

انتخاب سرعت پیشروی و عمق شخم مناسب بر اساس شاخص‌های مصرف انرژی ادوات خاک‌ورز اولیه با روش تاپسیس

کوروش اندکائی زاده، محمد اسماعیل خراسانی فردوانی*، محمد جواد شیخ داودی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۳

گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

*مسئول مکاتبه: e.khorasani@scu.ac.ir

چکیده

خاک‌ورزی از جمله عملیات مهم در کشاورزی است که تعیین شرایط کاری مناسب برای انجام این عملیات امری ضروری است. طبق نتایج تحقیق محققان، خاک‌ورزی همواره با مصرف زیاد انرژی همراه است به همین دلیل انتخاب سرعت پیشروی و عمق شخم مناسب ادوات خاک‌ورزی به لحاظ مصرف انرژی بهینه ضرورت پیدا می‌کند. در این تحقیق با استفاده از روش مدیریتی تاپسیس (TOPSIS) سرعت پیشروی و عمق شخم مناسب با توجه به پارامترهای مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش در قالب طرح اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصافی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه نوع دستگاه خاک‌ورز اولیه (گاواهن برگرداندار، گاواهن بشقابی و گاواهن چیزل) در ۳ سرعت پیشروی مختلف (۳، ۴/۵، ۶ کیلومتر بر ساعت) و عمق‌های مختلف (۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر) انتخاب شد. آزمایشات در خاک رسی لومی و میزان رطوبت ۷ درصد انجام شد. پارامترهای مصرف انرژی شامل توان مالبندی (kW)، مصرف سوخت ($l \cdot ha^{-1}$)، بازده کششی (%) و بازده بهره‌وری انرژی (OEE) (%)، ظرفیت مکانیزاسیون ($kWh \cdot ha^{-1}$) و کشش ویژه ($kN \cdot m^{-1}$) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که گاواهن برگردان‌دار و گاواهن بشقابی در سرعت ۴/۵ کیلومتر بر ساعت و عمق ۲۵ سانتی‌متر و گاواهن چیزل در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت و عمق ۱۵ سانتی‌متر از لحاظ مصرف انرژی در شرایط مناسبی قرار داشتند. از نظر پارامتر مصرف انرژی، در بیشتر سرعت‌ها و عمق‌های مختلف کاری، گاواهن چیزل بدلیل بالا بودن ضریب ترکیبی در روش تحلیل تاپسیس دارای مزیت نسبی نسبت به گاواهن بشقابی و گاواهن برگردان‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: ادوات خاک‌ورزی، انرژی، سیستم، TOPSIS

Selection of Appropriate Forward Speed and Tillage Depth Based on the Energy Consumption Factors of Primary Tillage Tools using TOPSIS Method

Korosh Andekaeizadeh, Mohamad Esmail Khorasani Ferdavani*, Mohammad Javad Sheykhdavoodi

Received: 10 Oct 2022 Accepted: 14 Dec 2022

Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract

Tillage is one of the most important field operations in agriculture. For this operation, it is essential to determine suitable working conditions. According to the results of researches on tillage, this operation is always associated with high energy consumption. For this reason, it is necessary to choose the appropriate forward speed and plowing depth of tillage tools in terms of optimal energy consumption. In this research, by using the management method TOPSIS, the appropriate speed-advancement and plowing depth have been investigated according to the parameters of energy consumption. In this research, three types of primary tillage machines (Moldboard plow, disc plow and chisel plow) at 3 different forward speeds (3, 4.5, 6 km/h) and different depths (15, 20 and 25 cm) was selected and performed in loamy clay soil with a moisture content of 7%. The parameters of energy consumption include drawbar power (kW), fuel consumption ($l \cdot ha^{-1}$), traction efficiency (%) and energy efficiency (OEE) (%), mechanization capacity ($kWh \cdot ha^{-1}$) and specific traction ($kN \cdot m^{-1}$) was measured. The results showed that for the moldboard plow and disc plow 4.5 km/h forward speed and 25 cm depth and for the chisel plow, 6 km/h forward speed and 15 cm depth were the best conditions in terms of energy consumption. In most of different working speeds and depths, chisel plow was advantageous in terms of energy consumption, compared to disc plow and Moldboard plow, according to TOPSIS analyses.

Keywords: Tillage implements, Energy, System, TOPS

How to cite:

Andekaeizadeh, K., Khorasani Ferdavani, M. E., Sheykhdavoodi, M. J. 2022. *Selection of Appropriate Forward Speed and Tillage Depth Based on the Energy Consumption Factors of Primary Tillage Tools using TOPSIS Method*. Journal of Agricultural Mechanization 7 (2): 31-38.

