

Evaluation of a Narrow Blade to Improving the Combined Tillage performance

ZEYNAB AZIMI ZADEH¹, SEYED HOSSEIN KARPARVARFARD^{*2}, HADI AZIMI NEJADIAN³

1. MSc graduate of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Associate Professor of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3. PhD student of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

(Received: Apr. 15, 2018- Revised: Oct. 2, 2018- Accepted: Jan. 5, 2019)

ABSTRACT

In this study, a new design of a narrow blade tillage with lateral tilt angle 10 degrees was used to study the possibility of removing its wing and compare it with the control blade. Three blades (blade with lateral tilt angles of 10 degrees, blade tilt angle of 10 degrees equipped with wing and blade control), plow depth in three levels, 20,15 and 25 cm and two levels of forward speeds 3 and 6 km/hr were the experimental factors. Measured characteristics were draft force, specific draft, soil surface disturbance and fuel consumption. The results showed that the draft force of the blade equipped with angle, with wing and without wing was significantly increased compared to the control blade. Soil surface disturbance in the blade with lateral tilt angle 10 degrees with and without wing decreased compared to the control blade. The effect of the blade type on specific draft was significant. Specific draft in the blade 10 degrees with wing and in depth of 25 cm and the control blade in depth of 15 cm had the highest and lowest value respectively. The effect of the blade type, plow depth and forward speed and also the interaction of these three factors on fuel consumption in probability level %1 were significant. There was no significantly different between amount of fuel consumption in the control blade and the blade equipped with lateral tilt angle. Based on the results of regression analysis, optimum depth and forward speed for narrow blade equipped with lateral tilt angle 10 degrees were proposed 17/02 cm and 3/6km / h, respectively.

Keywords: Tillage blade, Plow depth, Plow speed, Draft force, Fuel consumption.

ارزیابی تیغ‌های باریک خاک‌ورز به منظور بهبود عملکرد خاک‌ورز مرکب

زینب عظیمی زاده^۱، سید حسین کارپرور فرد^{۲*}، هادی عظیمی نژادبان^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵)

چکیده

در این پژوهش از طرح جدید یک تیغ‌های باریک خاک‌ورز با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه به منظور امکان‌سنجی حذف باله از آن و مقایسه با تیغ‌های شاهد استفاده شد. عوامل آزمایشی شامل تیغ (تیغ با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه، تیغ با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله و تیغ شاهد)، عمق شخم در سه سطح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر و سرعت پیشروی در دو سطح ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت بودند. نیروی مقاومت کششی، مقاومت ویژه، سطح بهم خوردگی خاک و مصرف سوخت به عنوان صفات اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد، نیروی مقاومت کششی تیغ‌های زاویه‌دار با و بدون باله نسبت به تیغ شاهد به طور معنی‌دار افزایش یافت. سطح بهم خوردگی خاک در تیغ با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با و بدون باله نسبت به تیغ شاهد کاهش یافت. اثر نوع تیغ بر مقاومت ویژه معنی‌دار بود. مقاومت ویژه در تیغ ۱۰ درجه با باله و عمق ۲۵ سانتی‌متری بیش‌ترین مقدار و در تیغ شاهد و عمق ۱۵ سانتی‌متری دارای کم‌ترین مقدار بود. اثر نوع تیغ، عمق شخم و سرعت پیشروی و همچنین برهم کنش این سه عامل بر مصرف سوخت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. مقدار مصرف سوخت در تیغ شاهد و ۱۰ درجه با هم تفاوت معنی‌داری نداشت. بر اساس نتایج رگرسیونی حاصله عمق بهینه برای تیغ‌های باریک خاک‌ورز با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه، ۱۷/۰۲ سانتی‌متر و سرعت پیشروی بهینه ۳/۶ کیلومتر بر ساعت پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: تیغ‌های باریک خاک‌ورز، عمق شخم، سرعت شخم، نیروی کششی، مصرف سوخت.

مقدمه

کاشت توسط بقایای گیاهی به منظور کاهش فرسایش خاک توسط آب پوشانده شود بنابراین باعث کاهش فرسایش خاک، افزایش نرخ نفوذ آب در خاک و کاهش تبخیر آب شده که نتیجه آن افزایش عملکرد محصول می‌باشد (Busari et al., 2015 and Shao et al., 2016). مقدار انرژی مصرفی در هنگام تهیه بستر بذری به میزان زیادی به خاک‌ورز مورد استفاده بستگی دارد (Mouazen et al., 1999; Jafari et al., 2008). مقدار نیروی وارد بر خاک‌ورز از طرف خاک می‌تواند تحت تاثیر فاکتورهای مختلف از جمله هندسه ابزار خاک‌ورز و شرایط عملیات قرار گیرد (Abbaspour et al., 2014). در تحقیقی اثر عمق کار و زاویه حمله خاک‌ورز زیرشکن تیغه مورب بر مقاومت کششی و سطح مقطع خاک بهم خورده بررسی شد، عمق به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۵۰ میلی‌متر و زاویه حمله به عنوان فاکتور فرعی در چهار سطح ۷/۵، ۱۵، ۲۲/۵، ۳۰ درجه در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین حاکی از افزایش مقاومت کششی با افزایش عمق و زاویه حمله بود و با افزایش عمق کار، سطح مقطع بهم خورده

خاک‌ورزی فرایندی مهم جهت به هم خوردن ساختمان خاک و فراهم کردن بستر رشد گیاه به شمار می‌رود و یکی از مراحل اصلی در تولید محصولات کشاورزی است. خاک‌ورزی عبارت است از برهم زدن خاک به طریق مکانیکی به منظور تولید محصول که بر خصوصیات خاک مانند حفظ رطوبت خاک، دمای خاک، نفوذ پذیری و فرایند تبخیر و تعرق مؤثر است (Busari Abolanle et al., 2015). اهداف اولیه خاک‌ورزی در هر سیستم تولید محصولات کشاورزی شامل کنترل علف‌های هرز، افزایش ذخیره و نگهداری رطوبت خاک‌کاهش فرسایش روانایی خاک و آماده سازی بستر بذری می‌باشد (Hemat and Mosadeghi, 2000). سیستم‌های خاک‌ورزی با شدت متوسط معمولاً به سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی معروف شده‌اند. سیستم بی‌خاک‌ورزی تنها شامل عملیات قرار دادن بذر و کود در خاک با حداقل به هم خوردگی می‌باشد (Godwin, 2007). خاک‌ورزی حفاظتی عبارت است از هر سیستم خاک‌ورزی که حداقل ۳۰ درصد از سطح خاک بعد از

کششی، لغزش چرخه‌ها، توان مالبندی و بازده کلی انرژی افزایش و بازده کششی کاهش یافت. علاوه بر این مصرف سوخت با افزایش سرعت از ۱/۵ به ۳ کیلومتر بر ساعت کاهش ولی با افزایش سرعت از ۳ به ۴ کیلومتر بر ساعت افزایش یافت (Ranjbarian *et al.*, 2017). تحقیقات گذشته نشان داد که عمق کار، سرعت پیشروی و زاویه تمایل جانبی در مقاومت کششی، مقاومت ویژه، مصرف سوخت و راندمان کار ابزار خاک‌ورز مؤثر می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد با استفاده از طرح جدید یک تیغه‌ی باریک خاک‌ورز با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه به منظور امکان‌سنجی حذف باله از تیغه‌ی شاهد و اضافه نمودن زاویه تمایل جانبی به تیغه بررسی موارد مذکور حائز اهمیت باشد. به عبارت دیگر، با تغییر مشخصات ظاهری تیغه باریک خاک‌ورز، مقدمه‌ای بر نحوه‌ی تاثیر آن بر روند مقاومت کششی، مقاومت ویژه، مصرف سوخت و سطح مقطع بهم خوردگی فراهم خواهد شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق تیغه باریک خاک‌ورز با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه از یک ورق فولاد ساختمانی (ck 45) به ضخامت ۶ میلی‌متر ساخته شد (شکل ۱-الف). این تیغه و تیغه‌ای با زاویه تمایل ۱۰ درجه با باله (شکل ۱-ب)، در سه سطح عمق ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و دو سطح سرعت پیشروی ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت در مقایسه با تیغه شرکت بلوتای اسپانیا (شکل ۱-ج) مورد ارزیابی قرار گرفتند. ابعاد تیغه، مطابق با ابعاد تیغه شاهد در نظر گرفته شد با این تفاوت که تیغه‌ی جدید دارای زاویه تمایل جانبی (α) معادل ۱۰ درجه بود (شکل ۲).

