

مقاله علمی-پژوهشی

اثر ارتعاش دورانی بر نیروی کششی، عملکرد و کارایی انرژی زیرشکن

بهرز گودرزی^۱، نواب کاظمی^{۲*}، محمدامین آسودار^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ استادیار و استاد گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶

چکیده

فشردگی خاک موجب عدم نفوذ آب و هوا در خاک و توسعه نامناسب ریشه می‌گردد. سریع‌ترین روش مقابله با آن زیرشکنی است. ارتعاش به کار گرفته شده در زیرشکن‌های موجود به دلیل استفاده از محور تواندهی به عنوان منبع توان ایجاد ارتعاش، از نوع رفت و برگشتی است. این روش هم توان بالایی نیاز دارد و هم موجب استهلاک در زیرشکن و تراکتور می‌گردد. در این پژوهش به منظور دستیابی به اهدافی مانند کاهش توان کل (کششی+ ارتعاشی) و افزایش کارایی انرژی، یک زیرشکن مجهز به سامانه ارتعاش دورانی ساخته شد و برای تأمین توان ارتعاش دورانی، کنترل بسامد ارتعاش و جهت دوران، از توان الکتریکی استفاده شده است. طرح آماری فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی با سرعت پیشروی و بسامد، به عنوان متغیرهای مستقل و عمق خاک‌ورزی، سطح مقطع خاک‌ورزی، میانگین وزنی قطر کلوخه، نیروی کششی و انرژی کل متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. اثر ارتعاش دورانی با اطمینان ۹۵٪ بر عمق خاک‌ورزی و با اطمینان ۹۹٪ بر سطح خاک‌ورزی و میانگین وزنی قطر کلوخه معنی‌دار شد. بسامد (۳۶-) هرتز بهترین خردکنندگی کلوخه را داشت. تأثیر ارتعاش دورانی بر نیروی کششی، با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شد و بسامد (۳۶+) هرتز کمترین نیروی کششی را داشت. همچنین انرژی مصرف شده برای خاک‌ورزی با اطمینان ۹۹ درصد کاهش یافت و بسامد (۳۶+) هرتز دارای کمترین انرژی مصرفی شد. با در نظر گرفتن میزان خردکنندگی در ازای مصرف انرژی، نشانگری به عنوان کارایی زیرشکنی تعریف شد و نتیجه نشانگر کارایی انرژی، به ترتیب اولویت کارایی زیرشکنی عبارت از تیمارهای با بسامد (۳۶+)، (۳۶-)، (۱۸-) و (۱۸+) و (۰) هرتز است.

واژه‌های کلیدی

توان الکتریکی، خاک‌ورزی، زیرشکن ارتعاشی، فشردگی خاک

مقدمه

فشردگی خاک ممکن است به دلایل متفاوت، مانند رسوبات خاک‌های آبرفتی و فشردگی طبیعی، خاک‌های دارای ساختمان ضعیف با توده‌های منفرد و متراکم، تردد ماشین‌های سنگین در رطوبت نامناسب و شخم پی در پی و عمق یکسان، به وجود آید. این عامل موجب عدم نفوذ آب و هوا در خاک و توسعه نامناسب ریشه می‌گردد. یکی از روش‌های مقابله با فشردگی خاک، استفاده از انواع زیرشکن است. زیرشکنی دارای بیشترین مقاومت کششی در خاک‌ورزی است و جدای از صرف انرژی بالا به علت عمق زیاد کار، مشکلات دیگری مانند مقاومت خاک فشرده شده، لغزش زیاد چرخ‌های محرک تراکتور و

در ارتباط هستند، حرکت ارتعاشی یا رفت و برگشتی ایجاد می‌شود.

مقاومت کششی خاک‌ورزها در اثر ارتعاش به سه طریق کاهش می‌یابد، الف- کاهش نیروی شکست خاک (Szabo *et al.*, 1998) ب- کاهش اصطکاک تیغه و خاک (Boyd & Nalezny, 1967; Xin *et al.*, 2013) پ- کاهش و اصطکاک ذرات خاک با خاک در اثر کاهش جابه‌جایی و زیر و رو شدن خاک (Goudarzi *et al.*, 2015). بسته به نوع خاک در حدود ۳۰ تا ۶۰٪ مقاومت کششی به هنگام خاک‌ورزی، در اثر اصطکاک تیغه و خاک و ذرات خاک با یکدیگر به وجود می‌آید (Ahmadi, 2017; Soehne, 1963). در طی یک تحقیق شبیه‌سازی شده دریافتند که امکان بیش‌ترین کاهش در نیروی مقاوم کششی (۵۵ درصد) به هنگام ارتعاش تیغه با بسامد نزدیک به ارتعاش طبیعی توده خاک است. ارتعاش در تیغه‌های خاک‌ورز می‌تواند در جهت طولی، عرضی و ارتفاع باشد (Soeharsono & Setiawan, 2010). علیرغم تفاوت‌های موجود، کلیه جهات ارتعاش موجب کاهش نیروی مقاومت کششی است (Kofoed, 1969) و از مهم‌ترین عواملی که بر عملکرد خاک‌ورزی ارتعاشی تأثیرگذار است، می‌توان به بسامد، دامنه و زاویه ارتعاش اشاره نمود (Beiranvand & Shahgoli, 2010). آزمایش‌های انجام شده روی مدل‌های آزمایشگاهی تیغه بولدوزر، گاوآهن‌های برگردان‌دار و قلمی نشان داد که اگر ارتعاش در جهت حرکت تراکتور (جهت طولی) اعمال شود، موجب کاهش مقاومت کششی در حدود ۷۱ تا ۹۳ درصد نسبت به حالت بدون ارتعاش می‌گردد (Szabo *et al.*, 1998). به دلیل افزایش بازده انتقال توان از محور توان‌دهی به خاک‌ورز با

کاهش در بازده کشش نیز چشم‌گیر هستند. لذا زیرشکن‌های ارتعاشی هم به لحاظ بهتر شکافته شدن خاک و هم به لحاظ انتقال بهتر توان تراکتور به خاک، پیشنهاد می‌شود (Hemmat *et al.*, 2000). مقاومت کششی زیرشکن به شرایط خاک، عمق کار، هندسه ساقه‌ها و تیغه‌ها و سرعت پیشروی زیرشکن بستگی دارد. مقاومت کششی در خاک‌های رسی، نسبت به خاک‌های شنی، بیش از ۲ برابر است (Frisby & Summers, 1979; Ahmadi, 2017). به عنوان نمونه با سرعت یکسان و به ازای هر شاخه زیرشکن، مقاومت کششی از ۸/۷ کیلونیوتن در خاک شنی به ۱۵/۲ کیلونیوتن در خاک رسی رسید و با عمق کار در تمامی خاک‌ها متناسب بود (Wolf *et al.*, 1981; Moeenifar *et al.*, 2014). به طوری که با افزایش عمق از ۴۴ به ۸۲ سانتی‌متر، مقاومت کششی هر شاخه زیرشکن از ۲/۵ به ۶/۲ کیلونیوتن افزایش یافت. همچنین مقاومت کشش متناسب با مجذور سرعت پیشروی است (Kepner *et al.*, 1978; Upadhyaya *et al.*, 1984; Moeenifar *et al.*, 2014)

در خاک‌ورزی ارتعاشات به دو صورت خودالقایی (غیرفعال) و القایی (فعال) ایجاد می‌شود (Kofoed, 1969). در ادوات خاک‌ورز غیرفعال تیغه خاک‌ورز به علت خاصیت انعطافی در منضعات، تحت اثر برخورد با توده خاک مرتعش شده و از خود رفتار دینامیک ارتعاشی خاص را به جا می‌گذارد که البته نمی‌توان از نظر عددی بسامد خاصی را برای این حرکت در نظر گرفت، زیرا بسامد ایجاد شده تحت تأثیر بافت خاک، رطوبت خاک و سرعت متفاوت است. در خاک‌ورزهای ارتعاشی فعال، با استفاده از درصدی از توان تراکتور در بخش‌هایی از خاک‌ورز که با خاک

در نیروی مقاومت کششی گردد. کارون بنیانان و همکاران (Karoonyboonyanan *et al.*, 2007) پس از بررسی سطح به هم خورده خاک در دو حالت خاکورزی ارتعاشی و بدون ارتعاش بیان کردند علی‌رغم کاهش ۲۹ تا ۳۴ درصدی نیروی مقاومت کششی تفاوت معنی‌داری در سطح به هم خورده وجود ندارد، اما توان کل مورد نیاز (توان کششی + توان ارتعاشی) تا ۱۲۷ و ۱۱۲ درصد به ترتیب برای سرعت‌های ۲/۵ و ۳ کیلومتر بر ساعت افزایش یافت. زین و همکاران (Xin *et al.*, 2013) دریافتند که با افزایش سرعت پیشروی برای جبران افزایش نیروی مقاومت کششی باید از طول دامنه ارتعاش کاسته شود. شاهقلی و همکاران (Shahgoli *et al.*, 2010) بسامد ۳/۳ هرتز و سرعت نسبی ۱/۵ را بهترین حالت و در نتیجه کاهش ۲۷ درصدی توان کل را در خاکورزی ارتعاشی نسبت به خاکورزی بدون ارتعاش اعلام نمودند.