۱- مقدمه

آماده سازی مزرعه یکی از مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین عملیات در تولید محصولات زراعی است (Usaborisut and Prasertkan, 2019). کیفیت خاک پس از خاک ورزی عمدتاً تحت تأثیر شرایط خاک، نوع خاک و پارامترهای عملیات خاک‌ورزی از جمله ادوات، سرعت پیشروی، عمق و ابزار است (Bogel et al., 2016). خاک ورزی با هدف ایجاد محیطی مناسب برای جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، کنترل علف‌های هرز، نرم کردن و تثبیت خاک انجام می‌شود (Namdari et al., 2011). کشتش خاص یکی از مهمترین نیروهای است که برای اندازه‌گیری انرژی لازم ادوات خاک‌ورزی استفاده می‌شود (Kim et al., 2022). عوامل خاک مانند اندازه کلوخه و توزیع کلوخه تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی هستند. عملیات خاک‌ورزی باید تا حد امکان خاک را شل کند تا کاشت به راحتی انجام شود ولی مهمترین هدف بکارگیری سیستم‌های خاک‌ورزی بهبود کیفیت خاک و کاهش خطر خشکی و آب ماندگی است (Soane et al., 2012). عملیات خاک‌ورزی بخاطر درگیری ادوات با خاک همواره با مصرف زیاد انرژی روبه‌رو است (Andekaeizadeh et al., 2015) به همین دلیل باید همواره به دنبال راهکارهایی جهت بهینه کردن مصرف انرژی در عملیات خاک ورزی بود. با تغییر نوع و نحوه کار ادوات، میزان مصرف سوخت تغییر می‌کند (Sakar et al., 2022). از دیگر شاخص‌ها می‌توان به نیروی کشش، توان مالبندی و میزان لغزش در چرخ‌های تراکتور اشاره کرد. هدف از انجام این تحقیق ارائه روش مدیریتی TOPSIS برای انتخاب شرایط کاری مناسب ادوات خاک‌ورزی است که با توجه به معیارهای اندازه‌گیری شده از ادوات مورد بررسی، بیان می‌کند کدامیک عملکرد بهتری داشته است.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در دانشگاه شهید چمران اهواز در مزارع دانشکده کشاورزی انجام شد. در این پژوهش سه نوع وسیله خاک‌ورزی اولیه شامل گاواهن برگرداندار (سه خیش با عرض کار ۱/۴ متر)، گاواهن بشقابی (سه بشقابی با عرض کار ۱/۸ متر) و گاواهن چیزل (شاخه‌های C شکل و ۹ شاخه با عرض کار ۲/۲۵ متر) در سرعت‌های پیشروی ۳، ۴/۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت و در عمق‌های مختلف ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متر در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت. براساس این شاخص‌ها دو شاخص مهم بازده کلی انرژی و بازده کشتی تراکتور قابل محاسبه هستند (Sarkar et al., 2022). بازده کشتی (TE) یکی از شاخص‌های مهم در مصرف انرژی تراکتور است که نشان می‌دهد چه مقدار از توان ورودی به چرخ به توان مالبندی تبدیل شده است. این شاخص از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$TE = \frac{P_{db}}{P_{axle}} \quad (1)$$

P_{db} توان مالبندی و P_{axle} توان ورودی به چرخ است.

بازده کلی انرژی (OEE) شامل تطبیق بار روی تراکتور و ادوات متصل به آن و عملکرد موتور در هنگام کار است که ارزش استفاده از کشتش ادوات را نشان می‌دهد و برحسب در صد بیان می‌شود. این شاخص از رابطه (۲) به دست می‌آید (Kheiralla et al., 2004).

$$OEE = \frac{P_{db}}{HV \times FC \times C_e} \quad (2)$$

در این رابطه HV ارزش حرارتی سوخت برحسب $(MJ.L^{-1})$ ، FC مصرف سوخت برحسب $(l.ha^{-1})$ ، C_e ظرفیت مزرعه ای برحسب $(ha.h^{-1})$ و توان مالبندی بر حسب $(MJ.h^{-1})$ است.

ظرفیت مکانیزاسیون (CM) یکی از شاخص‌های مهم در انتخاب ادوات کشاورزی است که بیان می‌کند به ازای یک هکتار عملیات چند کیلووات ساعت انرژی مصرف شده است و از رابطه (۳) بدست می‌آید (Almasi et al., 2006).

$$CM = \frac{P_{db}}{C_e} \quad (3)$$

در این رابطه C_e ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر بر حسب $(ha.h^{-1})$ و P_{db} توان مالبندی بر حسب (kW) است.

