

تخمین میزان سوخت مصرفی تراکتور ناشی از تغییرات نسبت ظاهری تیغه گاواهن قلمی

امید تاجبخش^۱، سیدحسین کارپورفر^{۲*}

۱. دانش آموخته، بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. دانشیار، بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱/۳۱)

چکیده

هدف از این تحقیق پیش‌بینی میزان مصرف سوخت تراکتور ناشی از تغییرات عرض تیغه گاواهن قلمی و تعیین رابطه‌ای بین نسبت ظاهری ($\frac{D}{W}$) و میزان مصرف سوخت است. بدین منظور از یک تراکتور ITM-۳۹۹ و یک گاواهن قلمی ۹ شاخه سوار با عرض تیغه‌های ۵ و ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. خاک لومی-رسی و محتوای رطوبت ۹ درصد براساس وزن خشک بود. سه سطح عمق شخم‌زنی (۱۰، ۱۵، و ۲۰ سانتی‌متر)، سه سطح سرعت پیش‌روی (۳، ۴، و ۵ کیلومتر بر ساعت)، و سه تکرار در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از آزمون F در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد که شیب نمودار بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مقایسه با خط ۱:۱ اختلاف معنی‌داری ندارد. نتایج حاصل از دو شاخص آماری NRMSE و MBE نشان از صحت و دقت قابل قبول معادله داشت.

کلیدواژگان: خاک‌ورزی، گاواهن قلمی، مصرف سوخت، نسبت ظاهری.

مقدمه

نوع تراکتور (دو یا چهار چرخ محرک)، اندازه تراکتور، رابطه بین تراکتور و وسیله متصل به آن و نیروی محرک تراکتور از این عوامل هستند. بنابراین مصرف سوخت تراکتور در سنجش‌های گوناگون ثابت باقی نمی‌ماند و از یک اندازه‌گیری به اندازه‌گیری دیگر تغییر می‌کند (Nielsen and Sorensen, 1993).

استانداردهای (ASABE 2006, 2009)، به‌طور گسترده برای تخمین مصرف سوخت در راستای تمهیدات بودجه، استفاده می‌شوند (Grisso et al., 2006). معادله‌ای که برای تخمین سوخت مصرفی ارائه شده به صورت رابطه ۱ است (ASBAE, 2009):

$$Q = (0.22 X + 0.096) \times P_{pto} \quad (1 \text{ رابطه})$$

در این رابطه: Q، مصرف سوخت دیزل در بخش بار ($\frac{L}{h}$)، Ppto، توان مجاز (حداکثر) PTO (KW)، X، نسبت توان معادل PTO (P_t) به توان مجاز PTO (بدون بعد).

که P_t برابر است با:

$$P_t = \frac{P_{db}}{E_m E_t} + P_{PTO} + P_{hyd} + P_{el} \quad (2 \text{ رابطه})$$

در رابطه ۲: E_t ، بازده کشش است (به صورت اعشاری) که طبق استاندارد (ASAE D497.6, 2009)، بازده کشش برابر است با:

در کشاورزی تأمین انرژی لازم برای انجام عملیات یکی از مهمترین مسائلی است که طراحان و سازندگان ادوات کشاورزی و نیز مهندسان کشاورزی با آن روبرو هستند. افزایش روزافزون قیمت سوخت‌های فسیلی و انرژی لازم و همچنین رو به اتمام رفتن این سوخت‌ها، از مسائل مهم در عملیات کشاورزی است. بنابراین صرفه‌جویی در مصرف سوخت و ارائه راهکارهایی برای این مهم و نیز استفاده از منابع دیگر انرژی همانند انرژی هسته‌ای و خورشیدی، و یا استفاده از نقشه‌های عملکرد مزرعه (کشاورزی دقیق)، می‌تواند راهکارهایی برای حل این مشکلات باشد.

یکی از ادوات خاک‌ورز که به‌طور گسترده کشاورزان استفاده می‌کنند، گاواهن قلمی^۱ است که به‌عنوان ادوات خاک‌ورز اولیه محسوب می‌شود زیرا عمدتاً برای اجرای کارهای اولیه روی خاک است. کارکرد گاواهن قلمی زمانی که خاک خشک و سخت باشد، بسیار مؤثر است (Strivastava et al., 1993).

در هر عملیات خاک‌ورزی پارامترها و عوامل زیادی وجود دارند که می‌توانند مصرف سوخت تراکتور را تحت تأثیر خود قرار دهند. نوع و ساختمان خاک، شرایط آب‌وهوایی، رطوبت خاک،

* نویسنده مسئول: Karparvr@shirazu.ac.ir

عمق کار را به صورت رابطه ۹ بیان کردند.

$$F_{cm} = 0.33D + 22.268 \quad (\text{رابطه ۹})$$

پیش‌بینی میزان دقیق مصرف سوخت لازم برای عملیات خاک‌ورزی مشکل و در عین حال امری ضروری است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مطالعه نرخ مصرف سوخت تراکتور ناشی از تغییرات پهنای عرض تیغه گاوآهن قلمی و تعیین رابطه‌ای کلی بین نسبت ظاهری و میزان مصرف سوخت بود.

