



تحلیل دینامیکی سیستم تراکتور-زیرشکن ارتعاشی با استفاده از نرم‌افزار آدامز

مریم بیرانوند^۱، غلامحسین شاهقلی^۲ و ناصر شاهی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی، ۲- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

Beiranvand.maryam@gmail.com

چکیده

برای شکستن لایه‌های سخت خاک که به دلیل برخی عوامل طبیعی یا ماشینی در خاک‌های کشاورزی ایجاد می‌شوند، از زیرشکن استفاده می‌شود. استفاده از زیرشکن با شاخه‌های صلب نیروی کششی زیادی نیاز دارد. در این تحقیق زیرشکن ارتعاشی که توسط شاهقلی و همکاران (۲۰۰۶) ساخته شد در نرم‌افزار آدامز شبیه‌سازی گردیده است. در این مدل دامنه نوسان ± 69 میلی‌متر، زاویه نوسان ۲۷ درجه، سرعت پیشروی ۳ Km/h در نظر گرفته شد و فرکانس از ۲ تا ۹ Hz افزایش یافت. مدل شبیه‌سازی، شتاب وارده بر صندلی راننده در سه جهت X، Y و Z اندازه‌گیری و با نتایج مزرعه‌ای مقایسه گردید. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مدل مشابه نتایج مزرعه‌ای بود. در تمام تنظیمات شتاب افقی بیشتر از شتاب عمودی و جانبی بود و این بیشتر به دلیل نیروهای برش خاک است. در کل با افزایش فرکانس شتاب وارد بر صندلی راننده افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، زیرشکنی، خاکورزی ارتعاشی، شبیه‌سازی.

مقدمه

زیرشکن وسیله‌ای است برای شکستن لایه‌های سخت خاک که به دلیل رفت و آمد مکرر تراکتورها و ماشین‌های سنگین، وجود نمک در آب آبیاری و یا سخت شدن طبیعی خاک در زیر لایه سطحی ایجاد می‌شوند. استفاده از این دستگاه باعث نفوذ پذیری خاک نسبت به رطوبت و ریشه‌ها می‌شود (شفیعی، ۱۳۷۱). برای سست کردن خاک در اعماق بیشتر، استفاده از شاخه‌های صلب به نیروی کششی زیادی نیاز است که این کشش از توان مالبندی تراکتور تأمین می‌شود. بسیاری از محققان سال‌ها در جستجوی بهبود فرآیندهای خاکورزی و کاهش انرژی مورد نیاز بوده‌اند، زیرا عملیات خاکورزی انرژی بیشتری نسبت به دیگر عملیات‌های کشاورزی مصرف می‌کند (وزین^۱، ۱۹۸۲). در روش خاکورزی ارتعاشی، می‌توان بخشی از توان موجود موتور را مستقیماً در ابزار خاکورز به کار برد. در استفاده از موتور برای ارتعاش ابزار خاکورز، حرکت می‌تواند در جهت طولی، عمودی یا ترکیبی از هر دو باشد. استفاده از تیغه‌های ارتعاشی

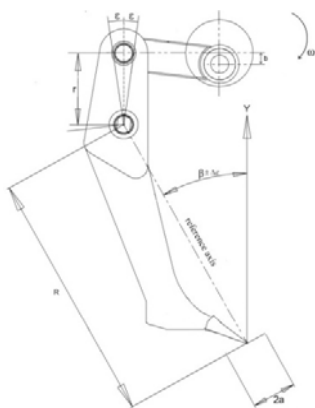
^۱ -Vazzin

برش خاک اقدامی در جهت افزایش بازدهی و صرفه جویی در مصرف انرژی است. کشش مورد نیاز دستگاه خاک-ورزی با ارتعاش بخش‌هایی که در خاک کار می‌کنند به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

مهمترین پارامترهای خاکورزی ارتعاشی

در ابزار خاکورزی ارتعاشی دامنه، فرکانس، زاویه ارتعاش و سرعت ترک‌تور مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد خاکورزی ارتعاشی هستند (شاهقلی، ۲۰۰۶).

