F_d	نیروی کشش مالبندی خالص (N)	V	سرعت پیش‌روی تراکتور (m/s)		



مقدمه

یکی از ادوات خاک‌ورز اولیه که به طور گسترده توسط کشاورزان استفاده می‌شود، گاواهن قلمی است. این وسیله زمانی بهترین کارایی را از خود نشان می‌دهد که خاک نسبتاً خشک و سخت باشد (Srivastava et. al, 2006). در عملیات کشاورزی، خاک‌ورزی یکی از انرژی برترین عملیات در فرآیند تولید محصولات زراعی است. پیش بینی میزان دقیق مصرف انرژی مورد نیاز برای عملیات خاک‌ورزی مشکل و در عین حال امری ضروری می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تجربی و تعیین رابطه کلی جهت پیش بینی انرژی ویژه گاواهن قلمی بر پایه تحلیل ابعادی بود.

فخرایی و کارپرورفرد با استفاده از روش تحلیل ابعادی رابطه‌ای جهت تخمین بازده کششی تراکتور بدست آوردند. در این تحقیق از تراکتور یونیورسال U-445 و گاواهن برگردان‌دار تک خیش استفاده شد. نتایج حاصل از عملیات مزرعه-ای ناشی از چهار عمق شخم زنی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متری در سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نهایت رابطه کلی جهت تخمین بازده کششی تراکتور در محدوده تعیین شده بدست آمد.

حسینی و کارپرورفرد عملکرد تیغه‌های گاواهن قلمی را با استفاده از روش تحلیل ابعادی مورد پیش‌گویی قرار دادند. بدین منظور تاثیر زاویه حمله، سرعت پیش‌روی و ضریب رعنائی^۱ تیغه باریک خاک‌ورز بر نیروی افقی و عمودی وارد بر تیغه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمون F در سطح احتمال ۹۵٪ نشان از عدم تفاوت معنی‌دار بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌گویی شده نیروهای افقی و عمودی داشت.

کارپرورفرد و رحمانیان کوشککی^۲ تاثیر سرعت پیش‌روی، عمق کار و پهنای تیغه گاواهن قلمی را بر مصرف سوخت تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ بررسی کردند. ایشان با استفاده از روش تحلیل ابعادی رابطه‌ای جهت پیش بینی مصرف سوخت تراکتور بدست آوردند. نتایج حاصل از آزمون F در سطح احتمال ۹۵٪ نشان از عدم تفاوت معنی‌دار بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌گویی شده مصرف سوخت تراکتور داشت.

مواد و روش‌ها

آزمون‌های مزرعه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۶ کیلومتری جاده شیراز- اصفهان اجرا گردید. بافت خاک لومی-رسی و رطوبت خاک در حین آزمایش حدود ۸ درصد و جرم مخصوص ظاهری خاک $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۳۵ بود. شاخص مخروطی خاک که توسط نفوذسنج مخروطی ثابت مدل SP-1000 تا عمق ۲۵ سانتی متری اندازه‌گیری شد، برابر با ۲۸۴۰ kPa بود. تراکتور مورد استفاده در این تحقیق مسی فرگوسن ۳۹۹ بود (شکل ۱). در این تحقیق از گاواهن قلمی سوار شونده راننده^۳ دارای ۹ شاخه فنی که با فاصله ۲۵ سانتی متری از یکدیگر قرار داشتند، استفاده شد (شکل ۱). تاثیر عمق شخم (۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر)، سرعت پیش‌روی واقعی (۳، ۴ و کیلومتر بر ساعت) و پهنای تیغه (۵ و ۱۰ سانتی متر) در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری مصرف سوخت، از حسگر دبی سنج توربینی VISION-1000 استفاده گردید. علاوه بر دبی سنجی که در مسیر رفت سوخت به پمپ انژکتور قرار داده شده