روش تاپسیس (TOPSIS^۱) یک روش مدیریتی است که قدرت تصمیم‌سازی^۲ را برای یک مدیر فراهم می‌کند (De Lima Silva et al., 2022). این روش تصمیم‌سازی تکنیکی قوی برای اولویت بندی گزینه‌ها از طریق شبیه نمودن به جواب ایده‌آل است (Yang et al., 2022). روش تحلیل تاپسیس شامل دوگام اساسی است که عبارتند از: (۱) بدون بعد کردن همه پارامترها جهت مقایسه و جمع کردن ارزش همه پارامترها (De Lima Silva et al., 2022). (۲) پیش‌بینی پارامترها براساس ارزش شاخص‌ها بصورت جهت‌دار است. میانگین هر تکرار به عنوان شاخص مهم جهت ارزیابی در روش تحلیل تاپسیس مورد استفاده قرار گرفت و شاخص‌های مصرف انرژی شامل توان مالبندی (kW) مصرف سوخت $(l.ha^{-1})$ ، بازده کشتی (%) و بازده کلی انرژی (OEE) (%). ظرفیت مکانیزاسیون $(kWh.ha^{-1})$ و کشتش ویژه $(kN.m^{-1})$ اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق جهت اندازه‌گیری مصرف سوخت، دستگاه سنجش سوخت در یک مسیر انحرافی از جریان سوخت قرار گرفت به نحوی که می‌توانست مقدار سوخت مصرفی را کنترل و اندازه‌گیری نماید. این دستگاه شامل یک مخزن کوچک بود که در زمان تست، موتور از این مخزن کوچک تغذیه می‌گردید. در این دستگاه یک مخزن شیشه‌ای کوچک حبایی شکل با حجم ثابت ۱۰۰ سی‌سی تعبیه شد که سوخت کنترل شده وارد آن شده با ثبت زمان مصرف، مصرف سوخت محاسبه شد. در شکل (۱) نحوه اتصال سیستم اندازه‌گیری سوخت نشان داده شده است. دستگاه سوخت سنج و همینطور مخزن کوچک آن روی گلگیر سمت راست تراکتور قرار گرفت. تا به راحتی قابل دسترس باشد.

³ Decision making

⁴ OEE (Overall energy efficiency)

¹ Capacity Mechanization

² Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution



شکل ۳- سمت چپ حسگر فراصوت و سمت راست مدار الکترونیکی
Fig 3. The left side of the ultrasonic sensor and the right side of the electronic kit



شکل ۴- سمت راست حسگر مجاورتی و سمت چپ چرخ پنجم
Fig 4. The right side of the proxy sensor and the left side of the fifth wheel

گام اول : برای مقایسه، تمام پارامترها را به کل تقسیم می‌کنیم تا بدون بعد شوند (به این دلیل که پارامترهای مورد اندازه‌گیری دارای واحدهای متفاوتی هستند به همین دلیل برای مقایسه مناسب عمل بدون بعد کردن پارامترها انجام می‌شود). طبق رابطه (۵) ماتریس r_{ij} را تشکیل می‌دهیم (Shakouri *et al.*, 2014). در این پژوهش پارامترهای مصرف سوخت و ظرفیت مکانیزاسیون به عنوان شاخص‌های منفی در نظر گرفته شدند.

شاخص‌ها بصورت C1, C2, C3, C4, C5, C6 و C7 تقسیم‌بندی شد و یک ماتریس تشکیل داده که هر درایه آن r_{ij} نامیده شد. این ماتریس ۳ در ۷ شامل ۳ ردیف نشان دهنده ادوات (A, B و C) و ۷ ستون نشان دهنده شاخص‌ها است. ۱- تشکیل ماتریس داده‌ها بر اساس m گزینه و n شاخص

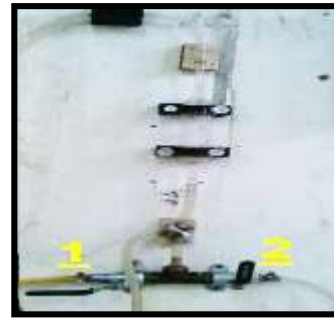
$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

شکل ۵- تشکیل ماتریس A_{ij}
Fig 5. Matrix formation A_{ij}

استاندارد نمودن داده‌ها و تشکیل ماتریس استاندارد از طریق رابطه (۵) محاسبه شد.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (۵)$$

۳- تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها W_i بر اساس مجموع وزن‌ها است. در این راستا شاخص‌های دارای اهمیت بیشتر از وزن بالاتری برخوردارند. در واقع، ماتریس (۷) حاصل ضرب مقادیر استاندارد هر شاخص در اوزان مربوطه است.