زاویه ارتعاش: اگر از نوک زیرشکن تا نقطه مرکز چرخش خطی رسم کنیم زاویه‌ای که این خط با محور Y می‌سازد زاویه ارتعاش گفته می‌شود. اگر نوک زیرشکن در جلو مرکز چرخش قرار گیرد این زاویه مثبت بوده و اگر نوک در پشت مرکز چرخش قرار گیرد این زاویه منفی خواهد بود. (شکل ۱)



شکل ۱- ساقه زیرشکن و مسیر انتقال قدرت به آن از محور میل لنگی

فرکانس ارتعاش: تعداد چرخش محور لنگی یا تعداد رفت و برگشت ساقه زیرشکن در واحد زمان می‌باشد (دور بر ثانیه یا هرتز).

دامنه ارتعاش: مسافت طی شده از مرکز حرکت به طرف جلو تا نقطه مرگ (+a) یا از مرکز حرکت به طرف عقب تا نقطه مرگ (-a) در امتداد خط عمود بر شعاع چرخش.

عوامل بالا معمولاً در اصطلاح سرعت نسبی با هم ترکیب می‌شوند. سرعت نسبی، نسبت حداکثر سرعت ساقه زیرشکن به سرعت پیشروی تراکتور است.

$$\lambda = \frac{2\pi a \cos \beta}{v} \quad (1)$$

که در این رابطه:

a = دامنه (متر)

f = فرکانس (هرتز)

v = سرعت پیشروی تراکتور (متر بر ثانیه)

β = زاویه ارتعاش (درجه)

گان^۱ و همکاران (۱۹۵۵) آزمون مزرعه‌ای روی یک تیغه خاک‌ورزی انجام دادند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که با استفاده از ابزار خاک‌ورزی ارتعاشی کشتش مورد نیاز کاهش یافته و امکان استفاده از تراکتورهای سبک‌تر برای انجام کارهایی که نیازمند کشتش بالا هستند مانند زیرشکنی، فراهم می‌شود. بیشترین کاهش با مقادیر سرعت نسبی کمتر از یک به دست می‌آید. شکورنکو^۲ و همکاران (۱۹۶۰) به این نتیجه رسیدند که در دامنه ثابت، اثر نوسان روی افزایش کشتش و توان رابطه مستقیم با افزایش فرکانس دارد و نشان دادند که ارتعاش در جهت افق تقریباً ۱/۶ مرتبه در کاهش کشتش مؤثرتر از ارتعاش در جهت عمود است. تراپ^۳ و همکاران (۱۹۷۴) نشان دادند که مهم‌ترین عامل کنترل عملکرد خاک‌ورزی نوسانی سرعت نسبی است و فرکانس و دامنه به تنهایی مهم نیستند، چنانچه سرعت نسبی بیش از یک باشد نیروی کشتش کاهش می‌یابد. یو و اسمیت^۴ (۱۹۷۶) خاک‌ورزی ارتعاشی را از نظر تئوری و آزمایشی بررسی کردند و نشان دادند که چنانچه سرعت نسبی افزایش یابد کشتش نسبی (نیروی کشتش نوسانی به نیروی کشتش ثابت) کاهش می‌یابد و کم‌ترین کشتش نسبی در سرعت نسبی بین ۱/۵ تا ۳ به دست آمد.

ساکای^۵ و همکاران (۱۹۸۷) تحقیقی را تحت عنوان مطالعه و بررسی رفتارهای دینامیکی سیستم تراکتور و زیرشکن ارتعاشی و پیدا کردن روشی برای بهبود راحتی در رانندگی انجام دادند. اثر سه پارامتر نقطه اتصال عمودی^۶ (VHP)، نیروی برشی خاک و موقعیت قرارگیری چرخ تنظیم با استفاده از مدل کامپیوتری و آزمایشات مزرعه‌ای بررسی شد. آزمایشات مزرعه‌ای نشان دادند که موقعیت نقطه اتصال عمودی مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر ارتعاشات بدنه تراکتور است. با تنظیم نقطه اتصال عمودی در موقعیت مناسب، شتاب‌های بدنه تراکتور به اندازه ۷۵٪ کاهش می‌یابد. اثر این سه پارامتر با مدل کامپیوتری از سیستم تراکتور و زیرشکن ارتعاشی با سه درجه آزادی شبیه‌سازی، و مشخص شد که این پارامترها بر روی رفتار دینامیکی تراکتور اثر دارند، مهم‌ترین پارامتر نقطه اتصال عمودی است. نتایج این بررسی‌ها با نتایج حاصل از آزمایشات مزرعه‌ای مطابقت داشت. در موقعیت قرارگیری مناسب نقطه اتصال عمودی، شتاب عمودی زیر صندلی راننده به اندازه ۱/۴ شتاب زمانی که نقطه اتصال عمودی در موقعیت نادرست قرار دارد، کاهش می‌-

