

مقاله علمی-پژوهشی

اثر زاویه حمله بر عملکرد یک تیغه باریک تغییر یافته

بهنام صوری دمیچی سفلی^۱، سید حسین کارپرور فرد^{۲*}، علی رنجبر کریم‌آبادی^۳، هادی عظیمی نژادیان^۴، عقیل مؤذنی کلات^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶

چکیده

خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین عملیات مزرعه‌ای است که به منظور بهبود ساختار و شرایط فیزیکی خاک و کمک به تهیه بستر مناسب رشد گیاه انجام می‌شود. خاک‌ورزی حفاظتی یکی از روش‌های خاک‌ورزی است که سبب کاهش هزینه‌های خاک‌ورزی می‌گردد. در خاک‌ورزی حفاظتی، تیغه مورد استفاده جهت انجام خاک‌ورزی، اهمیت بسیاری دارد. هدف از این پژوهش، تعیین زاویه حمله بهینه تیغه باریک تغییر یافته در دو حالت بدون باله و باله‌دار، در خاک مزرعه می‌باشد. سه زاویه حمله تیغه (۲۰، ۲۵ و ۳۰) درجه، دو سطح عمق خاک‌ورزی (۱۵ و ۲۰) سانتی‌متر و دو سطح سرعت پیشروی (۲ و ۳) کیلومتر بر ساعت تیمارهای این پژوهش بودند. پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش: نیروی مقاومت کششی، مصرف سوخت تراکتور، لغزش چرخ محرک تراکتور، سطح مقطع به هم‌خورده خاک، سطح مقطع بال‌آمده خاک و مقاومت ویژه خاک‌ورز بودند. آزمایش‌های مزرعه‌ای در طرح آماری کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گردید. به منظور تعیین مقادیر بهینه تیمارهای ذکر شده، از روش رگرسیون چند متغیره خطی استفاده شد. مقادیر بهینه زاویه حمله تیغه، عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی تراکتور، به ترتیب برای حالت تیغه بدون باله ۲۰ درجه، ۲۰ سانتی‌متر و ۲/۲۱ کیلومتر بر ساعت و برای حالت تیغه باله‌دار به ترتیب برابر ۳۰ درجه، ۲۰ سانتی‌متر و ۲/۰۳ کیلومتر بر ساعت به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: زاویه حمله بهینه تیغه، سرعت پیشروی بهینه، سطح به هم‌خوردگی خاک، عمق خاک‌ورزی بهینه، مقاومت کششی

مقدمه

مستقیم) اجرا می‌شود. در روش کم‌خاک‌ورزی، سطح مزرعه با عمق کم شخم زده می‌شود در حالی که در روش بی‌خاک‌ورزی فقط شیارهایی در سطح مزرعه به منظور کاشت بذر ایجاد می‌شود و بقیه سطح مزرعه دست‌نخورده باقی می‌ماند (Reicosky and Allmaras, 2003; Renton and Flower, 2015; Karayel, and Sarauskis, 2019). مقدار نیروی وارد بر خاک‌ورز از طرف خاک می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله هندسه ابزار خاک‌ورز و شرایط عملیات قرار گیرد (Abbaspour-Fard et al., 2014; Ibrahmi et al., 2015). در خاک‌ورزی حفاظتی تیغه خاک‌ورز از اهمیت خاصی برخوردار است و می‌تواند بر کیفیت خاک‌ورزی و نیروی مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز موثر باشد. به منظور بهبود اثر بخشی خاک‌ورزی حفاظتی، درک روند حرکت خاک و نیروهای اعمالی از طرف توده خاک به ابزار خاک‌ورز ضروری است (Armin Fotouhi and Szyszkowski, 2017; Ibrahmi et al., 2017). در این راستا تحقیقی به منظور پیش‌بینی معادله‌ای برای مصرف سوخت تراکتور ITM-399 هنگام خاک‌ورزی انجام شد. اثر عرض تیغه، عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی بر میزان مصرف سوخت یک خاک‌ورز قلمی ۹ شاخه سوار در خاک لومی‌رسی بررسی و سپس معادله‌ای به روش تحلیل ابعادی ارائه شد (Karparvarfard and Rahmanian-Koushkaki, 2015). در تحقیقی اثر عمق کار و زاویه حمله خاک‌ورز زیرشکن تیغه مورب بر مقاومت کششی و سطح مقطع خاک به هم‌خورده بررسی شد، عمق به‌عنوان فاکتور اصلی و

خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین عملیات مزرعه‌ای است که به منظور بهبود ساختار و شرایط فیزیکی خاک و کمک به تهیه بستر رشد گیاه انجام می‌شود (Or and Ghezzehei, 2002). به منظور کاهش انرژی مصرفی در عملیات آماده‌سازی بستر بذر، سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی جایگزین خاک‌ورزی مرسوم شده‌اند (Tabatabaefar et al., 2009; Nasseri, 2019; Moitzi et al., 2019). با توسعه خاک‌ورزی حفاظتی، نه تنها از تعداد تردد تراکتور بلکه مصرف سوخت، نیروی کار و فرسایش خاک نیز کاهش می‌یابد. خاک‌ورزی حفاظتی به دو شیوه کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی (کشت

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- ۲- دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- ۴- دانشجوی دکتری مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- ۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

* نویسنده مسئول
(Email: karparvr@shirazu.ac.ir
DOI: 10.22067/jam.v11i2.84823

۲۵ درجه با خواص مکانیکی ارائه شده در جدول ۱ بود (شکل ۱). این تیغه در سه زاویه حمله ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه و دو در عمق ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر و دو سرعت ۲ و ۳ کیلومتر بر ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. مکانیزمی به منظور تغییر زاویه حمله در محل اتصال ساقه به شاسی تعبیه شده بود (شکل ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های مکانیکی تیغه استفاده شده در این پژوهش
Table 1- The mechanical properties of the blade used in this study

چگالی (kg.m^{-3}) Density (ρ)	ضریب پواسون Poisson's ratio (ν)	مدول کشسانی (MPa) Young's modulus (E)	نوع فولاد Type of steel
7850	0.30	2×10^5	فولاد ST52 Steel ST52

وضعیت عمومی مزرعه آزمایش

داده‌برداری در مزرعه تحقیقاتی قطعه ۲۲ دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) انجام شد. در این مزرعه گندم کشت شده بود و کاه و کلش آن در سطح زمین وجود داشت. خاک مزرعه شامل ۲۱ درصد شن، ۴۰ درصد سیلت و ۳۹ درصد رس و کلاس بافت خاک، سیلتی-رسی با رطوبت حدود ۱۳٪ و چگالی ظاهری ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. نیروی مقاومت کششی، مصرف سوخت تراکتور، لغزش چرخ محرک تراکتور، سطح مقطع به‌هم‌خورده خاک، سطح مقطع بالآمده خاک و مقاومت ویژه خاک‌ورز (نسبت نیروی مقاومت کششی به سطح به‌هم‌خورده)، شش صفت اندازه‌گیری شده‌ای بودند که به‌عنوان عوامل مستقل مد نظر قرار گرفتند. مزرعه آزمایشی بر اساس آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی کرت‌بندی گردید. در طرح کرت‌های خرد شده، هر کرت اصلی به چند کرت کوچک‌تر (۳×۵ متر مربع) تقسیم‌بندی شد.