خاک افزایش یافت، اما زاویه حمله تأثیری بر سطح برهم خورده خاک نداشت (Eshaghbagi *et al.*, 2004). مقاومت ویژه، انرژی مورد نیاز برای خرد کردن خاک و اختلاط بقایا با ابزارهای خاک‌ورز با تیغه‌های متفاوت و در دو نوع خاک رسی و لومی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. ابزار و تیغه‌های بکار رفته در این مطالعه شامل گاوآهن برگران‌دار، تیغه ۸۰ میلی‌متری با باله و بدون باله، پنجه‌غازی و تیغه‌های ۸۰ میلی‌متری صلب و ارتعاشی بود. نتایج بدین صورت بوده است که در خاک رسی مقاومت ویژه برای تیغه‌های ۸۰ میلی‌متری صلب نسبت به گاوآهن برگران‌دار و پنجه‌غازی بیشتر شد. همچنین تیغه ارتعاشی نسبت به تیغه صلب به انرژی کمتری برای خرد کردن خاک نیاز داشت. پنجه-غازی نیز برای خرد کردن خاک انرژی کمی نیاز داشت اما میزان اختلاط کاه در آن کم بود. در خاک‌های لومی اختلاف بین تیمارها نسبت به خاک‌های رسی کمتر بود. این آزمایش نشان داد که با افزایش زاویه حمله، کشش ویژه افزایش یافت ولی با تغییر عرض تیغه تفاوت معنی‌داری در کشش ویژه وجود نداشت (Arvidsson and Hillerstrom, 2010). برای اندازه‌گیری پارامترهای عملکرد تراکتور و ادوات متصل به آن سیستم ابزار موبایل توسط محققین توسعه داده و روی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ نصب شد. این سیستم، مقاومت کششی، مصرف سوخت، سرعت پیشروی، عمق شخم، سرعت موتور و پارامترهای دیگر مانند لغزش، توان مالبندی، بازده کششی را مطابق با استاندارد ASABE محاسبه می‌کند. سه خاک‌ورز شامل، گاوآهن برگران‌دار، گاوآهن بشقاب‌ی و گاوآهن قلمی در چهار سطح سرعت رو به جلو و در عمق ۲۳ سانتی‌متر و سرعت موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت رو به جلو، نیروی



(ج)

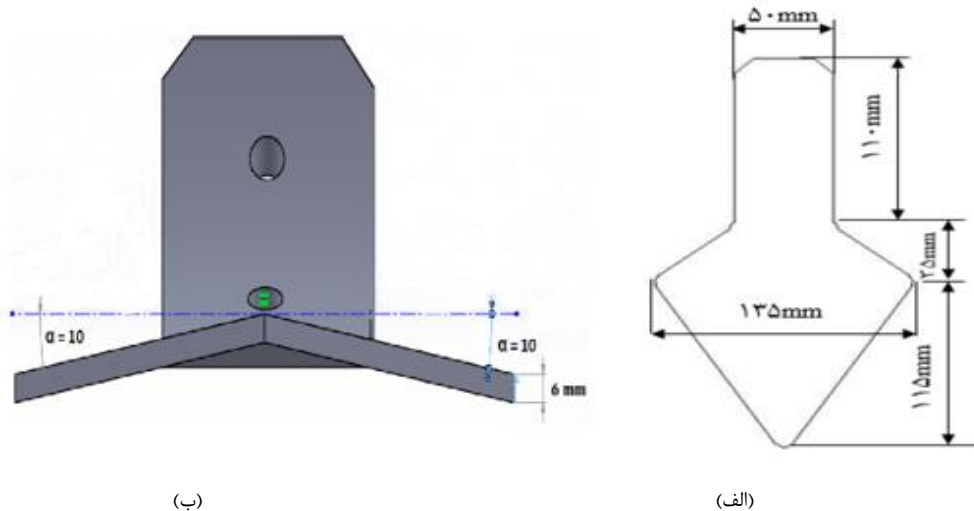


(ب)



(الف)

شکل ۱- الف: تیغه خاک‌ورز شاهد. ب: تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله. ج: تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه.



شکل ۲- الف: نمایش ابعاد تیغه خاکورز ساخته شده. ب: نمایش زاویه تمایل جانبی تیغه ساخته شده (X).

به طور عمودی تغییر داده می‌شد. عملیات خاک‌ورزی در سه سطح عمق شخم ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و دو سطح سرعت پیشروی ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت در سه تکرار انجام شد.

اندازه‌گیری دبی حجمی سوخت مصرفی

برای اندازه‌گیری دبی حجمی سوخت مصرفی از حسگر دبی سنج توربینی VISION-1000 ساخت شرکت ریمگ استفاده گردید. چون در موتورهای دیزلی سوخت اضافی مصرف نشده از پمپ انژکتور به باک بر می‌گردد، علاوه بر دبی سنجی که در مسیر رفت سوخت به پمپ انژکتور قرار داده شده بود، یک دبی سنج نیز در مسیر برگشت سوخت به باک قرار گرفت و میزان دبی سوخت مصرفی موتور از طریق تفاضل جریان عبوری از دو دبی سنج محاسبه شد. برای واسنجی دبی سنج‌ها از یک مخزن سوخت فرعی استفاده شد. این دستگاه در حقیقت یک استوانه شیشه‌ای مدرج بود که به جای مخزن سوخت قرار داده شد و مقدار موجودی سوخت را می‌توان از روی آن مشاهده کرد. هر کدام از دبی سنج‌ها به صورت جداگانه در مسیر سوخت ورودی از مخزن سوخت فرعی به پمپ انژکتور (قبل از پمپ انژکتور) قرار گرفته و نمودار میزان سوخت مصرفی اندازه‌گیری شده توسط دبی سنج‌ها در برابر مقدار نمایش داده شده توسط مخزن فرعی رسم گردید. دبی سنج توربینی مسیر رفت و دبی سنج توربینی مسیر برگشت به ترتیب دارای ضریب تبیین ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۵ بودند.

اندازه‌گیری سرعت پیشروی و لغزش چرخ محرک

برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور از چرخ پنجم^۲ نصب شده بر شاسی تراکتور استفاده شد. بدین صورت که تعداد دورهای



شکل ۳- خاک‌ورز مورد استفاده در این پژوهش.

آزمایش‌ها در قطعه شماره ۲۳ دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. جهت اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر، مزرعه آزمایشی بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی، به سه بلوک و هر بلوک به بیست کرت (با عرض ۳ و طول ۳۰ متر) تقسیم شد. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک، نمونه‌برداری از خاک در عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر انجام شد. درصد رطوبت خاک ۶/۸۵ درصد بر اساس وزن خشک بدست آمد. برای انجام آزمایش‌ها یک دستگاه خاک‌ورز مرکب ۵ شاخه طرح کنوچه شرکت ماشین ابزار فارس کاوه نوع سوار شونده استفاده شد (شکل ۳). در این پژوهش ۲ شاخه عقب، غلتک و دیسک‌های عقب آن باز شدند و بصورت خاک‌ورز ۳ شاخه استفاده شد. دو عدد چرخ تثبیت عمق دارای بازوهای عمودی قابل تنظیم، در طرفین شاسی قرار داده شد و در هر مورد برای دستیابی به عمق شخم مورد نظر، محل تثبیت بازوها به شاسی



شکل ۴- نمایش آزمایش دو تراکتوری برای اندازه‌گیری مقاومت کششی.

