Archive of SID
DOI: 10.22059/ijbse.2018.243672.664998

مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸ (ص ۱۷۸- ۱۶۹)

Investigating the Effect of Forward Speed, Operating Depth and Adding Wing on the Interaction of Paraplow and Soil

MOHAMMAD ASKARI[1*], GHOLAMHOSEIN SHAHGHOLI[2], JAVAD JANNATKHAH[3], DAVOUD KALANTARI[4]

1. Post Doc Researcher, Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran
2. Associate Professor, Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran
3. PhD Student, Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran
4. Assistant Professor, Department of Farm Machinery, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources university, Sari, Iran

(Received: Oct. 24, 2017- Revised: July. 18, 2018- Accepted: Sep. 23, 2018)

ABSTRACT

In this research, the effect of forward speed at four levels (1.8, 2.3, 2.9 and 3.5 km/h), tillage depth at three levels (30, 40 and 50 cm) and wing at two levels (winged and no-winged tines) were investigated on the draft requirement, soil disturbance area and specific draft of Paraplow. The results revealed that the effect of depth and wing was more than forward speed on the studied parameters, significantly. Increasing forward speed increased draft requirement and specific draft but decreased disturbance area. Increasing depth and adding wing led to increase draft requirement, disturbance area and specific draft. Transfering winged paraplow to under the hardpan decreased specific draft, significantly. The results recommended that using lower speed, minimum depth for hardpan breakage and wing will be better. A regression model included the speed, depth and wing width was developed to predict the draft requirement.

Keywords: wing, tillage, dynamometer, subsoiler.

*Corresponding Author email: engmohammadaskari@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی اثر سرعت پیشروی، عمق کار و افزودن باله بر تقابل گاوآهن پارا و خاک

محمد عسکری[۱*]، غلامحسین شاهقلی[۲]، جواد جنت خواه[۳]، داود کلانتری[۴]

۱. پژوهشگر پسادکتری، گروه مهندسی بیوسیستم ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴. استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۲- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۲۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۱)

چکیده

در این تحقیق، اثر سرعت پیشروی در چهار سطح (۱/۸، ۲/۳، ۲/۹ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت)، عمق خاک‌ورزی در سه سطح (۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر) و باله در دو سطح (بدون باله و باله‌دار) بر نیروی کششی، سطح مقطع شیار ایجاد شده در خاک و مقاومت ویژه گاوآهن پارا بررسی شد. نتایج نشان داد که تأثیر باله و عمق بر پارامترها به طور معنی‌داری بیشتر از سرعت پیشروی است. افزایش سرعت به افزایش نیروی کششی و مقاومت ویژه اما کاهش سطح مقطع شیار - انجامید. افزایش عمق و افزودن باله به افزایش نیروی کششی، سطح مقطع شیار و مقاومت ویژه منجر شد. انتقال گاوآهن پارای باله‌دار به حداقل عمق زیر سخت‌لایه به طور معنی‌داری موجب کاهش مقاومت ویژه گردید. نتایج توصیه می‌کند که از سرعت کمتر، کمترین عمقی که بتوان سخت‌لایه را شکست و باله استفاده شود. مدل رگرسیونی شامل سرعت، عمق و عرض باله به منظور پیش‌بینی نیروی کششی ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: باله، خاک‌ورزی، دینامومتر، زیرشکن

مقدمه

عوامل زیادی در متراکم شدن خاک توسط ماشین‌های کشاورزی مؤثرند که می‌توان به مقدار رطوبت خاک هنگام عملیات خاک-ورزی، خصوصیات خاک و تعداد عبور و وزن (بار وارده) ماشین-های کشاورزی اشاره نمود. فشردگی خاک باعث افزایش مقاومت و جرم مخصوص ظاهری خاک، کاهش خلل و فرج و نفوذ آب به خاک می‌شود. همچنین یک خاک متراکم مانع از طویل شدن ریشه و نفوذ آن به عمق‌های پایین‌تر می‌شود و این اثرات در زمان‌های خشکی تشدید می‌یابد (Radford *et al.*, 2001; Arvidsson *et al.*, 2001).

یکی از روش‌های مکانیکی از بین بردن لایه متراکم، استفاده از خاک‌ورزی عمیق توسط زیرشکن می‌باشد. انواع مختلفی از زیرشکن‌ها در طرح‌های متنوعی وجود دارد (Raper, 2002). فرآیند زیرشکنی، سنگین‌ترین عملیات خاک‌ورزی بوده و به تراکتورهای پرقدرت نیاز دارد. بنابراین، در بعضی از موارد به لحاظ به کارگیری تراکتورهای پُرقدرت منتج به فشردگی مجدد خاک می‌گردد و از این رو، با ابزارهایی مانند زیرشکن کج‌ساق و گاوآهن پارا جایگزین شده است (Askari *et al.*, 2016). گاوآهن پارا، متشکل از یک ساق و تیغه مورب می‌باشد که در انواع تجاری، ضمایمی از قبیل کفشک و نوک گوه‌ای نیز به انتهای تیغه متصل می‌گردد. یکی از محققین با حذف نوک گوه-ای و کفشک گاوآهن پارا، آن را گاوآهن کج‌ساق نامید (Harrison, 1988). وی گزارش نمود که زیرشکن کج‌ساق نسبت به گاوآهن پارا به نیروی کشش کمتری نیاز دارد اما ناحیه بهم خوردگی خاک زیرسطحی توسط آن کمتر از گاوآهن پارا است. در نتیجه گاوآهن پارا به منظور شکست هرچه بیشتر سخت لایه، نفوذ بهتر و راحت‌تر ریشه و آب آبیاری همچنین به واسطه درخواست نیروی کششی موردنیاز کمتر نسبت به زیرشکن مرسوم، اقتصادی‌ترین و بهترین ابزار در عملیات زیرشکنی است.

در همین راستا و به منظور بررسی اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر نیروی کششی موردنیاز تیغه‌های باریک خاک‌ورز، تحقیقات زیادی صورت گرفته است (Askari *et al.*, 2016). در برخی از این تحقیقات، رابطهٔ تغییرات عمق و سرعت

*نویسنده مسئول: engmohammadaskari@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

پیشروی با نیروی کششی موردنیاز گاوآهن چیزل به صورت خطی گزارش شده است (Ismail & Burkhardt, 1993; Sahu & Raheman, 2006; Moeenifar *et al.*, 2013). نتایج پژوهش دیگری نشان می‌دهد که رابطهٔ بین تغییرات سرعت پیشروی و نیروی کششی مورد نیاز تیغه‌های باریک، رابطه‌ای خطی است (Ashrafi Zadeh, 2006). همچنین، در تحقیقی دیگر، رابطهٔ بین افزایش سرعت پیشروی و نیروی کششی موردنیاز گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن بشقابی و گاوآهن چیزل به صورت خطی گزارش شده است (Ranjbarian *et al.*, 2017).