¹ -Gunn

² -Shkurenko

³ -Trap

⁴ -Yow and Smith

⁵ -Sakai

⁶ -Vertical Hitch Point

یابد. برای ایجاد مدل مؤلفه‌های نیروی برشی خاک (نیروی برش طولی: f_x ، نیروی برشی عمودی خاک: f_y و گشتاور نیروی برشی خاک: M_c) با یک کرنش سنج نصب شده روی رینگ هشت وجهی اندازه‌گیری شد.

ساکای و همکاران (۱۹۹۳) عملکرد یک زیرشکن چهارشاخه در محدوده قدرت مورد نیاز و سلامت اپراتور بررسی کردند. آنها گزارش دادند که شتاب ناشی از حرکت جانبی^۱ که با ارتعاش نیروهای برش خاک در فرکانس ارتعاش به وجود آمده بودند، بسیار قابل ملاحظه بود. بنابراین آن‌ها زیرشکن ۴ ساقه را با آرایش ۴-۲-۳-۱ و اختلاف فاز ۹۰ درجه بین شاخه‌ها جهت توزیع یکنواخت‌تر نیروهای برشی خاک روی وسیله و کاهش ارتعاش بدنه تراکتور، انتخاب کردند. دامنه‌های بزرگ‌تر و فرکانس‌های کوچک‌تر در کاهش بهینه کشش و نیروی مورد نیاز بسیار مهم شناخته شده شدند. اثر زاویه نوسان را در محدوده ۱۵- تا ۳۰+ درجه با تغییر موقعیت و جلو و عقب بردن شاخه‌ها بررسی شد و مشخص شد زمانی که نوک شاخه در مقابل نقطه چرخش شاخه در زاویه نوسان ۳۰+ قرار داشت بیشترین کاهش کشش ملاحظه شد.

یک جنبه ناخواسته اثر ارتعاش زیرشکن انتقال مقداری ارتعاشات به تراکتور و اپراتور است. این ارتعاشات در نتیجه حرکت جلو و عقب تیغه‌ها (اینرسی)، نیروهای برشی خاک، گشتاور جانبی^۲ پی تی او و اختلاف فاز بین حرکت تیغه‌ها به وجود می‌آیند. برای اینکه درک بهتری از عوامل ایجاد ارتعاشات راننده داشته باشیم در این تحقیق یک مدل در نرم افزار آدامز^۳ کاملاً مشابه نمونه ساخته شده هنگام کار در داخل خاک ایجاد شد. تمام حرکات کاملاً یکسان بوده و نیروهای وارده از خاک با نوشتن برنامه همانند نیروهایی که از خاک به تیغه‌ها در مزرعه وارد گردیده روی تیغه‌های مدل اعمال شدند. مدل تراکتور نیز به صورت مرکب با زیرشکن ایجاد شد.

سیستم مورد بررسی در این تحقیق شامل زیرشکن ارتعاشی و تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۰ (۴WD) است که این سیستم به منظور و اهداف زیر شبیه سازی شد:

- بررسی یکسری از پارامترهای دینامیکی مانند جابجایی، سرعت خطی و زاویه ای، شتاب‌ها
- یافتن علت کاهش کششی در خاکورزی ارتعاشی و مرتبط کردن آن با پارامترهای دینامیکی