اندازه‌گیری نیروی مقاومت کششی

برای اندازه‌گیری نیروی مقاومت کششی خاک‌ورز از روش آزمون دو تراکتوری^۲ (روش RNAM) استفاده شد (شکل ۲). به‌منظور واسنجی بارسنج از نوع S شکل کششی- فشاری با ظرفیت ۵ تن از دستگاه اینستران (دستگاه تست یونیورسال) مدل ASTM-۲۰ ساخت شرکت سنتام^۳ استفاده شد. ضریب تبیین نمودار واسنجی این حسگر برابر ۰/۹۹ بود.

زاویه حمله به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین‌ها حاکی از افزایش مقاومت کششی با افزایش عمق و زاویه حمله تیغه بود. با افزایش عمق کار، سطح مقطع به‌هم‌خورده خاک نیز افزایش یافت، اما زاویه حمله تیغه تأثیری بر سطح برهم‌خورده خاک نداشت (Eshaghbagi et al., 2004). در تحقیقی دیگر از طرح جدید یک تیغه باریک خاک‌ورز با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه به‌منظور امکان‌سنجی حذف باله از آن و مقایسه با تیغه شاهد استفاده شد. عوامل آزمایشی شامل نوع تیغه (تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه، تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله و تیغه شاهد)، عمق شخم و سرعت پیشروی بودند. نیروی کششی، مقاومت ویژه، سطح به‌هم‌خورده‌گی خاک و مصرف سوخت به‌عنوان صفات اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد، نیروی مقاومت کششی تیغه‌های زاویه‌دار با و بدون باله نسبت به تیغه شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش و سطح به‌هم‌خورده‌گی خاک در تیغه با زاویه تمایل ۱۰ درجه با و بدون باله نسبت به تیغه شاهد کاهش یافت (Azimi zadeh et al., 2019). به‌منظور بهبود عملکرد تیغه جدید ذکر شده تحقیقی با هدف تعیین مقادیر زاویه تمایل جانبی، سرعت و عمق بهینه تیغه انجام شد. بدین منظور، اثر چهار زاویه تمایل جانبی (صفر، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه)، دو سطح عمق خاک‌ورزی (۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر)، و سه سطح سرعت پیشروی (۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت) بر نیروی مقاومت کششی، مقاومت ویژه، سطح به‌هم‌خورده‌گی خاک و مصرف سوخت بررسی شد. طبق نتایج به‌دست آمده، مقادیر بهینه عمق خاک‌ورزی برای تیغه‌های با باله و بدون باله، ۲۰ سانتی‌متر و همچنین بهینه زاویه تمایل و سرعت پیشروی در هر دو حالت با باله و بدون باله به‌ترتیب ۲۵ و ۲۴/۸ درجه و ۳/۳ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت به‌دست آمد (Mohammadi et al., 2018).

همان‌طور که از بررسی منابع پیداست علاوه بر زاویه تمایل جانبی، زاویه حمله یک تیغه نیز می‌تواند در عملکرد یک ابزار خاک‌ورز قلمی تأثیرگذار باشد بنابراین بررسی تأثیر زاویه حمله تیغه مجهز به زاویه تمایل جانبی بر کیفیت خاک‌ورزی و نیروی اعمالی از طرف خاک به ابزار ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق، تعیین زاویه حمله بهینه تیغه خاک‌ورز و بررسی اثر تغییرات این زاویه بر میزان نیروی مقاومت کششی در مزرعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

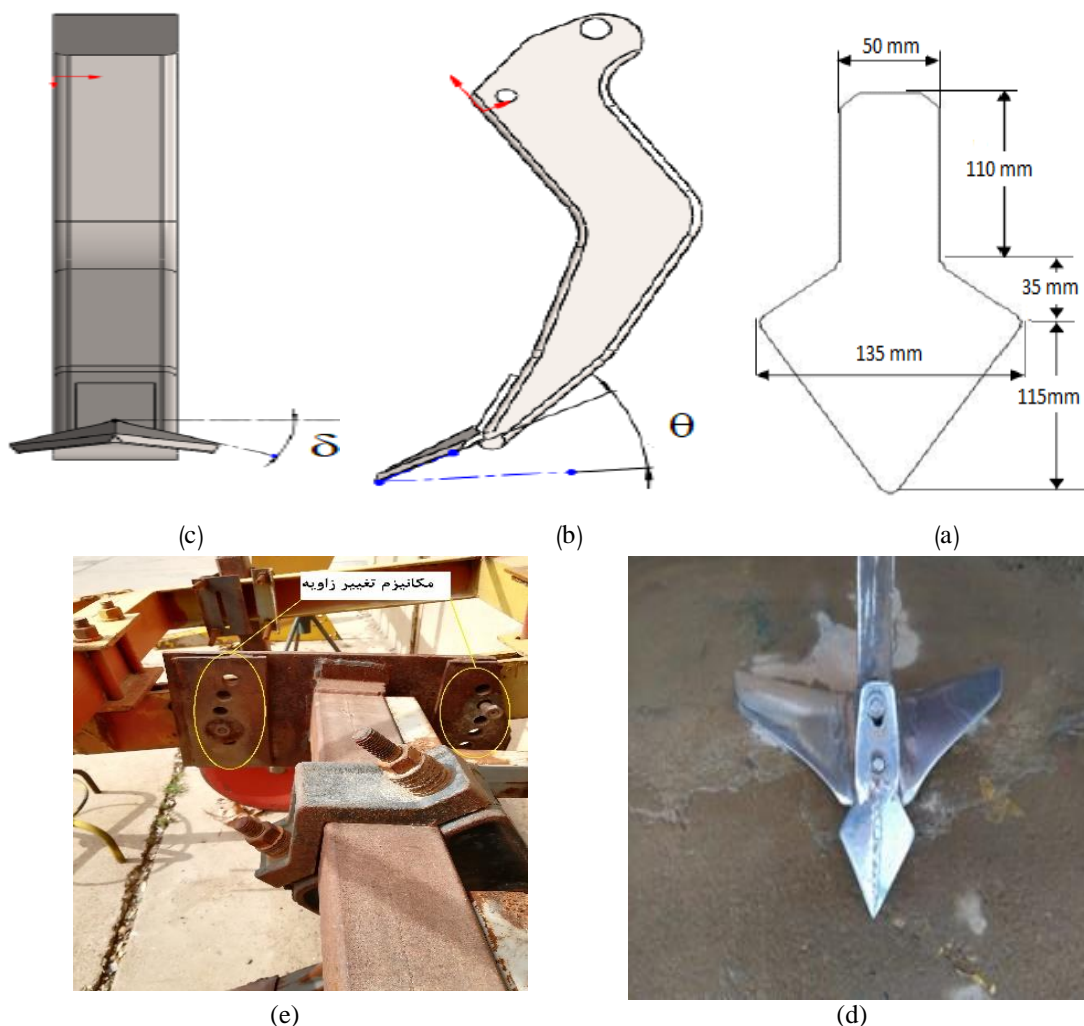
مشخصات خاک‌ورز و تیغه

در این تحقیق از یک واحد خاک‌ورز قلمی روی شاسی از نوع سوارشونده ساخت شرکت اُتپراک^۱ کشور ترکیه مورد استفاده قرار گرفت. تیغه مورد استفاده در این پژوهش مجهز به زاویه تمایل جانبی