همچنین، تحقیقات زیادی به منظور بررسی تأثیر اضافه نمودن باله بر نیروی کششی مورد نیاز تیغه‌های زیرشکن مانند، سطح مقطع شیار ایجادشده در خاک و مقاومت ویژه تحت شرایط متفاوت آزمون انجام شده است (Ramadhan, 2014). نتایج یکی از این پژوهش‌ها نشان داد که افزودن باله به عرض ۳۰ سانتی‌متر به زیرشکن موجب افزایش ۳۰ درصدی در نیروی کششی مورد نیاز و افزایش ۴۵ درصدی سطح مقطع شیار ایجادشده در خاک گردید (Spoor & Godwin, 1978). در تحقیق دیگری با اضافه شدن باله به زیرشکن در عمق کاری ۳۶ سانتی‌متری، نیروی کششی موردنیاز آن از ۱۵/۹ کیلونیوتن به ۲۲/۸ کیلونیوتن (افزایش ۴۳ درصدی) افزایش یافت (Ahmed & Godwin, 1983). همچنین در تحقیقات دیگری، گزارش شد که افزودن باله به عرض ۳۰ سانتی‌متر به زیرشکن موجب افزایش نیروی کششی موردنیاز آن به میزان ۲۸ درصد و افزایش سطح مقطع شیار ایجاد شده در خاک به میزان ۴۰ درصد گردید (Ramadhan, 2011; 2014). این اختلافات در نتایج ممکن است در اثر اختلاف در ابعاد و هندسه ابزار خاک ورز، عمق کاری و به ویژه خصوصیات خاک باشد. به علاوه، در برخی از تحقیقات گذشته گزارش شده است که با افزایش عمق خاک-ورزی، سطح مقطع شیار ایجاد شده توسط زیرشکن افزایش و مقاومت ویژه کاهش یافته است (Arvidsson *et al.*, 2001; Al-Suhaibani & Ghaly, 2010; Ramadhan, 2011 ; 2014).

با بررسی منابع در دسترس مشخص گردید که تحقیقات پژوهشی درباره گاوآهن پارا و باله در داخل و خارج از کشور اندک بوده و شناخت کشاورزان به‌خصوص کشاورزان ایرانی از این ابزار مفید خاک‌ورزی کافی نبوده و معمولاً از آن استفاده نمی‌کنند. لذا در تحقیق حاضر تأثیر تغییرات سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی به همراه اثر اضافه کردن باله بر نیروی کششی موردنیاز، سطح مقطع شیار ایجادشده درون خاک و مقاومت ویژه گاوآهن پارا مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نتایج به دست آمده دربارهٔ گاوآهن پارا و باله به منظور شناخت هرچه بهتر کشاورزان از این ابزار مفید به عنوان جایگزینی برای زیرشکن مرسوم ارائه گردید.

مواد و روش‌ها

شماتیک شاخهٔ گاوآهن پارای مورد استفاده در آزمون‌های مزرعه‌ای (از نوع استاندارد با حداکثر عمق کاری ۶۰ سانتی‌متر) به همراه باله با زاویه حمله ۱۵ درجه متصل به آن و ابعاد آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. در آزمون‌های مزرعه‌ای از تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ با قدرت موتور ۱۱۰ اسب بخار برای کشیدن گاوآهن پارا استفاده شد. سرعت واقعی حرکت تراکتور در مزرعه با استفاده از چرخ پنجم اندازه‌گیری گردید (شکل ۲). بدین صورت که یک حسگر مغناطیسی به چرخ پنجم متصل بود که تعداد دوران چرخدنده ۱۲ دندانه‌ای را ثبت می‌کرد. با تقسیم عدد نشان داده شده در نمایشگر دیجیتال پالس‌متر بر عدد ۱۲، تعداد دور چرخ پنجم حاصل گردید. با داشتن محیط چرخ پنجم، مسافت طی شده محاسبه و با اندازه‌گیری مدت زمان موردنیاز برای طی کردن این مسافت، سرعت واقعی حرکت تراکتور به دست آمد (شکل۲). برای اندازه‌گیری نیروی کششی موردنیاز گاوآهن پارا از دینامومتر اتصال سه نقطه موجود در کارگاه گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد. سازندگان دستگاه گزارش نمودند که این وسیله قادر است نیروهای سه محوره وارد بر یک شاخه از ابزار خاک‌ورز را تا بیشینه مقدار ۳۵ کیلونیوتن اندازه‌گیری کند (شکل۲) (Abbaspour-Gilandeh & Khanramaki, 2013). سیستم جمع‌آوری داده مورد استفاده در این تحقیق، شامل کرنش‌سنج-های نصب شده روی دو حلقهٔ هشت وجهی توسعه یافته (EOR) نصب شده روی دینامومتر اتصال سه نقطه، دیتالاگر و لپ تاپ بود. سیگنال‌های دریافتی از کرنش‌سنج‌ها در دیتالاگر DT-800 رقومی شده و در انتهای هر کرت به لپ تاپ انتقال یافت. دیتالاگر و لپ تاپ از طریق یک باتری ۱۲ ولتی اضافی و مبدل برق ۱۲ به ۲۲۰ ولت تغذیه می‌شدند (شکل۲) (Askari *et al.*, 2016).

