

پیش بینی عملکرد بهینه‌ی کارکرد تیغه‌ی قلمی به منظور دستیابی به کارآیی مناسب در خاک‌ورز مرکب

محمد رحمتیان^۱، سیدحسین کارپرور فرد^{۲*}، محمدامین نعمت‌اللهی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳. استادیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۷/۳۰)

چکیده

با نصب مکانیزم تغییر زاویه‌حمله بر روی شاسی خاک‌ورز قلمی تک شاخه، امکان پیش‌بینی عملکرد بهینه‌ی تیغه مهیا شد. عوامل وابسته سه سطح رطوبت خاک (۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ حد پلاستیک)، سه زاویه حمله (۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه) و سه سطح سرعت پیشروی (۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت) در مقابل هشت صفت مستقل شامل مقاومت کششی، مصرف سوخت تراکتور، لغزش چرخ محرک، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای، شاخص مخروطی خاک، سطح مقطع به هم خوردگی خاک، سطح مقطع بالا آمدگی خاک و مقاومت ویژه بودند، به روش رگرسیون چند متغیره خطی در قالب سه معادله مستقل، مرتبط گردیدند. طرح آماری کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه‌ی طرح کامل تصادفی بود. مقادیر بهینه‌ی رطوبت، زاویه حمله و سرعت پیشروی به ترتیب ۰/۸۱ حد پلاستیک، ۳۶ درجه و ۵ کیلومتر بر ساعت پیش‌بینی شد. مقادیر عددی حداقل لغزش چرخ و شاخص مخروطی خاک به همراه حداقل مقاومت کششی و مصرف سوخت حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورز مرکب، بهینه سازی، سرعت پیشروی، زاویه حمله، محتوای رطوبتی

مقدمه

خاک‌ورزی به عنوان عملیاتی مهم در سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورز به حساب می‌آید. این عملیات به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، هوادهی بهتر، نفوذ پذیری و توسعه ریشه و همچنین برآورد میزان انرژی مصرفی تراکتور مورد استفاده در خاک‌ورزی حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد با توجه به شرایط اقلیمی در مناطق خشک و نیمه خشک و وجود مشکلاتی نظیر محدودیت منابع آب، فقیر بودن خاک‌های مناطق مرکزی و جنوبی کشور از مواد آلی و آسیب پذیر بودن ساختمان آن‌ها و بروز عوارض ناشی از اجرای خاک‌ورزی مرسوم، توجه به ادوات خاک‌ورزی حفاظتی به عنوان یک سامانه جایگزین، به اجبار بایستی مورد توجه کشاورزان قرار گیرد. با توسعه‌ی مشکلات خاک‌ورزی مرسوم، توجه بیشتر به خاک‌ورزی حفاظتی معطوف گردید. بدین ترتیب طراحی و ساخت خاک‌ورزهای مرکب مورد توجه بیشتر قرار گرفت (Melero et al., 2009). خاک‌ورز مرکب از دو واحد متصل به هم تشکیل شده است. واحد اول که مهمترین قسمت آن محسوب می‌گردد، تیغه‌ی آن است. واحد دوم دیسک‌ها و غلتک می‌باشد. این واحد

پشت واحد اول به خاک‌ورز متصل می‌شود. تیغه از مهمترین اجزاء هر خاک‌ورز مرکب است که چگونگی تنظیم آن و همچنین تأثیر آن بر عوامل مختلفی همچون نیروی کششی و میزان سوخت مصرفی تراکتور بسیار حائز اهمیت است.

در پژوهشی اثر ۵ نوع تیغه گاوآهن برگردان دار و دو سطح رطوبتی^۱ PL ۰/۵۵ و PL ۰/۸۵ و دو عمق کاری ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر را بر روی MWD^۲ مورد بررسی قرار گرفت. MWD به عنوان شاخص پودرکنندگی خاک مطرح شد. در این تحقیق معلوم شد که شخم زنی در عمق ۲۰ سانتی‌متر در رطوبت PL ۰/۸۵ به طور معنی‌داری نسبت به رطوبت PL ۰/۵۵ باعث کاهش MWD می‌گردد، اما در عمق کمتر، این اختلاف کاهش یافت (Hemmat et al., 2007). همچنین در پژوهش دیگری تأثیر ۱۱ سال خاک‌ورزی حفاظتی بر ویژگی‌ها و مواد آلی خاک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به خاک‌ورزی سطحی و بی خاک‌ورزی به طور معنی‌داری بالاتر بود و در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (Chen et al., 2009).

1. Plastic Limit
2. Mean Weight Diameter

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، عوامل وابسته که به عنوان تیمارهای مورد آزمایش در نظر گرفته شدند، عبارت بودند از سه سطح رطوبت ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ حد پلاستیک (PL)، سه سطح زاویه‌ی حمله ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه و سه سطح سرعت پیشروی ۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت. همچنین عوامل مستقلى که در این پژوهش مورد آزمایش قرار گرفتند، هشت صفت بوده که عبارتند از مقاومت کششی، مصرف سوخت تراکتور، لغزش چرخ محرک تراکتور، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای، شاخص مخروطی خاک، سطح مقطع به هم خوردگی خاک، سطح مقطع بالا آمدگی خاک و مقاومت ویژه. عمق خاک‌ورزی در این تحقیق ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مزرعه آزمایشی بر اساس آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه‌ی طرح کامل تصادفی، کرت بندی گردید.

آزمایش‌ها در قطعه شماره ۱۰ دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در کیلومتر ۱۲ جاده شیراز - اصفهان (منطقه باجگاه) در زمینی که قبلاً زیر کشت گندم دیم بود، اجرا شد. خاک مزرعه مورد آزمایش دارای ۳۸ درصد رس، ۳۰ درصد شن و ۳۲ درصد سیلت بود. بافت این خاک طبق مثلث بافت خاک، لومی رسی تشخیص داده شد. با استفاده از رابطه‌ی (۱) چگالی ظاهری خاک به دست آمد.