مواد و روش‌ها

آزمون‌های مزرعه‌ای در قطعه شماره ۱۹ دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۶ کیلومتری جاده شیراز-اصفهان (باجگاه) اجرا شد. قبل از اجرای آزمون، زمین به زیر کشت گندم رفته بود و پس از برداشت محصول، کاه و بقایای گیاهی با دستگاه بسته‌بند جمع‌آوری و از مزرعه خارج شدند و مابقی کاه و کلش در سطح مزرعه پخش بود. نوع خاک لومی-رسی (clay-loam) و رطوبت خاک در حین آزمایش حدود ۹ درصد و نیز جرم مخصوص ظاهری خاک $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۳۵ بود. به منظور تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک توسط استوانه‌های نمونه‌گیر که قطر آن‌ها ۷۰ و ارتفاع آن‌ها ۷۰ میلی‌متر بود، از عمق‌های ۵-۰، ۱۰-۵، ۱۵-۱۰، ۲۰-۱۵، ۲۵-۲۰ سانتی‌متری نمونه‌هایی برداشته شد. سپس تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. پس از توزین نمونه‌های خشک، وزن به دست آمده بر حجم استوانه تقسیم و مقدار متوسط جرم مخصوص ظاهری از میانگین جرم مخصوص بین نمونه‌ها تعیین شد.

در این تحقیق از طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار (سه سطح سرعت ۳، ۴، و ۵ کیلومتر بر ساعت، سه سطح عمق خاک‌ورزی در حدود ۱۰، ۱۵، و ۲۰ سانتی‌متر و دو سطح عرض تیغه گاوآهن قلمی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر) و در سه تکرار انجام شد. زاویه حمله تیغه‌ها ۲۰ درجه انتخاب شد. تراکتور استفاده شده در این تحقیق تراکتور ITM-۳۹۹ بود (شکل ۱). هم‌چنین در انجام این تحقیق از وسیله خاک‌ورز اولیه گاوآهن قلمی نوع سوارشونده راتو^۱ ساخت کشور آلمان، دارای ۹ شاخه فنری (۴ شاخه جلو، ۵ شاخه عقب) که با فاصله ۲۵ سانتی‌متری از یکدیگر قرار داشتند، استفاده شد (شکل ۱). شایان ذکر است که قبل از اجرای آزمون‌ها تمامی تنظیمات و بازدهی‌های اولیه برای گاوآهن و تراکتور انجام شد.

$$E_t = (1-S) \frac{NT}{GT} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن NT کشش خالص (KN)، GT کشش ناخالص (KN) و S میزان لغزش چرخ است.

از طرفی معادله عمومی بازده کششی تراکتور طبق رابطه ۴ استفاده شد (Fakhraei and Karparvarfard, 2006).

(رابطه ۴)

$$E_t = (10)^{2.830} \left[\left(\frac{NT}{W_d} \right)^{0.496} \times \left(\frac{Clbd}{W_d} \right)^{-0.280} \times 10^{-0.720 S} \times \left[10^{-0.720 S} \times 10^{-4.841 \left(\frac{L}{d} \right)} \times 10^{9.965 \left(\frac{T.F}{W} \right)} \right]^{-1.0076} \right]$$

هم‌چنین E_m بازده مکانیکی انتقال توان که معمولاً برای تراکتورهای دارای انتقال توان چرخ‌دنده‌ای ۰/۹۶ است. P_{ab} توان مالبندی (KW) P_{PTO} (hp) توان P_{pto} (KW) توان هیدرولیکی (KW) و P_{el} (hp) توان الکتریکی (KW) است.

پارامترهای فوق طبق استاندارد (ASABE EP496.2, 2006) به صورت رابطه ۵ تعریف شده‌اند:

$$P_{db} = \frac{R_f V}{3.6} \quad (\text{رابطه ۵})$$

R_f نیروی کشش افقی ادوات (KW) و V سرعت پیش‌روی $\left(\frac{km}{hr} \right)$ است.

$$P_{pto} = a + bw + cf \quad (\text{رابطه ۶})$$

W عرض کارادوات (m)، f نرخ تغذیه مواد $\left(\frac{ton}{hr} \right)$ بر پایه تر، و a و b و c نیز پارامترهای مخصوص ماشین هستند که طبق استاندارد (ASAE D497, 2009) به دست می‌آیند.

$$P_{hyd} = \frac{P.F}{1000} \quad (\text{رابطه ۷})$$

F دبی روغن هیدرولیک $\left(\frac{L}{s} \right)$ و P فشار روغن هیدرولیک (kPa) است.

$$P_{el} = \frac{I.E}{1000} \quad (\text{رابطه ۸})$$

I جریان الکتریکی (A) و E پتانسیل الکتریکی (V) است. معادلات مذکور در محاسبه مقدار Q (رابطه ۱) استفاده شده است.