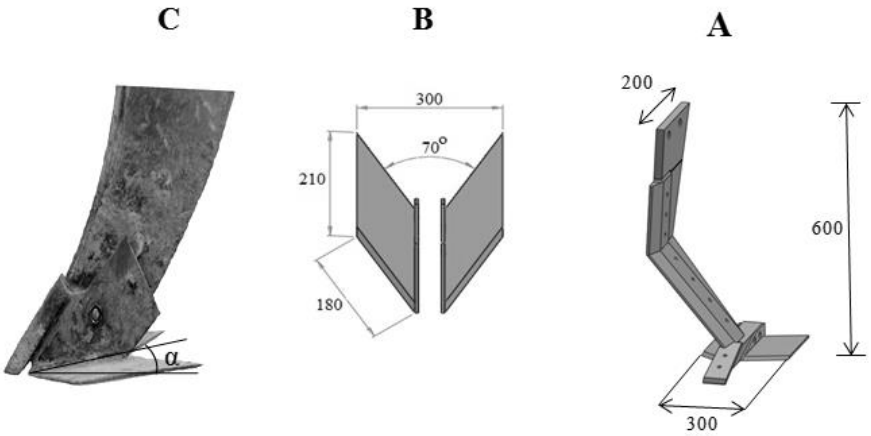
به منظور اندازه‌گیری سطح مقطع شیار ایجاد شده در خاک، از پروفیل‌متر و رابطه (۱) استفاده شد:

$$A= ((2\Sigma_{i=1} di) - (d_1 + d_n))\times h/2 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

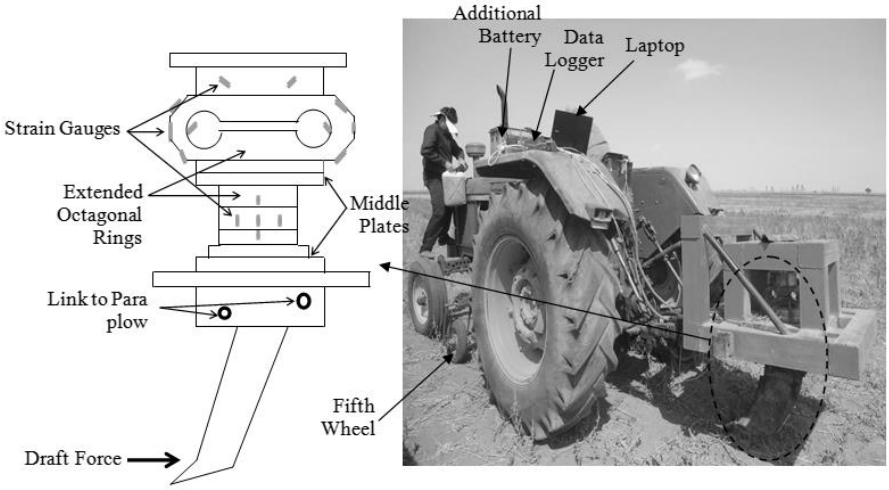
که در آن، A= مساحت سطح مقطع شیار (سانتی‌متر مربع)؛ di= اعداد خوانده شده با پروفیل متر؛ d_1 و d_n= اولین و آخرین اعداد قرائت شده با پروفیل متر؛ و h= فاصلهٔ میان میله‌های پروفیل‌متر است (۳ سانتی‌متر) (شکل۳).

www.SID.ir

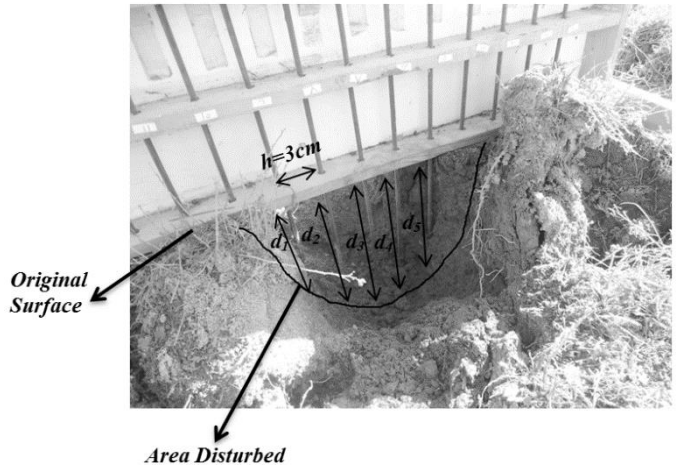
Archive of SID



شکل ۱. (A) گاوآهن پارا و باله مورد آزمون، (B) نمای بالا از باله و (C) زاویه حمله(α =۱۵درجه) در نمای جانبی (ابعاد به میلی متر)



شکل ۲. دینامومتر، سیستم جمع‌آوری داده و چرخ پنجم مورد استفاده در آزمون‌های مزرعه‌ای



شکل ۳. اندازه‌گیری سطح مقطع شیار ایجاد شده به کمک پروفیل‌متر (h برابر است با ۳ سانتی‌متر)

مقاومت ویژه مطابق رابطه (۲) بدست می‌آید.

(رابطه۲)

$$S.D = F/A$$

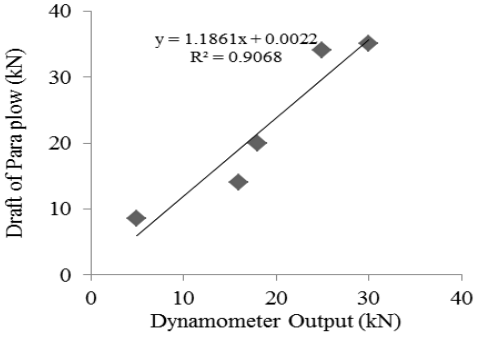
که در آن، S.D= مقاومت ویژه (نیوتن بر سانتی‌متر مربع)؛ F= نیروی کششی اندازه‌گیری شده (نیوتن)؛ و A= سطح مقطع شیار ایجادشده (سانتی‌متر مربع) است.

کالیبراسیون دینامومتر به صورت مزرعه‌ای و در دو مرحله انجام شد. در مرحلهٔ اول، تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ (کشنده)، مجموعه تراکتور جان دیر ۳۱۴۰ در حالت خلاص، دینامومتر و گاوآهن پارا را حین خاک‌ورزی و از طریق کابل رابط و لودسل ۵

www.SID.ir

Archive of SID

تنی نصب شده بین دو تراکتور می‌کشید. در این وضعیت، نیروهای کششی متفاوت با اعمال سرعت‌های پیشروی متفاوت در تراکتور کشنده به دست آمد. در مرحلهٔ دوم، تراکتور کشنده مجموعهٔ تراکتور خلاص- دینامومتر- گاوآهن پارا را در حالت عدم کار و در همان سرعت‌های پیشروی مرحلهٔ اول می‌کشید. این روش به روش RNAM نیز معروف می‌باشد. تفاوت نیروهای اندازه‌گیری شده با لودسل ۵ تنی در دو مرحلهٔ اول و دوم باید با نیروی مقاوم افقی (مقاومت کششی) اندازه‌گیری شده توسط دینامومتر برابر می‌بود (Askari *et al.*, 2011). با رسم دو سری نیرو، نمودار کالیبراسیون مزرعه‌ای دینامومتر به دست آمد (شکل۴). آزمون‌های مزرعه‌ای در مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل (آلاروق) اجرا شد. خاک مزرعه از نوع لومی رسی بود، رطوبت و سایر خصوصیات خاک در ۲۰ نقطهٔ انتخاب شده به طور تصادفی و در دو عمق ۲۵-۰ (عمق کم) و ۵۰-۲۵ سانتی‌متر (عمق زیاد) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رطوبت بر پایهٔ وزن خشک، نمونه‌های خاک دو مرتبه وزن شدند، یک بار پس از جمع آوری و بار دیگر بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در کوره (آون) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس.