2- Regional Network for Agricultural Machinery

3- Santam

1- Oztoprak



شکل ۱- الف) ابعاد تیغه مورد آزمایش، ب) نمایش زاویه حمله تیغه (θ)، ج) زاویه تمایل جانبی تیغه (δ)، د) تیغه با باله، و) مکانیزم تغییر زاویه حمله
Fig.1. (a) Dimensions of the tested blade, (b) Display the blade rake angle, (c) Blade lateral tilt angle, (d) Winged blade, Rake angel change mechanism



شکل ۲- آزمایش دو تراکتوری برای اندازه گیری نیروی کشش
Fig. 2. (a) RNAM method of measuring the draft by two tractor

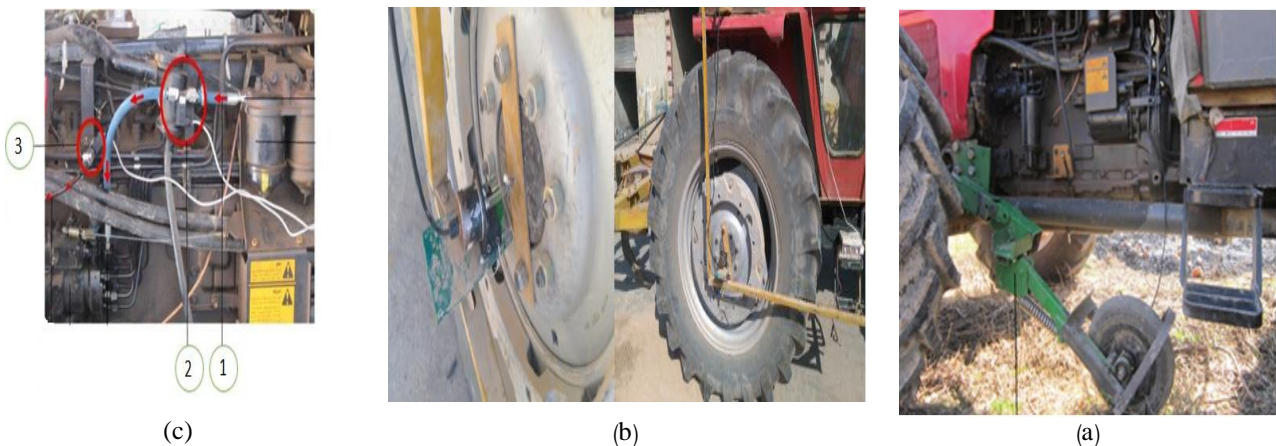
چرخ عقب تراکتور به دست می‌آید. در این صورت مقدار لغزش چرخ محرک عقب تراکتور از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\text{slip} = \frac{d_2 - d_1}{d_2} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، d_1 مسافت طی شده توسط چرخ پنجم و d_2 ، مسافت طی شده توسط چرخ محرک عقب است. نمودار واسنجی سرعت پیشروی تراکتور با ضریب تبیین ۰/۹۸ نیز رسم گردید.

سنجش سرعت پیشروی و میزان لغزش چرخ‌های محرک تراکتور در عملیات خاک‌ورزی

برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور از دو سرعت‌سنج استفاده شد. یکی از سرعت‌سنج‌ها به چرخ پنجم و دیگری بر روی چرخ عقب تراکتور متصل بودند (شکل ۳). با داشتن شعاع غلتشی چرخ محرک عقب تراکتور و تعداد دوران آن مسافت طی شده توسط



شکل ۳- نمایش دورسنج متصل به (الف) چرخ پنجم، (ب) چرخ عقب تراکتور، (ج) دبی‌سنج‌های استفاده شده (۱- جهت حرکت سوخت، ۲- دبی‌سنج اول، ۳- دبی‌سنج دوم)

Fig. 3. Display the Encoder connected to (a) Fifth wheel, (b) Tractor rear wheel, (c) Display used flow meters (1- Fuel movement direction, 2- First flow meter, 3- Second flow meter)

سپس با ترسیم نتایج حاصل از دو روش، مقدار ضریب تبیین ارتباط بین داده‌های سطح بالآمدگی و به هم خوردگی به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۴ به دست آمد (شکل ۵- الف و ب).

بهینه‌سازی عملکرد دستگاه خاک‌ورز از لحاظ عوامل آزمایش در حالت‌های تیغه بدون باله و باله‌دار، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره

جهت تعیین نقطه بهینه کارکرد دستگاه خاک‌ورز از نظر زاویه حمله تیغه، سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی، سه معادله رگرسیون برای وضعیت تیغه بدون باله و سه معادله رگرسیون نیز برای تیغه باله‌دار ارائه شد. در این پژوهش از معادلات رگرسیونی چند متغیره خطی استفاده گردید. در این روش بین متغیرهای وابسته Y و متغیرهای مستقل $X_1 + X_2 + \dots + X_n$ یک رابطه خطی برقرار است و مقدار به دست آمده برای تابع صرفاً به تغییر یک متغیر مستقل X بستگی ندارد و تغییرات چند متغیر باعث تغییر در تابع می‌شود. معادله رگرسیون به کار برده شده برای هر دو حالت تیغه بدون باله و باله‌دار به شکل رابطه (۲) است.

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n \quad (2)$$

اندازه‌گیری سوخت مصرفی تراکتور

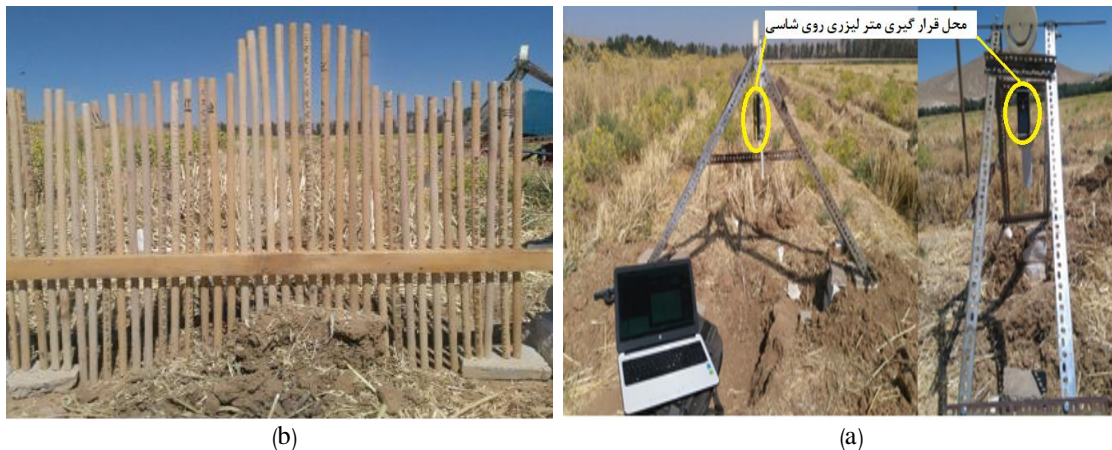
برای اندازه‌گیری سوخت مصرفی تراکتور، از دو دبی‌سنج توربینی مدل VISION-1000 ساخت شرکت ریمگ کشور کره جنوبی استفاده شد. محدوده اندازه‌گیری دبی‌سنج‌ها بین ۰/۲ الی ۱/۵ لیتر بر دقیقه بود. دبی‌سنج اول در مسیر رفت سوخت به پمپ انژکتور و دبی‌سنج دوم در مسیر برگشت سوخت به مخزن تعبیه گردید. دبی‌سنج توربینی مسیر رفت و دبی‌سنج توربینی مسیر برگشت به ترتیب دارای ضریب تبیین ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۵ بودند.