^۱ - Aspect ratio

^۲ - Karparvarfard and Rahmianian- Koushkaki

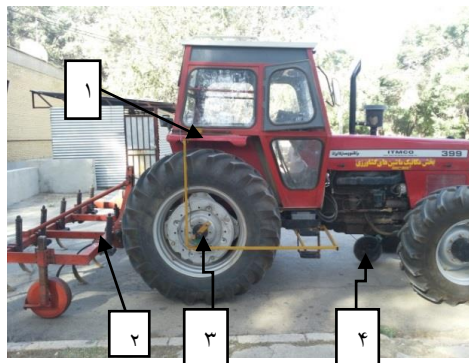
^۳-Rau



بود، یک دبی سنج نیز در مسیر برگشت سوخت به باک قرار گرفت و میزان دبی مصرفی موتور از طریق تفاضل جریان عبوری از دو دبی سنج محاسبه شد. برای اندازه‌گیری سرعت پیش‌روی واقعی تراکتور و میزان بکسوات چرخ محرک عقب از دو شفت انکودر استفاده شد. اولین شفت انکودر بر روی چرخ پنجم و دومین شفت انکودر به کمک شاسی مناسبی بر روی چرخ عقب محرک تراکتور نصب گردید. این حسگرها برای هر دور چرخ ۵۰۰ پالس تولید می‌کردند. بکسوات چرخ محرک از رابطه زیر بدست آمد:

$$S = 1 - \frac{V_a}{V_t} \quad (1)$$

در این رابطه، S میزان بکسوات، V_a سرعت پیش‌روی واقعی و V_t سرعت پیش‌روی تئوری تراکتور است. برای اندازه‌گیری نیروی کشش گاواهن قلمی از آزمون RNAM استفاده شد. بدین منظور از یک بارسنج^۱ کششی با ظرفیت ۵۰۰۰ کیلوگرم استفاده شد. بارسنج توسط زنجیر بین تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ و جان دیر ۴۴۵۰ نصب گردید. در این وضعیت تراکتور جان دیر ۴۴۵۰ وظیفه کشش را بر عهده داشت و تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ پشت تراکتور کشنده قرار داشت. تمامی مراحل داده‌برداری فوق از طریق سامانه داده‌برداری^۲ و به صورت خودکار محاسبه گردید. هم‌چنین نرخ داده‌برداری سامانه ۱۰۰ میلی ثانیه بود.



شکل ۱- الف- نمایی از تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ و گاواهن

۱- سامانه داده‌برداری، ۲- گاواهن قلمی، ۳- شفت انکودر، ۴- شفت انکودر کوپل شده به چرخ پنجم



شکل ۱- ب- نمایی دیگر از تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

۵- دبی سنج توربینی قرار گرفته در مسیر ورود به پمپ انژکتور، ۶- دبی سنج توربینی قرار گرفته در مسیر خروجی

^۱ - Load cell

^۲ - Data acquisition system



تحلیل داده‌ها

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 رابطه‌ای خطی برای بیان اثرات هر یک از عوامل موثر بر انرژی ویژه، رابطه زیر ارائه گردید:

$$SE = f\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}, \frac{D}{W}, \frac{CIbd}{W_d}, \frac{F_d}{W_d}, S, \frac{F_r}{W_d}\right) \quad (2)$$

از طرفی طبق استاندارد ASABE برای بی بعد کردن انرژی ویژه از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$SE = \frac{E_{sc} CFC}{P_{eq}} \quad (3)$$

رابطه (۳) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$SE = K \left[f_1 \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right) f_2 \left(\frac{D}{W} \right) f_3 \left(\frac{CIbd}{W_d} \right) f_4 \left(\frac{F_d}{W_d} \right) f_5 (S) f_6 \left(\frac{F_r}{W_d} \right) \right]^N \quad (4)$$

با گرفتن لگاریتم از طرفین معادله (۴)، این معادله را به شکل زیر می‌توان بازنویسی کرد:

$$\text{Log SE} = \text{Log K} + N \left[\text{Log} f_1 \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right) + \text{Log} f_2 \left(\frac{D}{W} \right) + \text{Log} f_3 \left(\frac{CIbd}{W_d} \right) + \text{Log} f_4 \left(\frac{F_d}{W_d} \right) + \text{Log} f_5 (S) + \text{Log} f_6 \left(\frac{F_r}{W_d} \right) \right] \quad (5)$$

در این رابطه Log K مقدار عرض از مبدا بر روی محور y ها و N شیب خط لگاریتمی است. برای بیان چگونگی تاثیر گروه‌های بی بعد بر یکدیگر، به عنوان نمونه تکرار دوم بیان می‌گردد. لازم به ذکر است که در بقیه تکرارها روند به همین منوال می‌باشد.