Fathollahzadeh *et al.*, (2011) به بررسی تعیین اثر تغییر عمق گاوآهن برگردان‌دار بر میانگین مصرف و مصرف لحظه‌ای سوخت تراکتور جان‌دیر مدل ۳۱۴۰ پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف لحظه‌ای سوخت هنگام افزایش عمق کار گاوآهن افزایش می‌یابد. آنان رابطه ریاضی بین مصرف سوخت و



شکل ۳- الف. چرخ پنجم استفاده شده در تحقیق و محل قرارگیری آن
۱. چرخ پنجم، ۲. شفت انکودر، و ۳. شاسی و اتصالات چرخ پنجم



شکل ۳- ب. چرخ محرک عقب و شفت انکودر متصل به آن:
۱. شفت انکودر، ۲. شاسی و اتصالات، و ۳. چرخ محرک عقب

بنابراین میزان لغزش چرخ محرک از تفاضل مقادیر داده‌های اخذ شده از شفت انکودرهای مستقر بر چرخ پنجم و چرخ محرک عقب از طریق سامانه داده‌برداری^۱، به صورت خودکار محاسبه شد. شایان ذکر است که مقادیر میزان فشار باد تایر (۱/۱ bar) و خوابیدگی تایر (۵ cm) به صورت داده‌های معلوم اولیه برای سامانه مورد نظر تعریف شده بود.

برای اندازه‌گیری نیروی کشش گاواهن قلمی از روش مرسوم تست دو تراکتوری (روش RNAM^۲) استفاده شد (Fakhraei and Karparvarfard, 2006). هم‌چنین مقادیر داده‌های حاصل از میزان دبی سوخت در مسیر رفت و برگشت سوخت و میزان نیروی کشش به صورت فایل‌های Excel در رایانه قابل حمل ذخیره می‌شد. نرخ داده‌برداری در این تحقیق ۱۰۰ میلی‌ثانیه بود. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری‌های بالا برای هر یک از دو تیغه با پهنای ۵ و ۱۰ سانتی متر، در عمق‌های خاک‌ورزی در حدود ۱۰، ۱۵، و ۲۰ سانتی متر، سرعت‌های پیش‌روی ۳، ۴، و ۵ کیلومتر بر ساعت و در سه تکرار انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تغییرات عرض تیغه گاواهن قلمی، عمق شخم، و سرعت پیش‌روی تراکتور به احتمال ۹۹ درصد اثر معنی‌داری بر نیروی کششی و میزان مصرف سوخت دارد (جدول ۱).

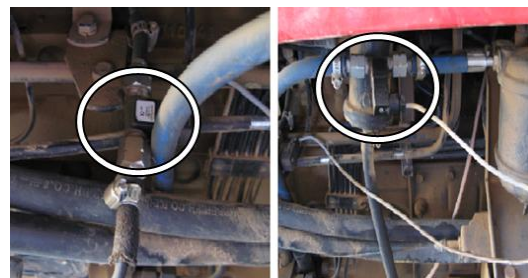


شکل ۱- الف. تراکتور و خاک‌ورز استفاده شده در تحقیق



شکل ۱- ب. تیغه‌های استفاده شده در تحقیق تیغه سمت راست تیغه ۵ سانتی‌متری و تیغه سمت چپ تیغه ۱۰ سانتی‌متری

برای اندازه‌گیری مصرف سوخت، از دو دبی‌سنج توربینی مدل VISION-1000 ساخت شرکت Remag کشور کره جنوبی استفاده شد. به دلیل اینکه در موتورهای دیزلی سوخت مازاد از پمپ انژکتور به باک برمی‌گردد، علاوه بر حسگری که در مسیر سوخت به پمپ انژکتور قرار داده شده بود، یک دبی‌سنج دیگر نیز در مسیر برگشت سوخت قرار گرفت و میزان دبی مصرفی موتور از طریق تفاضل جریان عبوری از دو حسگر محاسبه شد (Alimardani, 1987؛ Fathollahzadeh et al., 2011) (شکل ۲).



شکل ۲. محل قرارگیری حسگر دبی‌سنج توربینی در مسیر رفت سوخت به پمپ انژکتور (سمت راست) و در مسیر برگشت سوخت مازاد از انژکتورها به باک سوخت (سمت چپ).