اندازه‌گیری سطح مقطع بهم‌خوردگی خاک

عرض مقطع بهم‌خورده خاک معیاری جهت تعیین فاصله بهینه بین دو تیغه متوالی روی یک شاسی است و می‌توان با استفاده از این معیار از هم‌پوشانی زیاد دو تیغه مجاور جلوگیری کرد (Salar *et al.*, 2013). برای تعیین مساحت مقطع گسیختگی خاک در هر تیمار، پس از عبور خاکورز، یک برش عرضی به عمق بهم‌خورده توسط خاکورزی در خاک ایجاد شد. پس از تخلیه خاک نرم شده، با یک نوار رنگی، اطراف سطح گسیختگی خاک مشخص شد و از فاصله ۲ متری، از آن عکس گرفته شد سپس با استفاده از پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب^۴ مساحت سطح بالا آمدگی و بهم‌خوردگی خاک تعیین شد (شکل ۵).

در نهایت به منظور بررسی اثر عوامل آزمایشی بر متغیرهای اندازه‌گیری شده، مقایسه تیمارها به صورت آزمایش فاکتوریل ۲ × ۲ × ۳ (نوع تیغه خاکورز × سرعت × عمق) در قالب بلوک کامل تصادفی انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار سس^۵ استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر عامل آزمایش، میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۶ (LSD) مقایسه شدند. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.



شکل ۵- پروفیل خاک شخم خورده.

این چرخ به وسیله محور انکودر^۱ که به محور مرکزی این چرخ کوپل شده بود اندازه‌گیری شد. در این پژوهش از دو محور انکودر مدل E50S8-500-3-T-1 استفاده گردید. قابل توجه است که محور انکودر به وسیله کوپلینگ قابل انعطاف به محور مرکزی چرخ کوپل شده بود. با داشتن شعاع چرخ پنجم و تعداد دوران این چرخ می‌توان میزان مسافت پیش روی چرخ پنجم که در واقع میزان پیش روی تراکتور نیز می‌باشد را اندازه‌گیری نمود. در نهایت با تقسیم مسافت پیشروی به مدت زمان پیشروی تراکتور، سرعت پیشروی تراکتور بدست می‌آمد. برای اندازه‌گیری میزان لغزش چرخ محرک عقب، محور انکودر دیگری را به وسیله کوپلینگ قابل انعطاف و یک شاسی به چرخ محرک عقب کوپل گردید. محور انکودر تعداد دوران چرخ محرک عقب را اندازه‌گیری می‌کرد. با داشتن شعاع غلتشی چرخ محرک عقب و تعداد دوران آن می‌توان مسافت طی شده توسط چرخ محرک عقب، و در نهایت لغزش چرخ محرک را حساب نمود. از مقدار عددی لغزش محاسبه شده در واسنجی سرعت پیشروی چرخ محرک استفاده گردید. از طرفی سرعت پیشروی تراکتور توسط چرخ پنجم نیز قابل اندازه‌گیری بود. با تکرار این آزمایش در دنده‌های مختلف نمودار واسنجی سرعت پیشروی تراکتور رسم شد. جهت واسنجی بکسوات از روش مسافت ثابت استفاده شد. بدین صورت که تعداد دوران چرخ محرک عقب و چرخ پنجم در یک مسافت ثابت اندازه‌گیری شده و بکسوات به صورت دستی حساب گردید. سپس با رسم مقادیر بکسوات بدست آمده از این طریق در برابر بکسوات بدست آمده از طریق سیستم داده برداری نمودار واسنجی بکسوات را رسم شد. ضریب تبیین بکسوات اندازه‌گیری شده برابر ۰/۹۸ شد.

اندازه‌گیری مقاومت کششی خاکورز

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی خاکورز از روش آزمون دو تراکتوری (روش RNAM) استفاده شد. بدین منظور دستگاه بارسنج توسط اتصالات، بین دو تراکتور نصب شد. در این وضعیت از دو تراکتور ITM 285 که وظیفه کشش را بر عهده داشت و تراکتور ITM 399 که پشت تراکتور کشنده قرار داشت استفاده شد (شکل ۴). بارسنج استفاده شده در این پژوهش از نوع S شکل و کششی- فشاری با ظرفیت ۵ تن و ساخت شرکت کلی‌چین است. به منظور واسنجی بارسنج از دستگاه اینستران (دستگاه تست یونیورسال) مدل ASTM-20 ساخت شرکت سنتام^۳ استفاده شد. ضریب تبیین نمودار واسنجی این حسگر برابر ۰/۹۹ بود.

4. MATLAB
5. SAS V9.4
6. Least significant difference

1. Shaft encoder
2. Keli
3. Santam

$$Q = \sum(Y_i - b_0 - b_1X_{1i} - \dots - b_nX_{ni})^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این تحقیق، عمق شخم (Y_1) و سرعت پیشروی (Y_2) به عنوان متغیر وابسته و مقاومت کششی خاکورز (X_1)، سطح مقطع بهم خوردگی خاک (X_2)، سطح مقطع خاک بالا آمده (X_3)، مقاومت ویژه خاکورز (X_4) و مصرف سوخت (X_5) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند

نتایج و بحث

مقاومت کششی خاکورز

نتایج تجزیه واریانس مربوط به مقاومت کششی در جدول (۱) آمده است. مطابق با این نتایج، اثر نوع تیغه، عمق شخم و سرعت شخم بر مقاومت کششی خاکورز در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است. همچنین اثر متقابل سه عامل تیغه، عمق شخم و سرعت شخم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است.

بدست آوردن نقطه بهینه کاری دستگاه خاکورز مجهز به تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با استفاده از رگرسیون چند متغیره برای معرفی نقطه بهینه کارکرد تیغه مورد نظر از نظر عمق شخم و سرعت پیشروی دو معادله رگرسیون ارائه گردید. معادله های رگرسیون داده شده در این تحقیق از نوع رگرسیون چند متغیره است. در الگوی رگرسیون چند متغیره رابطه ای خطی بین متغیر وابسته (Y) و متغیرهای مستقل (X_1, X_2, \dots, X_n) وجود دارد. در این معادلات مقدار تابع تنها بستگی به تغییر یک متغیر مستقل X نداشته و چندین متغیر هستند که تغییرات آن ها با تغییر تابع ارتباط دارد. در این تحقیق معادلات خطی در نظر گرفته شده است. معادله رگرسیون مورد استفاده در این تحقیق به شکل معادله زیر است.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (\text{رابطه ۱})$$

در معادله (۲)، b_0 ، b_1 ، b_2 ، b_n را ضرایب رگرسیون می نامند. برای تعیین این ضرایب باید مجموع مربعات انحراف حداقل باشد. به عبارت دیگر مقدار معادله (۲) کمینه باشد.

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس مقاومت کششی.

مقدار F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۲/۳۱ ^{ns}	۰/۱۴۸۱	۰/۲۹۶۳	۲	بلوک
۱۵۷۱/۹۱**	۱۰۰/۸۲	۲۰۱/۶۴	۲	تیغه (b)
۱۵۵۸/۳۳**	۹۹/۹۵	۱۹۹/۹۰	۲	عمق (d)
۷۵۶/۱۱**	۴۸/۴۹	۴۸/۴۹	۱	سرعت (s)
۱۸۵/۰۸**	۱۱/۸۷	۴۷/۴۸	۴	b×d
۱۶۷/۰۱**	۱۰/۷۱	۲۱/۴۲	۲	b×s
۱۴۲/۱۶**	۹/۱۲	۱۸/۲۳	۲	d×s
۶۴/۰۱**	۴/۱۰	۱۶/۴۲	۴	b×d×s
	۰/۰۶۴۱	۲/۱۸	۳۴	خطا

CV=۲/۲۰۸۳

** بیانگر اثر معنی داری در سطوح احتمال ۱ درصد می باشد.

ns نشان دهنده فاقد اختلاف معنی دار است.