مواد و روش‌ها

شاهقلی و همکاران (۲۰۰۶) عملکرد یک زیر شکن با دوشاخه را بررسی کردند. برای یافتن زاویه نوسان مناسب آزمایشاتی در خاک شنی لومی در ۶ زاویه نوسان متفاوت انجام دادند. ارتعاش شاخه‌ها در فرکانس ۴/۹ Hz و با دامنه ± 69 میلی‌متر و سرعت پیشروی ۳ km/h بود. بیشترین مقدار کاهش کشش، ۵۰٪ در زاویای نوسان منفی به دست آمد. در کل

^۱ -Pitch motion
^۲ -Pitch moment
^۳ -ADAMS

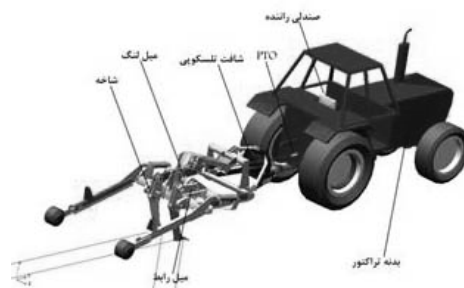
ارتعاش صندلی راننده در زوایای منفی بیشتر بود. عملکرد در زاویه ۲۲/۵- درجه برای کاهش کشش و ذخیره توان مناسب بود در حالی که کمترین ارتعاش در زاویه ۱۶+ درجه به دست آمد. برای اینکه درک بهتری از عوامل ایجاد ارتعاشات راننده داشته باشیم در این تحقیق یک مدل در نرم افزار آدامز کاملاً مشابه نمونه ساخته شده هنگام کار در داخل خاک ایجاد شد.

مراحل ایجاد مدل و شبیه سازی:

- تعریف قطعات صلب و ویژگی‌های آن‌ها شامل جرم و مرکز جرمشان.
- انتخاب تمام مؤلفه‌های شرکت کننده در شبیه سازی و تعریف آن‌ها به عنوان محرک یا متصل به زمین.
- اضافه کردن حرکت، اتصالات و تماس بین قطعات.
- اضافه کردن بارهای خارجی (نیروهای برش خاک بر روی شاخه‌های درگیر با خاک).
- محاسبات شبیه سازی با ایجاد معادلات حرکت نرم افزار و حل آن‌ها در زمان‌های مورد نیاز.
- مرور نتایج شبیه سازی توسط پلات‌ها و محرک سازی‌ها

مرور سیستم

شکل ۲ سیستم تراکتور-زیرشکن را نشان می‌دهد. نیروی ارتعاشی شاخه‌های زیرشکن از ¹PTO تراکتور از طریق یک شافت تلسکوپی تأمین می‌شود. توان با نسبت ثابتی از طریق یک جعبه دنده و یک چرخ زنجیر به واحد میل بادامک به دو شاخه از طریق میل رابط منتقل می‌شود. تنظیمات در میل بادامک خارج از مرکز دامنه‌های مختلف نوسان نوک شاخه را به وجود می‌آورد، در حالی که فرکانس نوسان توسط سرعت PTO تراکتور و تعویض چرخ‌های محرک زنجیر تنظیم می‌شود (در این تحقیق جعبه دنده و چرخ زنجیر توسط یک کوپلر جایگزین شده است). در این سیستم حرکتی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز بین دو شاخه وجود دارد، سرعت در نوک شاخه‌ها برابر و مختلف الیجهت است. زیرشکن توسط دو چرخ عقب برای حمل بخشی از وزن دستگاه پشتیبانی می‌شود.



شکل ۲- سیستم تراکتور-زیرشکن

¹ -Power Take Off Tractor

میل بادامک شامل دو صفحه خارج از مرکز است، هرکدام حاوی ۲۴ سوراخ در محیطشان می‌باشند که مقابل هم قرار می‌گیرند. بسته به موقعیت قرار گیری و شماره سوراخ‌های این دو صفحه که مقابل هم قرار می‌گیرند دامنه‌های نوسان مختلف به وجود می‌آیند. (شکل ۳)



شکل ۳- تنظیمات در میل بادامک خارج از مرکز دامنه‌های مختلف نوسان نوک شاخه را به وجود می‌آورد

توصیف مدل

یک مدل سه بعدی از سیستم تراکتور-زیرشکن ساخته شده است، جزئیات آن به شرح زیر است:

مدل تراکتور

- فریم تراکتور

- صندلی راننده که با یک Translational Joint، یک فنر عمودی با سختی $5/5 \text{ kN/m}$ و یک دمپر با ضریب kN.S/m $1/14$ به تراکتور متصل شده است.