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن :

ρ_b : چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

M_s : جرم خاک خشک (گرم)

V_t : حجم استوانه نمونه برداری (سانتی‌متر مکعب)

چگالی ظاهری خاک مزرعه $1/8 \text{ g.cm}^{-3}$ به دست آمد.

ارائه رطوبت خاک بر مبنای نسبتی از حد خمیری خاک درک بهتری از بافت خاک و شرایط حاکم بر آزمایش به وجود می‌آورد. حد خمیری خاک، حداقل رطوبتی است که در آن خاک به حالت خمیری قابلیت شکل پذیری دارد. حد خمیری حد فاصل حالت خمیری و نیمه جامد خاک است. از الک ۰/۴۲۵ میلی‌متری، مقدار ۵۰ گرم از خاک نمونه عبور داده شد و با مقدار کافی آب مقطر، مخلوط گردید. به منظور حفظ رطوبت نمونه، آن را در کیسه پلاستیکی به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و سپس مقداری از آن بین انگشتان دست و سینی فلزی جهت ساخت فیتیله‌ای به قطر ۳ میلی‌متر ورز داده شد (شکل ۱). این فیتیله به قطعات کوچکی تقسیم شد و پس از فشردگی دوباره، به قطعات کوچکتری تقسیم گردید. این کار تا آنجا تکرار

اثر زاویه‌های حمله مختلف بر نیروی اعمالی به یک تیغه باریک در پژوهشی بررسی شد و نتایج آن نشان داد که هر چه زاویه‌ی حمله بزرگتر در نظر گرفته شود، به هم خوردن خاک افزایش می‌یابد و لایه‌های عمیق خاک سست می‌گردند ولی نیروی اعمالی به تیغه بیشتر خواهد شد و نیروی کشش افزایش می‌یابد. در نتیجه بهترین زاویه‌ی حمله برای تیغه مورد نظر را ۳۵ درجه اعلام شد (Solhjou et al., 2012). همچنین در تحقیق دیگری مکانیسم شکست خاک و نیروهای وارد بر یک تیغه تخت با زاویه حمله ۵۰ درجه را مورد مطالعه قرار گرفت. رطوبت خاک در سه سطح ۵/۲، ۲۱، و ۳۳/۵ درصد آماده شد. آزمایش‌ها در انباره خاک با دیواره جانبی شیشه‌ای انجام گردید. نتایج حاکی از آن بود که تغییر شکل خاک و نیروهای وارد بر تیغه در خاک لومی شدیداً متأثر از تغییرات رطوبت است. الگوی شکست خاک در دو سطح رطوبت ۵ و ۲۱ درصد شبیه یکدیگر و از نوع برشی ولی شکست خاک در رطوبت ۳۳/۲ درصد از نوع پلاستیک بود. زاویه شکست خاک برای زاویه حمله ۵۰ درجه، ۳۲ درجه و برای زاویه حمله ۹۰ درجه، ۳۱ درجه به دست آمد (Makanga et al., 2011).

در تحقیقی نشان داده شد که استمرار در بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش چگالی ظاهری و مقاومت مکانیکی خاک شده که نتیجه آن، کاهش نفوذ آب و حرکت ریشه در خاک و افزایش فرسایش خاک می‌باشد (Chaplain et al., 2011).

در پژوهشی در زمینه‌ی میزان لغزش چرخ تراکتور گزارش شد که با افزایش سرعت پیشروی، میزان لغزش به صورت چند جمله‌ای درجه دوم افزایش یافت (Raheman & Jha, 2007).

در تحقیق‌هایی رابطه‌ی بین سرعت پیشروی و مصرف سوخت خطی و مستقیم گزارش شد (Ismail et al., 1993; Al-jasim, 1993).

در پژوهشی بهینه‌سازی عملکرد تیغه‌ی قلمی در خاک‌ورز مرکب انجام شد و گزارش شد که بهینه‌ی سرعت پیشروی، زاویه حمله و رطوبت خاک به ترتیب ۵/۵ کیلومتر بر ساعت، ۳۴ درجه و ۰/۷۱ PL می‌باشد (Dehghani & Karparvarfard, 2017).

هدف از این تحقیق بدست آوردن نقطه‌ای بهینه برای دستگاه خاک‌ورز، با استفاده از معادلات رگرسیونی برای تیمارهای سرعت پیشروی، زاویه حمله و رطوبت خاک در حین شخم بر حسب هشت صفت اندازه‌گیری شده که عبارتند از مقاومت کششی، لغزش، مصرف سوخت، سطح مقطع بهم خوردگی خاک، سطح مقطع بالا آمدگی خاک، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای، شاخص مخروطی خاک و مقاومت ویژه بود.

ابعاد ورق جعبه برش این دستگاه ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر بود. نرخ بارگذاری ۱ میلی‌متر بر ثانیه و برای هر نمونه خاک سه تست با بارهای ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم انجام شد. این سه بار در طول بازوی ۹ متری ضرب شده و در نهایت گشتاور عمودی وارد شده بر سطح ۳۶، ۷۲ و ۱۰۸ کیلوگرم - متر به دست آمد. نیروی برشی با استفاده از نیروسنج قرائت گردید.