ارتعاش بر شاخص‌های خاکورزی (به ویژه پرکاربردترین این شاخص‌ها، میانگین وزنی قطر کلوخه) نیز مؤثر است و آنچه باعث تولید کلوخه و خاک‌دانه در خاکورزی است، سرعت و شکل برخورد تیغه با خاک است (Reshad Sedghi & Loghavi, 2009). اگرچه ارتعاش بر اندازه کلوخه‌ها مؤثر است، اما سرعت پیشروی و شرایط خاک نیز اثر معنی‌داری بر اندازه کلوخه‌ها دارند و اندازه کلوخه‌ها با انرژی مصرفی ویژه در خاکورزی رابطه عکس دارد (Khaffaf & Khadr, 2008). در تحقیقات اخیر کوشش می‌شود از اثرات ارتعاش بر زیرشکن‌هایی با هندسه مؤثر و کاربردی‌تر استفاده شود و به زیرشکن‌هایی که از نظر ژئومتری کارایی خوبی ندارند اکتفا نمی‌شود. رادایت و همکاران (Radite *et al.*, 2010) با تحقیق جامعی در انتخاب اجزای

کارایی ۹۵ درصد نسبت به انتقال توان مالبندی به خاکورز با کارایی ۵۰ تا ۶۰ درصد، در روش خاکورزی ارتعاشی، بخشی از توان موتور از طریق محور توان‌دهی در ابزار خاکورز (و نه از طریق مالبند) به کار گرفته می‌شود (Hendrick & Buchele, 1963; Radite *et al.*, 2010).

در تحقیقی که با عمق مختلف خاکورزی از ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر انجام شد، عواداله و همکاران (Awad-Allah *et al.*, 2009) بیان نمودند برای استفاده از مزیت خاکورزی ارتعاشی باید از عمق خاکورزی ۲۰ سانتی‌متر و بیشتر استفاده شود. زیرا در عمق کمتر از ۲۰ سانتی‌متر با وجود اعمال توان ارتعاشی، افت نسبی معنی‌داری در نیروی مقاوم کششی مشاهده نشد. ساهایا و همکاران (Sahaya *et al.*, 2009) پس از ساخت یک خاکورز ارتعاشی که توان کششی بالایی نیاز نداشت و با تیلر کشیده می‌شد، اظهار کردند که این خاکورز در حالت بدون ارتعاش تنها قادر به خاکورزی در عمق ۶ سانتی‌متر بود، اما پس از ارتعاش عمق خاکورزی به ۱۰ تا ۱۴ سانتی‌متر رسید.

باندالان و همکاران (Bandalan *et al.*, 1999) دریافتند که زیرشکن ارتعاشی در سرعت‌های پیشروی از ۱/۸ تا ۳/۴ کیلومتر بر ساعت بسته به بسامد ارتعاش (از ۳ تا ۱۲ هرتز) دارای مقاومت کششی میانگین ۶۰ درصد نسبت به شاهد بود اما توان کل مورد نیاز به ۱۲۰ درصدی رسید. نیاپاما و سالوخه (Niapama & Salokhe, 1993) در یک تحقیق آزمایشگاهی با استفاده از بسامدهای ۴/۵ تا ۱۵/۶ هرتز، اظهار داشتند، با افزایش بسامد، مؤلفه نیروهای مقاوم عمودی و افقی کاهش می‌یابند. افزایش بسامد از ۲/۵ به ۵ و ۷/۵ در دامنه ثابت به ترتیب توانست موجب کاهش ۱۳، ۱۸ و ۲۸ درصدی

۳۶۰ درجه) با بسامد بالاتر و دامنه متغیر انجام می‌گیرد. پس از عملیات نخست، اثرات این نوع از زیرشکن ارتعاشی بر نیروی کششی، عملکرد خاک‌ورزی و کارآیی انرژی، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش عملکرد یک زیرشکن ارتعاش دورانی که توان ارتعاشی آن از توان الکتریکی تأمین می‌شود مطالعه شد. اندازه‌گیری بافت خاک مزرعه تا عمق یک متر برای میزان رطوبت و بافت خاک انجام شد. رطوبت خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر: ۸ درصد، در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر: ۱۱ درصد و در عمق ۶۰-۱۰۰ سانتی‌متر: ۲۳ درصد بود. بافت خاک با تغییرات جزئی در درصد ذرات، لوم رسی سیلتی بود. پوشش گیاهی مزرعه بایر به روش برش عرضی خطی ۱۸ درصد اندازه‌گیری شد (Buckingham & Pauli, 2008).

طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی با سه سطح سرعت پیش‌روی، پنج سطح ارتعاش و سه تکرار انجام شد. تیمارهای طرح عبارت بودند از زیرشکنی بی‌ارتعاش (بسامد صفر هرتز: F1) و زیرشکنی ارتعاشی (بسامد ۱۸: F2، ۱۸: F3، ۳۶: F4 و هرتز ۳۶: F5) در سه سطح سرعت پیش‌روی (V1، V2 و V3) از محدوده ۱/۵ تا ۲/۵ کیلومتر بر ساعت، که در سه تکرار با کرتهای آزمایشی به عرض ۴ و طول ۳۰ متر انجام شدند. منظور از علامت مثبت، جهت چرخش موافق و علامت منفی جهت چرخش مخالف سامانه جرم نابرابر، نسبت به جهت چرخش رو به جلوی چرخ تراکتور می‌باشد. برای بسامد ۱۸ از پولی محرک با قطر ۸ سانتی‌متر و برای بسامد ۳۶ از پولی با قطر

مرتزش زیرشکن پارابولیک (ساقه منحنی) دریافتند ارتعاش کل ساق در مقایسه با ارتعاش باله تیغه، به ترتیب موجب کاهش ۶۰ و ۴۰ درصد مقاومت کشش می‌شود. شایان ذکر است که امواج ارتعاش مزاحم انتقالی به تراکتور از ارتعاش کل ساقه بیشتر از حالت ارتعاش باله تیغه است. در ضمن کاهش مقاومت کشش در اثر ارتعاش باله تیغه‌ای که در عقب ساقه است نسبت به باله تیغه جلوی ساقه بیشتر است اما طراحی و ساخت پیچیده‌تری دارد. خیری و زینگ (Kheiry & Xing, 2016) با یک زیرشکن چهار شاخه استاگر (دو ردیفه) که با سه سطح سرعت پیش‌روی و سطح بسامد خاک‌ورزی می‌کرد، با وجود افزایش در توان کل مورد نیاز، افزایش سطح خاک‌ورزی شده و کاهش مقاومت کشش را گزارش دادند.

با وجود سابقه طولانی از تأثیر ارتعاش و حتی کاربرد امواج فراصوت و با بسامدهای بسیار بالا (۲۰ کیلوهرتز به بالا) بر کاهش مقاومت کششی (Kattenstorth & Hans, 2011)، اما روی هم رفته زیرشکن‌های ارتعاشی، فراگیری لازم را ندارند و از عمده دلایل این عدم فراگیری می‌توان به: عدم کاهش توان کل (توان کشش + توان ارتعاش) مورد نیاز، انتقال امواج ارتعاش به تراکتور و بروز استهلاک تراکتور و تهدید سلامت راننده (Teschke et al., 1999) و افت کمیّت و کیفیت ارگونومیکی در بازده راننده (Hansoon, 2002)، استهلاک بالای زیرشکن ارتعاشی رفت و برگشتی و پیچیدگی طراحی، اشاره نمود.