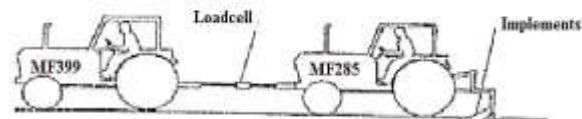


شکل ۱- سوخت سنج متصل شده به تراکتور
 (۱. شیر وصل شده به مخزن سوخت تراکتور، ۲. شیر وصل شده به انژکتور)

Fig 1. The fuel gauge connected to the tractor
 (1. The valve connected to the tractor fuel tank, 2. The valve connected to the injector)

جهت اندازه‌گیری نیرو نیاز به دو تراکتور است (به این صورت که نیروسنج بین دو تراکتور (تراکتور کشنده MF399 و تراکتور تحت کشش MF285) قرارگرفت و دستگاه خاک‌ورز روی تراکتور MF285 متصل شد) در دو حالت ابتدا در حالتی که دستگاه خاک‌ورز با خاک درگیر نیست (نیروی مقاومت غلتشی F_r) و در حالت دوم زمانی که دستگاه خاک‌ورز با خاک درگیر است (نیروی ناخالص F_g) و اختلاف این دو نیرو میزان نیروی مالبندی مورد نیاز (F_{db}) طبق رابطه (۴) بدست می‌آید و مطابق شکل ۲ نیروی کشش مالبندی اندازه‌گیری شد.

$$F_{db} = F_g - F_r \quad (۴)$$



شکل ۲- نحوه اندازه‌گیری نیروی مالبندی با استفاده از دو تراکتور
Fig 2. How to measure the force of the bale using two tractors

عمق شخم بوسیله حسگر فراصوت (شکل ۳) اندازه‌گیری شد. این حسگر در جلوی هر کدام از ادوات خاک‌ورزی نصب گردید تا امواج به سطح خاک بدون شخم برخورد کنند که یک مقدار اولیه را نشان می‌دهد. با تغییر عمق شخم از این ارتفاع کم می‌شود و بدین ترتیب عمق شخم محاسبه می‌گردد. سرعت پیشروی بوسیله یک حسگر مجاورتی^۱ (الکترو مغناطیسی) و چرخ پنجم مطابق شکل ۴ اندازه‌گیری شد. در نهایت داده‌های آزمایش در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل (انتخاب این طرح برحسب سهولت اجرای کار بود) انجام شد. در این طرح عامل اصلی نوع دستگاه بود و به عامل‌های عمق شخم و سرعت پیشروی شکسته می‌شد. میانگین هر تکرار به عنوان شاخص مناسب جهت ارزیابی در روش تاپسیس مورد استفاده قرار گرفت.

¹ Proxy

توجه به شاخص‌های اندازه‌گیری شده براساس فاصله داده‌های استاندارد حداقل و حداکثر بهترین حالت از سرعت پیشروی و عمق شخم را برای هر سه وسیله خاک‌ورز به لحاظ مصرف انرژی دارد و طبق رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$A^* = \frac{S^-}{S^- + S^+} \quad (۸)$$

۳- نتایج و بحث

داده‌های اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف و سرعت‌های پیشروی مختلف در قالب جداول ۱، ۲ و ۳ طبقه‌بندی شدند. جداول ۱، ۲ و ۳ میانگین شاخص‌های مصرف انرژی را در هر بلوک برای ادوات خاک‌ورزی نشان می‌دهد. برای تحلیل روش تاپسیس و تصمیم‌گیری مناسب باید اطلاعات به خوبی طبقه‌بندی شوند. عامل عمق شخم، تأثیر بیشتری از سرعت پیشروی روی مصرف انرژی ادوات خاک‌ورزی دارد زیرا بار روی تراکتور را افزایش می‌دهد به همین برای هر عمق بصورت جداگانه طبقه بندی صورت گرفت.

پس از بدست آوردن ضریب ترکیبی در تمام حالات کاری عمق شخم و سرعت پیشروی برای هر سه وسیله خاک‌ورزی بررسی شده و بصورت شکل‌های ۷، ۸ و ۹ طبقه بندی می‌شوند. برای انتخاب بهترین حالت از عمق شخم و سرعت پیشروی برای هر یک از ادوات آن مورد که ضریب ترکیبی بالاتری دارد، شرایط مطلوبی از نظر مصرف انرژی دارد. جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس و بررسی عوامل معنی‌داری صفت‌های اندازه‌گیری شده مربوط به انرژی را نشان می‌دهد.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} W_1 F_{11} & W_2 F_{12} & \dots & W_n F_{1n} \\ W_1 F_{21} & W_2 F_{22} & \dots & W_n F_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_1 F_{m1} & W_2 F_{m2} & \dots & W_n F_{mn} \end{bmatrix}$$

شکل ۶- تشکیل ماتریس V_{ij}

Fig 6. Matrix formation V_{ij}

۴- تعیین فاصله داده‌های استاندارد از داده استاندارد ایده آل (مقدار حداکثر) و با V^+ نشان داده شد.

۵- تعیین فاصله داده‌های استاندارد از داده استاندارد حداقل و با V^- نشان داده شد.