شکل ۴. نتایج به دست آمده از کالیبراسیون مزرعه‌ای دینامومتر

با استفاده از مقادیر عددی این داده‌ها، رطوبت وزنی بر پایهٔ وزن خشک (db) به دست آمد. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک، از هر عمق (۲۵-۰ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متر) در نقاط تصادفی، مجموعاً ۳۰ نمونه خاک با استوانه-های استاندارد جمع‌آوری شد. وزن استوانه‌ها پس از آن که به مدت ۲۴ ساعت در کوره در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند، به دست آمد. با کم کردن وزن استوانه‌های خالی، وزن خاک خشک (بر حسب گرم) تعیین گردیده و با تقسیم کردن آن بر حجم استوانهٔ نمونه‌برداری (بر حسب سانتی‌متر مکعب)، جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) به دست آمد.

برای اندازه‌گیری فشردگی خاک از یک دستگاه نفوذسنج دستی ریمیک (Rimik, CP-20) ساخت کشور استرالیا استفاده شد. نفوذپذیری خاک در ۲۵ نقطه که به طور تصادفی انتخاب شده بود تا عمق ۵۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد.

با در نظر گرفتن عوامل مؤثر (متغیرهای مستقل) شامل سه عمق خاک ورزی، چهار سرعت پیشروی، دو حالت باله‌دار و بدون باله به علاوه چهار تکرار برای هر حالت (جمعاً ۹۶ کرت آزمایشی، هر یک ۳ متر عرض در ۳۰ متر طول) در چهار بلوک بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی درنظر گرفته شد. مدل رگرسیونی به منظور پیش‌بینی نیروی کششی مورد نیاز گاوآهن پارا حاوی پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای و نرم‌افزار $SPSS_{16}$ ایجاد گردید. نتایج مدل با داده‌های مزرعه‌ای مقایسه گردید تا دقت آن به دست آید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تعیین بافت و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعهٔ تحقیقاتی

خصوصیت	مقدار
شن	۴۰
سیلت	۲۸
رس	۳۲
مادهٔ آلی	۰/۲۹
اسیدیته	۷/۶۲
هدایت الکتریکی	۰/۴۱
ظرفیت مزرعه ای بر پایهٔ وزن خشک	۱۰/۱۳
جرم مخصوص ظاهری خاک (۰ تا ۲۵ سانتی‌متری)	۱/۳۵
جرم مخصوص ظاهری خاک (۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری)	۱/۴۶
رطوبت بر پایهٔ وزن خشک (۰ تا ۲۵ سانتی‌متری)	۹/۵
رطوبت بر پایهٔ وزن خشک (۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری)	۱۲/۹

میانگین نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری میزان فشردگی خاک در شکل ۵ نشان داده شده است.

نتایج ارائه شده در شکل ۵ نشان می‌دهد که سخت لایه-ای در عمق ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متری زمین وجود دارد و عملیات زیرشکنی در عمق‌های بیشتر از ۴۰ سانتی‌متری به شکستن این سخت‌لایه کمک خواهد کرد. از طرفی افزایش ناگهانی نیروی کششی موردنیاز در عمق ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر نسبت به عمق ۳۰ سانتی‌متری دور از انتظار نخواهد بود.

تجزیه واریانس پارامترهای بررسی شده و مؤثر بر نیروی

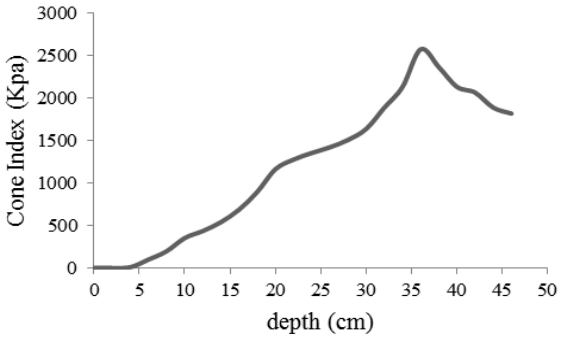
www.SID.ir

Archive of SID

کششی موردنیاز، سطح مقطع شیار ایجادشده درون خاک و مقاومت ویژه گاوآهن پارا در جدول۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول، اثر مستقل سرعت پیشروی، عمق و باله و اثر متقابل تمامی حالات آن‌ها بر نیروی کششی موردنیاز، سطح مقطع شیار ایجادشده و مقاومت ویژه معنی‌دار بود ($P<0.01$).

اثر سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و باله بر نیروی کششی موردنیاز

اثر متقابل سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و افزودن باله بر نیروی کششی موردنیاز گاوآهن پارا در شکل۶ نشان داده شده است.