سطح تماس تیغه خاکورز با خاک افزایش یافته که منجر به افزایش اصطکاک و در نهایت افزایش مقاومت کششی خاکورز می شود. یکی دیگر از دلایل افزایش مقاومت کششی با افزایش زاویه جانبی، نیاز به نیروی بیشتر برای بلند کردن خاک در زاویه تمایل جانبی بیشتر است.

مقادیر میانگین مقاومت کششی، در سه عمق شخم دارای اختلاف معنی دار بود. بطوری که با افزایش عمق شخم مقاومت کششی نیز افزایش می یابد، افزایش مقاومت کششی با افزایش عمق خاکورزی را می توان ناشی از افزایش وزن خاک بر روی لایه های پایینی و احتمالاً افزایش جرم مخصوص خاک دانست که

مقایسه میانگین مقاومت کششی خاکورز در سطوح مختلف عوامل آزمایش در جدول (۲) قابل مشاهده است. طبق این جدول مقادیر میانگین مقاومت کششی سه تیغه دارای اختلاف معنی دار است. مقدار میانگین مقاومت کششی تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله، نسبت به تیغه شاهد و تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه، به ترتیب ۴۶ و ۳۴ درصد افزایش یافت. همچنین مقدار میانگین مقاومت کششی تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه نسبت به تیغه شاهد ۹ درصد افزایش داشت. بیشترین مقدار مقاومت کششی مربوط به تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله بود. با افزایش زاویه تمایل جانبی تیغه،

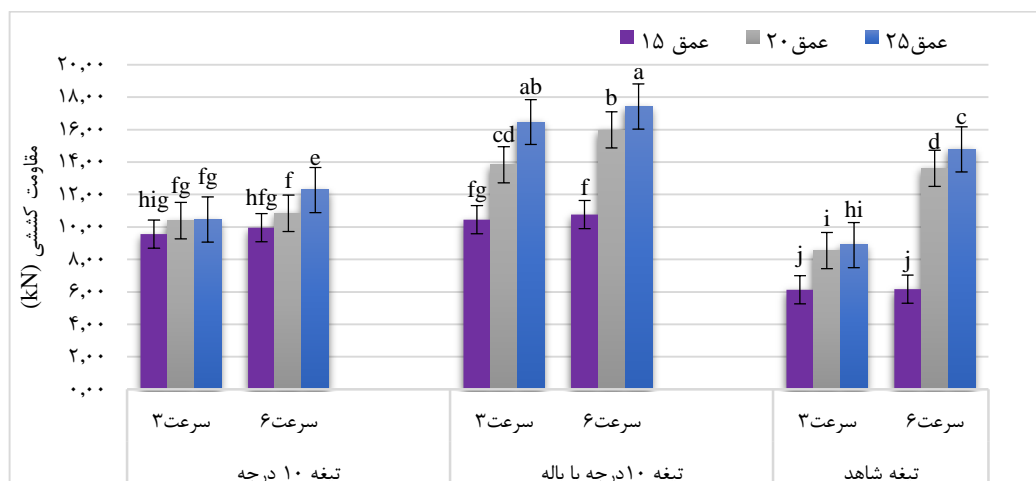
افزایش مقاومت برشی خاک در سرعت‌های بالاتر می‌باشد (Row and Barnes, 1961). مطابق با جدول تجزیه واریانس اثر متقابل سه عامل تیغه، عمق شخم و سرعت پیشروی روی مقاومت کششی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). شکل (۶) مقایسه میانگین‌های مقادیر مقاومت کششی با توجه به نوع تیغه، سرعت پیشروی و عمق شخم را نمایش می‌دهد. با افزایش عمق، مقاومت کششی در سه تیغه افزایش یافت. بطوریکه این افزایش در دو تیغه شاهد و تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله معنی‌دار بود. ولی در تیغه ۱۰ درجه این افزایش معنی‌دار نبود. همچنین با افزایش سرعت، مقاومت کششی سه تیغه افزایش یافت. اما فقط در تیغه شاهد این افزایش معنی‌دار بود. در تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه، در سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت با افزایش عمق مقاومت کششی معنی‌دار نشد. در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت با افزایش عمق از ۲۰ به ۲۵ سانتی‌متر مقاومت کششی به طور معنی‌داری افزایش یافت.

منجر به افزایش نیروی اصطکاک بین خاک و تیغه و صرف نیروی بیشتر برای بالا آوردن توده خاک می‌باشد (Godwin and Spoor, 1997; Loghavi and Ashrafi zade, 1997; Khalilian *et al.*, 1986; Summers *et al.*, 1988). این احتمال نیز وجود دارد که با افزایش عمق کار، نیروی عمودی واکنش خاک بزرگ‌تر شده و موجب فشردگی مجدد لایه‌های فوقانی گردیده و در نتیجه مقاومت کششی افزایش می‌یابد (Mckey and Maswaure, 1997). مقایسه میانگین مقاومت کششی، در دو سرعت پیشروی دارای اختلاف معنی‌دار بود. با افزایش سرعت پیشروی از ۳ به ۶ کیلومتر بر ساعت مقاومت کششی بطور معنی‌داری به اندازه ۱۸ درصد افزایش یافت (جدول ۲). در تحقیقی مشابه گزارش شد که با افزایش سرعت عملیات ابزار باریک خاک‌ورز از ۵ به ۱۰ کیلومتر بر ساعت، میزان نیروی مقاومت کششی مورد نیاز وسیله ۲۰ تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد. آن‌ها معتقد بودند که دلیل این افزایش نیروی مقاومت کششی به ازای افزایش سرعت،

جدول ۲- مقایسه میانگین مقاومت کششی خاک‌ورز در سطوح مختلف عوامل آزمایشی.

مقاومت کششی (kN)	
نوع تیغه	
تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه	۱۰/۵۶ ^b
تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله	۱۴/۱۵ ^a
تیغه شاهد	۹/۶۹ ^c
عمق شخم	
۱۵	۸/۸۴ ^c
۲۰	۱۲/۱۸ ^b
۲۵	۱۳/۳۸ ^a
سرعت شخم	
۳	۱۰/۵۲ ^b
۶	۱۲/۴۲ ^a

میانگین‌های هر عامل آزمایشی که دارای حروف لاتین مشابه هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۶- اثر متقابل تیغه، عمق و سرعت بر مقاومت کششی خاک‌ورز.

نبود.

سطح مقطع بهم خوردگی خاک

تجزیه واریانس مربوط به سطح مقطع بهم خوردگی خاک در جدول (۳) آمده است. اثر نوع تیغه و عمق شخم بر سطح مقطع بهم خوردگی خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است. همچنین با توجه به این جدول اثر متقابل دو عامل تیغه و عمق شخم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است.

در تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله با افزایش عمق در دو سطح سرعت ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت مقاومت کششی به طور معنی داری افزایش یافت. به طوری که در عمق ۱۵ سانتیمتر در دو سطح سرعت ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت تفاوت معنی داری در مقاومت کششی دیده نشد. همچنین مقدار مقاومت کششی در (سرعت ۳ و عمق ۲۵) و (سرعت ۶ و عمق ۲۰ و ۲۵) با هم تفاوت معنی داری نداشتند. همچنین در (سرعت ۳ و عمق ۲۰) و (تیغه شاهد، سرعت ۶، عمق ۲۰ و ۲۵) نیز اختلاف معنی دار

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس سطح بهم خوردگی خاک.