۶- تعیین فاصله داده‌های استاندارد برای داده‌های حداکثر (S^+) طبق رابطه ۶ و تعیین فاصله داده‌های استاندارد از داده حداقل (S^-) طبق رابطه ۷ محاسبه شد.

$$S^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (۶)$$

$$S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (۷)$$

گام دوم: بدست آوردن یک ضریب ترکیبی برای ادوات مورد بررسی است که از آن بتوان برای تصمیم‌سازی این که کدام سیستم با

جدول ۱- شاخص‌های اندازه‌گیری شده در عمق ۱۵ سانتی‌متر

Table 1. The measured parameters at a depth of 15 cm

ادوات (Implements)	سرعت پیشروی (Forward) (Speed) (km.h ⁻¹)	کشش ویژه (kN.m ⁻¹) (Specific Draught)	مصرف سوخت (Fuel) (Consumption) (l.h ⁻¹)	ظرفیت مکانیزاسیون (Capacity) (Mechanization) (kWh.ha ⁻¹)	توان مالبندی (Power) (Drawbar) (kW)	بازده کششی (Traction) (Efficiency) (%)	بازده کلی انرژی (Overall) (Efficiency) (%)
گاواهن برگرداندار (A)	3	7.04	4.7	22.8	7.524	0.683	0.158
Moldboard (Plow)	4.5	8.668	4.65	39.12	13.26	0.718	0.276
	6	10.648	4.58	54.22	21.56	0.738	0.446
گاواهن بشقابی (B)	3	4.54	3.74	13.15	6.504	0.711	0.165
(Disk Plow)	4.5	5.808	3.69	22.18	11.37	0.754	0.293
	6	7.18	3.63	32.27	18.39	0.742	0.467
گاواهن چیزل (C)	3	2	2.44	4.84	3.93	0.66	0.151
(Chisel Plow)	4.5	2.72	2.41	8.5	7.78	0.71	0.291
	6	3.28	2.36	10.64	13.42	0.733	0.431

جدول ۲- شاخص‌های اندازه‌گیری شده در عمق ۲۰ سانتی‌متر

Table 2. The measured parameters at a depth of 20 cm

بازده کلی انرژی (Overall Efficiency) (Energy Efficiency) (%)	بازده کششی (Traction Efficiency) (%)	توان مالبندی (Power Drawbar) (kW)	ظرفیت مکانیزاسیون (Capacity Mechanization) (kWh.h ⁻¹)	مصرف سوخت (Fuel Consumption) (l.h ⁻¹)	کشش ویژه (kN.m ⁻¹ Specific Draught)	سرعت پیشروی (Forward Speed) (km.h ⁻¹)	ادوات (Implements)
0.158	0.627	10.94	38.65	6.54	10.12	3	گاوآهن برگرداندار (Moldboard Plow)
0.255	0.692	17.82	62.1	6.48	11.924	4.5	
0.386	0.669	26.93	91.25	6.42	14.08	6	(A)
0.137	0.713	7.88	24.95	5.39	7.18	3	گاوآهن بشقابی (B)
0.23	0.719	13.39	38.5	5.32	7.92	4.5	(Disk Plow)
0.462	0.722	27.33	56.83	5.24	9.1	6	
0.138	0.673	5.22	10.27	3.53	2.86	3	گاوآهن چیزل (C)
0.245	0.703	9.196	17.71	3.49	3.77	4.5	(Chisel Plow)
0.421	0.729	15.81	20.64	3.46	4.45	6	

جدول ۳- شاخص‌های اندازه‌گیری شده در عمق ۲۵ سانتی‌متر

Table 3. The measured parameters at a depth of 25 cm

بازده کلی انرژی (Overall Efficiency) (Energy Efficiency) (%)	بازده کششی (Traction Efficiency) (%)	توان مالبندی (Power Drawbar) (kW)	ظرفیت مکانیزاسیون (Capacity Mechanization) (kWh.h ⁻¹)	مصرف سوخت (Fuel Consumption) (l.h ⁻¹)	کشش ویژه (kN.m ⁻¹ Specific Draught)	سرعت پیشروی (Forward Speed) (km.h ⁻¹)	ادوات (Implements)
0.141	0.578	13.02	55.36	8.65	13.288	3	گاوآهن برگرداندار (Moldboard Plow)
0.223	0.604	20.31	82.43	8.6	14.388	4.5	
0.391	0.627	36.17	122.22	8.55	17.6	6	(A)
0.116	0.723	9.68	31.93	7.84	8.36	3	گاوآهن بشقابی (B)
0.189	0.726	15.88	50.11	7.8	9.62	4.5	(Disk Plow)
0.396	0.714	33.205	74.14	7.75	11.44	6	
0.137	0.678	6.64	14.92	4.64	3.68	3	گاوآهن چیزل (C)
0.27	0.718	13.42	26.88	4.61	4.69	4.5	(Chisel Plow)
0.443	0.74	22.04	33.89	4.58	5.63	6	

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر عمق شخم و سرعت پیشروی بر روی صفات اندازه‌گیری شده ادوات خاک‌ورز اولیه