اندازه‌گیری سطح مقطع به هم‌خورده و بالآآمده خاک

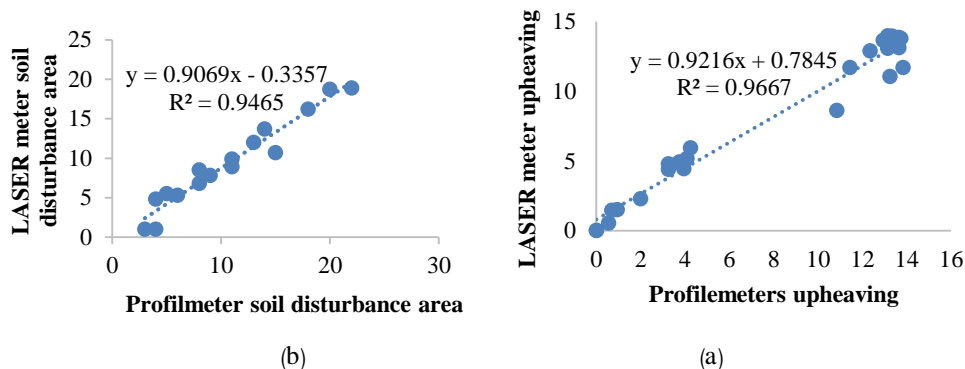
در این پژوهش برای اندازه‌گیری سطح مقطع به هم‌خورده و بالآآمده خاک، از متر لیزری لایکا مدل DistoD8، ساخت کشور اتریش استفاده گردید (شکل ۴- الف). به منظور بررسی دقت و صحت عملکرد متر لیزری، عملکرد این دستگاه با پروفیل‌متر مقایسه شد. بدین منظور ابتدا به صورت دستی سطح بالآمدگی و به هم‌خوردگی خاک ایجاد گردید سپس با هر دو روش، سطح بالآمدگی و به هم‌خوردگی اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، همین آزمون در مزرعه با ۵ تکرار انجام شد. به نحوی که در هر تکرار ابتدا سطح بالآمدگی و به هم‌خوردگی به وسیله متر لیزری و پروفیل‌متر اندازه‌گیری شد و

سخت، لغزش، سطح مقطع به هم خورده و بالآمده خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد.

در رابطه (۲) a_0 تا a_n را ضرایب رگرسیون می نامند. در این روش، زاویه حمله تیغه، سرعت پیشروی و عمق خاک ورزی به عنوان متغیرهای وابسته و نیروی مقاومت کششی، مقاومت ویژه، مصرف



شکل ۴- (الف) متر لیزری، (ب) پروفیل متر
Fig. 4. (a) Laser meter, (b) Profilometer



شکل ۵- ارتباط بین داده های متر لیزری و پروفیل متر (الف) بالآمدگی (ب) سطح به هم خوردگی خاک
Fig. 5. The correlation between laser meter and profilometer data for (a) Soil upheaving, (b) Soil disturbance area

مقدار نیروی مقاومت کششی مربوط به تیغه ای با زاویه حمله ۲۰ درجه می باشد. مقادیر میانگین نیروی مقاومت کششی خاک ورز در هر دو وضعیت تیغه بدون باله و باله دار در دو عمق شخم، دارای اختلاف معنی دار است. با افزایش عمق شخم، نیروی مقاومت کششی نیز افزایش می یابد. در تحقیقی، محققین گزارش کردند که علت افزایش نیروی مقاومت کششی با افزایش عمق خاک ورزی، می تواند در اثر ازدیاد وزن خاک روی لایه های پایینی و احتمالاً افزایش چگالی ظاهری خاک باشد که منجر به افزایش نیروی اصطکاک بین خاک و تیغه و صرف نیروی بیشتر برای بالا آوردن توده خاک شود (Godwin and Spoor, 1977). مقایسه میانگین نیروی مقاومت کششی در هر دو وضعیت تیغه بدون باله و باله دار، در دو سرعت پیشروی نیز دارای اختلاف معنی دار می باشد. بطوری که در هر دو حالت، با افزایش سرعت پیشروی، نیروی مقاومت کششی نیز افزایش

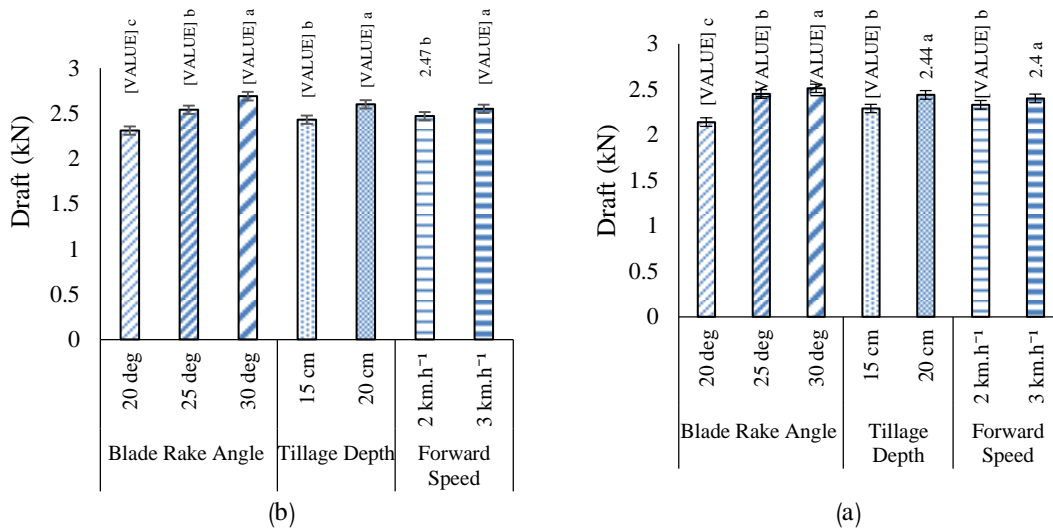
نتایج و بحث

نیروی مقاومت کششی خاک ورز

شکل های (۶- الف و ب) مقایسه میانگین نیروی مقاومت کششی خاک ورز در حالت های تیغه بدون باله و باله دار را نشان می دهند. با توجه به شکل ۶، مقادیر میانگین نیروی مقاومت کششی مربوط به وضعیت تیغه بدون باله در زوایای مختلف حمله تیغه، دارای اختلاف معنی دار است. با مشاهده نتایج می توان گفت؛ هرچه زاویه حمله تیغه افزایش یابد میزان نیروی کششی نیز افزایش می یابد. کمترین مقدار نیروی مقاومت کششی در این وضعیت، مربوط به تیغه ای با زاویه حمله ۲۰ درجه می باشد. همچنین مقادیر میانگین نیروی مقاومت کششی در وضعیت تیغه باله دار در اثر عامل زاویه حمله تیغه، دارای اختلاف معنی دار است. در این وضعیت نیز کمترین

