

مطالعه برخی از پارامترهای خاک‌ورزی ارتعاشی جهت ذخیره انرژی

با مدل‌سازی دینامیکی

مریم بیرانوند¹، غلامحسین شاهقلی^{2*}

تاریخ دریافت: 89/2/29 تاریخ پذیرش: 89/6/21

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

2- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

* مسئول مکاتبه E-mail: gshahgoli@yahoo.com

چکیده

تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که حدود 50 درصد از انرژی مصرف شده در مراحل مختلف تولید محصولات کشاورزی در مرحله خاک‌ورزی صرف می‌شود. یکی از مراحل اولیه خاک‌ورزی شکستن لایه‌های متراکم که به دلیل برخی عوامل طبیعی و یا ماشینی در برخی از خاک‌های کشاورزی ایجاد می‌گردد، می‌باشد. استفاده از زیرشکن معمولی با شاخه‌های صلب جهت سست کردن لایه‌های متراکم زیرین به انرژی زیادی نیاز دارد، بنابراین هدف از این تحقیق پیدا کردن روشی جهت کاهش انرژی لازمه می‌باشد، به طوری که با بهترین کیفیت بتوان سست کردن لایه‌های متراکم را انجام داد. بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از زیرشکن با تیغه‌های ارتعاشی جهت برش خاک (ارتعاش می‌تواند در جهت طولی، عمودی یا ترکیبی از هر دو باشد) نیروی کشش را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد و استفاده از تیغه‌های ارتعاشی اقدامی در جهت افزایش بازدهی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. مهمترین عوامل مؤثر بر عملکرد زیرشکن ارتعاشی دامنه نوسان شاخه، فرکانس، زاویه ارتعاش و سرعت پیشروی تراکتور است. در این تحقیق یک زیرشکن ارتعاشی در نرم‌افزار آدامز 2007 شبیه‌سازی گردید. براساس نتایج حاصله با افزایش فرکانس، مدت زمان درگیری زیرشکن با خاک سفت سست نشده کاهش می‌یابد. توان کششی متناسب با افزایش فرکانس ارتعاش، کاهش یافته، به طوری که در فرکانس 8/8 هرتز توان کششی لازم در مقایسه با حالت ثابت 69 درصد کاهش یافت. حداقل توان مورد نیاز در فرکانس 3/5 هرتز حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، خاک‌ورزی ارتعاشی، زیرشکن‌زنی، شبیه‌سازی

*Investigating Some Oscillatory Tillage Parameters by Dynamic**Modeling for Energy Saving**M Beiranvand¹ and Gh Shahgoli^{2*}**Received : 19 May 2010 Accepted : 12 September 2010**¹Former MSc Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran**²Assistant Prof, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*** Corresponding author : E-mail: gshahgoli@yahoo.com**Abstract*

Past researches have been showed that about 50% of whole needed energy for different stages of agricultural production is used for tillage operations. One of the most important stages of tillage operation is breaking hardpans created naturally or by trafficking. Great amount of energy needed for braking hardpan using traditional sub-soiler. The objective of this research was to find a method to loosen hardpan using less energy with optimum tillage conditions. Most of researches have been shown using oscillatory sub-soiler (oscillation can be in horizontal, vertical directions or combination of both of them) can decrease required draft and increase sub-soiler performance and its efficiency. The most important factors affecting the sub-soiler's performance are: oscillating amplitude, frequency, oscillation angle of tine also tractor forward velocity. In this study an oscillating sub-soiler was simulated using ADAMS software. Increasing frequency reduced the engagement time of tine with uncut soil. Draft was reduced with increasing frequency 69% draft reduction was obtained at 8.85Hz, compared with rigid tillage. The required engine power shows there is an optimum frequency close to 3.5 Hz for minimum power to operated the sub-soiler.