- چهارچرخ، هر کدام توسط Revolute Joint به تراکتور متصل شده‌اند. اندازه تایرها عقب $30-18/4$ و تایرهای جلو $24-12/4$ هستند.

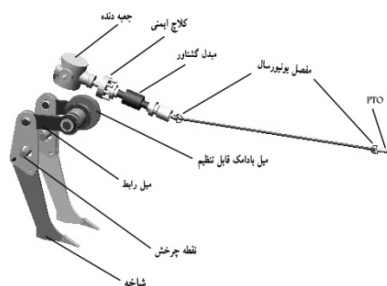
زیرشکن

شکل ۴ چگونگی اتصال بخش‌های محرک زیرشکن در مدل شبیه سازی شده را نشان می‌دهد. زیرشکن شامل اجزاء صلب و محرک به شرح زیر است:

- شاخه‌ها
- میل لنگ
- میل رابط
- خط محرک PTO (از تراکتور تا جعبه دنده)
- جعبه دنده کاهشی (نسبت کاهش $1/92$)
- تایرهای عقب زیرشکن (تایر $14-7/35$)

- فریم اصلی
- A فریم که اتصال مجموعه را به نقطه اتصال تراکتور متصل می‌کند.
- چرخ زنجیر و زنجیر محرک (نسبت تغییر سرعت ۰.۴۴،۰.۵ و ۱.۱ موقعی که به ترتیب چرخدنده محرک ۱۴، ۲۲ و ۳۵ دندانه و چرخدنده متحرک ۲۴ دندانه استفاده گردید).

در مدل جعبه دنده و زنجیر محرک توسط یک کوپلینگ جایگزین شده است.



شکل ۴- قسمت‌های محرک زیرشکن

نیروهای شاخه‌ها در مراحل مختلف

برای تعیین نیروهای افقی و عمودی روی شاخه‌ها سه مرحله برش، برگشت و جلو رفتن در خاکی که شخم خورده است مورد بررسی قرار می‌گیرند. این سه مرحله برای هر دو شاخه با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز بین آنها اتفاق می‌افتد. برای نشان دادن انواع نیروی کشش مرتبط با این سه مرحله، کل نیروی اعمالی از طرف خاک روی شاخه با استفاده از تابع IF مدل شده است. تابع حسابی IF به ما اجازه می‌دهد توابع را به صورت شرطی بیان کنیم و شکل آن به این صورت است:

IF(expression1, expression2, expression3, expression4)

ADAMS SOLVER بر اساس شرط 1 expression به صورت زیر عمل می‌کند:

اگر مقدار عبارت ۱ کمتر از صفر باشد تابع IF از عبارت ۲ استفاده می‌کند، اگر مقدار عبارت ۱ برابر صفر باشد تابع IF از عبارت ۳ استفاده می‌کند و اگر مقدار عبارت ۱ بزرگتر از ۱ باشد تابع IF از عبارت ۴ استفاده می‌کند.

تابع IF برای تعیین مراحل کار شاخه استفاده می‌شود، که در این جا سرعت زاویه‌ای شاخه نسبت به نقطه چرخش و جابه‌جایی زاویه‌ای به عنوان عبارت ۱ استفاده می‌شود. زمانی که سرعت زاویه‌ای بیشتر از ۱ است شاخه به طرف جلو می‌رود و بالعکس.

نیروی اینرسی

در تمام مراحل کار اینرسی شاخه بخشی از نیروی افقی است. در حرکت جلو و عقب شاخه، توابع آدامز نیروی اینرسی را محاسبه می‌کنند.

نتایج و بحث

مدل به مدت ۱۵ ثانیه در محیط آدامز اجرا شد، داده‌های ۵ ثانیه اول حذف و از بقیه داده‌ها استفاده گردید. داده‌های حاصل از شبیه‌سازی به محیط اکسل منتقل شده، شتاب وارده به صندلی راننده در جهت X ، Y و Z محاسبه شد.