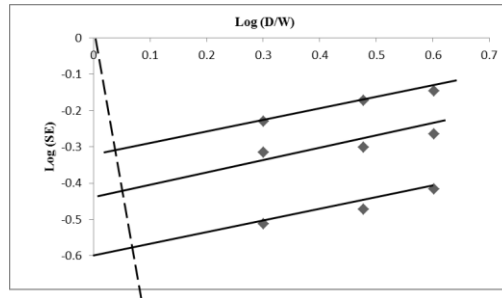
تحلیل گروه $f_1 \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)$

ابتدا مقادیر $\text{Log} \left(\frac{D}{W} \right)$ نسبت به $\text{Log}(SE)$ رسم گردید (شکل ۲). مقدار $\text{Log} \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)$ هر یک از این نقاط معرف میانگین ۲۵۰ داده حاصل از سامانه داده برداری بود. بنابراین در هر نمودار پس از تعیین و دسته بندی نقاط دارای $\text{Log} \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)$ یکسان، فواصل طولی آنها نسبت به مبدا مختصات بر روی هر خط که به روش ترسیمی تعیین گردید منجر به ارائه ۳ نقطه شد (شکل ۳). این فواصل بیانگر شاخصی از تغییرات لگاریتم تابع $\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)$ در مقابل مقادیر عددی $\text{Log} \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)$ هستند. بنابراین با متناظر قرار دادن طول هر یک از این فواصل با مقادیر عددی $\text{Log} \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)$ مربوط به خود، نمودارهای هر تکرار حاصل گردید. هر کدام از این نمودارها دارای شیب “n” مربوط به خود بودند. در نهایت با میانگین‌گیری از شیب‌های بدست آمده، مقدار عددی $n = 0.7029$ بدست آمد. بنابراین برای انرژی ویژه گاوآهن قلمی می‌توان نوشت:

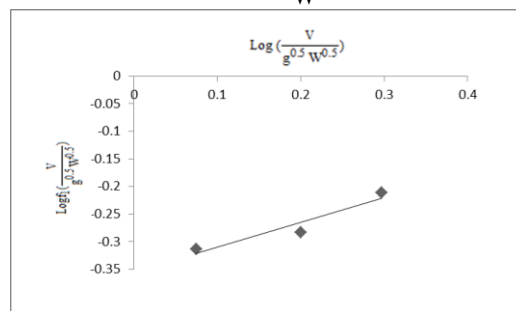
$$\text{Log} f_1 \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right) = 0.7029 \text{Log} \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right) \quad (6)$$



$$f_1\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) = \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)^{0.7029} \quad (V)$$



شکل ۲- نمودار $\text{Log}\left(\frac{D}{W}\right)$ در برابر Log(SE)



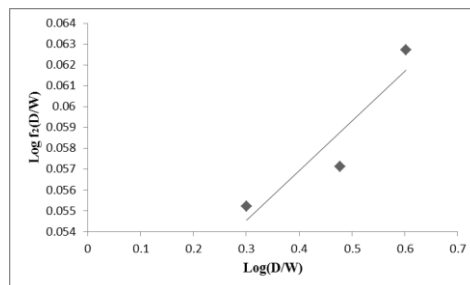
شکل ۳- نمودار $\text{Log}\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)$ در برابر $\text{Log}f_1\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)$

تحلیل گروه $f_2\left(\frac{D}{W}\right)$:

به منظور تجزیه و تحلیل این گروه ابتدا مقدار عددی زیر محاسبه گردید.

$$\text{Log(SE)} - \text{Log}f_1\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) = \text{Log}f_2\left(\frac{D}{W}\right) \quad (A)$$

رابطه فوق را باقی مانده اول می‌نامیم. سپس مقادیر عددی حاصل از روابط فوق در مقابل $\text{Log}\left(\frac{D}{W}\right)$ متناظر با آن ترسیم شدند. پس از محاسبه ضریب زاویه نمودارهای هر تکرار و میانگین‌گیری از آنها، ضریب زاویه برابر با $n = 0.002$ بدست آمد.