برای انجام آزمایش خاک مزرعه به مدت ۲۴ ساعت در آن خشک گردید. با توجه به چگالی خاک و حدود رطوبت مورد نظر، نمونه خاک جهت تست برش در مکان مورد نظر قرار گرفت. برای آماده‌سازی خاک، خاک خشک شده از الک شماره ۴۰ عبور داده شد. سپس با توجه به محاسبات انجام شده جهت رساندن رطوبت خاک مورد آزمایش به سه سطح رطوبت مطلوب مقداری آب مقطر به آن اضافه شد. مخلوط آب و خاک به خوبی ورز داده شد تا به رطوبت یکنواختی برسند. بعد از آماده‌سازی، خاک در قالب مخصوص دستگاه قرار گرفت و کاغذ فیلتر و صفحه زهکش در زیر آن نصب شد. در هر مرحله از انجام تست، ابتدا خاک تهیه شده در قالب دستگاه قرار داده می‌شد. سپس وزنه‌های لازم برای اعمال بار عمودی در جای خود مستقر می‌شوند. پس از انجام این مراحل دستگاه روشن می‌شد و همزمان لودسل میزان نیروی افقی وارد شده به خاک برای برش نمونه را قرائت می‌کرد. پس از برش نمونه سطح مقطعی که در آن برشی رخ داده بود حساب می‌شد تا از تقسیم نیروی برشی حداکثر قرائت شده توسط لودسل و نیروی عمودی بر این سطح به ترتیب تنش‌های برشی حداکثر و تنش‌های عمودی حداکثر به دست آید.

تیغ‌هی فولادی مورد استفاده در این پژوهش بر روی یک واحد خاک‌ورز قلمی نوع سوار شونده ساخت شرکت آژت‌پراک^۱ کشور ترکیه سوار شد (شکل ۲).

گاواهن دارای دو عدد چرخ تثبیت عمق در دو طرف شاسی برای تنظیم عمق بود. جهت دستیابی به زوایای حمله ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه، از مکانیزم تعبیه شده بر روی شاسی خاک‌ورز استفاده گردید. در این مکانیزم پس از استقرار واحد تیغ و ساقه در زاویه‌ی مورد نظر، با جا زدن پین قفل کننده در سوراخ‌های تعبیه شده، تنظیم زاویه صورت می‌گرفت (شکل ۳). تنظیمات تراز طولی و عرضی گاواهن در بدو شروع هر آزمون نیز مد نظر بود.

شد که دیگر غلتاندن و فیتیله شدن خاک امکان پذیر نبود. در این مرحله مقداری از نمونه درون آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و وزن خشک نمونه‌ها یادداشت گردید. درصد رطوبت بر مبنای وزن خشک نمونه، بیانگر مقدار حد خمیری خاک بود (ASTM Standards, (D-4318).



شکل ۱. فیتیله‌های خاک با ترک سطحی جهت تعیین حد خمیری

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک، پس از آبیاری تمامی کرت‌ها به صورت غرقابی، نمونه‌برداری از خاک در عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری به طور روزانه انجام گرفت. نمونه‌ها از چند نقطه‌ی مزرعه به طور تصادفی برداشته و در ظرف‌های نمونه‌برداری به آزمایشگاه منتقل شده و وزن گردیدند. ظرف‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آن قرار داده شد. پس از این مدت، مجدداً نمونه‌ها وزن شده و پس از کسر وزن ظرف خالی از مقادیر برداشت شده، درصد رطوبت خاک با استفاده از رابطه (۲) بر اساس وزن خشک محاسبه گردید.

$$M.C. = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن :

M.C. = رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک (درصد)

W_w = وزن نمونه خاک مرطوب (گرم)

W_d = وزن نمونه خاک خشک شده (گرم)

به دلیل اینکه اساس رطوبت مزرعه در این آزمایش بر پایه‌ی حد خمیری بوده و برای سهولت در انجام امور پژوهش، رطوبت مزرعه بر مبنای وزن خشک اندازه‌گیری شد، معادل هر کدام از حدهای خمیری بر اساس رطوبت وزن خشک بدست آمد. PL ۰/۹، PL ۰/۷ و PL ۰/۵ به ترتیب معادل ۱۶/۷٪، ۱۳ و ۹/۳٪ می‌باشد.

به منظور اندازه‌گیری چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک در سه سطح رطوبت (PL ۰/۵، PL ۰/۷ و PL ۰/۹) از دستگاه دیجیتال برش مستقیم خاک مدل SO-720 ساخت شرکت آزمون کشور ایران با جعبه برش مکعبی استفاده شد.

برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور، چرخ پنجم در کنار تراکتور بر روی شاسی آن نصب گردید (شکل ۵). تعداد دورهای این چرخ توسط دور سنج شماره (۱) که به مرکز چرخ پنجم توسط اتصالی قابل انعطاف کوپل شده بود، اندازه‌گیری شد. با داشتن اندازه شعاع چرخ پنجم و تعداد دوران این چرخ می‌توان مسافت طی شده توسط چرخ پنجم که همان مسافت پیشروی تراکتور می‌باشد را اندازه‌گیری نمود. حال برای به دست آوردن سرعت پیشروی تراکتور، می‌توان مسافت پیشروی تراکتور را بر مدت زمان پیشروی تراکتور تقسیم نمود. برای اندازه‌گیری لغزش چرخ عقب تراکتور، ابتدا دور سنج شماره (۲) که تعداد دوران چرخ محرک عقب را اندازه‌گیری می‌کرد با استفاده از یک اتصال انعطاف پذیر و یک شاسی به وسط چرخ عقب تراکتور کوپل شد. با داشتن شعاع غلتشی چرخ محرک عقب تراکتور و تعداد دوران آن مسافت طی شده توسط چرخ عقب تراکتور نیز به دست آمد (شکل ۵). با استفاده از رابطه‌ی

$$\text{slip} = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \quad (\text{رابطه ۳})$$