سرعت پیشروی ۳Km/h، دامنه نوسان شاخه $\pm 69\text{mm}$ ، زاویه نوسان 27° و محدوده فرکانس ۰-۹ Hz بود (جدول ۱).

جدول ۱- تنظیمات مختلف برای شبیه‌سازی مدل

شماره	دامنه، mm	سرعت، Km/h	فرکانس، Hz	سرعت نسبی	دور PTO rpm	زاویه نوسان، درجه
۱	۶۹	۲.۹	۱.۹	۰.۹۵	۵۴۰	۲۷
۲	۶۹	۲.۹	۳.۳	۱.۴۹	۵۴۰	۲۷
۳	۶۹	۲.۹	۳.۸	۱.۵۳	۱۰۰۰	۲۷
۴	۶۹	۲.۹	۴.۹	۲.۱۱	۵۴۰	۲۷
۵	۶۹	۲.۹	۶	۲.۵۸	۱۰۰۰	۲۷
۶	۶۹	۲.۹	۸.۸	۳.۷	۱۰۰۰	۲۷

شتاب کلی در هر جهت با محاسبه rms مقادیر شتاب به دست آمد. جذر میانگین مربعات در جهت‌های x ، y و z ، rms کل را به ما می‌دهد:

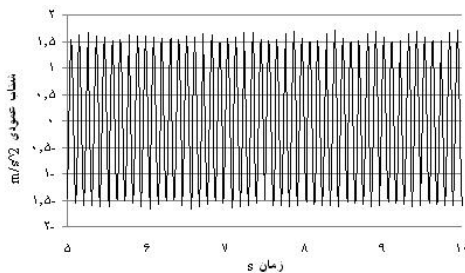
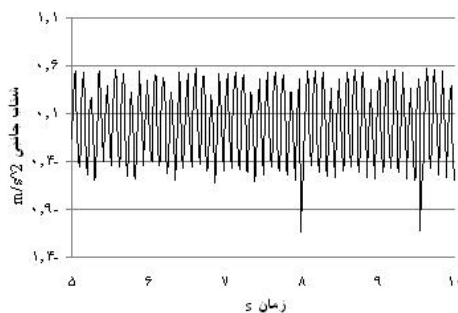
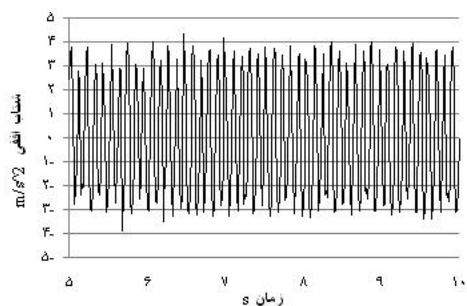
$$a_{rms} = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2}{n}} \quad (2)$$

که در این معادله

$$r.m.s = a_{rms} \text{ کل شتاب } (\text{m/s}^2)$$

$$= a_1, a_2, \dots, a_n \text{ شتاب‌های به دست آمده } (\text{m/s}^2)$$

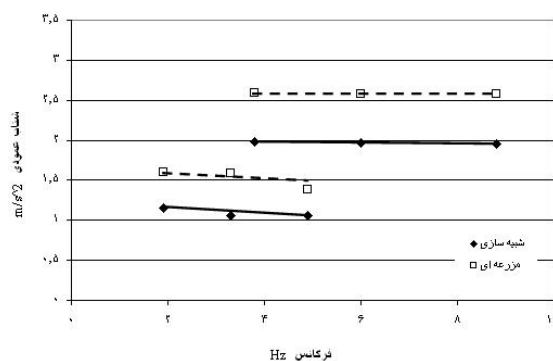
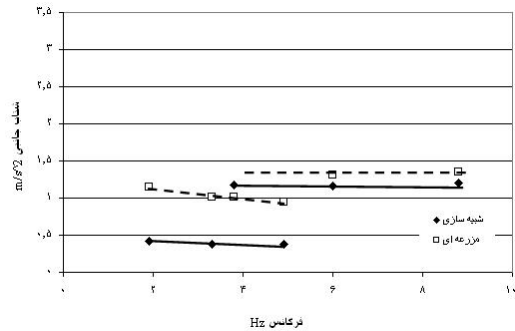
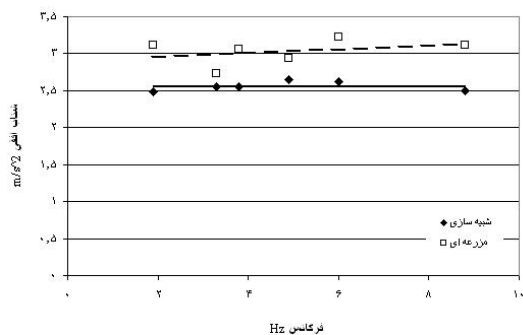
شکل ۵ یک نمونه از شتاب‌های وارده بر صندلی راننده تراکتور در فرکانس ۱/۹ Hz از زمان ۵ تا ۱۰ ثانیه را نشان می‌دهد. rms های محاسبه شده برای شتاب افقی، عمودی و جانبی به ترتیب برابر ۲/۴، ۱/۱ و ۰/۴ متر بر مجذور ثانیه می‌باشند.