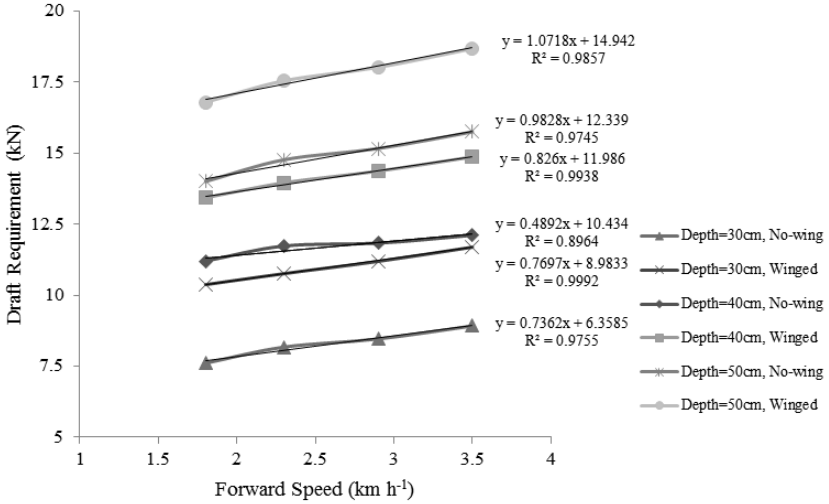


شکل ۵. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری فشردگی خاک

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس اثر سرعت پیشروی، عمق و باله بر پارامترهای مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات		
		نیروی کششی	سطح مقطع شیار	مقاومت ویژه
سرعت	۳	۷/۷۴**	۷۶۲۹/۱۸**	۲۸/۴۳۶**
عمق	۲	۳۵۰/۵**	۹۶۰۳۸۶/۵**	۱۸/۲۹**
باله	۱	۱۷۸/۶۷**	۲۰۱۵۴۲۸/۵**	۱۳۴/۸۳**
سرعت × عمق	۶	۰/۰۸۲**	۸۶۷/۸۴**	۰/۶۱۴**
سرعت × باله	۳	۰/۲۲۶**	۶۹/۸۵**	۰/۳۴۸**
عمق × باله	۲	۰/۷۰۷**	۳۵۲۷۸/۹**	۱۰/۱۶۴**
سرعت × عمق × باله	۶	۰/۰۵۱**	۸۳/۶۸**	۰/۰۹۸**
خطا	۷۲	۰/۰۰۳	۷/۴۰۹	۰/۰۱۴
کل	۹۵			

** = بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد



شکل ۶. تغییرات نیروی کششی موردنیاز به واسطه تغییرات سرعت، عمق و اضافه کردن باله

با افزایش سرعت پیشروی در هرسه عمق و هر دو حالت باله‌دار و بدون باله، نیروی کششی موردنیاز به صورت خطی افزایش یافته است ($R^2>0.89$). در سایر تحقیقات نیز نتایج مشابهی به دست آمده است (Spoor & Godwin, 1978; Shahi *et al.*,2010; Ramadhan, 2011; Moeenifar *et al.*,2013; Ramadhan, 2014; Ranjbarian *et al.*, 2017).

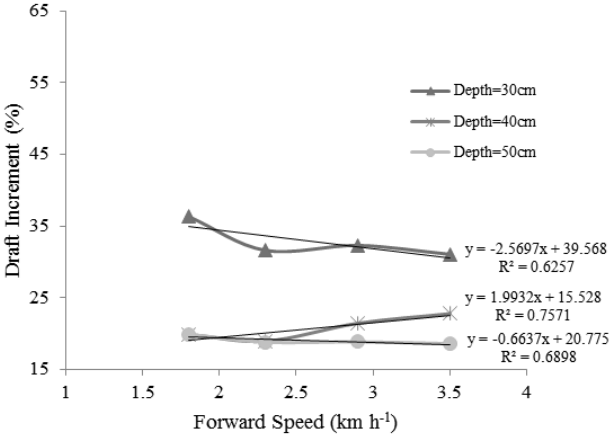
نتایج نشان داد که با دو برابر شدن سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در تمامی حالات تحت آزمون، نیروی کششی موردنیاز افزایش یافت اما دو برابر نشد. این تناسب با فرمول استاندارد پیش‌بینی مقاومت کششی ASABE

www.SID.ir

Archive of SID

(D497.7, 2011) و تحقیقات تعداد زیادی از محققان مشابهت دارد (Al-Suhaibani *et al.*, 2006; Sahu & Raheman, 2006). بیشترین نیروی کششی موردنیاز در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت، عمق ۵۰ سانتی‌متری حالت باله‌دار به میزان ۱۸/۷ کیلونیوتن و کمترین آن نیز در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت، عمق ۳۰ سانتی‌متری حالت بدون باله به میزان ۷/۶ کیلونیوتن حاصل گردید. هنگامی که عمق از ۳۰ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر تغییر می‌یابد، نیروی کششی موردنیاز حالت بدون باله و باله‌دار به ترتیب از ۸/۳ به ۱۴/۹ و از ۱۱ به ۱۷/۷ کیلونیوتن افزایش پیدا کرد (Al-Suhaibani *et al.*, 2006; Ramadhan, 2011; Ramadhan, 2014). نتایج ارائه شده در شکل ۷ نشان می‌دهد که گاوآهن پارای باله‌دار در تمامی اعماق و سرعت‌ها، نیروی کششی بیشتری نسبت به نوع بدون باله نیاز دارد (Harrison, 1988; Raper, 2005). افزایش نیروی کششی مورد نیاز به واسطه اضافه نمودن باله به این دلیل است که ناحیه تماس مابین ابزار و خاک افزایش یافته و در نتیجه اصطکاک بین فلز و خاک افزایش می‌یابد. به علاوه ناحیه بهم خوردگی خاک و جابجایی خاک در حین استفاده از باله افزایش می‌یابد که خود این امر بیانگر صرف انرژی بیشتری است. همچنین ملاحظه می‌گردد که در عمق ۳۰ سانتی‌متر با اضافه کردن باله، افزایش بیشتری نسبت به دو عمق دیگر در نیروی کششی موردنیاز اتفاق می‌افتد.