d_1 : مسافت طی شده توسط چرخ پنجم
 d_2 : مسافت طی شده توسط چرخ محرک عقب تراکتور
 برای اندازه‌گیری دبی حجمی سوخت مصرفی از حسگر دبی سنج توربینی مدل VISION-1000 استفاده گردید. چون در موتورهای دیزلی سوخت اضافی مصرف نشده از پمپ انژکتور، انژکتورها و فیلترها به مخزن سوخت بر می‌گردد، علاوه بر دبی سنجی که در مسیر رفت سوخت به پمپ انژکتور قرار داده شده بود، یک دبی سنج دیگر نیز در مسیر برگشت سوخت به مخزن سوخت قرار گرفت (شکل ۶). بدین ترتیب میزان دبی مصرفی موتور از طریق تفاضل جریان عبوری از دو دبی سنج محاسبه می‌شد. در این پژوهش به کمک یک سامانه جمع آوری داده‌ها، مقادیر اندازه‌گیری شده توسط حسگرها ثبت گردید. این سامانه داده‌های مربوط به دبی سنج‌ها، نیروسنج و دورسنج‌ها را در ورودی گرفته و از طریق یک درگاه USB به رایانه قابل حمل و نقل منتقل می‌کرد. لازم به ذکر است نرخ داده برداری ۱۰۰ میلی ثانیه بود. برای اندازه‌گیری سطح مقطع به هم خوردگی و بالا آمدگی خاک از پروفیل‌متر استفاده گردید. برای تعیین مساحت مقطع گسیختگی خاک در هر تیمار، پس از عبور خاک‌ورز، یک برش عرضی به عمق کار خاک‌ورزی در خاک ایجاد شد. پس از تخلیه‌ی خاک نرم، پروفیل‌متر بر روی سطح خاک قرار داده شد و میله‌های آن تا برخورد با سطح خاک پایین آورده شد. قابل ذکر است که فاصله‌ی هر کدام از میله‌ها، ۲



شکل ۲. خاک‌ورز مورد استفاده در این پژوهش



شکل ۳. مکانیزم تغییر زاویه حمله

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی خاک‌ورز قلمی از روش آزمون دو تراکتوری استفاده گردید (RNAM^۱ (1983)). برای انجام این کار، ابتدا برای واسنجی نیرو سنج پنج تنی S شکل ساخت شرکت کلی^۲ کشور چین، از دستگاه اینستران مدل STM-20 ساخت شرکت سنتام استفاده شد. نیروسنج توسط اتصالاتی بین دو تراکتور نصب گردید و سعی شد که نیروسنج همواره حالت موازی با سطح زمین داشته باشد تا دقیقاً نیروی کششی را اندازه‌گیری نماید. تراکتور ITM-۳۹۹ وظیفه‌ی کشش تراکتور ITM-۲۸۵ را برعهده داشت (شکل ۴).

در هنگامی که نیرو سنج نیروهای کششی اعمالی را ثبت می‌نمود، داده برداری در دو حالت انجام می‌گرفت. در حالت اول خاک‌ورز به عمق مورد نظر (۲۵ سانتی‌متر) در خاک می‌رسید. نیرویی که در این شرایط توسط نیرو سنج ثبت می‌شد برابر با نیروی کشش ناخالص تراکتور ITM-۳۹۹ بود. در حالت دوم، همان آزمایش حالت اول تکرار می‌شد با این تفاوت که خاک‌ورز بیرون از خاک قرار داشت. نیرویی که در این شرایط توسط نیرو سنج اندازه‌گیری می‌شد، مقاومت غلتشی مربوط به چرخ‌های جلو و عقب تراکتور ITM-۲۸۵ بود. بنابراین مقاومت کششی خاک‌ورز قلمی از تفاضل دو نیروی اندازه‌گیری شده، به دست می‌آمد.

1. Regional Network for Agricultural Machinery
 2. Kelly

استفاده شد، که در نرم‌افزار متلب (Matlab R2013b) نوشته و اجرا گردید.

(رابطه ۴)

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{3} \left[f(x_0) + 2 \sum_{j=1}^{n/2-1} f(x_{2j}) + 4 \sum_{j=1}^{n/2} f(x_{2j-1}) + f(x_n) \right]$$

که در آن : $X_n = b$ و $X_0 = a$

سانتی‌متر بود. بدین ترتیب تعدادی از نقاط سطح گسیختگی خاک به دست آمد (شکل ۷.الف). همچنین برای به دست آوردن سطح بالا آمدگی خاک نیز از همان میله‌های پروفیل‌متر استفاده گردید (شکل ۷.ب).

برای به دست آوردن مساحت سطح مقطع به هم خوردگی و بالا آمدگی خاک از رابطه‌ی سیمپسون (رابطه ۴)

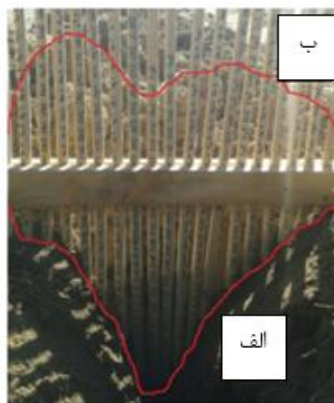


شکل ۴. آزمون دو تراکتوری (تست RNAM)



شکل ۵. نمایی از چرخ پنجم به کار رفته در این پژوهش.

۱- چرخ پنجم ۲- محل نصب شفت انکودر متصل به چرخ محرک عقب ۳- محل نصب شفت انکودر متصل به چرخ پنجم ۴- شاسی و اتصالات آن



شکل ۷. الف- سطح مقطع به هم خوردگی خاک. ب- سطح مقطع بالا آمدگی خاک



شکل ۶. محل نصب دبی‌سنج‌های توربینی بر روی موتور تراکتور

میانگین سطح مقطع به هم خوردگی خاک در هر کرت و در هر تیمار، مقادیر مقاومت ویژه ابزار خاک‌ورز به دست آمد. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی، با استفاده از بیلچه و بدون اینکه به کلوخه‌ها ضربه‌ای وارد شود، از عمق ۲۵-۰

نسبت مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز به سطح مقطع به هم خوردگی خاک که توسط خاک‌ورز در هر کرت به وجود آمده، مقاومت ویژه می‌باشد. لذا در این پژوهش با تقسیم مقادیر میانگین مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز مورد نظر بر مقادیر

استفاده شد. آزمون حداقل تفاوت معنی داری (LSD) نیز برای مقایسه‌ی میانگین‌ها مورد استفاده قرار گرفت. معنی دار بودن اثر هر عامل آزمایش، در سطح احتمال ۵ درصد در نظر گرفته شد. معادله‌های رگرسیون داده شده در این تحقیق از نوع رگرسیون چند متغیره است. در این تحقیق معادلات خطی در نظر گرفته شده است. معادله رگرسیون مورد استفاده در این تحقیق به شکل رابطه (۶) بود.