برای اندازه‌گیری سرعت پیش‌روی تراکتور و میزان لغزش چرخ محرک عقب از دو شفت انکودر مدل E50S8-500-3-T-1 ساخت کارخانه Autonics کشور کره جنوبی استفاده شد. اولین شفت انکودر روی چرخ پنجم و دومین شفت انکودر به کمک شاسی مناسبی روی چرخ عقب محرک تراکتور نصب شد (شکل ۳- الف و ب).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تأثیرات اصلی و متقابل عرض تیغه گاوآهن قلمی، عمق شخم، و سرعت پیش‌روی تراکتور بر نیروی کششی و مصرف سوخت

مصرف سوخت		نیروی کشش		df	منابع تغییرات
F	MS	F	MS		
۰/۶۸۸ ^{ns}	۰/۱۷۷۵	۰/۶۲ ^{ns}	۰/۲	۲	تکرار (R)
۱۴۶/۹۷ ^{**}	۳۷/۹۲	۲۱۹/۵ ^{**}	۷۰/۹	۱۷	تیمار (T)
۴۴۱/۳۲ ^{**}	۱۱۳/۸۶	۳۳۱/۷ ^{**}	۱۰۷/۱۴	۱	اثر اصلی عرض تیغه (W)
۹۱۹/۴ ^{**}	۲۳۷/۲۰۵	۱۴۰۲/۹۵ ^{**}	۴۵۳/۴۷۵	۲	اثر اصلی عمق شخم (D)
۹۴/۰۳ ^{**}	۲۴/۲۵۹	۳۷/۰۳ ^{**}	۱۱/۹۶	۲	اثر اصلی سرعت پیش‌روی (V)
۶/۲۶ ^{**}	۱/۶۱۵	۲۴۳/۴۴ ^{**}	۷۸/۶۳	۲	اثر متقابل WD
۲/۰۵۴ ^{ns}	۰/۵۳	۰/۷۹ ^{ns}	۰/۲۵۶	۲	اثر متقابل WV
۱/۳۹۵ ^{ns}	۰/۳۶	۶/۲۸ ^{**}	۲/۰۳	۴	اثر متقابل DV
۲/۰۴ ^{ns}	۰/۵۲۶	۱/۰۵ ^{ns}	۰/۳۴	۴	اثر متقابل WDV
	۰/۲۵۸		۰/۳۲۳	۳۴	خطای آزمایش
				۵۳	کل

** : وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد. ns: نبود اختلاف معنی‌دار

تعیین معادله میزان سوخت مصرفی تراکتور ناشی از تغییرات نسبت ظاهری تیغه گاوآهن قلمی

با توجه به اینکه نسبت ظاهری تیغه گاوآهن قلمی بر نیروی کشش افقی و میزان مصرف سوخت تراکتور تأثیر معنی‌داری دارد، بنابراین برای به‌دست‌آوردن معادله کلی بین میزان مصرف سوخت تراکتور و نسبت ظاهری ($\frac{D}{W}$) تیغه گاوآهن قلمی، ابتدا رابطه بین نسبت ظاهری تیغه و نیروی کشش افقی لازم گاوآهن قلمی و سپس رابطه بین نیروی کشش و میزان مصرف سوخت تراکتور تعیین شد. در پایان با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱ معادله کلی برای پیش‌بینی میزان سوخت مصرفی و نسبت ظاهری تیغه گاوآهن قلمی به‌دست آمد.

نیروی کشش افقی تابعی از عمق کار (D)، سرعت پیش‌روی (V)، پهناى تیغه (W)، زاویه حمله (α)، وزن مخصوص خاک (ρ) و (g) شتاب ثقل است. بنابراین مدل پیشنهادی بر پایه تحلیل ابعادی به‌صورت زیر ارائه شد

$$\frac{R_f}{\rho g W^3} = F\left(\frac{D}{W}, \frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}, \alpha\right) \quad (\text{رابطه } 10)$$

برای ارائه رابطه خطی میان گروه بی‌بعد $\left(\frac{R_f}{\rho g W^3}\right)$ و

گروه‌های بی‌بعد $\left(\frac{D}{W}, \frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}, \alpha\right)$ می‌بایستی رابطه ۱۰ را به‌صورت رابطه ۱۱ بازنویسی کرد (Hosseini and Karparvarfar, 2011).

(رابطه ۱۱)

$$\log\left(\frac{R}{\rho g W^3}\right) = \log F_1\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) + \log F_2(\alpha) + \log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$$

مقادیر توابع F_1 و F_2 برای تیغه ۵ سانتی‌متر به مطابق رابطه ۱۲ و ۱۳ است:

$$F_1\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) = \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)^{0.206} \quad (\text{رابطه } 12)$$

$$F_2(\alpha) = 10^{0.01\alpha} \quad (\text{رابطه } 13)$$

و برای تیغه ۱۰ سانتی‌متر عبارت‌اند از:

$$F_1\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) = \left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)^{0.114} \quad (\text{رابطه } 14)$$

$$F_2(\alpha) = 10^{0.006\alpha} \quad (\text{رابطه } 15)$$

بنابراین برای تعیین رابطه $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ ، رابطه ۱۱

دوباره نویسی شد.