رابطه بین افزایش سرعت پیشروی و درصد افزایش نیروی کششی به واسطه اضافه نمودن باله نسبت به حالت بدون باله در شکل ۷ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که در اعماق شخم ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری، شیب کلی درصد تغییرات نیروی کششی نسبت به افزایش سرعت پیشروی منفی بوده ولی در عمق ۴۰ سانتی‌متری این شیب مثبت است. نتایج این نمودار نشان می‌دهد که افزایش سرعت پیشروی در محدوده مورد آزمون (از ۱/۸ تا ۳/۵ کیلومتر بر ساعت) برای شخم با گاوآهن پارای باله‌دار در عمق کار ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری، ارجحیت داشته و درصد افزایش نیروی کششی موردنیاز را کاهش داده است. در صورتی که در عمق کار ۴۰ سانتی‌متری، روند افزایش نیروی کششی موردنیاز از ۱/۸ تا ۲/۵ کیلومتر بر ساعت کاهش، سپس افزایش یافته است. علت این موضوع حرکت باله در سخت‌لایه موجود در زمین در عمق ۴۰ سانتی‌متری می‌باشد. این نتیجه از نظر عملی و برای مدیریت به کار بستن باله در گاوآهن پارا بسیار حائز اهمیت بوده و نشان می‌دهد که باید حرکت باله به عمق بیشتر از سخت لایه منتقل گردد تا سطوح درگیری ابزار برش با خاک، سخت به حداقل کاهش یابد. نکته قابل توجه دیگر این که تأثیر افزودن باله بر نیروی کششی موردنیاز در عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متری برابر یا بیشتر از نیروی کششی موردنیاز در عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متری به دست آمده است که به علت وجود همان سخت لایه اشاره شده در عمق ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متری زمین می‌باشد. این یافته بیانگر این است که افزایش عمق خاک‌ورزی به هنگام استفاده از گاوآهن پارای باله‌دار به زیر سخت‌لایه به طور معنی‌داری می‌تواند موجب کاهش نیروی کششی موردنیاز گردد. نتایج ارائه شده در شکل۸ در عمق۳۰ سانتی‌متری تقریباً مشابه تحقیقات (Spoor & Godwin, 1978)، (Ramadhan, 2011) و (Ramadhan, 2014) در مورد زیرشکن است. این تحقیقات میزان افزایش نیروی کششی موردنیاز زیرشکن به واسطه اضافه نمودن باله به عرض ۳۰ سانتی‌متر را به ترتیب ۳۰، ۳۰ و ۲۸ درصد گزارش نموده‌اند.



شکل ۷. درصد افزایش نیروی کششی موردنیاز به واسطه اضافه کردن باله در سرعت‌ها و عمق‌های مختلف

اثر سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و باله بر سطح مقطع شیار ایجادشده در خاک

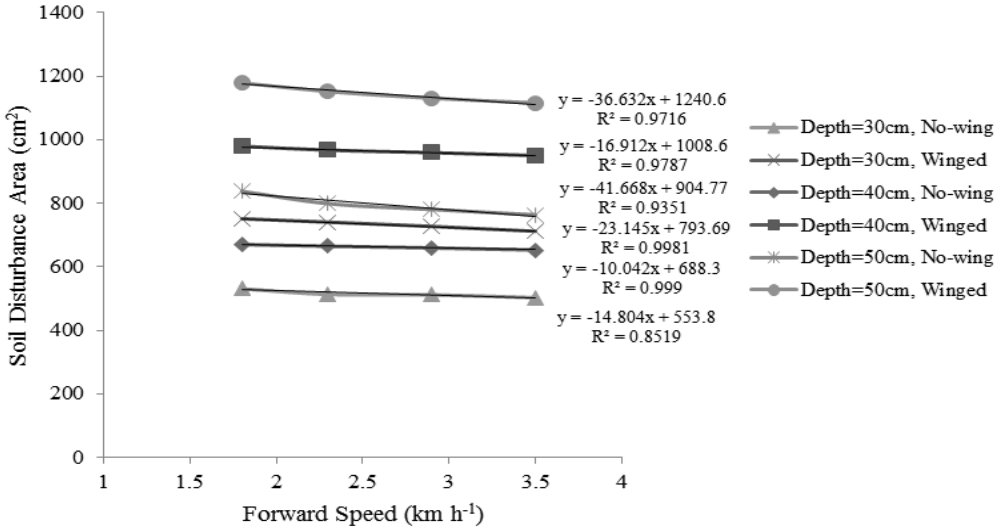
اثر متقابل سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و افزودن باله بر سطح مقطع شیار ایجادشده توسط گاوآهن پارا در شکل۸ نشان داده شده است. بیشترین سطح مقطع شیار ایجاد شده درون خاک به میزان ۱۱۷۹ سانتی‌متر مربع در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر در حالت باله‌دار ایجاد گردید. کمترین سطح مقطع شیار نیز به میزان ۵۰۳ سانتی‌متر مربع در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۳۰ سانتی‌متر در حالت بدون باله به دست آمده است. در حالت بدون باله با افزایش عمق زیرشکنی از ۳۰ به ۴۰ و از ۴۰ به ۵۰ سانتی‌متر، سطح مقطع شیار ایجادشده به ترتیب به میزان ۲۸ و۲۰ درصد افزایش یافته است. همچنین، در حالت باله‌دار با افزایش عمق زیرشکنی از۳۰ به ۴۰ و ۴۰ به ۵۰

www.SID.ir

Archive of SID

سانتی‌متر، سطح مقطع شیار ایجاد شده به ترتیب به میزان ۳۱ و ۱۹ درصد افزایش یافته است. این نکته حائز اهمیت است که افزایش عمق از ۳۰ به ۴۰ سانتی‌متر در حالت باله‌دار، سطح مقطع شیار ایجادشده درون خاک را بیشتر از حالت بدون باله، افزایش داده است. (Al-Suhaibani & Ghaly, 2010) و (Ramadhan, 2011; Ramadhan, 2014) نیز گزارش کرده‌اند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، سطح مقطع شیار ایجاد شده توسط تیغه‌های باریک افزایش می‌یابد.

با افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت در تمامی عمق‌های خاک‌ورزی و حالت بدون باله و باله-دار، سطح مقطع شیار ایجاد شده به صورت خطی کاهش یافته است (R^2>0.85). در همین راستا، محققین دیگری نیز گزارش نموده‌اند که با افزایش سرعت پیشروی، سطح مقطع شیار ایجاد شده توسط تیغه‌های باریک به صورت خطی کاهش یافته است (Ramadhan, 2011; Ramadhan, 2014).



شکل ۸. تغییرات سطح مقطع شیار ایجادشده درون خاک به واسطه تغییرات سرعت، عمق و اضافه کردن باله

با اضافه شدن باله به گاوآهن پارا، سطح مقطع شیار ایجاد شده درون خاک به طور متوسط در سرعت‌ها و عمق‌های مختلف، افزایش ۴۲ درصدی را تجربه نمود. در تحقیقات مشابه گزارش شده است که افزودن باله به عرض ۳۰ سانتی‌متر به زیرشکن موجب افزایش ۴۵ درصدی سطح مقطع شیار ایجادشده در خاک خواهد شد (Spoor & Godwin, 1978). همچنین، محققین دیگری گزارش نموده اند که افزودن باله به عرض ۳۰ سانتی‌متر به زیرشکن موجب افزایش سطح مقطع شیار ایجادشده در خاک به میزان ۴۰ درصد خواهد شد (Ramadhan, 2011 ; 2014). تفاوت اندک نتیجه این بخش از تحقیق حاضر با این دو مورد احتمالاً به علت تفاوت در هندسه زیرشکن تحت آزمون و زاویه حمله باله می‌باشد.