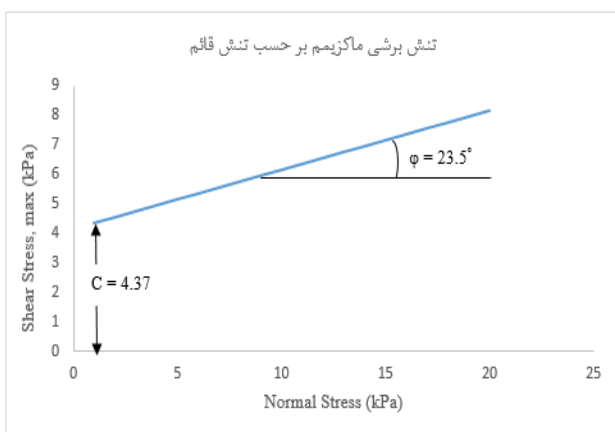
$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n \quad (\text{رابطه ۶})$$

در معادلات رگرسیونی مورد استفاده در این پژوهش، در سمت چپ معادله، تیمارهای سرعت پیشروی (FS)، زاویه حمله (RA) و رطوبت مزرعه بر حسب حد پلاستیک (PL) به عنوان متغیرهای وابسته به ترتیب از Y_1 تا Y_3 در نظر گرفته شد. در قسمت سمت راست معادله، هشت صفت اندازه‌گیری شده عبارتند از مقاومت کششی (D)، لغزش (S)، مصرف سوخت (F)، سطح مقطع به هم خوردگی خاک (SDA)، سطح مقطع بالا آمدگی خاک (SUA)، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (MWD)، شاخص مخروطی خاک (CI) و مقاومت ویژه (SR) به عنوان متغیرهای مستقل به ترتیب از X_1 تا X_8 در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

مشخصات مکانیکی خاک مورد آزمایش

با استفاده از تنش برشی حداکثر و تنش عمودی متناظر با آن، نمودار موهر - کولمب با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم گردید. بدین ترتیب مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک که به ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط رسم شده می‌باشد، تعیین گردید (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰).



شکل ۸. نمودار تنش برشی حداکثر بر حسب تنش قائم در رطوبت PL ۹/۰

سانتی‌متری خاک مورد آزمایش، نمونه‌هایی به وزن تقریبی چهار کیلوگرم از هر کرت برداشته شد. نمونه‌های خاک در معرض هوا و به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. خاک خشک شده بدون ارتعاش و لرزاندن از ۱۳ الک که قطر آن‌ها به ترتیب ۸۸/۹، ۷۶/۲، ۵۰/۸، ۳۸/۱، ۳۲، ۲۵/۴، ۱۹، ۱۶، ۱۳/۵، ۶/۳۵، ۴/۷۶ و ۳/۳۵ میلی‌متر بود، عبور داده شد. برای محاسبه قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (MWD) از رابطه (۵) استفاده شد (Dehghani & Karparvarfar, 2017).

$$MWD = \sum_{i=1}^n (X_i \times W_i) \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن :

X_i : میانگین قطر سوراخ الک نام و الک بالایی.

W_i : نسبت وزنی کلوخه‌های باقی‌مانده روی الک نام به

وزن کل نمونه خاک.

برای اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک به عنوان شاخصی از استحکام و تغییر پذیری خاک از دستگاه نفوذسنج مخروطی استفاده می‌شود. این دستگاه مقاومت به نفوذ یک مخروط با زاویه رأس مشخصی را در خاک تعیین می‌کند که در انواع دستی و اتوماتیک وجود دارد. زاویه رأس مخروط‌های مورد استفاده ۳۰ درجه می‌باشد. این دستگاه دارای دو مخروط کوچک و بزرگ با قطرهای قاعده ۱۲/۸۳ و ۲۰/۲۷ میلی‌متر بوده که بر حسب وضعیت زمین از نظر مقاومت خاک، یکی از این مخروط‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این پژوهش از دستگاه نفوذسنج مخروطی مدل SP-1000 ساخت شرکت Findly Irvine استفاده شده است که از سه قسمت اصلی ریز پردازنده، مبدل و میله نفوذ تشکیل شده است.

پس از تنظیمات اولیه‌ی دستگاه، قبل از انجام شخم، ۱۰ نقطه به طور تصادفی در هر کرت انتخاب و علامت‌گذاری گردید و مقدار مقاومت خاک بر حسب کیلوگرم نیرو توسط دستگاه ثبت گردید. در پایان عملیات، مقدار میانگین و انحراف داده‌ها به دست آمد. در پایان با تقسیم اعداد به دست آمده بر سطح رویه مخروط، شاخص مخروطی خاک بر حسب مگاپاسکال محاسبه شد. بعد از انجام عملیات خاک‌ورزی، دوباره در هر کرت و در همان نقاطی که علامت‌گذاری شده بود، مجدداً عمل اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک انجام پذیرفت تا بتوان تفاوت قبل و بعد از شخم‌زنی را مورد بررسی قرار داد.

از نرم‌افزار SAS نسخه‌ی ۹/۰ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها

شد. در این معادله مقادیر بهینه‌ی ۸ صفت اندازه‌گیری شده طبق جدول (۲)، بر اساس سرعت پیشروی خاک‌ورز قلمی قرار داده شد و در نهایت سرعت پیشروی بهینه به دست آمد (رابطه ۷).