هدف از این آزمایش نخست به کارگیری ارتعاش دورانی در زیرشکنی است که متفاوت از ارتعاش رفت و برگشتی بوده و چرخه ارتعاش به جای خط (یا کمان) و دامنه ثابت، در یک صفحه (کمان کامل

۱۶ سانتی‌متر روی الکتروموتور استفاده شد. در هر دو بسامد ۱۸ و ۳۶ از پولی متحرک با قطر ۹ سانتی‌متر و دو وزنه ۲/۷ کیلوگرمی خارج از مرکز به شعاع میانگین ۳ سانتی‌متر بر روی سامانه جرم نابرابر استفاده شد، که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- سامانه جرم نابرابر و الکتروموتور

Fig. 1- Unequal mass system and electromotor

زیرشکنی، عمق، سطح خاک‌ورزی، میانگین وزنی قطر کلوخه اندازه‌گیری شدند. نیروی ویژه کششی (انرژی ویژه خاک‌ورزی)، انرژی کل (انرژی خاک‌ورزی + انرژی ارتعاشی) و نشانگر کارایی زیرشکنی به واسطه یافته‌های اولیه محاسبه شدند.

مشخصات زیرشکن

بر اساس مقالات پژوهشی و دستاوردهای علمی در زمینه طراحی و ساخت در ژئومتری زیرشکن‌ها در خاک‌های سنگین و امکانات موجود، یک زیرشکن با قابلیت به کارگیری ارتعاش دورانی مونتاژ شد (Ogbeche & Idowu, 2016). این زیرشکن توسط اتصال سه نقطه تراکتور حمل شده و مجهز به دو ساق پیش‌بر و دنباله‌رو است (تصاویر ۲ و ۳).

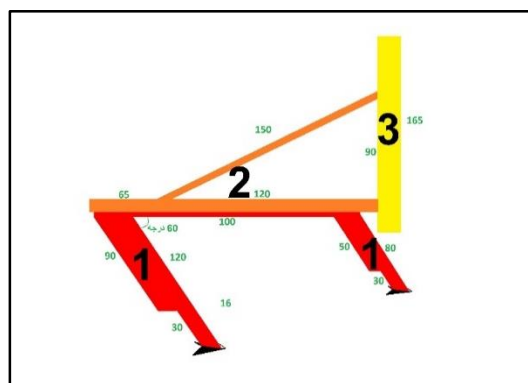
سه سطح سرعت پیش‌روی عبارت بودند از سرعت حاصل از حرکت تراکتور نیوهلند (TM155) مدل ۲۰۰۷ با توان ۱۵۵ اسب بخار، در حالت چهار چرخ محرک در شرایط خاک لوم رسی سیلتی با رطوبت سطحی ۸ درصد و پوشش ۱۸ درصدی پبقایای گیاهی، که در ترکیب ضریب‌های دنده تراکتور مذکور، اصطلاحاً ضرایب جعبه دنده A2، A1، و A3 می‌باشند. دور موتور تراکتور برای تیمارها به طور ثابت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه و کشش مالبنندی در حالت حداکثر عمق و کنترل بار در نظر گرفته شد. در حین زیرشکنی، نیروی کششی به وسیله بارسنج (S) شکل با نام تجاری CAS، مدل SBA، ظرفیت ۵۰۰۰ کیلوگرم، ساخت کره جنوبی) و سرعت پیش‌روی توسط گیرنده جی‌پی‌اس و نرم‌افزار (Speedometer) اندازه‌گیری شدند. پس از



شکل ۲- نمای کلی از زیرشکن ارتعاش دورانی در حالت اتصال سه نقطه به تراکتور
Fig. 2- Rotational vibration subsoiler in three-point coupling on tractor

توان الکتریکی نیز توسط یک موتور- ژنراتور جداگانه تأمین شد و توسط یک رشته کابل ۳ فاز $1/5 \times 3$ به الکتروموتور انتقال یافت. برای تولید جریان الکتریسیته از یک ژنراتور سه فاز با توان ۵ کیلووات، بیشینه جریان ۱۰ آمپر، در بسامد ۵۰ هرتز و قطر پولی تسمه محور توان‌دهی ۲۵ سانتی‌متر و پولی ژنراتور ۹ سانتی‌متر، برای تأمین دور گردشی ژنراتور به میزان ۱۵۰۰ دور در دقیقه (داشتن تناسب با دور مشخصه تراکتور دوم برای تأمین توان دورانی که در طی انجام آزمایش پهلو به پهلو تراکتور اصلی حرکت نمود) استفاده شد.

ساق اصلی یا دنباله‌رو ۳۰ سانتی‌متر پایین‌تر از ساق پیش‌بر زیرشکنی می‌کند. ساق‌ها توسط یک میل‌افزار مشترک به هم متصل شده و در راستای حرکت قرار دارند. ارتعاش دورانی توسط سامانه جرم نابرابر با ۲ وزنه $2/7$ کیلوگرمی، در ساق‌ها و میل‌افزار مشترکشان القا می‌شود. دوران جرم نابرابر توسط یک الکتروموتور $1/1$ کیلوواتی ۱۴۰۰ دور بر دقیقه، ac، ۳ فاز و به واسطه دو تسمه A25 تأمین می‌شود. برای تغییر جهت دوران و ارتعاش از یک کلید دوطرفه ۳ فاز و برای تغییر بسامد از دو پولی تسمه محرک (به قطرهای ۸ و ۱۶ سانتی‌متر) روی الکتروموتور استفاده شد.



شکل ۳- شماتیک زیرشکن ارتعاش دورانی از پهلو
Fig. 3- Schematic rotational vibration subsoiler from sideview

جاسازی شده و توسط زنجیری به شاسی متحرک (بخش شماره ۲ نارنجی رنگ شکل ۳) زیرشکن

میل‌افزار ساق‌ها (بخش شماره ۱ سرخ‌رنگ شکل ۳) به طور شناور در لایه‌های لاستیکی فشرده،

افزایش سطح درگیر مستقیم زیرشکن و خاک، افزایش یابد (Godwin & Spoor, 1977). بیشینه عمق کار زیرشکن در حدود ۸۰ سانتی‌متر و مطابق با بیشینه عمق معمول در زراعت کشت و زرع نیشکر ایران است و البته با توان تراکتور و شرایط خاک محدود می‌شود. تیغه‌ها دارای باله هستند و عرض باله‌ها بر اساس رعایت عمق بحرانی و نهایت عمق کاری (۸۰ سانتی‌متر) زیرشکن، ۳۰ سانتی‌متر و برای تیغه کوچک (با عمق کاری حداکثر ۵۰ سانتی‌متر) ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است (Shahidy & Ahmadi Moghaddam, 2006; Reynolds et al., 2015).

همچنین از تیغه‌ای با عمق کمتر به منظور کاهش مقاومت کشش پیش از تیغه اصلی استفاده خواهد شد. مشخصات این دو تیغه پنجه‌غازی در جدول ۱ آمده است (Ghanbarian & Shahmirzaei, 2010).

متصل است و بارسنج نیز در میانه این زنجیر به طور کاملاً افقی حد واسط میل‌افزار و شاسی متحرک است. شاسی متحرک نیز به منظور تنظیم اولیه عمق زیرشکنی و زاویه زیرشکن نسبت به سطح افق، توسط جکی درون ریل شاسی ثابت (بخش شماره ۳ زرد رنگ شکل ۳)، حرکت دارد. شاسی ثابت دارای پین و سوراخ اتصال سه نقطه برای اتصال به بازوهای کششی و بازوی وسط تراکتور است. بارسنج نیروی کششی را اندازه‌گیری نموده و دستگاه ثبت داده (۱۲ ولتی، مدل ARM، ۹ کانال ورودی، ساخت ایران، شرکت دانش‌بنیان ایستا) در هر ثانیه دو بار داده‌های نیروی کششی را بر حسب کیلونیوتن ثبت و به رایانه‌ای که در داخل کابین تراکتور، توسط کاربر کمکی کنترل می‌شد ارسال می‌نمود.