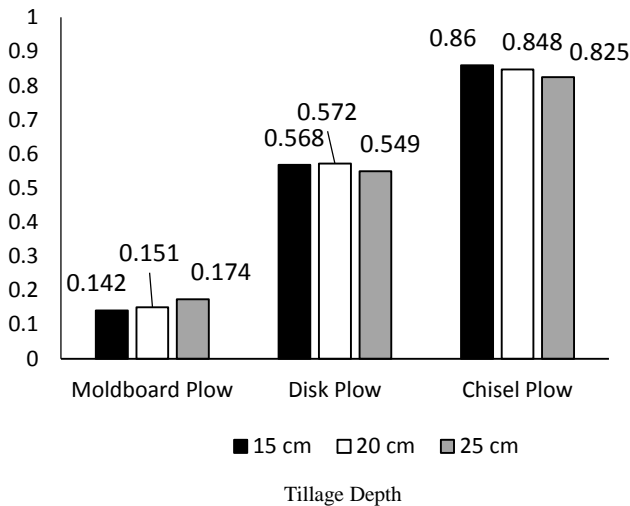
Table 3. Variance analysis of the effect of plowing depth and forward speed on the measured characteristics of primary tillage tools

بازده کششی (Traction) (Efficiency (%)	توان مالبندی (Power) (Drawbar (kW)	ظرفیت مکانیزاسیون (Capacity) (Mechanization (kWh.ha ⁻¹)	مصرف سوخت (Fuel) (Consumption (l.h ⁻¹)	کشش ویژه (kN.m ⁻¹) (Specific) (Draught	سرعت پیشروی (Forward) (Speed (km.h ⁻¹)	درجه آزادی (DF)	منبع تغییرات (SOV)
2.82 ^{ns}	4.24 ^{**}	6.37	7.23	0.410 [*]	0.309 [*]	2	تکرار (repetition)
8.26 [*]	1159.958 ^{**}	300.8	562.03	486.635 ^{**}	457.435 ^{**}	2	ادوات خاک‌ورزی (Implements) (A) (Tillage
4.57	1.181	7.53	6.81	0.392	0.291	4	خطای A
5469.58 ^{**}	42.847 ^{**}	127.95	154.9	48.31 ^{**}	40/11 ^{**}	2	سرعت پیشروی (Forward) (B)(Speed
23.55 ^{**}	4.218 ^{**}	17.38	32.42	100.43 ^{**}	97.43 ^{**}	4	A × B عمق شخم (Deep) (C)(Tillage
7.57 [*]	8.957 ^{**}	3.39	7.85	10.32 ^{**}	8.23 ^{**}	4	B × C
29.54 ^{**}	1.851 ^{**}	93.34	106.01	0.865 ^{**}	0.579 ^{**}	4	A × C
8.53 [*]	0.309 ^{ns}	3.93	4.55	0.631 ^{**}	0.585 ^{**}	8	A × B × C
	0.346	1.23	1.08	0.09	0.07	48	اشتباه (Error)
						80	کل (total)
1.63 درصد	1.98 درصد	1.59 درصد	6.89 درصد	4.5 درصد	3.67 درصد		CV ضریب تغییرات)

** اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۱٪، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار (***) significant difference at 1% confidence level, *significant difference at 5% level and ns no significant difference

همانطور که از نتایج مطابق نمودارهای شکل‌های ۷، ۸ و ۹ مشاهده می‌شود، در سرعت‌های پیشروی و عمق‌های مختلف که بیانگر شرایط مختلف برای ادوات خاک‌ورزی است، عملکرد ادوات A، B و C (به ترتیب ادوات گاوآهن برگرداندار، گاوآهن بشقاب‌ی و چیزل) با مقایسه ضریب ترکیبی محاسبه شده از روش تاپسیس مشخص شد که در تمام حالات کاری (عمق شخم و سرعت پیشروی مختلف) گاوآهن چیزل از لحاظ مصرف انرژی جهت استفاده مطلوب‌تر است. اشکال (۷)، (۸) و (۹) میزان ضریب ترکیبی پارامترهای مورد اندازه‌گیری را نشان می‌دهد که هر سیستم در چه شرایطی حالت بهینه را از نظر ویژگی‌های عملکردی دارد. همانطور که مشخص شده گاوآهن برگرداندار در هیچ یک از حالات کاری در وضعیت مطلوبی قرار ندارد در حالی که گاوآهن چیزل در بیشتر حالات کاری در شرایط مطلوبی قرار دارد. مطابق شکل (۹) با افزایش عمق شخم و سرعت پیشروی گاوآهن بشقاب‌ی در شرایط مطلوب تری قرار دارد که می‌توان آن را جایگزین گاوآهن برگرداندار نمود.