(رابطه ۱۶)

$$\left[\log\left(\frac{R_f}{\rho g W^3}\right) - \log F_1\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) - \log F_2(\alpha) \right] = \log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$$

میانگین تمامی مقادیر $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ به‌دست‌آمده از ۱۸

تیمار به‌صورت مجزا در تکرارهای گوناگون در مقابل نسبت

ظاهری تیغه $\left(\frac{D}{W}\right)$ مشخص شده است و با ترسیم بهترین خط

انطباق (برازش) بین این نقاط، معادله $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ در برابر

$$\frac{F.C}{Q} = 0.062 \left(\frac{D}{W}\right) + 0.59 \quad (\text{رابطه } ۲۰)$$

$$\frac{F.C}{Q} = 0.065 \left(\frac{D}{W}\right) + 0.59 \quad (\text{رابطه } ۲۱)$$

با توجه به معادلات ۱۹، ۲۰، ۲۱ و معادله ۲۲ که ناشی از میانگین‌گیری از مقادیر عرض از مبدأ و شیب روابط مذکور است، به‌دست آمد:

$$\frac{F.C}{Q} = 0.065 \left(\frac{D}{W}\right) + 0.58 \quad (\text{رابطه } ۲۲)$$

محدوده به‌کارگیری معادله عمومی مصرف سوخت

با توجه به شرایط اجرای آزمون، می‌بایستی در تحت شرایط جدول ۲ از معادله ارائه‌شده، استفاده گردد (جدول ۲).

جدول ۲. محدوده تغییرات گروه‌های بی‌بعد

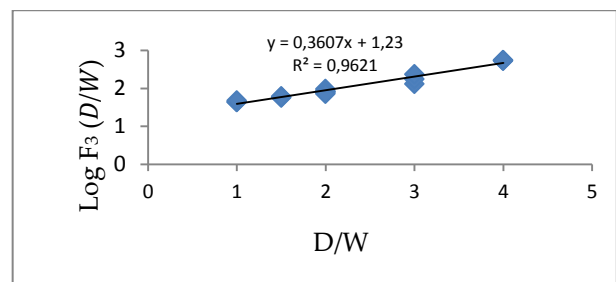
گروه‌های بی‌بعد	محدوده تغییرات
$\frac{F.C}{Q}$	$0.6 \leq \frac{F.C}{Q} \leq 0.885$
$\frac{D}{W}$	$1 \leq \frac{D}{W} \leq 4$
$\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}}$	$0.8341 \leq \frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \leq 1.9831$

با توجه به رابطه ۲۰ مشاهده می‌شود که با داشتن و یا فرض کردن مقادیر نسبت ظاهری $\left(\frac{D}{W}\right)$ و با توجه به قابل‌محاسبه‌بودن مقدار مصرف سوخت (Q)، قادر به پیش‌بینی میزان مصرف سوخت تراکتور برای تأمین کشش گاوآهن قلمی با تیغه‌های ۵ یا ۱۰ سانتی‌متر خواهیم بود. همچنین چنانچه الگوی مصرف سوخت خاصی مد نظر باشد، می‌توان بهینه‌ترین نسبت ظاهری را برای تأمین آن الگو پیشنهاد داد.

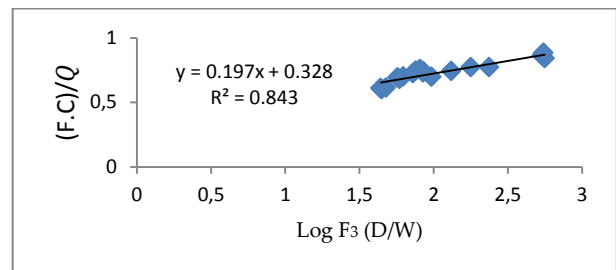
تحلیل آماری دقت معادله تخمین‌زده‌شده

برای تعیین میزان صحت و اعتبار مقادیر تخمین میزان مصرف سوخت تراکتور توسط مدل به‌دست‌آمده، از ۲۰ درصد داده‌هایی که برای همین منظور کنار گذاشته شده بود، استفاده گردید. رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده مصرف سوخت حاصل از مدل حاضر نسبت به خط ۱:۱ در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد شیب نمودار حاصل نسبت به خط ۱:۱ اختلاف معنی‌دار ندارد. نتایج آماری به‌دست‌آمده از آزمون F در سطح احتمال ۵ درصد (جدول ۲) نیز نشان‌دهنده همین معنا است.