شکل ۴- نمودار $\text{Log}\left(\frac{D}{W}\right)$ در برابر $\text{Log}f_2\left(\frac{D}{W}\right)$

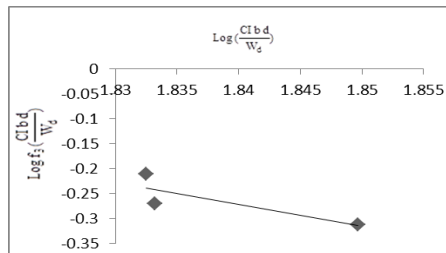
تحلیل گروه $f_3\left(\frac{CIbd}{W_d}\right)$:

$\text{Log}f_2\left(\frac{D}{W}\right)$ را از مقدار عددی Log(SE) کسر می‌نماییم. مقدار حاصل را باقی مانده دوم می‌نامیم.



$$\text{Log(SE)} - \text{Log} f_2\left(\frac{D}{W}\right) = \text{Log} f_3\left(\frac{CIbd}{W_d}\right) \quad (9)$$

با رسم مقادیر عددی حاصل از رابطه فوق در مقابل $\text{Log}\left(\frac{CIbd}{W_d}\right)$ متناظر با آن برای هر تکرار و متوسط گیری از آن‌ها، ضریب زاویه $n = -10.014$ بدست آمد.



شکل ۵- نمودار $\text{Log}\left(\frac{CIbd}{W_d}\right)$ در برابر $\text{Log} f_3\left(\frac{CIbd}{W_d}\right)$

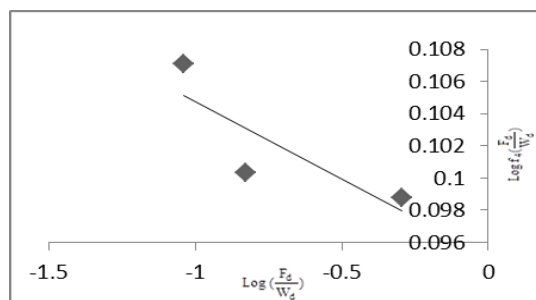
تحلیل گروه $f_4\left(\frac{F_d}{W_d}\right)$:

برای تجزیه و تحلیل این گروه، $\text{Log} f_3\left(\frac{CIbd}{W_d}\right)$ را از مقدار عددی Log(SE) کسر می‌کنیم. مقدار بدست آمده را

باقی مانده سوم گوئیم.

$$\text{Log(SE)} - \text{Log} f_4\left(\frac{CIbd}{W_d}\right) = \text{Log} f_4\left(\frac{F_d}{W_d}\right) \quad (10)$$

با رسم مقادیر عددی حاصل از رابطه فوق در مقابل $\text{Log}\left(\frac{F_d}{W_d}\right)$ متناظر با آن برای هر تکرار و میانگین گیری از آن‌ها، ضریب زاویه $n = -0.0142$ بدست آمد.



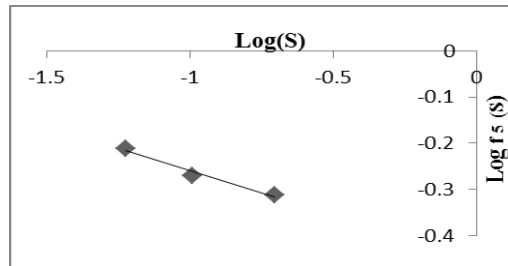
شکل ۶- نمودار $\text{Log}\left(\frac{F_d}{W_d}\right)$ در برابر $\text{Log} f_4\left(\frac{F_d}{W_d}\right)$