*Keywords: Vibration, Sub-soiling, Oscillatory tillage, Simulation,***مقدمه**

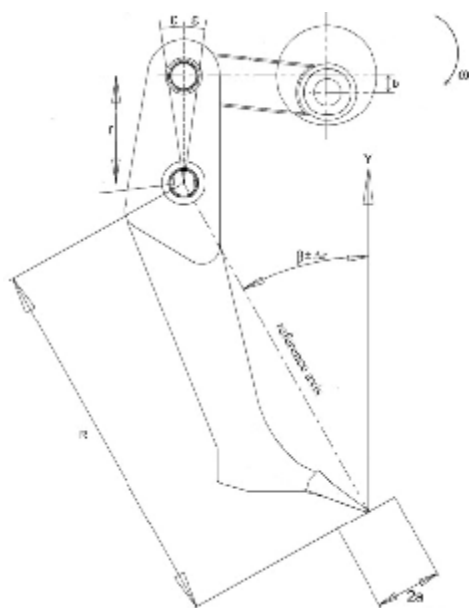
موجب کندی و انسداد نفوذ ریشه به اعماق پایین تر شده و در نتیجه قدرت استحصال آب و مواد غذایی در گیاه کم می شود که این مسئله باعث رشد کم و عدم محصول دهی مناسب گیاه خواهد شد. لذا در صورت اطمینان از وجود این لایه بایستی آن را شکست. برای

به دلیل برخی عوامل طبیعی و یا ماشینی در برخی از خاک های کشاورزی لایه یا لایه های سختی در اعماق متفاوت تشکیل می شود. این لایه ها در برخی موارد علاوه بر جلوگیری از نفوذ آب و هوا در خاک،

مثبت بوده و اگر نوک در پشت مرکز چرخش قرار گیرد این زاویه منفی خواهد بود.

فرکانس ارتعاش: تعداد چرخش محور لنگی یا تعداد رفت و برگشت ساقه زیرشکن در واحد زمان می باشد (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.



شکل 1- ساقه زیرشکن و مسیر انتقال قدرت به آن از محور میل لنگی

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

$$I = \frac{2paf \cos b}{v} \quad [1]$$

که در آن:

a = دامنه (متر)

f = فرکانس (هرتز)

v = سرعت پیشروی تراکتور (متر بر ثانیه)

b = زاویه ارتعاش (درجه)

این منظور از وسایلی موسوم به زیرشکن استفاده می‌شود (گازر 1385).

برای سست کردن خاک در اعماق بیشتر، کاربرد شاخه‌های صلب به نیروی کشش زیادی نیاز دارد، که این کشش از توان مالبندی تراکتور تأمین می‌شود. بسیاری از محققان سال‌ها در جستجوی بهبود فرآیندهای خاک‌ورزی و کاهش انرژی موردنیاز بوده‌اند، زیرا عملیات خاک‌ورزی انرژی بیشتری نسبت به دیگر عملیات‌های کشاورزی مصرف می‌کند (وزین 1982).

در روش خاک‌ورزی ارتعاشی، می‌توان بخشی از توان موجود موتور را مستقیماً در ابزار خاک‌ورز به کار برد. در استفاده از توان موتور برای ارتعاش ابزار خاک‌ورز، حرکت می‌تواند در جهت طولی، عمودی یا ترکیبی از هر دو باشد. تمام مطالعات نشان می‌دهند که ارتعاش در ابزار خاک‌ورز نیروی کشش را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد، اگرچه تفاوت‌هایی در حد و اندازه کاهش کشش وجود دارد.

استفاده از تیغه‌های ارتعاشی برش خاک، بدین منظور اقدامی در جهت افزایش بازدهی و صرفه جویی در مصرف انرژی است. کشش مورد نیاز دستگاه خاک‌ورزی با ارتعاش بخش‌هایی که در خاک کار می‌کنند، به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. مطالعات بیش از پنجاه سال گذشته نشان داده‌اند که ادوات خاک‌ورزی ارتعاشی بر روی کاهش نیروی کششی و بهبود انتقال قدرت موتور برای سست کردن بیشتر خاک بسیار مؤثر می‌باشند.