شکل ۵- شتاب‌های افقی، عمودی و جانبی به دست آمده از شبیه‌سازی مدل برای فرکانس 1.9 Hz

در شکل ۶، rms شتاب‌های افقی، عمودی و جانبی اندازه‌گیری شده در مزرعه و حاصل از شبیه‌سازی مدل در فرکانس‌های مختلف نشان داده شده‌است. شتاب‌های افقی اندازه‌گیری شده در مزرعه و حاصل از شبیه‌سازی، سطوح و روند مشابهی داشتند اگرچه شتاب‌های شبیه‌سازی شده کمتر از شتاب‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه است. این به دلیل اثر نیروهای اعمالی از طرف خاک در مراحل مختلف نوسان بر شاخه‌های زیرشکن است که در مدل شبیه‌سازی شده این نیروها به صورت متمرکز بر نوک شاخه‌ها اعمال شده‌اند و به طور یکنواخت نسبت به زمان در مراحل مختلف نوسان تغییر می‌کنند. در هر دو دیده می‌شود با افزایش فرکانس شتاب افقی زیاد می‌شود و این به دلیل اثر نیروهای برش خاک است. در فرکانس‌های پایین هر دو شاخه در مرحله برش خاک هستند و در قسمتی از سیکل نوسان عمل برش به طور همزمان انجام می‌شود، در نتیجه نیروهای برش بیشتر هستند. نیروهای برش در فرکانس‌های بالاتر کمتر است زیرا شاخه‌ها در بخشی از سیکل آزاد هستند و به طرف عقب برمی‌گردند که این باعث کاهش برآیند نیروها می‌شود.

در نمودار مربوط به شتاب‌های عمودی و جانبی افزایش قابل ملاحظه‌ای در فرکانس‌های 6.38 و 8.8 Hz نسبت به شتاب در دیگر فرکانس‌ها دیده می‌شود، این به دلیل تغییر دور PTO از 540 rpm به 1000 rpm در این فرکانس‌ها است. می‌توان نتیجه گرفت یک روش برای کاستن شتاب وارده بر صندلی راننده استفاده از 540 rpm جهت ایجاد فرکانس‌های مختلف است.



شکل ۶- شتاب اندازه‌گیری شده در مزرعه و حاصل از شبیه‌سازی مدل در جهت افقی، عمودی و جانبی

rms شتاب سه بعدی اثر ارتعاش را بهتر از شتاب اصلی در سه جهت X، Y و Z نشان می‌دهد. شتاب سه بعدی از رابطه زیر به دست می‌آید (AS2670.1-2001):

$$a_{\text{sum}} = \left((k_x \cdot a_x)^2 + (k_y \cdot a_y)^2 + (k_z \cdot a_z)^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