تحلیل گروه $f_5(S)$:

$\text{Log} f_4\left(\frac{P}{W_d}\right)$ را از مقدار عددی Log(SE) کسر می‌کنیم. مقدار حاصل را باقی مانده چهارم می‌نامیم.

$$\text{Log(SE)} - \text{Log} f_4\left(\frac{P}{W_d}\right) = \text{Log} f_5(S) \quad (11)$$

با رسم مقادیر عددی حاصل از رابطه فوق در مقابل $\text{Log}(S)$ متناظر با آن برای هر تکرار و میانگین گیری از آن‌ها، ضریب زاویه $n = -0.1971$ بدست آمد.



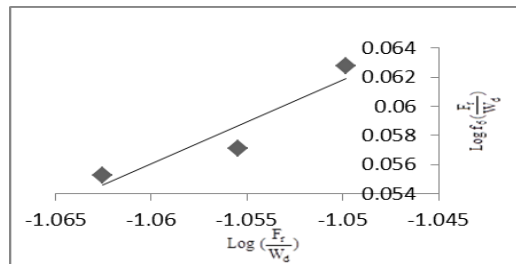
شکل ۷- نمودار $\text{Log } f_5(S)$ در برابر $\text{Log}(S)$

تحلیل گروه $f_6(\frac{F_r}{W_d})$:

برای تجزیه و تحلیل این گروه، $\text{Log } f_5(S)$ را از مقدار عددی $\text{Log}(SE)$ کسر می‌کنیم. مقدار حاصل را باقی‌مانده پنجم می‌نامیم.

$$\text{Log}(SE) - \text{Log } f_5(S) = \text{Log } f_6\left(\frac{F_r}{W_d}\right) \quad (12)$$

با رسم مقادیر عددی حاصل از رابطه فوق در مقابل $\text{Log}(\frac{F_r}{W_d})$ متناظر با آن برای هر تکرار و میانگین‌گیری از آن‌ها، ضریب زاویه $n = 0.857$ بدست آمد.



شکل ۸- نمودار $\text{Log } f_6(\frac{F_r}{W_d})$ در برابر $\text{Log}(\frac{F_r}{W_d})$

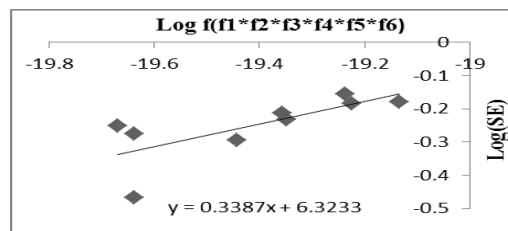
معادله عمومی انرژی ویژه گاوآهن قلمی

برای بدست آوردن معادله عمومی انرژی ویژه گاوآهن قلمی معادله (۴) را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$SE = K \left[\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)^{0.7029} \left(\frac{D}{W} \right)^{0.002} \left(\frac{CIbd}{W_d} \right)^{-10.014} \left(\frac{F_d}{W_d} \right)^{-0.0142} (S)^{-0.1971} \left(\frac{F_r}{W_d} \right)^{0.857} \right]^N \quad (13)$$

مقادیر داخل کروشه معادله (۱۳) در مقابل مقادیر SE ترسیم شدند. ثابت‌های N و K به شرح زیر بدست آمدند:

$$K = 0.3387 \text{ و } N = 6.3233 \quad (14)$$



شکل ۹- $\text{Log } f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \times f_6$ در برابر $\text{Log}(SE)$ برای گاوآهن قلمی