دو تیغه پنجه‌غازی برای هر کدام از ساق‌ها در نظر گرفته شد تا از ورود به عمق بحرانی توسط زیرشکن جلوگیری شده و اثر ارتعاش به دلیل

جدول ۱- مشخصات تیغه‌های کوچک (پیش‌بر) و بزرگ (اصلی)

Table 1- Features of small and large blades

زاویه مکش (درجه) Suction angle	زاویه تیزی (درجه) Sharp angle	زاویه خردکنندگی (درجه) Crumble angle	زاویه نوک (درجه) Top angle	زاویه حمله (درجه) Rake angl	عرض بال (cm) Width of wing	عرض تیغه (cm) Width of blade	
3	25	28	60	15	10	20	تیغه کوچک Small blad
3	25	28	60	15	15	30	تیغه بزرگ Large blad

نشان‌گر کارآیی به کار گرفته شدند. نشان‌گر کارآیی بیان‌کننده مقدار سطح جدید ایجاد شده روی کلوخه در ازای مقدار انرژی کل صرف شده در واحد حجمی خاک می‌باشد.

سطح مقطع خاک‌ورزی

Agricultural Mechanization & Systems Research
22(78), 2021

برای کمیّت خاک‌ورزی از سطح مقطع خاک سست شده (منتج از عرض و عمق خاک‌ورزی) و برای کیفیت خاک‌ورزی از میانگین وزنی قطر کلوخه استفاده شد. در مبحث انرژی مصرفی نیز عامل‌های نیروی کششی، انرژی مصرفی خاک‌ورزی در واحد حجم خاک، انرژی کل (خاک‌ورزی + ارتعاشی) و

که در آن،
 Pd = توان کششی بر حسب کیلووات: F = نیروی
 مقاوم کششی بر حسب کیلونیوتون: و V = سرعت
 پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت.
 پس از اندازه‌گیری نیروی مال‌بندی در شرایط
 تغییر عمق و سرعت پیشروی مقدار نیروی کشش بر
 واحد سطح (D_s)^۲ از رابطه ۳ کشش به دست آمد
 (Modaress Razavi, 2010).

$$D_s = \frac{F_{db}}{A} \quad (۳)$$

D_s = نیروی کشش ویژه؛ F_{db} = نیروی کشش بر
 حسب کیلونیوتن (kN)؛ A = سطح کار بر حسب
 مترمربع (m^2)

برای محاسبه انرژی ویژه خاک‌ورزی یعنی آن
 انرژی که فقط و فقط صرف شکافت، نرم کردن و
 جابه‌جایی توده خاک می‌گردد می‌توان از روابط ۴ و
 ۵ استفاده نمود (Klenin et al., 1986).

$$Es = Ps * t \quad (۴)$$

$$Es = SF * m, m = 1 \quad (۵)$$

$$Es = Ds$$

که در آنها،
 Es = انرژی ویژه خاک‌ورزی در مترمکعب خاک؛
 Ps = توان ویژه مورد نیاز در مترمربع خاک؛ SF =
 نیروی ویژه کششی بر مترمربع خاک؛ و t : زمان مورد
 نیاز برای طی مسافتی که یک مترمکعب خاک‌ورزی
 انجام شود.

ملاحظه می‌شود که مقدار عددی کیلونیوتن بر
 مترمربع (D_s) برابر با کیلوژول در مترمکعب (Es)
 است و از این به بعد هر جا سخن از نیروی ویژه

محاسبه سطح به هم خورده خاک از روش برش
 عرضی و عمودی توسط بیل مکانیکی بر خط
 زیرشکن خورده استفاده شد. در این روش پس از
 برش، توده خاک خاک‌ورزی شده به آرامی در عمق
 برش ریخته شده و سپس با یک پروفیل‌متر سطح به
 هم خورده خاک که شبیه مثلث است، اندازه‌گیری
 شد. با استفاده از پین‌متر در هر ۲ سانتی‌متر از
 عرض کار، عمق پروفیل اندازه‌گیری شد. از حاصل
 ضرب عرض و عمق مساحت هر مستطیل به دست
 آمد و در انتها از مجموع مساحت همه مستطیل‌ها
 سطح خاک سست شده (خاک‌ورزی شده) محاسبه
 شد (Hemmat et al, 2000).

میانگین وزنی قطر کلوخه

برای به دست آوردن میانگین وزنی قطر کلوخه،
 ابتدا خاک‌برداری از عرض و عمق کار زیرشکن با سه
 تکرار در هر کرت انجام شد و با استفاده از رابطه ۱
 محاسبات لازم انجام شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (۱)$$

که در آن،
 MWD = میانگین وزنی قطر کلوخه (سانتی‌متر): x_i =
 قطر متوسط دو الک متوالی (سانتی‌متر): w_i = نسبت
 وزن باقی‌مانده نمونه خاک روی الک به وزن کل
 نمونه‌ها (Martinez et al., 2008).

توان، نیرو و انرژی کششی

برای محاسبه توان کششی (Pd)^۱ از رابطه ۲ استفاده
 شد (Modaress Razavi, 2010).

$$Pd = \frac{F \times V}{3.6} \quad (۲)$$

۱- Drowbar Power
 3- Specific Energy

2- Specific Draft

4- Specific Power

برای محاسبه نشانگر کارآیی زیرشکن (سطح کلوخه ایجاد شده به ازای انرژی مصرفی) از رابطه ۸ استفاده شد:

$$E_{marker} = \frac{Sc}{Et} \quad (۸)$$

که در آن،

Sc = سطح کلوخه‌های ایجاد شده؛ و E_{marker} = سطح کلوخه ایجاد شده به ازای انرژی مصرفی. یافته‌های آزمایش با نرم‌افزار sas تجزیه شد و میانگین‌های تیماری با روش آزمون مقایسات دانکن، مقایسه شدند.

نتایج و بحث

بخشی از نتایج تجزیه واریانس عوامل وابسته این آزمایش در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر ارتعاش دورانی بر زیرشکنی

Table 2- ANOVA effect of rotational vibration on subsoiling

مقادیر آزمون F							
عمق (cm) Depth	نشانگر کارآیی (kJ/m ²) Efficiency Index	انرژی کل (kJ) Total energy	نیروی ویژه کششی (kN/m ²) یا انرژی خاک‌ورزی (kJ) Tillage energy	میانگین وزنی قطر کلوخه (cm)	سطح خاک‌ورزی (m ²) Tillage surface	درجه آزادی df	منابع تغییر Source
2.31 ^{ns}	۱.63 ^{ns}	0.875 ^{ns}	0.066 ^{ns}	1.226 ^{ns}	0.122 ^{ns}	2	سرعت speed
8.31 ^{**}	10.261 ^{**}	4.389 ^{**}	13.23 ^{**}	4.034 ^{**}	4.051 ^{**}	4	ارتعاش vibration
2.28 [*]	1.775 ^{ns}	2.542 [*]	2.159 ^{ns}	0.67 ^{ns}	2.117 ^{ns}	8	سرعت* ارتعاش

چگونگی تأثیر ارتعاش بر عمق خاک‌ورزی در شکل ۴ مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد در اثر ارتعاش به دو دلیل افزایش عمق صورت گرفته باشد. اول اینکه به دلیل کاهش نیروی کششی، بازوهای تراکتور به حالت خودکار پایین‌تر رفته باشند و دلیل دوم اینکه در اثر ارتعاش، رفتار متفاوت دینامیکی متقابل تیغه

کششی آمد شامل انرژی ویژه خاک‌ورزی نیز می‌شود (Shahidy & Ahmadi Moghaddam, 2006).

برای محاسبه انرژی ارتعاش (Ev) از رابطه ۶ استفاده شد:

$$Pv = \sqrt{3} VI \cos \theta Ev = Pv * t \quad (۶)$$

که در آن،

Ev = انرژی مصرفی ارتعاش؛ Pv = توان مورد نیاز ارتعاش؛ V = اختلاف پتانسیل الکتریکی؛ I = شدت جریان؛ و θ = زاویه فازی بین ولتاژ و جریان (درجه). برای محاسبه انرژی کل (خاک‌ورزی + ارتعاشی)، (Et) از رابطه ۷ به دست آمد:

$$Et = Es + Ev \quad (۷)$$

نشانگر کارآیی

مطابق با تجزیه واریانس اثر زیرشکنی با تیمارهای این آزمایش نسبت به عرض کار معنی‌دار نشد اما در عمق کار در سطح خطای ۱ درصد معنی‌داری مشاهده شد و ارتعاش به طور کامل اثر خود در افزایش عمق را نشان داد که با نتایج ساهایا و همکاران (Sahaya et al., 2009) مطابقت دارد.