$\left(\frac{D}{W}\right)$ به‌دست آمد (شکل ۴). هم‌چنین با ترسیم نمودار مصرف سوخت $\left(\frac{F.C}{Q}\right)$ در مقابل $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ ، مقادیر نسبت متناظر با مقادیر $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ به‌دست‌آمده از مراحل قبل در هر تکرار، معادله دیگری بین مصرف سوخت $\left(\frac{F.C}{Q}\right)$ در مقابل $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ به‌دست آمد (شکل ۵). در نهایت با داشتن معادله کلی بین $\log F\left(\frac{D}{W}\right)$ در مقابل نسبت ظاهری $\left(\frac{D}{W}\right)$ ، و نیز معادله کلی بین $\log F\left(\frac{D}{W}\right)$ در مقابل مصرف سوخت $\left(\frac{F.C}{Q}\right)$ ، معادله‌ای کلی بین نسبت ظاهری $\left(\frac{D}{W}\right)$ و مصرف سوخت $\left(\frac{F.C}{Q}\right)$ که هدف این تحقیق بود، به‌دست آمد.



شکل ۴. نمودار $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ در مقابل نسبت ظاهری $\left(\frac{D}{W}\right)$ در تکرار اول



شکل ۵. نمودار مصرف سوخت $\left(\frac{F.C}{Q}\right)$ در مقابل $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ در تکرار اول

با توجه به توضیحات قبل، رابطه بین نسبت ظاهری $\left(\frac{D}{W}\right)$ در مقابل $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ و نیز $\frac{F.C}{Q}$ در مقابل $\log F_3\left(\frac{D}{W}\right)$ در تکرار اول به‌عنوان نمونه به‌صورت معادلات ۱۷ و ۱۸ ارائه شده است:

$$\log F\left(\frac{D}{W}\right) = 0.3607 \left(\frac{D}{W}\right) + 1.23 \quad (\text{رابطه } ۱۷)$$

$$\frac{F.C}{Q} = 0.1975 \log F\left(\frac{D}{W}\right) + 0.3286 \quad (\text{رابطه } ۱۸)$$

با ترکیب روابط ۱۷ و ۱۸ رابطه ۱۹ برای تکرار اول به‌دست آمد:

$$(\text{رابطه } ۱۹)$$

$$\frac{F.C}{Q} = 0.071 \left(\frac{D}{W}\right) + 0.57$$

به همین ترتیب

برای تکرارهای دوم و سوم نیز روابط ۲۰ و ۲۱ به‌دست آمد:

اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از شاخص‌های آماری در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان از صحت و دقت بالای مدل پیش‌بینی‌کننده دارد (Willmott, 1981).

جدول ۴. نتایج حاصل از شاخص‌های آماری حاصل از مدل.

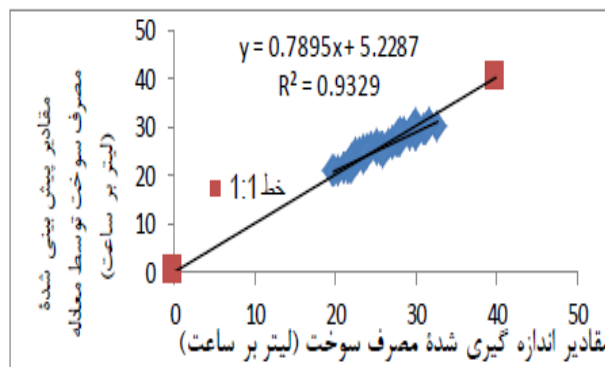
MBE	NRMSE
-۰/۲۶	۰/۰۴

نتیجه‌گیری کلی

در جدول ۵ مقایسه بین مقادیر واقعی مصرف سوخت، مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله و مقادیر مصرف سوخت طبق استاندارد ASABE نشان داده شده است. با مقایسه مقادیر واقعی مصرف سوخت و پیش‌بینی شده توسط معادله، مشاهده شد که بیشینه میزان خطا (که حاصل قدر مطلق فاصله مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط معادله است) در معادله ارائه شده ۲/۵۹۷ و کمینه آن ۰/۰۲۵ و میانگین خطا ۸۳۹/۸ است. همچنین درصد اختلاف داده‌های واقعی از داده‌های پیش‌بینی شده از معادله به‌طور میانگین ۳/۱۴۶ درصد بود که نشان از صحت و دقت بالای معادله ارائه شده دارد. باید توجه داشت که چنانچه مقادیر مربوط به مصرف سوخت حاصل از معادله استاندارد (Q) با مقادیر واقعی $(F.C)_m$ مقایسه شوند، به‌طور متوسط اختلافی ۳۷/۸۵ درصدی را نشان می‌دهند. این اختلاف ناشی از شرایط خاص استفاده از معادله استاندارد است که در استاندارد (ASBAE, 2009) نیز پیش‌بینی شده است.

جدول ۵. مقایسه بین مقادیر مصرف سوخت در روش‌های گوناگون برحسب لیتر بر ساعت.