مقدار F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۶/۳۴**	۲۸۵۴۹۴/۱۳۷	۵۷۰۹۸۸/۲۷۳	۲	بلوک
۵/۷۰**	۲۵۶۵۵۳/۸۵۹	۵۱۳۱۰۷/۷۱۷	۲	تیغه (b)
۱۳/۴۱**	۶۰۳۷۶۴/۶۹۲	۱۲۰۷۵۲۹/۳۸۳	۲	عمق (d)
۱/۲۶ ^{ns}	۵۶۶۴۸/۵۰۷	۵۶۶۴۸/۵۰۷	۱	سرعت (s)
۲/۸۹*	۱۳۰۰۳۶/۴۸۵	۵۲۰۱۴۵/۹۳۹	۴	b×d
۲/۵۹ ^{ns}	۱۱۶۷۳۶/۷۲۳	۲۳۳۴۷۳/۴۴۶	۲	b×s
۲/۵۵ ^{ns}	۱۱۵۰۳۲/۲۹۰	۲۳۰۰۶۴/۵۸۰	۲	d×s
^{ns} ۲/۱۹	۹۸۴۸۹/۲۴۹	۳۹۳۹۵۶/۹۹۶	۴	b×d×s
	۴۵۰۳۷/۸۲۱	۱۵۳۱۲۸۵/۹۱۶	۳۴	خطا

CV=۱۳/۷۵۶

*، ** و به ترتیب بیانگر اثر معنی داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

^{ns} نشان دهنده فاقد اختلاف معنی دار است.

شخم از ۱۵ به ۲۰ سانتیمتر افزایش معنی داری یافت. ولی با افزایش عمق شخم از ۲۰ به ۲۵ سانتیمتر تفاوت معنی داری نداشت. کمترین سطح مقطع بهم خوردگی خاک در عمق ۱۵ سانتی متر است (McKyes and Maswaure, 1977). اثر عمق کار و زاویه حمله خاکورز زیرشکن تیغه مورب بر مقاومت کششی و سطح مقطع خاک بهم خورده توسط محققین بررسی شد و نتایج نشان داد که با افزایش عمق کار، سطح مقطع بهم خورده خاک افزایش یافت (Eshaghbagi et al., 2004; Manuwa, 2009).

جدول ۴- مقایسه میانگین سطح بهم خوردگی خاک خاکورز در سطوح مختلف عوامل آزمایشی.

سطح بهم خوردگی خاک (cm ²)	نوع تیغه
۱۴۳۷/۲۷ ^b	تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه
۱۵۱۸/۴۵ ^b	تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله
۱۶۷۲/۳۲ ^a	تیغه شاهد
	عمق شخم
۱۳۳۱/۷۸ ^b	۱۵
۱۶۶۱/۵۹ ^a	۲۰
۱۶۳۴/۶۸ ^a	۲۵

* میانگین های هر عامل آزمایشی که دارای حروف لاتین مشابه هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

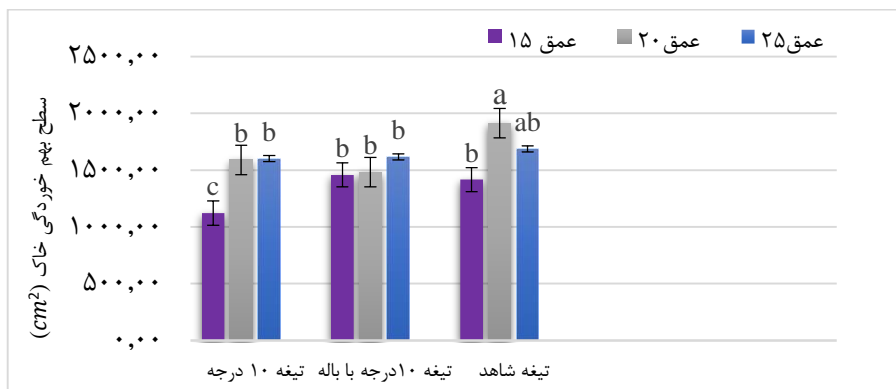
مقایسه میانگین سطح مقطع بهم خوردگی خاک در سطوح مختلف عوامل آزمایش در جدول (۴) قابل مشاهده است. مقادیر میانگین سطح مقطع بهم خوردگی خاک، دو تیغه (۱۰ درجه و ۱۰ درجه با باله) دارای اختلاف معنی داری با تیغه شاهد بود. مقدار سطح بهم خوردگی خاک در تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله، نسبت به تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه اندکی افزایش داشت بطوریکه با هم اختلاف معنی داری نداشتند. در واقع می توان گفت افزودن باله به تیغه ۱۰ درجه تفاوتی در سطح بهم خوردگی خاک ایجاد نکرد. در تحقیقی مشابه محققین دریافتند که اتصال باله به تیغه باعث افزایش سطح بهم خورده خاک می شود. بیشترین سطح مقطع بهم خوردگی خاک مربوط به تیغه شاهد بود. بطوریکه مقدار میانگین سطح مقطع بهم خوردگی خاک مربوط به تیغه شاهد، نسبت به تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله و تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه به ترتیب ۱۰ و ۱۶ درصد افزایش یافت. پهنا (عرض کار) تیغه شاهد ۱۳۵ میلی متر بود که با زاویه دادن به تیغه به ۱۳۲/۹ میلی متر کاهش یافت. با زاویه دادن به تیغه، پهنای تیغه کمتر شده و در نتیجه سطح گسیختگی خاک کمتر می شود (Godwin and Spoor, 1977). همچنین محققین گزارش کردند که با افزایش پهنا و عمق کار تیغه های باریک سطح خاک گسیخته شده افزایش می یابد. مقادیر میانگین سطح مقطع بهم خوردگی خاک با افزایش عمق

نداشت. و این موضوع بیانگر آن است که با افزودن باله به تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه تفاوتی در مقدار سطح بهم خوردگی خاک بوجود نیامده یا در واقع باله‌ها اثری بر سطح مقطع بهم خوردگی خاک ندارند. همچنین بیشترین سطح مقطع بهم خوردگی خاک مربوط به تیغه شاهد و در عمق ۲۰ سانتی‌متر است و کمترین آن مربوط به تیغه ۱۰ درجه و در عمق ۱۵ سانتی‌متر است.

مقاومت ویژه خاک‌ورز

نتایج تجزیه واریانس مربوط به مقاومت ویژه (نسبت مقاومت کششی به سطح مقطع بهم خورده خاک) خاک‌ورز در جدول (۵) آمده است. مطابق با این نتایج، اثر نوع تیغه، عمق شخم و سرعت شخم بر مقاومت ویژه خاک‌ورز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل دو عامل تیغه و عمق شخم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است.

اثر متقابل تیغه و عمق شخم در سطح احتمال ۵ درصد بر سطح مقطع بهم خوردگی خاک معنی‌دار بود (جدول ۴). در شکل (۷) مقایسه میانگین‌های مقادیر سطح مقطع بهم خوردگی خاک با توجه به نوع تیغه و عمق شخم قابل مشاهده است. با افزایش عمق در سه تیغه تقریباً سطح بهم خوردگی خاک افزایش می‌یابد سطح بهم خوردگی خاک در هنگام استفاده از دو تیغه شاهد و تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه، با افزایش عمق از ۱۵ به ۲۰ سانتی‌متر افزایش معنی‌داری یافت و با افزایش عمق از ۲۰ به ۲۵ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت. زاویه تمایل جانبی در تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله، با افزایش عمق شخم مقدار سطح بهم خوردگی خاک تفاوت معنی‌داری نداشت. و مقدار سطح بهم خوردگی خاک در سه عمق شخم متفاوت در این تیغه با تیغه شاهد در دو عمق ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر و تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه در دو عمق ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری



شکل ۷- اثر متقابل تیغه و عمق شخم بر سطح مقطع بهم خوردگی خاک.

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس مقاومت ویژه.