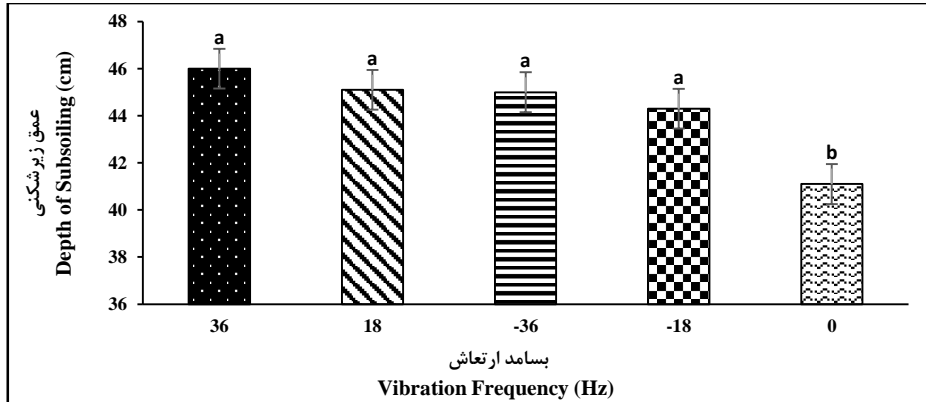
۱- Vibration Energy

2- Vibration Power

3- Total Energy

و خاک موجب افزایش عمق شده باشد. به طور خلاصه می‌توان گفت که در اثر ضربات ممتد ناشی از ارتعاش تیغه به خاک و واکنش برگشتی از خاک به تیغه، نیروی وزن خاک‌ورز نسبت به تحمل خاک

افزایش یافته و خاک‌ورز در سطح پایین‌تری از عمق خاک به تعادل می‌رسد. به عبارت دیگر نیروی نفوذی عمودی در شرایط ارتعاشی با مقاومت کمتری از سوی خاک (و به سمت بالا) روبرو شده است.

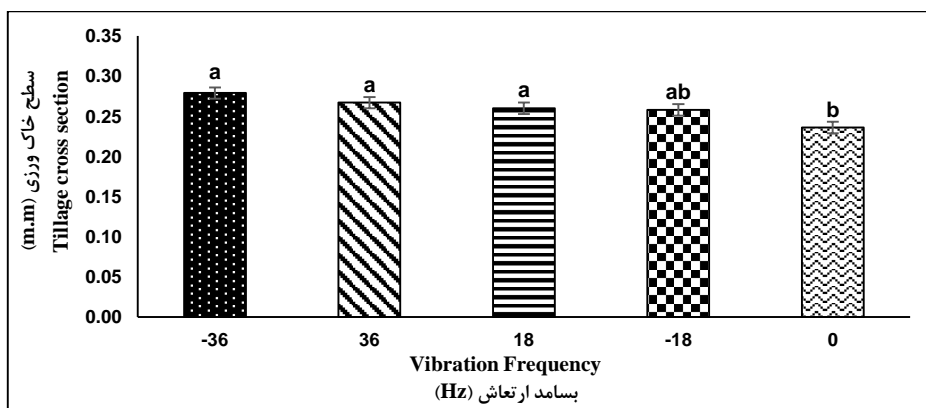


شکل ۴- تأثیر ارتعاش دورانی بر عمق زیرشکنی

Fig. 4- The effect of rotational vibration on the depth of tillage

عرض خاک‌ورزی در این آزمایش معنی‌دار نشده است، بنابراین معنی‌داری در افزایش سطح مقطع زیرشکنی ارتباط مستقیم با افزایش عمق دارد. روشن است که می‌توان با به کار گرفتن این تکنیک عملکرد کمی زیرشکنی را افزایش داد. این نتیجه با نتایج پیشین که عموماً با ارتعاش رفت و برگشتی کار نموده‌اند، مطابقت ندارد (Hemmat *et al.*, 2000).

در شکل ۵ تأثیر معنی‌دار و ملموس ارتعاش در عملکرد کمی زیرشکنی ارتعاشی با اطمینان ۹۹ درصد، در سطح سست شده خاک مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه محاسبه سطح خاک‌ورزی در نتیجه تعامل دو عامل عرض و عمق خاک‌ورزی است، می‌توان دلیل اصلی افزایش سطح مقطع خاک‌ورزی در این عملیات زیرشکنی ارتعاشی را ناشی از افزایش عمق زیرشکنی دانست. به عبارت دیگر چون

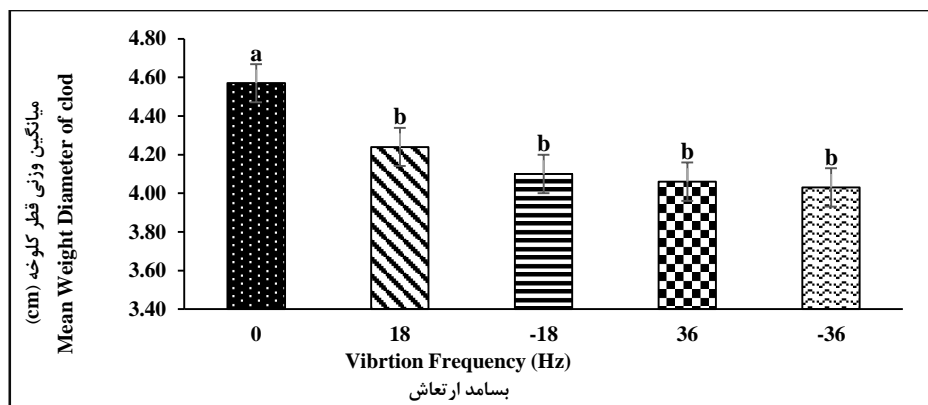


شکل ۵- تأثیر ارتعاش دورانی بر سطح مقطع خاک

Fig. 5- The effect of rotational vibration on tillage cross section

کلوخه‌ها در اثر ارتعاش را می‌توان به ضربات ممتد و متناوب تیغه و ساق مرتعش با اجزای خاک مربوط دانست. با افزایش بسامد شدت خردکنندگی بیشتر شده است. نکته دیگر اینکه اگرچه جهت دوران معنی‌دار نشده اما جهت منفی دوران موجب خردکنندگی بیشتر در بسامد یکسان شده است. دلیل تأثیر جهت بر خردکنندگی را می‌توان به سمت ضربات ریز و دورانی از سوی تیغه به کلوخه نسبت داد که از پایین به بالا صورت می‌گیرد. چون سطح بالای خاک تهی است ضربات از پایین به بالا نسبت به ضربات بالا به پایین، بهتر اجزای خاک را خرد می‌کنند.

عموماً یکی از مزایای اصلی ارتعاش تشدید خرد شدن اجزای خاک است که به نوعی می‌توان از آن به عنوان شاخصی فراگیر، مبتنی بر کیفیت در عملکرد خاک‌ورز در برابر عواملی مانند عرض، عمق و سطح خاک‌ورزی که جنبه حجمی دارند، نام برد (Sadaghi & Abbaspour, 2014). ارتعاش دورانی در این آزمایش موجب تشدید خرد شدن کلوخه و کاهش ۱۰ تا ۱۲ درصدی در میانگین وزنی قطر کلوخه‌ها شده است و در شکل ۶ قابل مشاهده است. این نتیجه با نتایج همت و همکاران (Hemmat *et al.*, 2000) و نیامپا و سالوخه (Niapama & Salokhe, 2000b) مطابقت دارد. دلیل خرد شدن بیشتر



شکل ۶- اثر ارتعاش دورانی بر میانگین وزنی قطر کلوخه

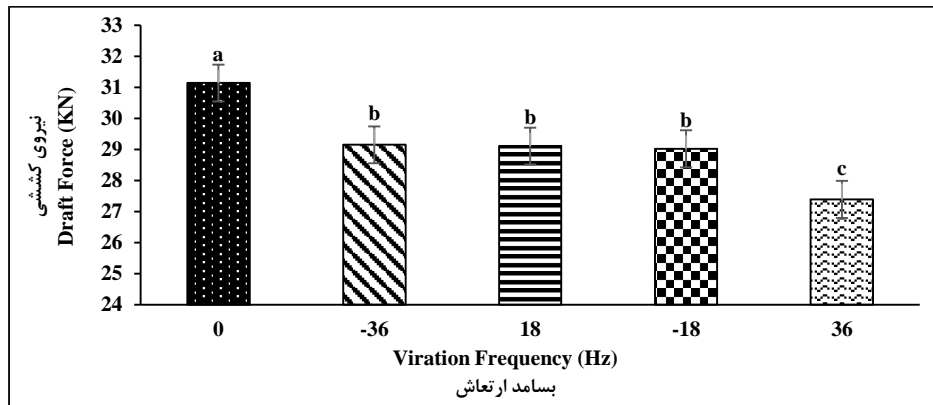
Fig. 6- The effect of rotational vibration on average weight of hunk diameter