مقدار مصرف سوخت اندازه‌گیری شده $(F.C)_m$	مقدار مصرف سوخت پیش‌بینی شده توسط معادله (Q)	مقدار مصرف سوخت استاندارد ASABE*
۲۳/۱۰	۲۴/۵۵	۳۸/۰۶
۲۳/۵۲	۲۴/۵۵	۳۸/۰۶
۲۲/۶۸	۲۴/۴۴	۳۷/۹۰
۲۳/۵۲	۲۵/۱۵	۳۸/۹۹
۲۴	۲۵/۱۵	۳۸/۹۹
۲۴/۱۲	۲۵	۳۸/۷۷
۲۴/۴۸	۲۵/۷۵	۳۹/۹۳
۲۵/۶۱	۲۵/۶۵	۳۹/۷۷
۲۶/۰۷	۲۵/۶۵	۳۹/۷۷
۲۶/۷۶	۲۶/۲۰	۳۸/۶۸
۲۵/۳۲	۲۶/۰۴	۳۸/۴۷
۲۷/۲۷	۲۶	۳۸/۳۷
۲۸/۰۸	۲۷/۰۵	۳۹/۹۳
۲۷/۶۲	۲۷/۳۲	۴۰/۳۳



شکل ۶. رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط معادله مصرف سوخت تراکتور

جدول ۳. نتایج آزمون F برای مقایسه خط برازش بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده مصرف سوخت تراکتور با خط ۱:۱ در سطح احتمال ۵ درصد.

F-Test	
مصرف سوخت پیش‌بینی شده	مصرف سوخت اندازه‌گیری شده
mean	۲۶/۱
variance	۱۲/۳۴
observations	۵۴
df	۵۳
f	۱/۴۹ ^{n.s}

n.s: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

به‌منظور بررسی دقت معادله پیش‌بینی مصرف سوخت تراکتور، از دو شاخص آماری مهم یعنی ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده^۱ و میانگین خطای سوگیری^۲ با استفاده از روابط ۲۳ و ۲۴ به‌دست آمدند.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (PF - OF)^2}}{\overline{OF}} \quad (\text{رابطه } 23)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (PF - OF) \quad (\text{رابطه } 24)$$

در معادلات ۲۳ و ۲۴، OF و PF، به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده مصرف سوخت تراکتور هستند. هرچه مقادیر عددی حاصل از شاخص‌های آماری ذکر شده نزدیک به صفر باشند، بیانگر دقت بالای مدل در پیش‌بینی مقادیر حاصل خواهد بود. همچنین مقادیر عددی MBE نشان‌دهنده میانگین

^۱ Normalized Root Mean Square Error

^۲ Mean Bias Error

مقدار مصرف سوخت	مقدار مصرف سوخت	مقدار مصرف سوخت اندازه گیری شده
(Q) توسط معادله استاندارد ASABE**	پیش بینی شده توسط معادله ارائه شده (F.C) _p *	(F.C) _m
۲۹/۸۵	۲۳/۱۳	۲۲/۱۴
۲۹/۹۲	۲۳/۱۹	۲۲/۹۳
۲۹/۸۴	۲۳/۱۳	۲۳/۵۸
۳۰/۷۱	۲۳/۸	۲۳/۷۰
۳۱/۱۸	۲۴/۱۶	۲۳/۹۰
۳۱/۱۸	۲۴/۱۶	۲۳/۹۴
۳۲/۶۶	۲۵/۳۱	۲۵/۲۰
۳۲/۶۰	۲۵/۲۵	۲۵/۶۰
۳۱/۸۰	۲۴/۶۵	۲۵/۹۰
۳۱/۸۸	۲۶/۷۸	۲۷/۵۴
۳۱/۹۳	۲۶/۸۲	۲۷/۲۰
۳۲/۱۲	۲۶/۹۸	۲۷/۸۰
۳۳/۶۸	۲۸/۲۹	۲۸/۳۶
۳۳/۷۳	۲۸/۳۳	۲۷/۹۶
۳۲/۹۲	۲۸/۴۹	۲۸/۱۴
۳۵/۷۰	۳۰	۳۱/۵۹
۳۶/۲۰	۳۰/۴۱	۳۰
۳۵/۴۶	۲۹/۷۹	۲۹/۹۰