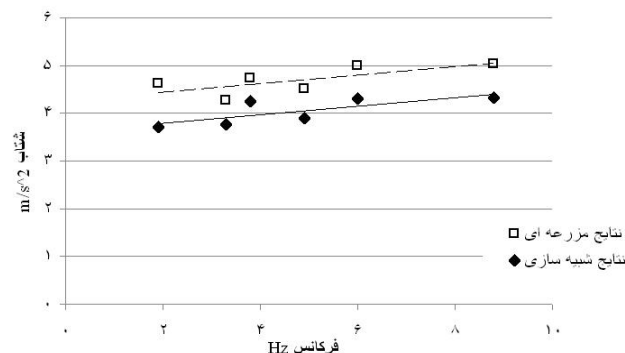
زمانی که شتاب سه بعدی برای برآورد خطر سلامتی استفاده شود، چون حساسیت بدن انسان نسبت به شتاب‌های افقی، عمودی و جانبی فرق می‌کند این ضرایب برای شتاب‌های مختلف متفاوت است که به شکل زیر هستند:

$$k_x = 1/4$$

$$k_y = 1$$

$$k_z = 1/4$$

در شکل ۷ نمودار مقایسه شتاب سه بعدی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نشان داده شده است. که در هر دو روند تقریباً مشابهی دیده می‌شود. در کل با افزایش فرکانس شتاب وارد بر صندلی راننده افزایش می‌یابد.



شکل ۷- نمودار **rms** شتاب سه بعدی اندازه گیری شده در مزرعه و حاصل از شبیه سازی

منابع

۱- شفیعی س. ا. (۱۳۷۱). اصول ماشین‌های کشاورزی (جلد اول). انتشارات دانشگاه تهران. ۴۶۸ ص.

۲- ASABE Standards D497.5 Feb 2006, Agricultural machinery management, pp.391-398,

ASAE Standards (2006): Adapted and published by American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI 49685-9659, USA

۳- Gunn JT and Tramontini VN, 1955. 'Oscillation of tillage implements' *Agricultural engineering*, vol. 36, no. 11, pp. 725-729.

۴- Sakai K, Terao H and Nambu S, 1989. 'The dynamic behaviour of a tractor-vibrating subsoiler system and the effect of the virtual hitch point' *Journal of Terramechanics*. vol. 25, no. 4, pp. 241-247.

۵- Sakai K, Hata SI, Takai M and Nambu S, 1993. 'Design parameters of four-shank vibrating subsoiler' *Transactions of the ASAE*, vol. 36, no. 1, pp. 23-25.

۶- Shahgoli G, Saunders C, Desbiolles J, Fielke J, 2006. An investigation into the performance of vibratory tillage using straight and bent leg tines. *Soil management for sustainability. Advances in GeoEcology* 38. pp. 21-30. Rainer Horn, Heiner Fleige, Stephan Peth and Xinhau Peng (Eds), Catena Verlag GMBH, Reiskirchen, Germany.

۷- Shkurenko NS, 1960. 'Experimental data on the effect of oscillation on cutting resistance of soil' *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 5, no. 2, pp. 226-232.

۸- Trap AD, Abrahams M and Reece AR, 1974. 'The performance of longitudinally vibrating earth cutters' *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 19, pp. 371-390.

۹- Vazzin, H 1982, 'Finite element analysis of soil compaction resulting from vibratory tillage', PhD dissertation thesis, Tennessee.

۱۰- Yow J and Smith JL, 1976. 'Sinusoidal vibratory tillage' *Journal of Terramechanics*, vol.13, no. 4, pp. 211-226.

Dynamic Analysis of the Tractor-Oscillatory Subsoiler System Using ADAMS Software

Abstract

For breaking the compacted layers formed by some natural factors or trafficking in agricultural soils, subsoilers are used. Using subsoiler with rigid tines requires a great amount of draft force. In this study an oscillating subsoiler developed by Shahgholi et al. (2006), was simulated using ADAMS software. In this model oscillating amplitude ± 69 , oscillation angle $+27$, forward velocity 3Km/h were considered and frequency was increased from 2 to 9 Hz. The ADAMS model was run, and acceleration of the tractor seat was calculated at X, Y and Z directions and compared to measured field trails. A close agreement was found between measured and simulated results. At all setting the horizontal acceleratin was predominantly higher than lateral or vertical because it was affected more by soil cutting force. Generally acceleration was increased by increasing frequency.

Key words: Vibration, Sub-soiling, Oscillatory Tillage, Simulation.