موجب می‌شود که کاهش معنی‌داری در نیروی کششی به دلیل واکنش نیروی موافق پیشروی، از سمت خاک به خاک‌ورز و تراکتور، ایجاد شود. تأثیر ارتعاش دورانی بر کاهش نیروی کششی حدود ۸ تا ۱۲ درصد می‌باشد اما به طور کلی در تحقیقات بر ارتعاش رفت و برگشتی به توان مورد نیاز کل (کششی + ارتعاشی) بیشتری نسبت به حالت بدون ارتعاش، اشاره شده است (Karooonboonyanan *et al.*, 2007) در حالی که در این پژوهش و زیرشکنی

تأثیر کاهشنده ارتعاش دورانی بر نیروی کششی خاک‌ورزی مانند دیگر انواع ارتعاش قابل ملاحظه و معنی‌دار شده و در شکل ۷ آمده است. اثر بسامد (+۳۶) هرتز در کاهش نیروی کششی به دو دلیل پررنگ‌تر است. اول اینکه بسامد بیشتر دارد و دوم اینکه نسبت به تیمار (-۳۶) هرتز در هنگام چرخش ریز دورانی به سمت جهت حرکت تراکتور، نوک تیغه در بالای خاک سفت بستر قرار دارد. این بالا بودن نوک تیغه در خاک بستر نسبت به جهت مخالف

کششی نادرست است. زیرا از یک سو ارتعاش موجب کاهش اصطکاک و بهتر شکافته شدن خاک است که هر دو موجب کاهش نیروی کششی هستند و از سوی دیگر موجب افزایش عمق خاک‌ورزی و سرعت پیش‌روی است که هر دو موجب افزایش نیروی کششی هستند. بنابر این بهتر است به جای توان بر انرژی مصرفی تأکید نمود. البته این انرژی می‌باید شامل هر دو بخش یعنی هم انرژی مصرفی برای اعمال خاک‌ورزی و هم انرژی مصرفی برای ایجاد ارتعاش شود.

با ارتعاش دورانی و ثابت ماندن کمیّت خاک‌ورزی (عرض، عمق، سطح خاک‌ورزی و سرعت پیش‌روی)، توان کل مورد نیاز کاهش می‌یابد. این مطلب با نتیجه گودرزی و همکاران (Goudarzi *et al.*, 2015) در کاربرد ارتعاش دورانی در خاک‌ورز تک ساق پنجه‌غازی، با میانگین سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت، که توان مورد نیاز کل را در ارتعاش ۱۹ و ۳۷ هرتز به ترتیب: ۱۳ و ۹٪ کمتر اعلام نمودند، هم‌خوانی دارد. اما به دلیل تداخلات ضمنی افزایش عمق خاک‌ورزی و سرعت پیش‌روی در اثر ارتعاش، تمرکز بر توان

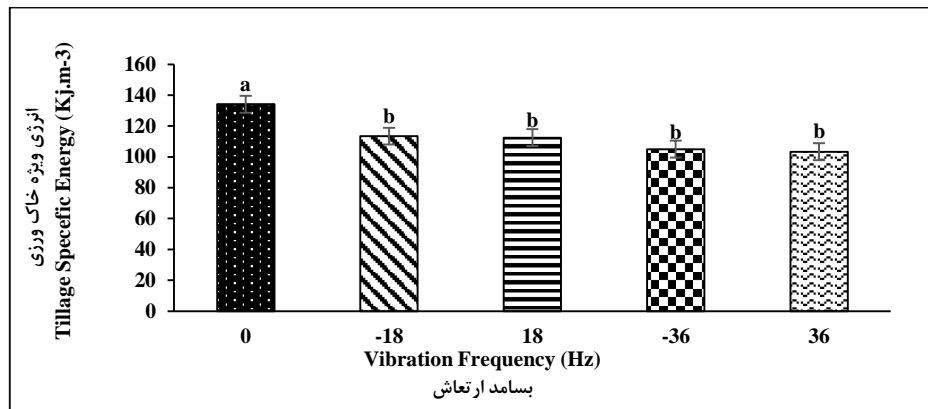


شکل ۷- اثر ارتعاش دورانی بر نیروی کششی

Fig. 7- The effect of rotational vibration on draft force

دلیل تأثیر پذیرفتن از مقدار حجم توده خاک، در رابطه با اثرات ارتعاش بر خاک‌ورزی، عامل مناسب‌تری نسبت به نیروی کششی است. با توجه به اینکه کاهش ۸ تا ۱۲ درصدی نیروی کششی در اثر ارتعاش، به کاهش ۲۰ تا ۲۳ درصدی در انرژی ویژه خاک‌ورزی منتهی شده است، اهمیت بیشتر انرژی ویژه خاک‌ورزی نسبت به نیروی کششی و حتی توان کششی، آشکارتر می‌شود. این نتایج با نتایج همت و همکاران (Hemmat *et al.*, 2000) مطابقت دارد.

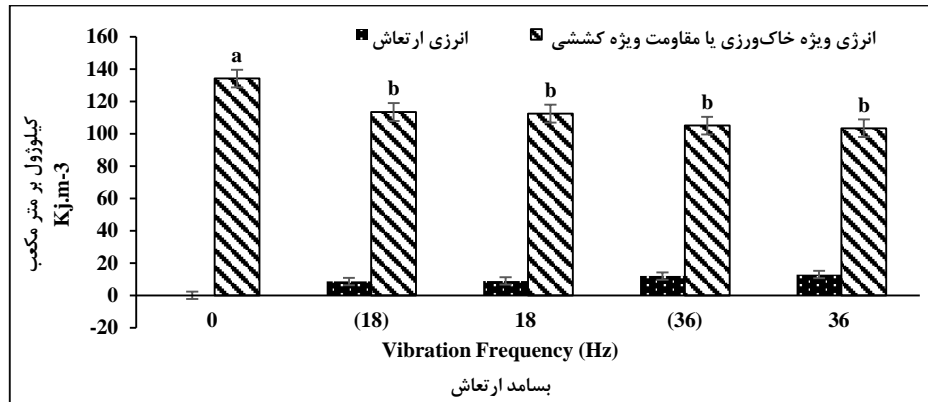
اثر ارتعاش بر نیروی ویژه کششی یا انرژی ویژه خاک‌ورزی در شکل ۸ آمده است. اولین گام برای تعدیل و تصحیح استفاده از عامل نیروی کششی، استفاده از نیروی ویژه کششی است که عبارت از مقدار نیروی اعمال شده بر سطح مقطع خاک‌ورزی است. البته مقدار عددی نیوتن بر مترمربع برابر است با ژول بر مترمکعب، به عبارت دیگر نیروی ویژه کششی با مقدار انرژی صرف شده در واحد حجم خاک برابر است. ملاحظه می‌شود که این عامل به



شکل ۸- اثر ارتعاش دورانی بر انرژی ویژه خاک‌ورزی یا نیروی ویژه کششی
 Fig. 8- The effect of rotational vibration on tillage specific energy

بسامدهای ۱۸ و ۳۶ هرتز به ترتیب حدود ۱۱ و ۱۶ کیلوژول بر متر مکعب می‌باشد و مقدار کاهش مصرف انرژی کل، در اثر ارتعاش دورانی بیش از ۱۳ درصد می‌باشد. نتایج نهایی مقایسه مصرف انرژی کل در شکل ۹ نشان داده شده است.