(رابطه ۷)

$$FS_{opt} = 2.677353 + 1.664545D + 17.1513F + 0.009469S - 0.02283MWD - 0.4499CI + 0.014534SUA - 0.02434SDA - 0.71723SR$$

در این رابطه FS_{opt} سرعت پیشروی بهینه خاک‌ورز قلمی می‌باشد و همچنین کمترین میزان مقاومت کششی (D) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی، کمترین میزان لغزش (S) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی، کمترین میزان مصرف سوخت (F) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی، بیشترین میزان سطح مقطع به هم خوردگی خاک (SDA) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی، بیشترین میزان سطح مقطع بالا آمدگی خاک (SUA) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی، کمترین میزان قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (MWD) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی، کمترین میزان شاخص مخروطی خاک (CI) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی و کمترین میزان مقاومت ویژه (SR) به ازاء سه سطح سرعت پیشروی می‌باشد. از این معادله سرعت پیشروی بهینه ۵ کیلومتر بر ساعت با ضریب همبستگی ۰/۹۴۱۶ به دست آمد. آنالیز واریانس آن در جدول (۳) نشان داده شده است. جدول (۳) نشان دهنده‌ی معنی‌دار بودن ضرایبی که توسط آنالیز رگرسیونی بدست آمده، در سطح احتمال ۱ درصد، می‌باشد.

تعیین مقدار بهینه زاویه حمله خاک‌ورز قلمی

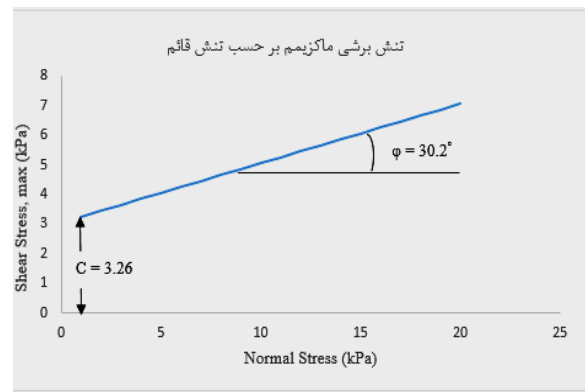
برای بدست آوردن نقطه‌ی بهینه‌ی زاویه حمله خاک‌ورز قلمی در بازه ۲۰ تا ۴۰ درجه از رگرسیون چند متغیره استفاده شد. در این معادله مقادیر بهینه‌ی ۸ صفت اندازه‌گیری شده طبق جدول (۴)، بر اساس زاویه حمله خاک‌ورز قلمی قرار داده شد و در نهایت زاویه حمله بهینه بدست آمد (رابطه ۸).

(رابطه ۸)

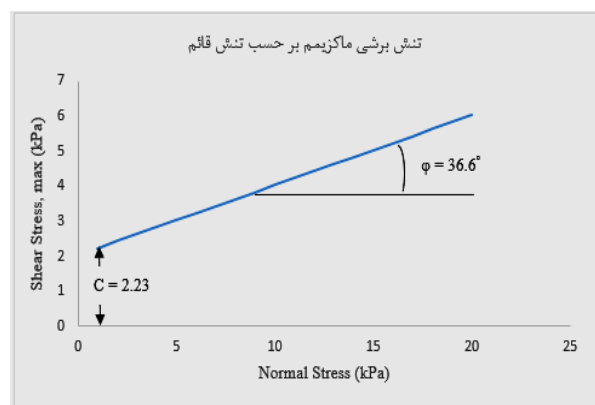
$$RA_{opt} = -198.339 - 9.71881D - 15.6769F - 0.31504S - 0.06054MWD - 1.75442CI$$

$$-0.03235SUA + 0.560863SDA + 4.552273SR$$

در این رابطه RA_{opt} زاویه حمله بهینه خاک‌ورز قلمی می‌باشد و همچنین کمترین میزان مقاومت کششی (D) به ازاء سه سطح زاویه حمله، کمترین میزان لغزش (S) به ازاء سه سطح زاویه حمله، کمترین میزان مصرف سوخت (F) به ازاء سه سطح زاویه حمله، بیشترین میزان سطح مقطع بهم خوردگی خاک (SDA) به ازاء سه سطح زاویه حمله، بیشترین میزان سطح مقطع بالا آمدگی خاک (SUA) به ازاء سه سطح زاویه حمله، کمترین میزان قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (MWD) به ازاء سه سطح



شکل ۹. نمودار تنش برشی حداکثر بر حسب تنش قائم در رطوبت PL ۰/۷



شکل ۱۰. نمودار تنش برشی حداکثر بر حسب تنش قائم در رطوبت PL ۰/۵

برای تعیین دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک خارجی بین خاک مزرعه و سطح تیغ‌های فولادی استفاده شده در این پژوهش، در سه سطح رطوبتی، در نیمه‌ی پایین ظرف دستگاه برش مستقیم، صفحه‌ی فولادی صیقلی شده که مشابه با سطح تیغه بود، قرار داده شد و نیمه‌ی بالایی آن با خاک پر گردید. ادامه‌ی آزمایش مشابه آزمایش اندازه‌گیری چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک انجام گردید. نتایجی که از آزمایش تعیین دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک خارجی در دستگاه برش مستقیم به دست آمد در جدول (۱) نشان داده شده است. جدول ۱. مشخصات مکانیکی خاک مورد آزمایش به دست آمده توسط تست برش

زاویه اصطکاک خارجی (Degree)	دگرچسبی (kPa)	رطوبت (%)
۲۰/۴	۲/۱۴ ± ۰/۰۴	۰/۹ PL (۱۶/۷٪)
۲۲/۹	۱/۴۰ ± ۰/۰۱	۰/۷ PL (۱۳/۰٪)
۲۴/۲	۱/۰۱ ± ۰/۰۲	۰/۵ PL (۹/۳٪)