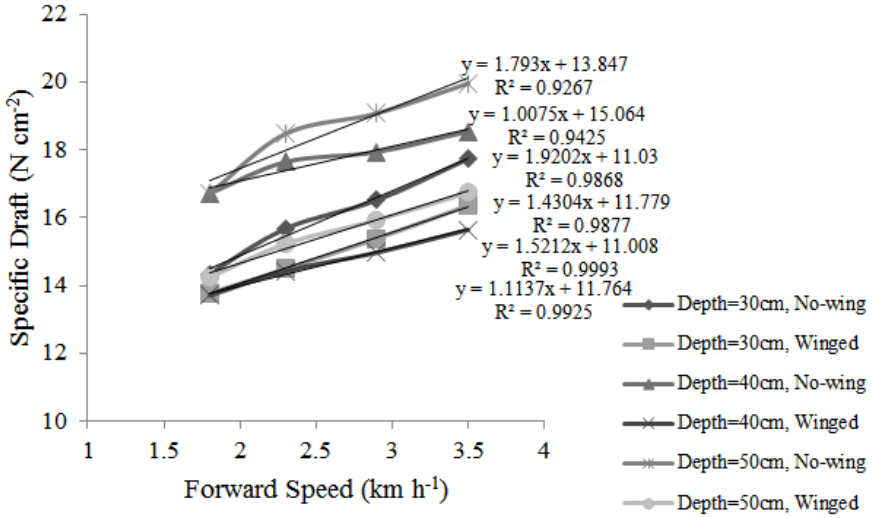
اثر سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و باله بر مقاومت ویژه

اثر متقابل سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و افزودن باله بر مقاومت ویژه گاوآهن پارا در شکل۹ نشان داده شده است. بیشترین مقاومت ویژه به میزان ۱۹/۹ نیوتن بر سانتی‌متر مربع در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۵۰ سانتی‌متر حالت بدون باله و کمترین مقاومت ویژه به میزان ۱۳/۷ نیوتن بر سانتی‌متر مربع در سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۴۰ سانتی‌متر حالت باله‌دار به دست آمده است. در حالت بدون باله، با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقاومت ویژه افزایش یافت (شکل۹). بدین معنا که در عمق‌های بیشتر، سطح مقطع شیار ایجاد شده کمتر از مقاومت کششی افزایش یافته که منجر به افزایش مقاومت ویژه شده است. در تحقیقات مشابه گزارش شده است که با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقاومت کششی ویژه در تیغه‌های باریک کاهش می‌یابد (Arvidsson *et al.*, 2001; Ramadhan, 2011; 2014). تفاوت نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات مذکور متأثر از وجود سخت‌لایه در حد فاصل عمق‌های ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متر است که شدیداً نیروی کششی موردنیاز در اعماق ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر را نسبت به افزایش سطح مقطع شیار ایجادشده درون خاک، افزایش می‌دهد. اما در حالت باله‌دار روند کمی متفاوت است. در این حالت، با افزایش عمق خاک‌ورزی از ۳۰ به ۴۰ سانتی‌متر، مقاومت ویژه کاهش می‌یابد اما با افزایش بیشتر عمق تا ۵۰ سانتی‌متر، مقاومت ویژه افزایش یافته است. یعنی باله در عمق ۴۰ سانتی‌متر، سطح مقطع شیار ایجاد شده را بیشتر از نیروی کششی افزایش می‌دهد که منجر به مقاومت ویژه کمتر شده است. به عبارت دیگر، اثر اضافه نمودن باله

www.SID.ir

Archive of SID

بسیار بیشتر از اثر افزایش عمق است. اما در عمق ۵۰ سانتی‌متر، اضافه نمودن باله منجر به افزایش بیشتری در نیروی کششی مورد نیاز نسبت به افزایش سطح مقطع شیار ایجادشده درون خاک گردیده و مقاومت ویژه، افزایش یافته است.



شکل ۹. تغییرات مقاومت ویژه به واسطه تغییرات سرعت، عمق و اضافه کردن باله

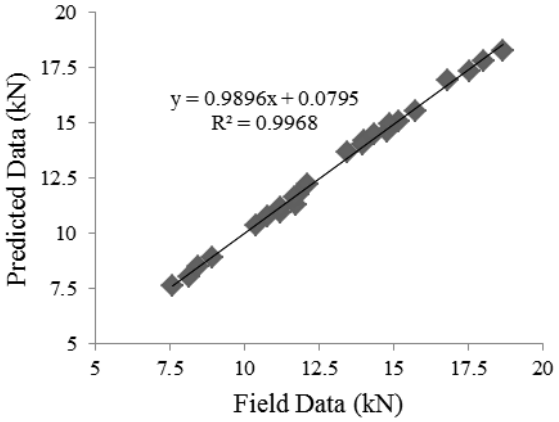
ملاحظه می‌گردد که با افزایش سرعت پیشروی از ۱/۸ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت، مقاومت ویژه در تمامی عمق‌های خاک‌ورزی و حالت‌های باله‌دار و بدون باله به صورت خطی افزایش می‌یابد (R^2>0.95). (Olatunji & Davies, 2009) و (Ramadhan, 2014) نتایجی مشابه گزارش داده‌اند. در حالت کلی، نتایج به دست آمده نشان داد که تأثیر افزودن باله و تغییرات عمق خاک‌ورزی برروی فاکتورهای تحت بررسی به طور معنی‌داری بیشتر از تأثیر تغییرات سرعت پیشروی است. (Chen, 2002) و (Ranjbarian *et al.*, 2017) نیز در تحقیقات خود دریافتند که در تیغه‌های باریک، اثر عمق خاک‌ورزی بر نیروی کششی موردنیاز و بهم خوردگی خاک بسیار مهم‌تر از اثر سرعت پیشروی می‌باشد.