روشن است که مزایای استفاده از ارتعاش به دلیل استفاده از مکانیسم اضافه شده است و برای دقت و صحت در رعایت مقایسات، آن مقدار انرژی که صرف ایجاد ارتعاش دورانی شده است نیز باید در محاسبات آورده شود. مقدار این انرژی برای ایجاد



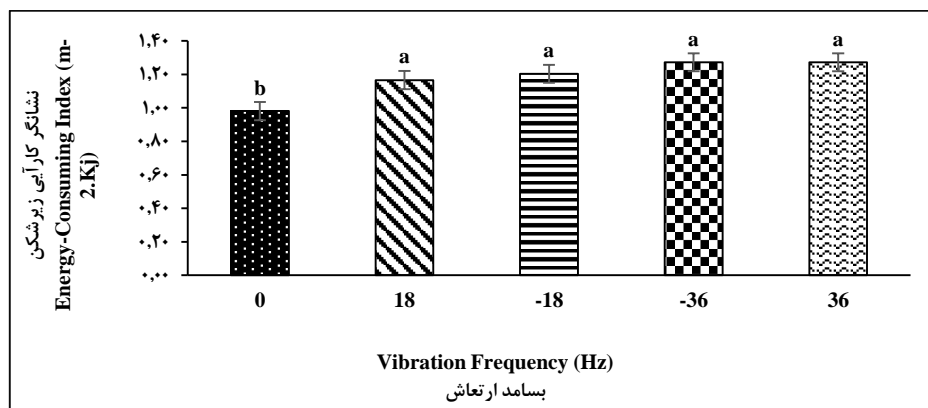
شکل ۹- اثر ارتعاش دورانی بر انرژی کل (انرژی خاک‌ورزی + انرژی ارتعاشی)
 Fig. 9- The effect of rotational vibration on total energy

طبیعی است که هدف نهایی پژوهش، افزایش کارایی یا کاهش مصرف انرژی در ازای عملکرد مناسب خاک‌ورزی است. به عبارت دیگر ممکن است بتوان با طراحی ژئومتری خاصی، توان مورد نیاز و انرژی را کاهش داد اما از تأثیر بر عملکرد کیفی (شدت خرد شدن اجزای خاک) و کمی (سطح مقطع خاک‌ورزی) چشم‌پوشی نمود (Kheiry & Xing, 2016). بنابراین هرگونه کاهش مصرف انرژی، تنها با لحاظ نمودن چگونگی تغییرات در کمیّت و کیفیت عملکرد خاک‌ورزی، ارزشمند خواهد بود. سطح مقطع خاک‌ورزی به عنوان معیار کمی از عملکرد خاک‌ورزی در روابط فراگیر شده است (Ogbeche & Idowu, 2016). با توجه به عوامل وابسته در این تحقیق از میانگین وزنی قطر کلوخه به عنوان

طبیعی است که هدف نهایی پژوهش، افزایش کارایی یا کاهش مصرف انرژی در ازای عملکرد مناسب خاک‌ورزی است. به عبارت دیگر ممکن است بتوان با طراحی ژئومتری خاصی، توان مورد نیاز و انرژی را کاهش داد اما از تأثیر بر عملکرد کیفی (شدت خرد شدن اجزای خاک) و کمی (سطح مقطع خاک‌ورزی) چشم‌پوشی نمود (Kheiry & Xing, 2016). بنابراین هرگونه کاهش مصرف انرژی، تنها با لحاظ نمودن چگونگی تغییرات در کمیّت و کیفیت عملکرد خاک‌ورزی، ارزشمند خواهد بود. سطح مقطع خاک‌ورزی به عنوان معیار کمی از عملکرد خاک‌ورزی در روابط فراگیر شده است (Ogbeche & Idowu, 2016). با توجه به عوامل وابسته در این تحقیق از میانگین وزنی قطر کلوخه به عنوان

ایجاد شده است که هم بیانگر ترک‌های ایجاد شده برای نفوذ آب و هوا است و هم بستری است برای توسعه ریشه. بنابراین نسبت مقدار سطح کلوخه ایجاد شده به ازای مقدار انرژی کل صرف شده در یک مترمکعب خاک که زیرشکنی شده است به عنوان نشانگر کارایی معرفی شده است. نتیجه تجزیه این نشانگر کارایی در شکل ۱۰ آمده است.

معیاری برای عملکرد کیفی خاک‌ورزی استفاده شد. این انتخاب به این دلیل صورت گرفت که چون اصولاً خاک‌ورزی برای خردکردن و نرم کردن خاک صورت می‌گیرد، شاخص‌ترین روشی که بتواند این خردشدگی را نشان دهد، میانگین وزنی قطر کلوخه است (Solhjou & Alavimanesh, 2020). از طرفی در زیرشکنی آنچه اهمیت دارد، سطح کلوخه‌های



شکل ۱۰- اثر ارتعاش دورانی بر کارایی زیرشکن

Fig. 10- The effect of rotational vibration on subsoiler efficiency

- اثر ارتعاش دورانی بر عملکرد کیفی خاک‌ورزی (میانگین وزنی قطر کلوخه) کاهش می‌دهد و در راستای حذف یا کاهش خاک‌ورزی ثانویه می‌باشد.

- علی‌رغم صرف انرژی برای ایجاد ارتعاش، اثر ارتعاش دورانی بر کاهش مصرف انرژی کل، کاهش می‌دهد و به صرفه است.

- با توجه به اینکه ارتعاش دورانی توان بسیار کمتری نسبت به ارتعاش رفت و برگشتی نیاز دارد می‌توان از توان الکتریکی موجود بر تراکتور نیز برای به کار گرفتن آن استفاده کرد.

- استفاده از توان الکتریکی می‌تواند مزایایی مانند: قطع و وصل سریع، تعویض جهت دوران، کنترل هوشمند بسامد و راحتی کاربر را در راستای اهداف کشاورزی دقیق به همراه داشته باشد.

با توجه به اطلاعات حاصل از کاربرد نشانگر می‌توان نتیجه این تحقیق را در این جمله کلیدی عنوان نمود که: اگرچه مقدار کاهش مصرف کلی انرژی در اثر تیمارهای ارتعاش دورانی نسبت به تیمار بدون ارتعاش، به حدود ۱۳ درصد رسیده است اما زیرشکنی با ارتعاش دورانی موجب افزایش کارایی به میزان ۲۳ درصد نسبت به زیرشکنی بدون ارتعاش شده است.

نتیجه‌گیری

- با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت اثر ارتعاش دورانی بر شاخص‌های عملکرد کمی خاک‌ورزی (عمق و سطح مقطع خاک‌ورزی)، افزایشی و در کارایی سودمند است.

پیشنهادها

- تراکتور و آلودگی صوتی ناشی از کاربرد ارتعاش، از دیگر مزایای ارتعاش دورانی است، پیشنهاد می‌شود ارتعاش دورانی و ارتعاش رفت و برگشتی، همزمان و مستقیم با هم مقایسه شوند.
- به دلیل تشابه اثرات بسامدها و جهت آنها پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از بسامدهای بالاتر نیز استفاده شود.
- پیشنهاد می‌شود به دلیل نفوذ بهتر در خاک، با وزن و نیروی نسبی کمتر، کاربرد خاک‌ورزی با ارتعاش دورانی در راستای اهداف کشاورزی حفاظتی و دیگر شاخص‌های کشاورزی پایدار مورد بررسی قرار گیرد.
- از آنجایی که استفاده راحت و ایمن از مزایای بسامد بالا، کاهش استهلاک خاک‌ورز-

قدردانی

بدین‌وسیله از کارکنان؛ اعضا هیأت علمی و تکنسین‌های دانشگاه علوم کشاورزی خوزستان و مدیران تحقیقات و تولید در کشت و صنعت امام خمینی برای همکاری بی‌دریغ در انجام این آزمایش، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

- Ahmadi, I. (2017). Effect of soil type, machine geometry, and working conditions on draft force of a moldboard plow and a disk plow. *Zist Samane Engineering*, 6(1), 1-9. (in Persian)
- Awad-Allah, M. A., Mahgoub, H. M., Abo-Elnor, M. E., & Shahin, M. A. (2009). *Experimental investigation of the effect of vibration during tillage process of multi shank plough blade. Proceeding of 13th International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology*. May 28, Cairo, Egypt.
- Bandalan, E. P., Salokhe, V. M., Gupta, C. P., & Niyamapa, T. (1999). Performance of an oscillating subsoiler in breaking a hardpan. *Journal of Terramechanics*, 36, 117-125.
- Beiranvand, M., & Shahgoli, Gh. (2010). Investigating some oscillatory tillage parameters by dynamic modeling for energy saving. *Journal of Agricultural science and Sustainable Production*, 20(4), 54- 64. (in Persian)
- Boyd, R. J., & Nalezny, C. L. (1967). *A model vibrating soil cutting, SAE farm, Construction and industrial machinery meeting*, Milwaukee.
- Buckingham, F., & Pauli, A. (2008). *Conservation tillage systems*. (Translation: Asudar, M. A. & Sabzezar, H.). Agricultural Extension, Education and Research Organization. Deputy for Agricultural Extension and Education. Agricultural Education Pub. (in Persian)
- Frisby, J. C., & J. D. Summers. (1979). Energy related data for selected implements. *Transaction of the ASAE*, 22(5), 1010 -1011.
- Ghanbarian, D., & Shahmirzaei, H. (2010). *Basics of tillage machinery engineering*. Shahrekord University Pub. (in Persian)
- Godwin, R. J., & Spoor, G. (1977). Soil failure with narrow tine. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22, 213-228.