نتایج حاصل از جدول یک نشان داد که عمق شخم و سرعت پیشروی و همچنین نوع ادوات تاثیر معنی‌داری بر روی شاخص‌های مصرف انرژی دارد. نتایج نشان می‌دهد که تاثیر عمق شخم بر روی شاخص‌های مصرف انرژی بیشتر از سرعت پیشروی است چون با افزایش عمق شخم در واقع بار روی تراکتور زیاد می‌شود. نتایج حاصل از شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) نشان می‌دهد هر سیستم که میزان ضریب ترکیبی بالاتری دارد از نظر مصرف انرژی عملکرد بهینه دارد. در هر حالتی (سرعت پیشروی و عمق شخم) که هر یک از ادوات خاک‌ورزی دارای ضریب ترکیبی بالاتری باشد، کارایی ادوات در آن حالت بهینه‌تر از بقیه حالت‌ها است. (Kheiralla et al., 2004) که در پژوهشی با آنالیز داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری نشان دادند که گاوآهن بشقاب‌ی بازده مصرف انرژی بهتری (از لحاظ مصرف سوخت و انرژی ویژه) نسبت به گاوآهن برگرداندار داشت. در روش تاپسیس می‌توان با ترکیب پارامترهای مختلف در شرایط مختلف عملکرد سیستم‌ها را مورد ارزیابی قرار داد (Wang., 2015).



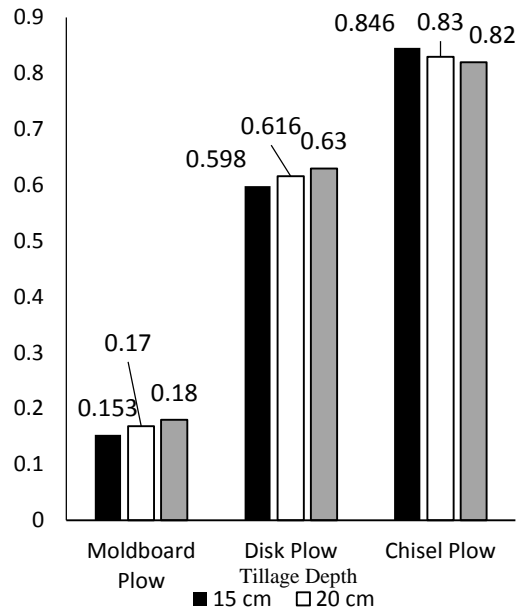
شکل ۹- مقایسه سیستم های A, B, C در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت (محور عمودی ضریب ترکیبی را نشان می دهد).

Fig 9. Comparison of systems A, B, C at a speed of 6 km/h (the vertical axis shows the combined coefficient)

در تحقیق (andekaeizadeh *et al.*, 2015) که بروی مصرف انرژی ادوات خاک ورزی انجام دادند، نتایج نشان داد که در سرعت‌های کم و عمق‌های زیاد گاوآهن برگردان‌دار مصرف بهینه انرژی دارد و در عمق‌های زیاد و سرعت زیاد هرس بشقابی میزان مصرف بهینه انرژی را داشت. گاوآهن بشقابی از نظر مصرف بهینه انرژی نسبت به دو ادوات دیگر به عنوان گزینه مطلوب انتخاب شد، زیرا در روش تحلیل ساده وزنی شده دارای ضریب ترکیبی بیشتر در اکثر شرایط کاری (عمق شخم و سرعت پیشروی مختلف) است. (Kheiralla *et al.*, 2004) پژوهشی با عنوان مدل‌سازی قدرت و انرژی مورد نیاز ادوات خاک‌ورزی در خاک لوم رسی شنی سردانگ^۱ در مالزی انجام دادند. در این پژوهش تأثیر سرعت پیشروی و عمق شخم بر روی کشش و قدرت موردنیاز ادوات خاک‌ورزی مورد بررسی قرار گرفت. ادوات خاک‌ورزی شامل گاوآهن برگرداندار، هارو دیسکی، گاوآهن بشقابی و روتیواتور بودند و بر اساس عامل‌های سرعت پیشروی و عمق شخم (برای روتیواتور بجای عمق شخم سرعت روتور در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با افزایش عمق شخم مصرف انرژی ادوات خاک‌ورزی هم بیشتر می شود. البته انتخاب ادوات خاک‌ورز با توجه به هدف کار متفاوت است.

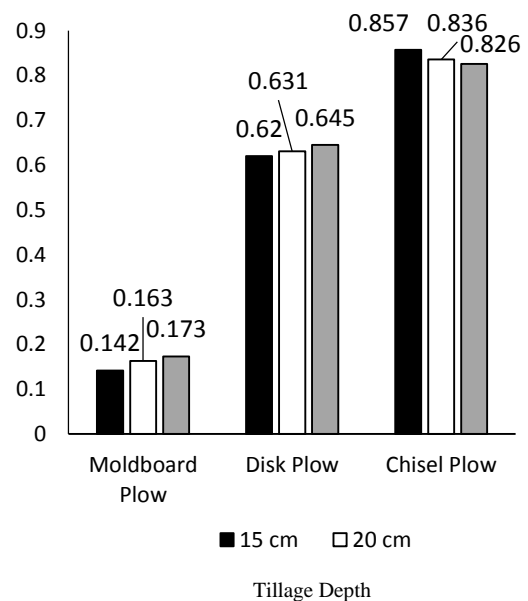
۵- نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داده که در بیشتر حالات کاری، گاوآهن چیزل از نظر مصرف انرژی در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشت. توصیه می‌شود بجای گاوآهن برگرداندار از گاوآهن بشقابی استفاده شود چون دارای مصرف



شکل ۷- مقایسه سیستم های A, B, C در سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت (محور عمودی ضریب ترکیبی را نشان می دهد).