مقدار F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۵/۳۱**	۸/۵۵	۱۷/۱۱	۲	بلوک
۳۶/۳۱**	۰/۰۰۰۰۵۸	۱۱۷/۰۴	۲	تیغه (b)
۶/۲۷**	۰/۰۰۰۰۱	۲۰/۱۹	۲	عمق (d)
۱۹/۷۶**	۰/۰۰۰۰۳	۳۱/۸۳	۱	سرعت (s)
۷/۲۷**	۰/۰۰۰۰۱	۴۶/۸۴	۴	b×d
۰/۳۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۵۷	۱/۱۴	۲	b×s
۲/۴۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴	۸/۰۰۲	۲	d×s
۱/۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱۸	۷/۲۰	۴	b×d×s
	۰/۰۰۰۰۰۱۶	۵۴/۷۹	۳۴	خطا

CV=۱۶/۵۵۲۳

** بیانگر اثر معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد می‌باشد
ns نشان دهنده فاقد اختلاف معنی‌دار است.

با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله دارای بیشترین مقاومت کششی بود بنابراین دارای مقاومت ویژه بالاتری نسبت به دو تیغه دیگر است. با توجه به اینکه بیشترین سطح مقطع بهم خوردگی

مقایسه میانگین مقاومت ویژه در سطوح مختلف عوامل آزمایش در جدول (۶) قابل مشاهده است. طبق این جدول مقادیر میانگین مقاومت ویژه سه تیغه دارای اختلاف معنی‌دار بود. تیغه

(جدول ۸). مقاومت ویژه در عمق ۲۰ و ۲۵ سانتی متری تفاوت معنی داری با هم ندارند. کمترین مقاومت ویژه در عمق ۱۵ سانتی متر بود زیرا با افزایش عمق، مقاومت کششی افزایش می یابد و در نتیجه مقاومت ویژه نیز افزایش می یابد. افزایش عمق کار موجب افزایش نیروی اصطکاک بین خاک و تیغه گردیده و بالا آوردن توده خاک نیاز به مقاومت کششی بیشتری داشته و با افزایش حرکت جانبی خاک، مقاومت ویژه نیز افزایش می یابد.

خاک مربوط به تیغه شاهد بود (جدول ۴) این تیغه کمترین مقاومت ویژه را دارا می باشد. مقاومت ویژه تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله، نسبت به تیغه شاهد و تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه به ترتیب ۶۱ و ۲۱ درصد افزایش داشت. همچنین تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه، نسبت به تیغه شاهد ۳۲ درصد افزایش مقاومت ویژه داشت. مقادیر میانگین مقاومت ویژه، در سه عمق شخم دارای اختلاف معنی دار بود. بطوری که با افزایش عمق شخم، مقاومت ویژه نیز افزایش یافت

جدول ۶- مقایسه میانگین مقاومت ویژه خاک ورز در سطوح مختلف عوامل آزمایشی

مقاومت ویژه (kN/m ²)	
نوع تیغه	
تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه	۰/۷۷۳۳ ^b
تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله	۰/۹۴۳۶ ^a
تیغه شاهد	۰/۵۸۱۴ ^c
عمق شخم (cm)	
۱۵	۰/۶۸۸۴ ^b
۲۰	۰/۷۷۱۹ ^a
۲۵	۰/۸۳۸۰ ^a
سرعت شخم (km/h)	
۳	۰/۶۸۹۴ ^b
۶	۰/۸۴۲۷ ^a

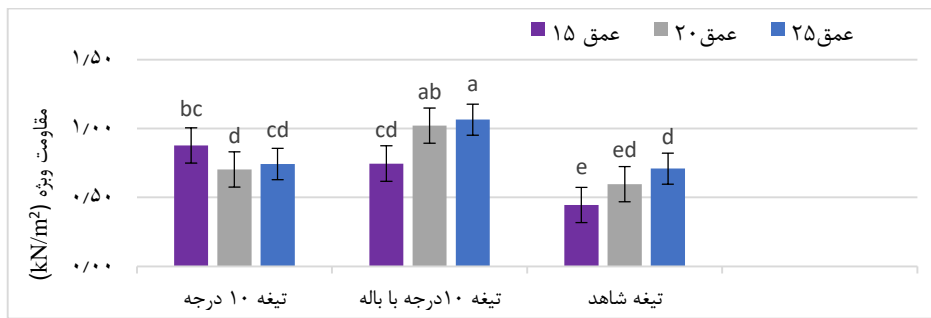
* میانگین های هر عامل آزمایشی که دارای حروف لاتین مشابه هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

سه تیغه تفاوت معنی داری نداشت. مقاومت ویژه تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله، در دو عمق ۲۰ و ۲۵ سانتی متر نسبت به تیغه ۱۰ درجه و تیغه شاهد افزایش معنی داری داشت ولی در عمق ۱۵ سانتی متر تفاوت معنی داری با مقاومت ویژه سطوح مختلف عمق شخم برای تیغه ۱۰ درجه و مقاومت ویژه در عمق ۲۰ و ۲۵ سانتی متر برای تیغه شاهد نداشت. مقدار مقاومت ویژه در عمق ۲۰ و ۲۵ سانتی متر برای تیغه ۱۰ درجه و تیغه شاهد تفاوت معنی داری نداشت. کمترین مقدار مقاومت ویژه مربوط به تیغه شاهد در عمق ۱۵ سانتی متر و بیشترین مقدار آن مربوط به تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله در عمق ۲۵ سانتی متر بود.

مصرف سوخت

نتایج تجزیه واریانس مربوط به مصرف سوخت در جدول (۷) آمده است. اثر نوع تیغه، عمق شخم و سرعت شخم در سطح احتمال ۱ درصد بر مصرف سوخت معنی دار بود. همچنین طبق این جدول اثر متقابل سه عامل تیغه، عمق شخم و سرعت شخم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است.

مقایسه میانگین مقاومت ویژه، در دو سرعت پیشروی دارای اختلاف معنی دار بود. با افزایش سرعت پیشروی از ۳ به ۶ کیلومتر بر ساعت مقاومت ویژه بطور معنی داری به اندازه ۲۲ درصد افزایش یافت (جدول ۶). اثر متقابل تیغه و عمق شخم در سطح احتمال ۱ درصد بر مقاومت ویژه خاک ورز معنی دار بود (جدول ۵). در شکل (۸) مقایسه میانگین های مقادیر مقاومت ویژه با توجه به نوع تیغه و عمق شخم قابل مشاهده است. در دو تیغه (شاهد و ۱۰ درجه با باله) با افزایش عمق شخم، مقاومت ویژه افزایش یافت. با افزایش عمق شخم از ۱۵ به ۲۰ سانتی متر مقدار مقاومت ویژه برای تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله بطور معنی داری افزایش یافت و در تیغه شاهد تفاوت معنی داری نداشت ولی در تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه بطور معنی داری کاهش یافت به دلیل اینکه مقاومت کششی در این تیغه در سطوح مختلف عمق شخم اختلاف معنی دار با هم نداشتند و سطح بهم خوردگی در عمق ۱۵ سانتی متری نسبت به دو عمق ۲۰ و ۲۵ سانتی متر کمتر بود لذا مقاومت ویژه در این عمق بیشتر شد. همچنین با افزایش عمق شخم از ۲۰ به ۲۵ سانتی متر، مقدار مقاومت ویژه برای هر



شکل ۸- اثر متقابل تیغه و عمق شخم بر مقاومت ویژه خاک‌ورز.

جدول ۷- تجزیه واریانس مصرف سوخت

مقدار F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
ns ۱/۲۸	۰/۰۰۰۱	۰۰۰۳/۰	۲	بلوک
۸/۵۳**	۰/۰۰۱۰	۰۰۲۰/۰	۲	تیغه (b)
۱۰۰/۶۶**	۰/۰۱۲۳	۰۲۴۶/۰	۲	عمق (d)
۱۶۸۳/۵۷**	۰/۲۰۶	۲۰۶۰/۰	۱	سرعت (s)
۲۷/۲۰	۰/۰۰۳۳	۰/۰۱۳۳	۴	b×d
۱۲/۴۶**	۰/۰۰۱۵	۰۰۳۵/۰	۲	b×s
۲۵/۰۶**	۰/۰۰۳۰	۰۰۶۱/۰	۲	d×s
۵۱/۷۰**	۰/۰۰۶۳	۰۲۵۳/۰	۴	b×d×s
	۰/۰۰۱	۰۰۴۱/۰	۳۴	خطا

CV=۶/۶۸۰۱۸۱

**بیانگر اثر معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد می‌باشد

ns نشان دهنده فاقد اختلاف معنی‌دار است

بر حسب لیتر بر دقیقه بطور معنی‌داری به اندازه ۳۵ درصد افزایش یافت (Soltani ghalegughi and Loghavi, 2007; Jalali et al., 2014).