قابل ذکر است که نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج ارایه شده در پژوهش‌های مشابه همخوانی دارد (Mohammadi, 2018; Azimi zadeh et al., 2019).

می‌یابد. با افزایش سرعت پیشروی خاک‌ورز باریک، مقاومت برشی خاک بیشتر شده و در نتیجه میزان نیروی مقاوم کششی مورد نیاز آن ابزار نیز افزایش می‌یابد (Rowe and Barnes, 1961).



شکل ۶- مقایسه میانگین مقادیر نیروی مقاومت کششی خاک‌ورز در حالت (الف) تیغه بدون باله، (ب) تیغه باله‌دار

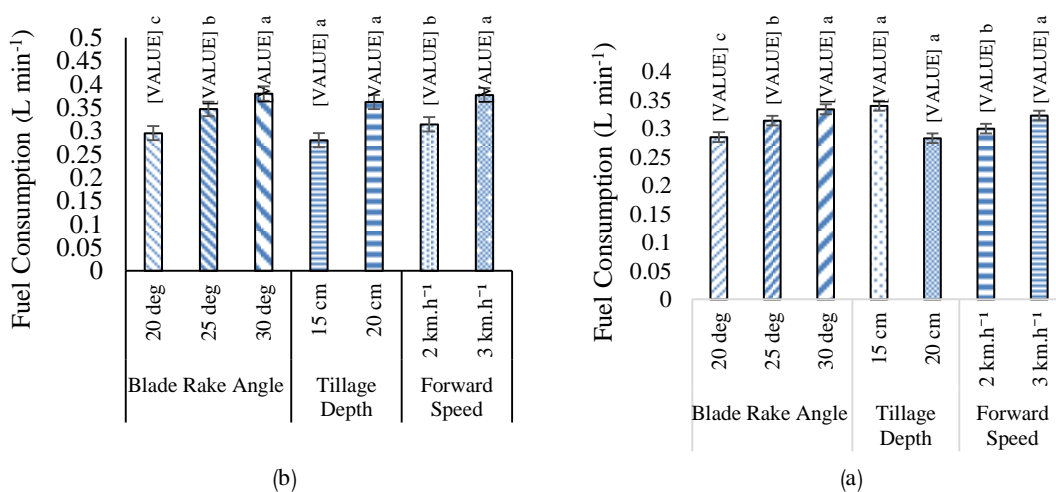
Fig. 6. Compare means of draft values of (a) without wing blade, (b) winged blade

میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. Mean values followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.05$)

تیغه بدون باله و باله‌دار، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. به طوری که با افزایش زاویه حمله تیغه و سرعت پیشروی، میزان مصرف سوخت تراکتور نیز افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان مصرف سوخت در هر دو حالت، مربوط به تیغه‌ای با زاویه حمله ۲۰ درجه می‌باشد.

مصرف سوخت تراکتور

شکل‌های (۷- الف و ب) مقایسه میانگین مصرف سوخت تراکتور را به ترتیب، در حالت‌های تیغه بدون باله و باله‌دار نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مقادیر میانگین مصرف سوخت تراکتور مربوط به زوایای مختلف حمله تیغه و دو سطح سرعت پیشروی در حالت‌های



شکل ۷- مقایسه میانگین میزان مصرف سوخت تراکتور در حالت (الف) تیغه بدون باله، (ب) تیغه باله‌دار

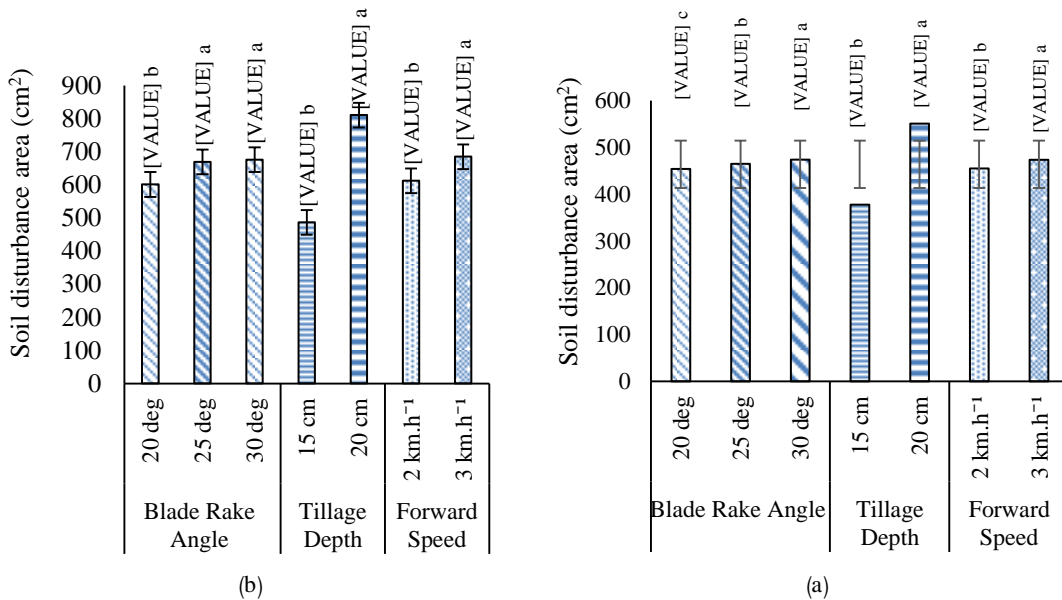
Fig. 7. Compare means of tractor fuel consumption when using tillage tool with (a) non-winged blade, (b) winged blade

میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. Mean values followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.05$)

میانگین سطح مقطع به هم خورده خاک در حالت تیغه باله دار حاصل می شود. اما با افزایش زاویه از ۲۵ به ۳۰ درجه، اختلاف معنی داری در مقادیر میانگین مشاهده نمی شود. بیشترین میزان سطح مقطع به هم خورده خاک در این وضعیت نیز مربوط به تیغه ای با زاویه حمله ۳۰ درجه است. عمق خاک ورزی و سرعت پیشروی نیز بر مقادیر میانگین سطح مقطع به هم خورده خاک در حالت تیغه باله دار تاثیر گذار بوده و دارای اختلاف معنی دار می باشد. به عبارت دیگر، با افزایش هر دو متغیر زاویه حمله و عمق خاک ورزی، مقادیر سطح مقطع به هم خورده خاک نیز بیشتر شده است. قابل ذکر است که محمدی و همکاران و عظیمی زاده و همکاران در تحقیقاتی جداگانه به نتایجی مشابه دست پیدا کردند (Mohammadi et al., 2018; Azimi, zadeh et al., 2019).