محدوده به کارگیری معادله عمومی انرژی ویژه گاوآهن قلمی

دامنه تغییرات گروه‌های بدون بعد به کار رفته در این تحقیق به شرح ذیل می باشد:

$$1.5848 \leq \frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \leq 1.9815$$

$$2 \leq \frac{D}{W} \leq 4$$

$$67.3836 \leq \frac{CIbd}{W_d} \leq 71.0946$$

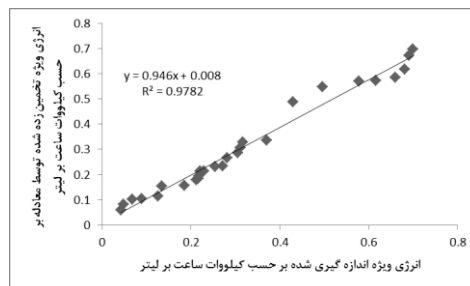
$$0.0527 \leq \frac{F_d}{W_d} \leq 0.5975$$

$$0.0127 \leq S \leq 0.2303$$

$$0.073 \leq \frac{F_r}{W_d} \leq 0.113$$

نتایج و بحث

به منظور ارزیابی میزان اعتبار و صحت تخمین میزان انرژی ویژه گاوآهن قلمی توسط مدل بدست آمده از تحلیل ابعادی، از ۲۰ درصد داده‌هایی که به این منظور کنار گذاشته شده بود، استفاده گردید. رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده انرژی ویژه گاوآهن قلمی حاصل از مدل حاضر در شکل ۱۰ ارایه شده است. نتایج آماری بدست آمده از آزمون F در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که شیب و عرض از مبدا نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده انرژی ویژه گاوآهن قلمی از مدل نسبت به خط ۱:۱ اختلاف معنی داری ندارد.



شکل ۱۰ - رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده انرژی ویژه گاوآهن قلمی

جدول ۱- نتایج آزمون F برای مقایسه خط برازش مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده انرژی ویژه گاوآهن قلمی

خط	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
مدل	۲۵	۰/۰۲۲۷۳	۰/۰۰۰۹۰۹
خط ۱:۱	۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰
		F = مقایسه شیب	۳/۶۶ ^{n.s}
		F = مقایسه عرض از مبدا	۲/۵۳ ^{n.s}

نتیجه گیری

با استفاده از مدل بدست آمده جهت پیش‌بینی میزان مصرف انرژی گاوآهن قلمی ۹ شاخه با عرض تیغه ۵ سانتی‌متر استفاده نمود.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



منابع و مآخذ

- ۱- حسینی، س. کارپورفرد، س. ح. ۱۳۹۱. پیش بینی نیروهای وارد بر تیغه خاک ورز قلمی به روش تحلیل ابعادی. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. دوره ۴۳ (۱).
- ۲- فخرایی، ا. کارپورفرد، س. ح. ۱۳۸۶. تعیین معادله عمومی عملکرد کششی به روش آنالیز ابعادی. مجله علوم کشاورزی ایران. دوره ۳۸ (۳).

3- ASABE Standards. 2009. D497.6: Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, MI. ASABE

4- Karparvarfard S. H. and H. Rahmanian- Koushkaki. 2010. Development of fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel- ploughing in a clay loam soil, Biosystems Engineering, 130, 23-33.

5- Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. 2006. Engineering principles of agricultural machines. 2nd edition. American Society of Agricultural and Biological Engineers. USA



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Field study and development of a general equation of specific energy for chisel plow in loamy-clay soil

Abstract

The purpose of this study was to develop a general equation for estimating specific energy of a chisel plow using dimensional analysis method. A Massey-Ferguson ITM-399 tractor and a mounted-type chisel plow with 9 curved shanks equipped with springs and blades width of 5 cm were used. The experiment was conducted in a loamy-clay soil at 8% d.b. moisture content. Traveling speed, aspect ratio of blades, wheel numeric, net traction ratio, slip and motion resistance ratio were considered as factors influencing specific energy. Each of these factors were identified, evaluated and measured in field tests. The effects of three levels of tillage depths (10, 15 and 20 cm) and three levels of traveling speeds (3, 4 and 5 km) with three replications were studied. Data from field experiments were analyzed and finally the general equation for estimating specific energy for a chisel plow was derived. Results from field experiments and predicted values from above equations were plotted and compared to 1:1 line, no significant difference was noticed ($P < 0.05$).

Keywords: Specific energy, Dimensional Analysis, Data acquisition system, Chisel plow