جدول ۸- مقایسه میانگین مصرف سوخت خاک‌ورز در سطوح مختلف عوامل آزمایشی.

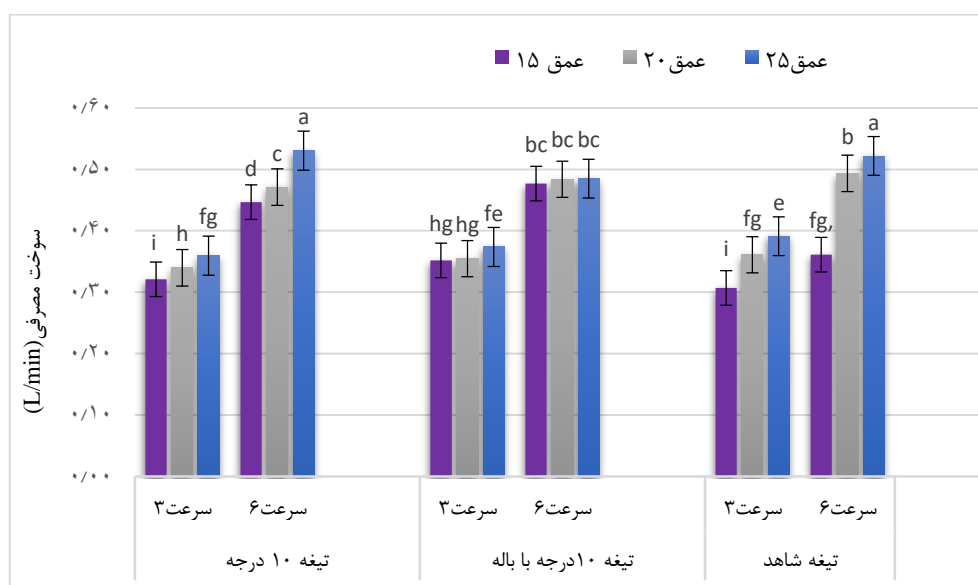
مصرف سوخت (L/min)	نوع تیغه
۰/۴۱۱۴۱۲ ^b	تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه
۰/۴۲۰۹۹۴ ^a	تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله
۰/۴۰۵۹۵۰ ^b	تیغه شاهد
	عمق شخم
۰/۴۰۳۶۹۶ ^c	۱۵
۰/۳۹۲۳۷۹ ^b	۲۰
۰/۴۴۲۲۸۰ ^a	۲۵
	سرعت شخم
۰/۳۵۱۰۱۱ ^b	۳
۰/۴۷۴۵۵۹ ^a	۶

*میانگین‌های هر عامل آزمایشی که دارای حروف لاتین مشابه هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

مقایسه میانگین مصرف سوخت در سطوح مختلف عوامل آزمایش در جدول (۸) قابل مشاهده است. طبق این جدول مقادیر میانگین مصرف سوخت، دو تیغه ۱۰ درجه و شاهد تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. ولی تیغه ۱۰ درجه با باله دارای اختلاف معنی‌دار با این دو تیغه بود. سوخت مصرفی تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله، نسبت به تیغه شاهد ۳/۷ درصد و نسبت به تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه ۲/۳ درصد افزایش داشت. همچنین تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه با باله دارای بیشترین سوخت مصرفی بود. همانطور که قبلاً گفته شد تیغه ۱۰ درجه با باله دارای بیشترین مقاومت کششی بود (جدول ۲) به همین دلیل سوخت بیشتری نسبت به دیگر تیغه‌ها مصرف می‌کند. مقادیر میانگین مصرف سوخت، در سه عمق شخم دارای اختلاف معنی‌دار بودند. بطوری که با افزایش عمق شخم مصرف سوخت نیز افزایش یافت (جدول ۸). در تحقیقات مشابه محققین گزارش کردند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، به دلیل افزایش مقاومت کششی و استفاده از توان تراکتور بیشتر برای غلبه بر این مقاومت، مصرف سوخت افزایش پیدا می‌کند. مقادیر میانگین مصرف سوخت، در دو سرعت پیشروی دارای اختلاف معنی‌دار بود. با افزایش سرعت پیشروی از ۳ به ۶ کیلومتر بر ساعت مصرف سوخت

معنی‌داری نداشت. با افزایش سرعت پیشروی از ۳ به ۶ کیلومتر بر ساعت، مقدار مصرف سوخت در سطوح مختلف عمق برای هر سه تیغه افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین مقدار مصرف سوخت مربوط به تیغه ۱۰ درجه و شاهد در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت و عمق ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد. کمترین مقدار مصرف سوخت مربوط به تیغه ۱۰ درجه و شاهد در سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت و عمق ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد.

مطابق با جدول تجزیه واریانس اثر متقابل سه عامل تیغه، عمق شخم و سرعت پیشروی روی سوخت مصرفی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۷). در شکل (۹) مقایسه میانگین‌های مقادیر سوخت مصرفی با توجه به نوع تیغه، سرعت پیشروی و عمق شخم قابل مشاهده است. با افزایش عمق شخم مقدار مصرف سوخت در دو سطح سرعت پیشروی ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت برای دو تیغه، شاهد و ۱۰ درجه به طور معنی‌داری افزایش یافت ولی برای تیغه ۱۰ درجه با باله تفاوت



شکل ۹- اثرات متقابل تیغه، سرعت و عمق بر مصرف سوخت خاک‌ورز.

میانگین نیروی مقاومت کششی به ازاء سه سطح عمق شخم، B کمترین مقدار میانگین سوخت مصرفی به ازاء سه سطح عمق شخم، C بیشترین مقدار میانگین سطح مقطع بهم خوردگی خاک به ازاء سه سطح عمق شخم، D بیشترین مقدار میانگین سطح مقطع بالا آمده خاک به ازاء سه سطح عمق شخم و E کمترین مقدار نیروی مقاومت به ازاء سه سطح عمق شخم است. در جدول (۹) مقادیر بهینه پارامترهای A تا E ارائه شده است. با جایگزینی مقادیر بهینه هر پارامتر به ازای تیغه مورد نظر در رابطه (۳)، عمق شخم بهینه ۱۷/۰۲ سانتی‌متر برای این خاک‌ورز بدست آمد.

بدست آوردن نقطه بهینه کاری دستگاه خاک‌ورز با استفاده از رگرسیون چند متغیره

عمق بهینه شخم

با انجام رگرسیون چند متغیره بین نتایج پارامترهای مربوط به عمق شخم خاک‌ورز، رابطه (۳) حاصل می‌گردد. با قرار دادن مقدار بهینه مربوط به هر پارامتر در این رابطه مقدار بهینه نهایی عمق شخم بدست می‌آید.

$$Deep_{opt} = -1.48196 + 0.478951A + 19.67775B + 0.005893C - 0.00514D + 412.503E \quad (\text{رابطه } 3)$$

در این معادله، $Deep_{opt}$ عمق بهینه، A کمترین مقدار

جدول ۹- مقادیر بهینه اندازه‌گیری شده بر اساس عمق شخم

ردیف	عمق شخم (cm)	A (مقاومت کششی (kN))	B (مصرف سوخت (l/min))	C (سطح بهم خوردگی خاک (cm ²))	D (سطح بالا آمدگی خاک (cm ²))	E (مقاومت ویژه (kN/cm ²))
۱	۱۵	۸/۸۴۰۶۳۷*	۰/۴۰۳۶۹۶	۱۳۳۱/۷۷۵*	۹۳۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۶۸۹۲*
۲	۲۰	۱۲/۱۹۹۸۷	۰/۳۹۲۳۷۹*	۱۶۶۱/۵۹۵	۸۲۷/۵۷۱۵	۰/۰۰۷۷۳۱
۳	۲۵	۱۳/۳۸۰۹۲	۰/۴۴۲۲۸	۱۶۳۴/۶۷۷	۸۰۶/۰۲۷۹*	۰/۰۰۸۳۸۶

پیشروی، B کمترین مقدار میانگین سوخت مصرفی بازاء دو سطح سرعت پیشروی، C بیشترین مقدار میانگین سطح مقطع بهم خوردگی خاک به ازاء دو سطح سرعت پیشروی، D بیشترین مقدار میانگین سطح مقطع خاک بالا آمده به ازاء دو سطح سرعت پیشروی و E کمترین مقدار نیروی مقاومت به ازاء دو سطح سرعت پیشروی است. در جدول (۱۰) مقادیر بهینه پارامترهای A تا E ارائه شده است. با جایگزینی مقادیر بهینه هر پارامتر به ازاء دو سطح سرعت پیشروی در رابطه (۴) سرعت پیشروی بهینه ۳/۶ کیلومتر بر ساعت برای این خاک‌ورز بدست آمد.