سطح مقطع به هم خورده خاک

شکل های (۸-الف و ب) مقایسه میانگین سطح مقطع به هم خورده خاک را در حالت های تیغه بدون باله و باله دار نشان می دهد. با توجه به شکل، مقادیر میانگین سطح مقطع به هم خورده خاک مربوط به زوایای مختلف حمله تیغه، دو سطح عمق خاک ورزی و دو سطح سرعت پیشروی در حالت های تیغه بدون باله و باله دار، دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد. به طوری که با افزایش زاویه حمله تیغه، عمق خاک ورزی و سرعت پیشروی، مقدار سطح مقطع به هم خورده خاک نیز بیشتر شده است. نتایج حاصل از آزمایش نشان می دهد که بیشترین مقدار سطح مقطع به هم خورده خاک در این حالت، مربوط به تیغه ای با زاویه حمله ۳۰ درجه می باشد. با افزایش زاویه حمله تیغه از ۲۰ به ۲۵ درجه، اختلاف معنی داری در مقادیر



شکل ۸- مقایسه میانگین مقادیر سطح به هم خورده خاک در حالت (الف) تیغه بدون باله، (ب) تیغه باله دار

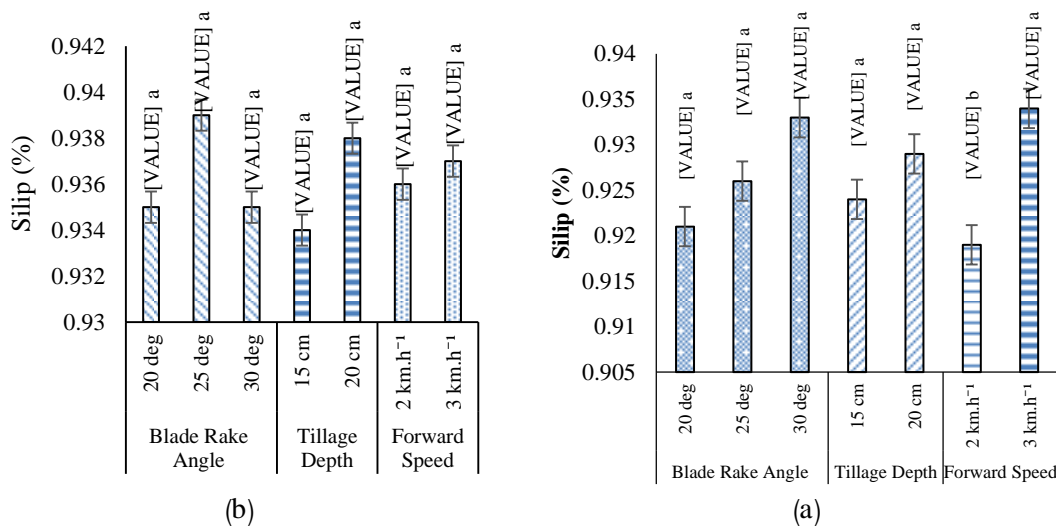
Fig. 8. Compare means soil disturbance area when using tillage tool with (a) non-winged blade, (b) winged blade

میانگین های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.
Mean values followed by the same letters are not significantly different (p<0.05)

لغزش افزایش می یابد. با توجه به شکل (۹-ب) مقادیر میانگین لغزش چرخ های محرک تراکتور در حالت تیغه بدون باله، در اثر سه زاویه حمله تیغه، دو سطح عمق خاک ورزی و دو سطح سرعت پیشروی معنی دار نشده است. بنابراین با افزایش زاویه حمله تیغه، عمق خاک ورزی و سرعت پیشروی، مقادیر میانگین لغزش چرخ های محرک تراکتور تغییری نمی کند.

لغزش چرخ محرک تراکتور

با توجه به شکل (۹-الف)، مقادیر میانگین لغزش چرخ های محرک تراکتور در حالت تیغه بدون باله، در اثر سه زاویه حمله تیغه و دو سطح عمق خاک ورزی معنی دار نشده اما در دو سطح سرعت پیشروی معنی دار شده است. بنابراین با افزایش زاویه حمله تیغه و عمق خاک ورزی مقادیر میانگین لغزش چرخ های محرک تراکتور تغییری نمی کند. اما در اثر افزایش سرعت تراکتور، مقادیر میانگین



شکل ۹- مقایسه میانگین درصد لغزش چرخ تراکتور در حالت (الف) تیغه بدون باله، (ب) تیغه باله‌دار
Fig. 9. Compare means of slippage when using tillage tool with (a) non-winged blade, (b) winged blade
 میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.
 Mean values followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.05$)

نتایج با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات مشابه همخوانی داشت (Mohammadi, 2018; Azimi zadeh et al., 2019).

تعیین مقدار بهینه زاویه حمله تیغه، عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی در حالت‌های تیغه بدون باله و باله‌دار

برای تعیین زاویه حمله بهینه تیغه، عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی از روش رگرسیون چند متغیره و نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. روابط (۳) تا (۸) بیانگر معادله‌های رگرسیون به‌دست آمده جهت بهینه‌سازی هر یک از پارامترها است.