مدل رگرسیونی نیروی کششی موردنیاز

در نهایت مدل رگرسیونی شامل پارامترهای مستقل موردمطالعه (سرعت، عمق و باله) به منظور پیش‌بینی نیروی کششی موردنیاز گاوآهن پارا به صورت رابطه (۳) بدست آمد:

$$D = -3.652 + 0.33\ d + 0.764\ S + 0.091\ w \qquad \text{(رابطه۳)}$$

در این مدل، d عمق خاک‌ورزی بر حسب سانتی‌متر، S سرعت پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت و w عرض باله است (صفر برای حالت بدون باله و ۳۰ برای حالت باله‌دار). نتایج این معادله نسبت به داده‌های مزرعه‌ای در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج شکل ۱۰ نشان می‌دهد که مدل ارائه شده با دقت بالایی (R^2=0.99) نیروی کششی موردنیاز گاوآهن تحت آزمون را پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۱۰. ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیونی برای تخمین نیروی کششی موردنیاز

نتیجه‌گیری

تجزیه واریانس نتایج به دست آمده نشان داد که تغییرات سرعت پیشروی و عمق و اضافه نمودن باله و تمامی ترکیبات آنها تأثیر معنی‌داری بر فاکتورهای تحت بررسی دارد (P<0.01). افزایش سرعت پیشروی به افزایش نیروی کششی، کاهش سطح مقطع شیار و افزایش مقاومت ویژه می‌انجامد. همچنین مشخص گردید که افزایش عمق و افزودن باله به افزایش نیروی کششی، سطح مقطع شیار و مقاومت ویژه منجر می‌شود. در این روند کلی مشاهده شده، افزایش عمق از ۳۰ به ۴۰ سانتی‌متر در حالت باله‌دار و در مورد مقاومت ویژه استثناء است. در حالت کلی به هنگام استفاده از گاوآهن پارا بهتر است که از سرعت-

www.SID.ir

Archive of SID

های کمتر، حداقل عمقی که گاوآهن پارا بتواند سخت لایه را بشکند همچنین ضمیمه باله استفاده شود. به علاوه، مدل رگرسیونی ارائه شده به خوبی می‌تواند نیروی کششی موردنیاز گاوآهن پارا را پیش‌بینی کند.

REFERENCES

Abbaspour-Gilandeh, Y. & Khanramaki, M. (2013). Design, construction and calibration of a triaxial dynamometer for measuring forces and moments applied on tillage implements in field conditions. *Journal of metrology Society of India*, 28(2), 119-127.

Ahmed, M. H. & Godwin, R. J. (1983). The influence of wing position on subsoiler penetration and soil disturbance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(5), 489-492.

Al-Suhaibani, S. A., Al-Janobi, A. A. & Al-Majhadi, Y. N. (2006). Tractors and tillage implements performance. In: Proceedings of *CSBE/SCGAB 2006 Annual Conference*, Edmonton, Canada.

Al-Suhaibani, S. A. & Ghaly, A. E. (2010). Effect of plowing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chisel plow operating in a sandy soil. *American Journal of Agriculture and Biology Science*, 5(3), 247-255.

Arvidsson, J., Trautner, A., van den Akker, J. J. H. & Schjønning, P. (2001). Subsoil compaction caused by heavy sugarbeat harvesters in southern Sweden. II. Soil displacement during wheeling and model computations of compaction. *Soil and Tillage Research*, 60(2), 79-89.

ASABE Standards (2011). ASAE D497.7, Agricultural machinery management data. Available at www.asabe.org.

Ashrafi Zadeh, S. R. (2006). *Modelling of energy requirements by a narrow tillage tool.* Ph. D. dissertation, University of Saskatchewan, USA.

Askari, M., Komarizade, M. H. & Nobakht, N. (2011). Deasign, construction and test of three-point hitch dynamometer. *Journal of Agricultural Machinery Engineering*, 1(2), 54-61 (In Farsi).

Askari, M., Shahgholi, Gh., Abbaspour-Gilandeh, Y. & Tash-Shamsabadi, H. (2016). Effect of forward speed and tillage depth on tractor-subsoiler performance. *Journal of Engineering Research in Agricultural Mechanization and Systems*, 6(5), 109-128 (In Farsi).

Chen, Y. (2002). A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions. *Transactions of ASAE*, 45(6), 1729-1736.

Harrison, H. P. (1988). Soil reacting forces for a bentleg plow. *Transactions of ASAE*, 31(1), 47-51.

Ismail, W. I. W. & Burkhardt, T. H. (1993). Draft and fuel requirements measurement using tractor on-board data acquisition system. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 1(1), 51-64.

Moeenifar, A. M., Kalantari, D. & Mousavi Seyedi, S. R. (2013). Application of dimensional analysis in determination of traction force acting on a narrow blade. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 5(9), 1034-1039.

Olatunji, O. M. & Davies, R. M. (2009). Effect of weight and draught on the performance of disc plough on sandy-loam soil. *Research Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 1(1), 22-26.

Radford, B. J., Yule, D. F., McGarry, D. & Playford, C. (2001). Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments. *Soil and Tillage Research*, 61(3), 157–166.

Ramadhan, M. N. (2011). Field study to evaluate the mechanical performance of the double tines longitudinally arranged subsoiler and its effect on some growth characteristics of barley hordeum vulgare L. Ms. C. dissertation, Basrah University, Iraq.

Ramadhan, M. N. (2014). Developmenet and performance evaluation of the double tines subsoiler in silty clay soil part1: draft force, disturbed area and specific resistance. *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 42(1), 293-313.

Ranjbarian, S., Askari, M. & Jannatkhah, J. (2017). Performance of tractor and tillage implements in clay soil. *Journal of Saudi Society of Agricultural Science*, 16(2), 154-162.

Raper, R. L. (2002). The influence of implement type, tillage depth and tillage timing on residue burial. *Transactions of ASAE*, 45(5), 1281–1286.

Raper, R. L. (2005). Force requirements and soil disruption of straight and bentleg subsoilers for conservation tillage system. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(5), 787-794.

Sahu, R. K. & Raheman, H. (2006). Draught prediction of agricultural implements using reference tillage tools in sandy clay loam soil. *Biosystems Engineering*, 94(2), 275–284.

Shahi, N., Shahgholi, G. & Biranvand, M. (2010). Modelling of soil-blade interaction and effect of speed and depth on subsoiler performance using discrete element method (DEM). In: Proceedings of *6th National Conference on Agricultural Machinary Engineering and Mechanization*, University of Tehran, Karaj, Iran (In Farsi).

Spoor, G. & Godwin, R. J. (1978). An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(3), 243-259.

www.SID.ir