تعیین مقدار بهینه سرعت پیشروی خاک‌ورز قلمی

جهت تعیین نقطه‌ی بهینه‌ی سرعت پیشروی خاک‌ورز قلمی در بازه ۳ تا ۷ کیلومتر بر ساعت از رگرسیون چند متغیره استفاده

زایویه حمله، کمترین میزان شاخص مخروطی خاک (CI) به ازاء سه سطح زایویه حمله و کمترین میزان مقاومت ویژه (SR) به ازاء سه سطح زایویه حمله می‌باشد. از این معادله زایویه حمله

بهبینه ۳۶ درجه با ضریب همبستگی ۰/۷۴۱۳ بدست آمد. آنالیز واریانس آن در جدول (۵) نشان داده شده است

جدول ۲. مقایسه‌ی میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و حالت بهینه بر اساس سرعت پیشروی خاک‌ورز قلمی

سرعت پیشروی (km.h ⁻¹)	مقاومت کششی (kN)	لغزش (%)	مصرف سوخت (L.min ⁻¹)	سطح مقطع بهم خوردگی خاک (cm ²)	سطح مقطع بالا آمدگی خاک (cm ²)	قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (mm)	شاخص مخروطی (MPa)	مقاومت ویژه (N.cm ⁻²)
۳	۵/۵۱	۲۶/۶۹	۰/۵۰۶	۴۷۲/۵۵	۴۳۹/۵۶	۴۲/۳۷	۴/۶۷	۱۱/۳۷*
۵	۵/۴۷*	۲۴/۹۶*	۰/۴۲۰*	۴۷۸/۲۶	۴۴۵/۴۹	۳۸/۳۶	۳/۱۶	۱۱/۴۱
۷	۶/۵۱	۲۷/۳۷	۰/۵۲۵	۴۷۸/۷۲*	۴۴۸/۷۱*	۳۶/۷۳*	۲/۹۰*	۱۳/۵۸

* = مقادیر بهینه‌ی هر یک از صفت‌های اندازه‌گیری شده در تیمار سرعت پیشروی

جدول ۳. آنالیز واریانس برای داده‌های به کار رفته در معادله‌ی رگرسیون چند متغیره به منظور به دست آوردن سرعت پیشروی بهینه

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	۸	۲۰۳/۳۹	۲۵/۴۲	۱۴۵/۲۰	**
Residual	۷۲	۱۲/۶۱	۰/۱۸		
Total	۸۰	۲۱۶			

** = بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

لازم به ذکر است که بدون در نظر گرفتن میزان مصرف سوخت و لغزش چرخ‌های محرک عقب تراکتور، مقادیر بهینه‌ی سرعت پیشروی و زایویه حمله به ترتیب ۵/۵ کیلومتر بر ساعت و ۳۴ درجه گزارش گردید (Dehghani & Karparvarfard., 2017).

هر چند افزایش زایویه حمله موجب افزایش به هم خوردگی خاک شده و لایه‌های عمیق خاک را سست می‌کند (جدول ۴) لیکن افزایش نیروی مقاومت کششی را نیز در بر خواهد داشت (Solhjou et al., 2012).

جدول ۴. مقایسه‌ی میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و حالت بهینه بر اساس زایویه حمله خاک‌ورز قلمی

زایویه حمله (Degree)	مقاومت کششی (kN)	لغزش (%)	مصرف سوخت (L.min ⁻¹)	سطح مقطع بهم خوردگی خاک (cm ²)	سطح مقطع بالا آمدگی خاک (cm ²)	قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (mm)	شاخص مخروطی (MPa)	مقاومت ویژه (N.cm ⁻²)
۲۰	۵/۳۴*	۲۶/۵۵	۰/۴۳۶	۴۶۲/۳۳	۴۳۸/۰۰	۳۷/۲۶*	۳/۹۹	۱۱/۱۰*
۳۰	۶/۰۰	۲۵/۳۱	۰/۴۲۶*	۴۷۸/۸۲	۴۴۴/۱۹	۳۹/۱۲	۳/۷۰	۱۲/۵۱
۴۰	۶/۲۱	۲۵/۰۷*	۰/۴۳۴	۴۸۶/۳۳*	۴۵۱/۵۷*	۴۲/۰۸	۳/۰۳*	۱۲/۷۵

* = مقادیر بهینه‌ی هر یک از صفت‌های اندازه‌گیری شده در تیمار زایویه حمله

جدول ۵. آنالیز واریانس برای داده‌های به کار رفته در معادله‌ی رگرسیون چند متغیره به منظور به دست آوردن زایویه حمله بهینه

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	۸	۲۹۶۷/۵۹	۳۷۰/۹۴	۱۰/۹۸	**
Residual	۷۲	۲۴۳۲/۴۰	۳۳/۷۸		
Total	۸۰	۵۴۰۰			

** = بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

تعیین مقدار بهینه رطوبت بر حسب حد پلاستیک خاک برای به دست آوردن نقطه‌ی بهینه‌ی رطوبت بر حسب حد پلاستیک خاک‌ورز قلمی در بازه ۰/۵ تا ۰/۹ حد پلاستیک از رگرسیون چند متغیره استفاده شد و در این معادله مقادیر بهینه‌ی ۸ صفت اندازه‌گیری شده طبق جدول (۶) بر اساس

(SDA) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک، بیشترین میزان سطح مقطع بالا آمدگی خاک (SUA) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک، کمترین میزان قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (MWD) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک، کمترین میزان شاخص مخروطی خاک (CI) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک و کمترین میزان مقاومت ویژه (SR) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک می‌باشد. در این معادله رطوبت بر حسب حد پلاستیک بهینه ۰/۸۱ درجه با ضریب همبستگی ۰/۸۹۱۵ به دست آمد. آنالیز واریانس آن در جدول (۷) نشان داده شده است.