$$[RA_{opt}]_1 = -13.08 - 15.17 D + 51.277 F - 0.0299 S \quad (3)$$

$$[RA_{opt}]_2 = -56.847 - 4718 F + 0.293 SUA - 49.35 S + 5.15 SD \quad (4)$$

$$[D_{opt}]_1 = 8.21 - 1.185 D + 0.0328 SAD - 0.0128 SUA \quad (5)$$

$$[D_{opt}]_2 = 27.44 + 1.752 D - 10.724 F - 2.54 SD \quad (6)$$

$$[V_{opt}]_1 = -12.669 - 1.32 D + 13.818 F - 0.00359 SDA + 16.89 S \quad (7)$$

$$[V_{opt}]_2 = -4.62 - 1.257 D + 15.619 F + 4.52 S + 0.154 S \quad (8)$$

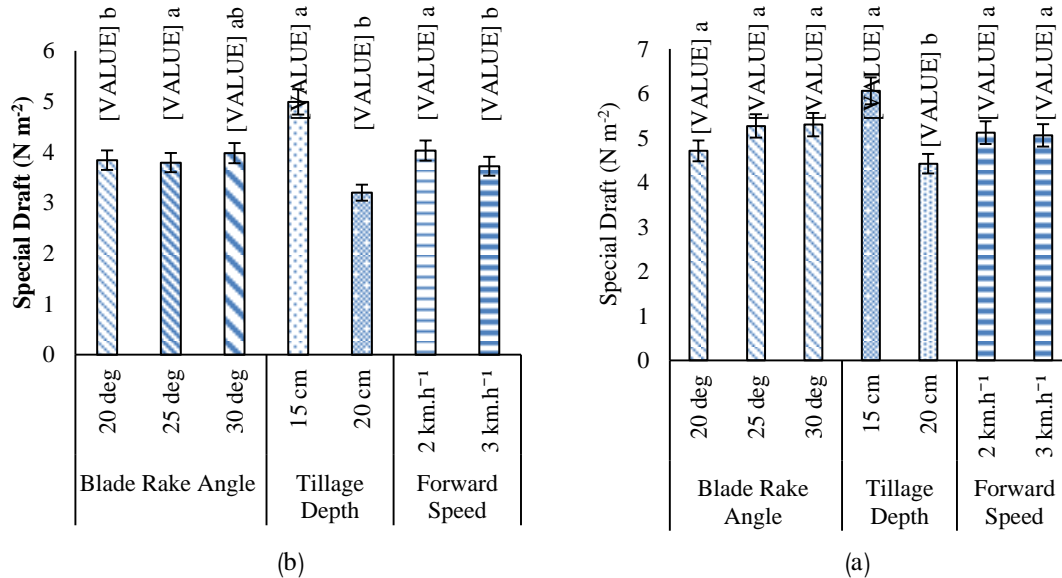
در روابط (۳) تا (۸)، $[RA_{opt}]_1$ مقدار بهینه زاویه حمله تیغه بدون باله، $[RA_{opt}]_2$ مقدار بهینه زاویه حمله تیغه باله‌دار، $[D_{opt}]_1$ عمق بهینه تیغه بدون باله، $[D_{opt}]_2$ عمق بهینه تیغه باله‌دار، $[V_{opt}]_1$ سرعت پیشروی بهینه تیغه بدون باله، $[V_{opt}]_2$ سرعت پیشروی بهینه تیغه باله‌دار می‌باشد. برای تعیین مقدار بهینه هر پارامتر، کم‌ترین میزان نیروی مقاومت کششی (D)، کم‌ترین میزان مصرف سوخت (F)، کم‌ترین میزان لغزش (S)، بیشترین میزان سطح

مقاومت ویژه خاک‌ورز

مقایسه میانگین مقاومت ویژه خاک‌ورز در سطوح مختلف عوامل آزمایش در وضعیت‌های تیغه بدون باله و باله‌دار، به‌ترتیب در شکل‌های (۱۰-الف و ب) نشان داده شده است. با توجه به شکل، مقادیر میانگین مقاومت ویژه خاک‌ورز در حالت تیغه باله‌دار، در اثر سه زاویه حمله تیغه، دو سطح عمق خاک‌ورزی و دو سطح سرعت پیشروی معنی‌دار نشده است. بنابراین با افزایش زاویه حمله تیغه، عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی، مقادیر میانگین مقاومت ویژه چرخ‌های محرک تراکتور تغییری نمی‌کند. نتایج حاصله از شکل ۱۰ نشان می‌دهد که اثر عامل عمق خاک‌ورز بر میانگین مقدار مقاومت ویژه خاک‌ورز، در حالت تیغه بدون باله معنی‌دار بوده است. یعنی با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقاومت ویژه خاک‌ورز نیز افزایش می‌یابد. در حالت تیغه باله‌دار، سه زاویه حمله تیغه بر مقادیر میانگین مقاومت ویژه خاک‌ورز اثر معنی‌داری داشته است. به بیان دیگر، با افزایش زاویه حمله تیغه از ۲۰ به ۲۵ درجه، مقادیر میانگین مقاومت ویژه خاک‌ورز افزایش یافته اما با تغییر زاویه از ۲۵ به ۳۰ درجه، تفاوتی در مقادیر میانگین مقاومت ویژه مشاهده نمی‌شود. بنابراین، در این حالت می‌توان زاویه ۲۰ درجه را بهترین زاویه حمله تیغه در نظر گرفت. اثر دو سطح عمق خاک‌ورزی نیز بر مقادیر میانگین مقدار مقاومت ویژه خاک‌ورز در حالت تیغه باله‌دار در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین دو سطح سرعت پیشروی بر مقادیر میانگین مقاومت ویژه خاک‌ورز در حالت تیغه باله‌دار، اثر معنی‌دار دارد. یعنی با افزایش سرعت مقادیر میانگین مقاومت ویژه خاک‌ورز نیز افزایش می‌یابد این

عمق بهینه، برای حالت تیغه بدون باله به میزان ۱۹/۹۸ سانتی‌متر با ضریب تبیین ۰/۹۹ و برای حالت تیغه باله‌دار به میزان ۲۰ سانتی‌متر با ضریب تبیین ۰/۹۷ محاسبه شد. مقدار سرعت پیشروی بهینه برای وضعیت تیغه بدون باله، ۲/۲۱ کیلومتر بر ساعت با ضریب تبیین ۰/۴۳ و برای وضعیت تیغه باله‌دار، ۲/۰۳ کیلومتر بر ساعت با ضریب تبیین ۰/۸۴ به‌دست آمد.

مقطع به‌هم‌خورده خاک (SDA)، بیشترین میزان سطح مقطع بال‌آمده خاک (SUA) و کم‌ترین میزان مقاومت ویژه خاک‌ورز (SD) استخراج و در روابط (۳ الی ۸) جای‌گذاری شد. در نهایت با محاسبه این روابط، مقدار بهینه هر یک از متغیرها محاسبه شد. زاویه بهینه حمله برای حالت تیغه بدون باله ۲۰ درجه با ضریب تبیین ۰/۷۳ و برای حالت تیغه باله‌دار به میزان ۳۰ درجه با ضریب تبیین ۰/۹ به‌دست آمد. مقدار



شکل ۱۰-۱ مقایسه میانگین مقاومت ویژه خاک‌ورز در حالت (الف) تیغه بدون باله، (ب) تیغه باله‌دار

Fig. 10. Compare means specific draft when using tillage tool with (a) non-winged blade, (b) winged blade

میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. Mean values followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.05$)

درجه با ضریب تبیین ۰/۹ به‌دست آمد. این مقادیر به ازای عمق بهینه، برای حالت تیغه بدون باله به میزان ۱۹/۹۸ سانتی‌متر با ضریب تبیین ۰/۹۹ و برای حالت تیغه باله‌دار به میزان ۲۰ سانتی‌متر با ضریب تبیین ۰/۹۷ قابل توصیه می‌باشند. همچنین مقدار سرعت پیشروی بهینه برای وضعیت تیغه بدون باله، ۲/۲۱ کیلومتر بر ساعت با ضریب تبیین ۰/۴۳ و برای وضعیت تیغه باله‌دار، ۲/۰۳ کیلومتر بر ساعت با ضریب تبیین ۰/۸۴ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، تعیین زاویه حمله بهینه تیغه خاک‌ورز و بررسی اثر تغییرات این زاویه بر میزان نیروی مقاومت کششی در مزرعه می‌باشد. پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش؛ نیروی مقاومت کششی، مصرف سوخت تراکتور، لغزش چرخ محرک تراکتور، سطح مقطع به‌هم‌خورده خاک، سطح مقطع بال‌آمده خاک و مقاومت ویژه خاک‌ورز بودند. زاویه بهینه حمله برای حالت تیغه بدون باله ۲۰ درجه با ضریب تبیین ۰/۷۳ و برای حالت تیغه باله‌دار به میزان ۳۰