سرعت پیشروی بهینه

با انجام رگرسیون چند متغیره بین نتایج پارامترهای مربوط به سرعت پیشروی خاک‌ورز، رابطه (۴) حاصل می‌گردد. با قرار دادن مقدار بهینه مربوط به هر پارامتر در این رابطه، مقدار بهینه نهایی سرعت پیشروی بدست می‌آید.

$$\text{Speed}_{\text{opt}} = -1.83455 - 0.04147A + 15.12737B - 0.000096C - 0.00015D + 124.5305E \quad (\text{رابطه } ۴)$$

در این معادله، $\text{Speed}_{\text{opt}}$ سرعت پیشروی بهینه، A کمترین مقدار میانگین نیروی مقاومت کششی برای دو سطح سرعت

جدول ۱۰- مقادیر بهینه اندازه‌گیری شده بر اساس عمق شخم.

E	D	C	B	A	سرعت پیشروی (km/h)	ردیف
مقاومت ویژه (kN/cm ²)	سطح بالا آمدگی خاک (cm ²)	سطح بهم خوردگی خاک (cm ²)	مصرف سوخت (l/min)	مقاومت کششی (kN)		
۰/۰۰۶۹۰۲*	۷۹۵/۹۹۸۹	۱۵۱۰/۲۹۳	۰/۳۵۱۰۱۱*	۱۰/۵۲۲۷۹*	۳	۱
۰/۰۰۸۴۳۸	۸۵۴/۸۴۶۵*	۱۵۳۸/۰۵۶*	۰/۴۵۸۴۱۳	۱۲/۴۲۴۸۳	۶	۲

مصرف سوخت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقدار مصرف سوخت در تیغه شاهد و ۱۰ درجه با هم تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین با افزایش عمق و سرعت پیشروی مقدار مصرف سوخت در سه تیغه افزایش یافت. نتایج اخذ شده از روابط رگرسیون جهت تعیین عمق و سرعت پیشروی بهینه‌ی این خاک‌ورز مورد استفاده قرار گرفت. نظر به اینکه در این تحقیق صرفاً امکان‌سنجی حذف باله از طریق ایجاد زاویه تمایل جانبی مدنظر بوده است لذا نتایج حاصله مبین تاثیر پذیری مقادیر مقاومت کششی، مقاومت ویژه، مصرف سوخت و سطح بهم خوردگی ناشی از ایجاد زاویه تمایل جانبی بود. بنابراین توصیه می‌شود عوامل مذکور، در تحت شرایط زوایای تمایل جانبی مختلف (۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ درجه) در دستور کار قرار گیرد.

نتیجه گیری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نیروی مقاومت کششی با زاویه دادن به تیغه و افزودن باله به آن نسبت به تیغه شاهد به طور معنی‌دار افزایش یافت. افزایش عمق شخم و سرعت پیشروی شخم نیز برای هر سه تیغه منجر به افزایش نیروی مقاومت کششی گردید. سطح بهم خوردگی خاک در تیغه با زاویه تمایل جانبی ۱۰ درجه نسبت به تیغه شاهد کاهش یافت. با افزایش عمق شخم سطح بهم خوردگی در هر سه تیغه افزایش یافت. اثر نوع تیغه بر مقاومت ویژه معنی‌دار بود. مقاومت ویژه در تیغه ۱۰ درجه با باله و عمق ۲۵ سانتی‌متر بیش‌ترین مقدار و در تیغه شاهد و عمق ۱۵ سانتی‌متر دارای کم‌ترین مقدار بود. اثر نوع تیغه، عمق شخم و سرعت پیشروی و همچنین برهم کنش این سه عامل بر

REFERENCES

Abbaspour-Fard, M. H., Hoseini, S. A., Aghkhani, M. H., & Sharifi, A. (2014). The behavior of tillage tools with acute and obtuse lift angles. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(1), 44-51.

Arvidsson, J., & Hillerström, O. (2010). Specific draught, soil fragmentation and straw incorporation for different tine and share types. *Soil & Tillage Research*, 110, 154-160.

Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 119-129.

Eshaghbagi, A., Tabatabaeifar, A., Kayhani, A., Raoufat, M.H. (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*. Volume 36, Number 4, (1045-1052). (In Farsi)

Godwin, R. J. (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil & Tillage Research*, 97, 331-340.

Godwin, R. J., & Spoor, G. (1977). Soil failure with narrow tines. *Agricultural Engineering Research*, 22, 213-228.

Hemat, A., Mosadeghi, M. (2000). Tillage for crop production in low rainfall areas. Tehran. Agricultural Research and Training Organization. (In Farsi).

Jafari, R., Raoufat, M. H., & Hashjin, T. T. (2008). Soil-

- Bin Performance of a Modified Bent Leg Plow. *Applied engineering in agriculture*, 24(3), 301-307.
- Jalali, A., Mahmoudi, A., Valizadeh, M., Skandari., I. (2014). The effect of conservation tillage forward speed and depth on farm fuel consumption. *Journal of Agricultural Machinery*. Vol. 5, No. 2, p. 325-335.
- Khalilian, A., Garner, T. H., Musen, H. L., Dodd, R. B., & Hale, S. A. (1988). Energy for conservation tillage in Coastal Plain soils. *Transactions of the ASAE*, 31(5), 1333-1337.
- Loghavi, M., Ashrafi zade, S.R. (1997). Pull resistance, special resistance and power requirements for chisel at different levels of soil moisture and plowing depth. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. No 2. p 85- 95. (In Farsi).
- Manuwa, S. I. (2009). Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. *Soil and tillage research*, 103(2), 399-405.
- McKyes, E., & Maswaure, J. (1997). Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. *Soil and Tillage Research*, 43(3-4), 195-204.
- Mouazen, A. M., & Nemenyi, M. (1999). Tillage tool design by the finite element method: Part 1. finite element modelling of soil plastic behaviour. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(1), 37-51.
- Ranjbarian, S., Askari, M., & Jannatkah, J. (2017). Performance of tractor and tillage implements in clay soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 154-162.
- Row, R., & Barnes, K. (1961). Influence of speed on elements of draft of a tillage tool. *Transactions of the ASAE*, 4, 55-57.
- Salar, M.R., Eshaghbagi, A., & Hemmat, A. (2013). Soil loosening characteristics of a dual bent blade subsurface tillage implement. *Soil & Tillage Research*, 134, 17-24.
- Shao, Y., Xie, Y., Wang, C., Yue, J., Yao, Y., Li, X., Liu, W., Zhu, Y., & Guo, T. (2016). Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *European Journal of Agronomy*, 81, 37-45.
- Soltani ghalegughi, A., Loghavi, M. (2007). The effect of axial load and pull load on the landing efficiency and fuel consumption of two heavy-duty tractors in the semi mounted moldboard plow. *Journal of Agricultural Science and Technology*. No 40, p 125-135.
- Summers, J. D., Khalilian, A., & Batchelder, D.G. (1986). Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. *Transactions of the ASAE*, 29(1), 37-39.