زاویه حمله خاک‌ورز قلمی قرار داده شد و در نهایت رطوبت بر حسب حد پلاستیک بهینه به دست آمد (رابطه ۹).

$$PL_{opt} = 2.536012 - 0.09725D - 0.09812F - 0.00559S - 0.01315MWD - 0.02174CI - 0.00065SUA - 0.00129SDA + 0.034072$$

در این رابطه PL_{opt} زاویه حمله بهینه خاک‌ورز قلمی می‌باشد و همچنین کمترین میزان مقاومت کششی (D) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک، کمترین میزان لغزش (S) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک، کمترین میزان مصرف سوخت (F) به ازاء سه سطح رطوبت بر حسب حد پلاستیک، بیشترین میزان سطح مقطع بهم خوردگی خاک

جدول ۶. مقایسه‌ی میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و حالت بهینه بر اساس رطوبت بر حسب حد پلاستیک خاک‌ورز قلمی

رطوبت خاک (PL)	مقاومت کششی (kN)	لغزش (%)	مصرف سوخت (L.min ⁻¹)	سطح مقطع بهم خوردگی خاک (cm ²)	سطح مقطع بالا آمدگی خاک (cm ²)	قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای (mm)	شاخص مخروطی (MPa)	مقاومت ویژه (N.cm ⁻²)
۰/۵	۶/۶۰	۲۷/۴۸	۰/۴۳۵	۴۸۹/۵۲*	۴۵۵/۵۹*	۴۷/۵۸	۳/۹۷	۱۲/۸۹
۰/۷	۶/۴۱	۲۵/۶۴	۰/۴۲۲*	۴۷۶/۵۵	۴۴۳/۷۰	۳۶/۶۰	۳/۵۰	۱۳/۴۴
۰/۹	۴/۶۹*	۲۴/۰۰*	۰/۴۴۷	۴۶۲/۲۲	۴۳۱/۰۰	۳۳/۲۷*	۳/۲۶*	۱۰/۰۳*

* = مقادیر بهینه‌ی هر یک از صفت‌های اندازه‌گیری شده در تیمار رطوبت بر حسب حد پلاستیک

جدول ۷. آنالیز واریانس برای داده‌های به کار رفته در معادله‌ی رگرسیون چند متغیره به منظور به دست آوردن رطوبت بر حسب حد پلاستیک بهینه

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	۸	۱/۷۱	۰/۲۱	۳۴/۸۸	**
Residual	۷۲	۰/۴۴	۰/۰۱		
Total	۸۰	۲/۱۶			

** = بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

لغزش چرخ و مصرف سوخت، می‌توان نتیجه گرفت که علیرغم افزایش ظاهری مقدار آن، حداقل مقادیر مقاومت کششی، لغزش چرخ محرک و مصرف سوخت را در پی خواهد داشت.

رطوبت بهینه نقش مهمی در تراکم پذیری خاک دارد، لذا در این رطوبت مواجه با حداقل لغزش چرخ و به دنبال آن کمترین مقدار شاخص مخروطی خواهد بود. با در نظر گرفتن نتایج حاصله از این تحقیق پیشنهاد گردید که در رطوبت PL ۰/۸۱ که معادل ۱۴/۸ درصد رطوبت وزن خشک می‌باشد، عملیات خاک‌ورزی اجرا شود تا حداقل لغزش و تراکم خاک پدید آید.

چنان چه از صفت لغزش چرخ صرف‌نظر گردد، رطوبت ۱۳ درصد با شاخص مخروطی ۱۸۸/۰۸ کیلو پاسکال حاصل شده است (Dehghani & Karparvarfard., 2017).

نتیجه‌گیری

با لحاظ نمودن دو صفت مصرف سوخت و لغزش چرخ‌های محرک عقب تراکتور، مشخص گردید که سرعت پیشروی ۵ کیلومتر بر ساعت موجب می‌گردد تا حداقل مصرف سوخت به همراه حداقل میزان لغزش چرخ‌های محرک به وجود آید (جدول ۲).

با توجه به تأثیر زاویه حمله بر روی مقاومت کششی،

REFERENCES

Al-Jasim, A. (1993). The technical and economical indicators for soil harrowing with disk harrows. *Mijalat al-3ulu: m al-zira: 3iyyat al-3ira: qiyyat (Iraq)*.

Chaplain, V., Défossez, P., Richard, G., Tessier, D. & Roger-Estrade, J. (2011). Contrasted effects of no-till on bulk density of soil and mechanical resistance. *Soil and Tillage Research* www.SID.ir

- 105-114.
- Chen, H., Hou, R., Gong, Y., Li, H., Fan, M. & Kuzyakov, Y. (2009). Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 85-94.
- Dehghani, M. & Karparvarfard, S.H. (2017). Optimization of Chisel Tine Operation Used in Combined Tillage Machine. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 47(4), 651-658. (In Farsi)
- Hemmat, A., Ahmadi, I. & Masoumi, A. (2007). Water infiltration and clod size distribution as influenced by ploughshare type, soil water content and ploughing depth. *Biosystems engineering*, 97(2), 257-266.
- Ismail, W., Ishak, W. & Burkhardt, T. (1993). Draft and fuel requirements measurement using tractor on-board data acquisition system. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 1(1), 51-64.
- Makanga, J., Salokh, V. & Gee-Glough, D. (2011). Deformation and force characteristics caused by inclined tines in loam soil with moisture content below liquid limit. *Journal of agriculture, science and technology*, 12(2), 64-78.
- Melero, S., López-Garrido, R., Murillo, J. M. & Moreno, F. (2009). Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 292-298.
- Raheman, H. & Jha, S. (2007). Wheel slip measurement in 2WD tractor. *Journal of terramechanics*, 44(1), 89-94.
- Regional Network for Agricultural Machinery. (1983). RNAM test codes and procedures of farm machinery. Technical Series No. 12 (p. 129). Bangkok: Thailand.
- Solhjou, A., Fielke, J.M. & Desbiolles, J.M. (2012). Soil translocation by narrow openers with various rake angles. *Biosystems engineering*, 112(1), 65-73.