References

1. Abbaspour-Fard, M. H., S. A. Hoseini, M. H. Aghkhani, and A. Sharifi. 2014. The behavior of tillage tools with acute and obtuse lift angles. Spanish Journal of Agricultural Research (1): 44-51.
2. Armin, A., R. Fotouhi, and W. Szyszkowski. 2017. Experimental and Finite Element Analysis for Mechanics of Soil-Tool Interaction. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering 11 (2): 433-439.
3. Azimi zadeh, Z., S. H. Karparvarfar, and H. Azimi-Nejadian. 2019. Evaluation of a Narrow Blade to Improving the Combined Tillage performance. Iranian Journal of Biosystems Engineering 50 (2): 253-266. (In Farsi).
4. Eshaghbagi, A., A. Tabatabaeifar, A. Kayhani, and M. H. Raoufat. 2004. The effect of depth and angle of attack on the pull resistance of the subsoiler with a bent blade. Journal of Agricultural Science of Iran 36 (4): 1045-1052.

5. Godwin, R. J., and G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 22 (3): 213-228.
6. Ibrahmi, A., H. Bentaher, E. Hamza, A. Maalej, and A. M. Mouazen. 2017. Advanced analytical method of mouldboard plough's design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 88 (1-4): 781-788.
7. Ibrahmi, A., H. Bentaher, M. Hbaieb, A. Maalej, and A. M. Mouazen. 2015. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. *Computers and Electronics in Agriculture* 117: 258-267.
8. Karayel, D., and E. Sarauskis. 2019. Environmental Impact of No-Tillage Farming. *Environmental Research, Engineering and Management* 75 (1): 7-12.
9. Karparvarfard, S. H., and H. Rahmanian-Koushkaki. 2015. Development of a fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel-ploughing in a clay loam soil. *Biosystems Engineering* 130: 23-33.
10. Mohammadi, M., S. H. Karparvarfard, S. Kamgar, and M. Rahmatian. 2018. Optimization and evaluation of working conditions for a new narrow blade for use in combined tillage. *Journal of Agricultural Machinery* 10 (2). doi:10.22067/jam.v10i2.73914. (In Farsi).
11. Moitzi, G., R. W. Neugschwandtner, H. P. Kaul, and H. Wagentristl. 2019. Energy efficiency of winter wheat in a long-term tillage experiment under Pannonian climate conditions. *European Journal of Agronomy* 103: 24-31.
12. Nasser, A. 2019. Energy use and economic analysis for wheat production by 450-459.
13. Or, D., and T. A. Ghezzehei. 2002. Modeling post-tillage soil structural dynamics: a review. *Soil and Tillage Research* 64 (1-2): 41-59.
14. Reicosky, D. C., and R. R. Allmaras. 2003. Advances in tillage research in North American cropping systems. *Journal of Crop Production* 8 (1-2): 75-125.
15. Renton, M., and K. C. Flower. 2015. Occasional mouldboard ploughing slows evolution of resistance and reduces long-term weed populations in no-till systems. *Agricultural Systems* 139: 66-75.
16. Rowe, R. J., and K. K. Barnes. 1961. Influence of speed on elements of draft of a tillage tool. *Transactions of the ASAE*, 4: 55-57.
17. Tabatabaeefar, A., H. Emamzadeh, M. Ghasemi Varnamkhasi, R. Rahimizadeh, and M. Karimi. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy* 34 (1): 41-45.

Evaluation of the Effect of Rake Angle on the Performance of a Modified Narrow Blade

B. Souri Damirchi Sofla¹, S. H. Karparvarfard^{2*}, A. Ranjbar Karim Abadi³, H. Azimi-Nejadian⁴, A. Moazni Kalat⁵

Received: 28-12-2019

Accepted: 25-04-2020

Introduction

Tillage is one of the most important field operations to improve soil structure and physical conditions and provide the proper plant site. Conservation tillage is one of the methods of tillage that reduces tillage costs. The blade is one of the most important consumed components of tillage tools in the conservation tillage, which is very important for how it is adjusted and its effect on the quality of tillage and energy required of tillage tools. According to the research conducted on the importance of optimizing tillage implements, the aim of this study was oriented to determine the optimum rake angle of a narrow-modified winged and non-winged blade in the field soil.

Materials and Methods

The tests were conducted in the 22nd part of farms in Agriculture School (Bajgah zone) of Shiraz University. Three levels of blade rake angles (20, 25, and 30 degrees), two levels of tillage depth (15 and 20 cm), and two levels of forward speed (2 and 3 km h⁻¹) were the treatments of this study. Draft, fuel consumption, slippage, soil disturbance area, soil upheaving area, and specific draft were the measured parameters and they were measured for each combination of the treatments. The RNAM test code was then used to measure the draft force. In order to measure fuel consumption, two flow meters were used in the round way as a closed-loop. The encoder and the fifth wheel were also employed to measure the slippage. The profilometer and laser meter were applied to measure the soil upheaving and disturbance areas. The split-split plot on randomized complete block design was used to do the field experiments in three replication and the data analysis was performed by SAS software (9.4 edition). Multivariate linear regression was used to determine the optimum values of the mentioned parameters. For this purpose, the lowest value of draft, fuel consumption, specific draft, tractor driver wheel slip, and the highest soil disturbance and upheaving areas was considered.

Result and Discussion

The results showed that the magnitude of draft increased with rake angle, therefore, the minimum draft was obtained in the rake angle of 20°. As the blade rake angle increased, the amount of soil disturbance area was increased and the maximum soil disturbance was obtained in the rake angle of 30°. The mean slip values of the tractor driver wheels when using non-winged blade were not significant for three levels of blade rake angles and it was significant for two velocity levels. With increasing in rake angle from 20 to 25°, the mean values of specific draft were increased, but with changing the rake angle from 25 to 30°, there was not significant difference between specific draft values. The difference between the magnitude of tractor driver wheels slip for three levels of rake angle was not significant. Increasing the rake angle had a significant effect on tractor fuel consumption, such that it increased by increasing the rake angle values.

Conclusions

The optimum rake angle for the non-winged blade mode was 20° with R² of 0.73 and for the winged blade mode was 30° with R² of 0.90. The optimum depth for the non-winged blade was 19.98 cm with R² of 0.99 and for the winged blade was 20 cm with R² of 0.97. Also, the optimum forward speed values for the non-winged blade was 2.21 km h⁻¹ with R² of 0.43 and for the winged blade was 2.03 km h⁻¹ with R² of 0.84.

Keywords: Draft, Optimum blade rake angle, Optimum forward speed, Optimum tillage depth, Soil disturbance area

1- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
4- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
5- MSc graduated of Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
(*- Corresponding Author Email: karparvr@shirazu.ac.ir)