Fig 7. Comparison of systems A, B, C at a speed of 3 km/h (the vertical axis shows the combined coefficient)



شکل ۸- مقایسه سیستم های A, B, C در سرعت ۴/۵ کیلومتر بر ساعت (محور عمودی ضریب ترکیبی را نشان می دهد).

Fig 8. Comparison of systems A, B, C at a speed of 4.5 km/h (the vertical axis shows the combined coefficient corresponding to Table 4)

¹ Serdang

به این دلیل که با افزایش عمق شخم مقدار ضریب ترکیبی برای این دستگاه طبق شکل های ۷، ۸ و ۹ بالاتر می رود و در نتیجه توصیه می شود بجای گاواهن برگرداندار از گاواهن بشقابی استفاده شود. گاواهن برگرداندار از لحاظ مصرف انرژی در هیچ یک از شرایط کاری نسبت به دو ادوات دیگر در وضعیت مطلوبی قرار نداشت.

انرژی کمتر است. هر چند که قبل از انتخاب ادوات خاک و ریزی مناسب باید هدف از انجام کار مشخص شود چون هر یک از ادوات برای شرایط کاری مختلف طراحی شده اند. بازده کششی با افزایش عمق شخم به دلیل افزایش نیروی مالبندی افزایش می یابد ولی با افزایش سرعت تقریباً ثابت است. استفاده از گاواهن بشقابی در عمق ۲۰ سانتی متر توصیه می شود چون دارای وضعیت بهتری از نظر مصرف انرژی است

منابع

- Almasi, M., Kiyani, S. H., and Loveymi, N. (2006). Basics of Agricultural Mechanization. Ghom Iran. 248 p (In Persian).
- Andekaeizadeh, K., Sheykhdavoodi, M. J., and Khorasani Fardavani, M. E. (2015). The selection of best tillage implements in terms of energy use efficiency using simple additive weighting methodology. *Journal of Agricultural Machinery*. 37–47. (In Persian)
- Bogel, T., Osinenko, P., and Herlitzius, Th. (2016). Assessment of soil roughness after tillage using spectral analysis. *Soil Tillage Res*. 159: 73–82.
- de lima silva, D., Ferriera, L., and de Almeida Filho, A. T. (2022). Preference disaggregation on TOPSIS for sorting applied to an economic freedom assessment. *Expert Systems with Applications*. 215(1); 119–130.
- Kheiralla, A. F., Yahya, A., Zohadie, M., and Ishak, W. (2004). Modeling of power and energy requirements for tillage implements operating in serdang sandy clay loam, Malaysia. *Soil & tillage research*. 78: 21–34.
- Kim, Y. S., Lee S. D., Baek, S. M., Baek, S. Y., Jeon, H. H., Lee, J. H., Kim, W. S., Shim, J. Y., and Kim, Y. J. (2022). Analysis of the Effect of Tillage Depth on the Working Performance of Tractor-Moldboard Plow System under Various Field Environments. *Sensors*, 22(7): 2750. <https://doi.org/10.3390/s22072750>.
- Namdari, M., Rafiei, Sh., and Jafari. A. (2011). Failure Mode and Effects Analysis using for optimal plowing with moldboard. *Journal of Agricultural Machinery Engineering*. 1(1): 17–24. (In Persian).
- Sarkar, P., Upadhyay, G., and Raheman. H. (2022). Active-passive and passive-passive configurations of combined tillage implements for improved tillage and tractive performance: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 19(4): e02R01.
- Shakouri, H., Nabaee, M., and Aliakbarisani, S. (2014). A quantitative discussion on the assessment of power supply technologies: DEA (data envelopment analysis) and SAW (simple additive weighting) as complementary methods for the “Grammar”. *Energy*. 640–647.
- Soane, B. D., Ball, B. C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., and Roger-Estrade, J. (2012). No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Research*. 118: 66–87.
- Usaborisut, P., and Prasertkan, K. (2019). Specific energy requirements and soil pulverization of a combined tillage implement. *Heliyon*. 1–10.
- Wang, Y. J. (2015). A fuzzy multi-criteria decision-making model based on simple additive weighting method and relative preference relation. *Applied Soft Computing*. 30: 412–420.
- Yang, B., Zhao, J., and Zhao, H. (2022). A robust method for avoiding rank reversal in the TOPSIS. *Computers & Industrial Engineering*. 174(1): 108–120.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)