مقدار مصرف سوخت	مقدار مصرف سوخت	مقدار مصرف سوخت اندازه گیری شده
(Q) توسط معادله استاندارد ASABE**	پیش بینی شده توسط معادله ارائه شده (F.C) _p *	(F.C) _m
۳۹/۷۷	۲۶/۹۴	۲۷/۷۷
۴۱/۱۵	۲۷/۸۸	۲۸/۰۲
۴۱/۱۸	۲۷/۹۰	۲۸/۲۶
۴۱/۲۷	۲۸/۶۴	۲۸/۶۶
۳۹/۳۰	۲۷/۹۰	۲۹/۲۸
۳۹/۴۶	۲۸/۰۲	۳۰/۱۰
۳۹/۳۰	۲۷/۹۰	۳۰
۴۱	۲۹/۱۱	۳۱/۰۸
۴۱/۱۸	۲۹/۲۴	۳۱/۱۹
۴۱	۲۹/۱۱	۳۱/۲۵
۴۲/۷۴	۳۰/۳۴	۳۱/۷۷
۴۲/۳۴	۳۰/۱۳	۳۲/۷۳
۴۲/۵۹	۳۰/۲۴	۳۱/۷۹
۲۹/۴۶	۲۰/۹۲	۲۰/۵۴
۲۹/۴۶	۲۰/۹۲	۱۹/۸۰
۲۹/۴۶	۲۰/۹۲	۲۰
۲۹/۷۷	۲۱/۱۴	۲۱/۷۲
۲۹/۹۰	۲۱/۲۳	۲۱/۱۶
۲۹/۸۸	۲۱/۲۱	۲۱/۱۸
۳۰/۲۵	۲۱/۴۷	۲۱/۹۶
۳۰/۲۵	۲۱/۴۷	۲۱/۶۶
۳۰/۲۵	۲۱/۴۷	۲۲/۱۴

$$Q = (0.22X + 0.096) \times 71 \text{ : **}$$

$$(F.C)_p = Q (0.065 (\frac{D}{W}) + 0.58) \text{ : *}$$

نمادها

توان هیدرولیکی (kW)	P_{hyd}	b عرض چرخ (m)
توان چرخشی (kW)	P_{pto}	d قطر چرخ (m)
توان معادل محور توان دهی (kW)	P_t	CI شاخص مخروطی خاک (kPa)
مصرف سوخت استاندارد ASABE ($\frac{L}{hr}$)	Q	D عمق کار (m)
شعاع غلتشی چرخ محرک (m)	r	E_m بازده مکانیکی انتقال توان (درصد)
نیروی کشش خالص افقی (kN)	R_f	E_t بازده کشش (درصد)
لغزش (درصد)	s	F تابع
نیروی مقاومت غلتشی (kN)	T.F.	(F.C) _M مصرف سوخت اندازه گیری شده ($\frac{L}{hr}$)
سرعت پیش روی ($\frac{m}{s}$)	V	(F.C) _P مصرف سوخت پیش بینی شده ($\frac{L}{hr}$)
پهنای تیغه (m)	W	g شتاب گرانش ($\frac{m}{s^2}$)
نسبت توان معادل به توان محور توان دهی	X	GT نیروی کشش ناخالص (kN)
وزن مخصوص خاک ($\frac{g}{cm^3}$)	ρ	NT نیروی کشش خالص (kN)
زاویه حمله	α	P_{db} توان مالبندی (kW)
		P_{el} توان الکتریکی (kW)

REFERENCES

- Alimardani, R. (1987). A computer based instrumentation system for measuring tractor field performance. PhD Thesis. Iowa State University, Ames, Iowa.
- ASABE. (2006). ASABE Standards: Agricultural Machinery Management Data. ASAE EP496.3 FEB 2006. St. Joseph, Mich.: ASABE. <http://asae.frymulti.com/standards.asp> (accessed Dec. 29, 2009).
- ASABE. (2009). ASABE Standards: Agricultural Machinery Management Data. ASAE D497.6 JUN 2009. St. Joseph, Mich.: ASABE. <http://asae.frymulti.com/standards.asp> (accessed Dec. 29, 2009).
- Fakhraei, O., & Karparvarfard, S. H. (2006). Development of a general equation for estimation of tractive efficiency by dimensional analysis. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 38(3), 447-457 (In Farsi with English abstract).
- Fathollahzadeh, H., Mobli, H., Jafari, A., Mahdavinejad, D. & Tabatabaie S. M. H. (2011). Design and calibration of a fuel consumption measurement system for a diesel tractor. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal*. Manuscript No.1408. Volume 13, Issue 2. June, 2011.
- Grisso, R. D., Vaughan, D. H. & Roberson, G. T. (2006). Method for Fuel Prediction for Specific Tractor Models. ASABE Meeting Presentation Paper No. 061089, St. Joseph, MI: ASBAE.
- Hosseini, S. A., & Karparvarfard, S. H. (2011). Prediction of acting forces on chisel plow tine by dimensional analysis method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 43(1), 93e103 (in Farsi with English abstract).
- Nielsen, V. & Sørensen, C. G. (1993). Technical Farm Management a Program for Calculation of Work Requirement, Work Capacity, Work Budget, Work Profile (in Danish with English summary). Danish Institute of Agricultural Engineering: Report No. 53, 124 p.
- RNAM, (1983). Test Codes and procedures for Farm machinery Test Codes and Procedure for Ploughs. Regional Network for Agricultural Machines, Technical Series No. 12, Philippines.
- Srivastava, A. K., Goering, C. E. & Rohrbach, R. P. (1993). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. ASAE Textbook, pp: 149-219.
- Willmott, C. J. (1981). On the validation of models. *Physical Geography*, 2, 184-194.