- Goudarzi, B., Asoodar, A., & Kazemi, N. (2015). Blade vibration impact on the performance of silty clay loam soil cover tillage. *Agricultural Engineering Journal*, 5(2), 357-367. (in Persian)
- Hansoon, P. A. (2002). Working space requirement for an agricultural tractor axle suspension. *Biosystems Engineering*, 81(1), 57-71.
- Hemmat, A., Sadegh-Nejad, H. R., & Alimardani, R. (2000). Draft of vibrating- share subsoiler in vibrating and non- vibrating modes and its effect on soil physical properties. *Iranian Journal of Agricultural and Science*, 31(1), 127-146. (in Persian)
- Hendrick, J. G., & Buchele, W. F. (1963). Tillage energy of a vibrating tillage tool. *American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, 6(3), 207-219.
- Karoonboonyanan, R., Salokhe, V. M., Niapama, T., & Nakashima, H. (2007). Vibration effects on the performance of a single-shank subsoiler. *CIGR Journal*, 1, 7-18.
- Kattenstorth, R., & Hans, H. (2011). Reducing friction in tillage using ultrasonic vibration. *Biosystems Engineering*, 94, 181-192.
- Kepner, R. A., Bainer, R., & Barger, E. L. (1978). *Principles of farm machinery*. Third Ed. AVI publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Khaffaf, A., & Khadr, A. (2008). Effect of some primary tillage implement on soil pulverization and specific energy. *Farm machinery and power*, 25(3), 731-745.
- Kheiry, A. N. O., & Xing, Z. D. (2016). Staggered reciprocating subsoiler shanks and tractor forward speed and their influence on power requirement and soil profile. *International Journal of Engineering Studies and Technical Approches*, 2(8), 12-19.
- Klenin, N. I., Popov, I. F., & Sakun, V. A. (1986). *Agricultural machines: theory of operation, computation of controlling parameters, and the conditions of operation*. Rotterdam: A. A. Balkema Pub.
- Kofoed, S. S. (1969). Kinematics and power requirement of oscillating tillage-tool. *Journal of Agricultural Engineering*, 14(1), 54-73.
- Martinez, E., Fuents, J. P., & Silva, P. (2008). Soil physical and wheat root growth as affected by no tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of chile. *Soil and Tillage Research*, 99, 22-244.
- Modaress Razavi, M. (2010). *Farm machinery management*. Mashhad Ferdowsi University Pub. (in Persian)
- Moenifar, A., Mousavi-seyedi, S. R., & Kalantari, D. (2014). Influence of tillage depth, penetration angle and forward speed on the soil/thin-blade interaction force. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(1), 69-74.
- Niapama, T., & Salokhe, V. M. (1993). Laboratory investigations into soil failure under vibratory tillage tools. *Journal of Terramechanics*, 30(6), 395-403.
- Niapama, T., & Salokhe, V.M. (2000b). Force and pressure distribution under vibratory tillage tool. *Journal of Terramechanics*, 37(2), 139-150.
- Ogbeche, O. S., & Idowu, M. S. (2016). Design steps of narrow tillage tools for draught reduction and increased soil disruption – A review. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(1), 91-102.
- Radite, P. A. S., Hermawan Mulyana, W., Rizkianda, A. B., & Crosby, H. B. (2010). Experimental investigation on the application of vibration to reduce draft requirement of subsoiler. *International Agricultural Engineering Journal*, 19(1), 31-38.

- Reshad Sedghi, A., & Loghavi, M. (2009). The effect of soil moisture content (in primery tillage) and travel speed during disking operation on performance of dick harrow as a secondary tillage tool. *Biosystems Engineering*, 40(2), 131-138. (in Persian)
- Reynolds Chávez, A., Campos Magana, G., Cadena Zapata, M., López, A., & Cuervo Pina, N. (2015). Vertical tillage parameters to optimize energy consumption. *CIGR Journal*, 17(4), 130-140.
- Sadaghi, R., & Abbaspour, Y. (2014). Prediction of soil fragmentation during tillage operations using fuzzy-neural inference system (ANFIS). *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2), 387-398. (in Persian)
- Sahaya, C. S., Thomasb, E. V., & Satapathyc, K. K. (2009). Performance evaluation of a novel power-tiller-operated oscillatory tillage implement for dry land tillage. *Biosystems Engineering*, 102(4), 385-391.
- Shahgoli, G., Fielke, J., Dcsbiolles, J., & Saunders, C. (2010). Optimising oscillation frequency in oscillatory tillage. *Soil and Tillage Research*, 106(2), 202-210.
- Shahidy, K., & Ahmadi Moghaddam, P. (2006). Soil and machine. Oroumie University Pub. (in Persian)
- Soehne, W. H. (1963). Aspects of tillage. *Canadian Agricultural Engineering*, 5(1), 2-3.
- Soeharsono, P., & Setiawan, R. A. (2010). Analytical study of self-excited vibration on single degree of freedom vibratory-tillage. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(6), 61-66.
- Solhjoui, A., & Alavimanesh, S. M. (2020). Effect of soil moisture content, forward speed and bent leg blade spaces on soil pulverization. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(73), 83-92. (in Persian)
- Szabo, B., Barnes, F., Sture, S., & Ko, J. H. (1998). Effectiveness of vibrating bulldozer and plow blades on draft force reduction. *American Society of Agricultural Engineering (ASAE)*, 41(2), 283-290.
- Teschke, K. Nicol, A. M., Davies, H., & Ju, S. (1999). Whole body vibration and back disorders among motor vehicle drivers and heavy equipment operators: A review of the scientific evidence, Vacouver, British Columbia. *Biosystems Engineering*, 65, 375-383.
- Upadhyaya, S. K., Williams, T. H., Kemble, L. J., & Collins, N. E. (1984). Energy requirements for chiseling in Coastal Plain soils. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering (ASAE)*, 27, 1643-1649.
- Wolf, D., Garner. T. H., & Davis, J. W. (1981). Tillage mechanical energy input and soil – crop response. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering (ASAE)*, 24, 1412-1419.
- Xin, L., Liang, J., & Qiu, L. (2013). Dynamic analysis and experimental research of vibratory subsoiler system. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 48(2), 1195-1201.

Research Paper

Effect of Rotary Vibration on Draft Force, Performance and Efficiency of Subsoiler

B. Goudarzi, N. Kazemi* and M. A. Asoodar

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. Email: navab@asnrukh.ac.ir

Received: 10 May 2020, Accepted: 26 December 2020

<http://doi.org/10.22092/erams.2020.342925.1352>

Abstract

Soil compaction causes the lack of water and oxygen in the soil; therefore, development of the roots is restricted. Therefore, vibrating subsoilers recommended for better soil crushing and for increasing the power transfer efficiency from tractor to soil. The vibration used in the subsoiler is available from the type of sweep and its main reason is the use of the tractor power axis (P.T.O) as the source of vibration creation. In this study a subsoiler, which was equipped with a rotational vibration system, was fabricated and used to provide rotational vibration, the vibration frequency control and the side of rotation, be controlled with electrical power. Factorial statistical design was performed in a completely randomized manner with speed and frequency, as independent variables. The dependent variables were: tillage depth, tillage cross section, clod mean weight diameter, tensile force and total energy. The effect of rotational vibration with confidence of 95% on tillage depth and with confidence of 99% on tillage side and mean weight of the clot was significant. Frequency (-36 Hz) had the best crushing of the soil. The effect of rotational vibration on tensile force was significant with confidence of 99% and the frequency (+36 Hz) had the lowest tensile force. The energy used for tillage was reduced with confidence of 99% and the frequency (+36 Hz) had the lowest energy consumption. By considering the amount of crushing for energy consumption, the marker was defined as the subsoiler efficiency (the amount of energy consumed for the crushing). The result of this marker is the priority of the ripping of the treatments with frequency (+36, -36, -18, +18 and 0 Hz) respectively.

Keywords: Electrical Power, Soil Compaction, Tillage, Vibrating Subsoiler



© 2021 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)