مهمترین پارامترهای خاک‌ورزی ارتعاشی

در ابزار خاک‌ورزی ارتعاشی دامنه، فرکانس، زاویه ارتعاش و سرعت تراکتور مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد خاک‌ورزی ارتعاشی هستند (شاهقلی 2006). 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

زمانی که تیغه برش در داخل خاک حرکت می‌کند اگر سرعت نسبی کمتر از یک ($I \leq 1$) باشد تیغه با خاک همیشه در تماس است. افزایش سرعت نسبی تا یک به معنی آن است که سرعت نوک تیغه برش در هر سیکل تا صفر افت می‌کند اگرچه هنوز در داخل خاک بریده نشده حرکت میکند. زمانی که سرعت نسبی بزرگتر از یک ($I > 1$) باشد، تیغه برش نسبت به خاک در بخشی از هر سیکل به طرف عقب حرکت می‌کند. بنابراین تیغه برش در سه مرحله حرکت می‌کند، به عبارتی فاز برش خاک، عقب رفتن¹ و جلو رفتن در خاکی که سست شده است.² چنانچه سرعت نسبی افزایش یابد، متوسط نیروی کشش به طور یکنواخت کاهش می‌یابد (تراپ و همکاران 1974).

گان و ترامونتینی (1955) آزمون مزرعه‌ای روی یک تیغه خاک‌ورزی انجام دادند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که با استفاده از ابزار خاک‌ورزی ارتعاشی کشش مورد نیاز کاهش یافته و امکان استفاده از تراکتورهای سبک‌تر برای انجام کارهایی که نیازمند کشش بالا هستند مانند زیرشکنی، فراهم می‌شود. بیشترین مقدار کاهش کشش با مقادیر سرعت نسبی بیشتر از یک به دست آمد. توان کل مورد نیاز با تغییر زیاد مقدار کشش، افزایش اندکی داشت.

شکورنکو (1960) به این نتیجه رسیدند که در دامنه ثابت، اثر نوسان روی افزایش کشش و توان رابطه مستقیم با افزایش فرکانس دارد و نشان دادند که ارتعاش در جهت افقی تقریباً 1/6 مرتبه در کاهش کشش مؤثرتر از ارتعاش در جهت عمودی است. تراپ و همکاران (1974) 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 کشش کاهش می‌یابد. یو و اسمیت (1976) خاک‌ورزی ارتعاشی را از نظر تئوری و آزمایشی بررسی کردند و نشان دادند که چنانچه

سرعت نسبی افزایش یابد کشش نسبی (نیروی کشش) کم‌ترین نوسانی به نیروی کشش ثابت) کاهش می‌یابد و کم‌ترین کشش نسبی در سرعت نسبی بین 1/5 تا 3 به دست آمد. توان نسبی (نسبت توان خاک‌ورزی نوسانی به توان خاک‌ورزی بدون نوسان) به عنوان تابعی از سرعت نسبی افزایش یافت. ساکای و همکاران (1989) 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 عمودی³ (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 75% 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 و دیگر پارامترها زمانی که نقطه اتصال عمودی در محل مناسب قرار دارد، اثر معنی داری ندارند. 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 1/4 شتاب برای نقطه اتصال عمودی در موقعیت نادرست، کاهش می‌یابد. 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 کرنش‌سنج نصب شده روی رینگ هشت وجهی اندازه‌گیری شد.

¹ Backing off² Catching up³ Vertical Hitch Point

او^۲ و اختلاف فاز بین حرکت تیغه‌ها به وجود می‌آیند. برای اینکه درک بهتری از عوامل ایجاد ارتعاشات راننده بوجود آید 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 تیغه های 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 390 (4WD) می‌باشد که این سیستم به منظور و اهداف زیر شبیه‌سازی شد:

- بررسی برخی از پارامترهای دینامیکی مانند جابجایی، سرعت خطی و زاویه‌های، شتاب‌ها
- بررسی علت کاهش توان کششی در خاک‌ورزی ارتعاشی و ارتباط آن با پارامترهای دینامیکی

مواد و روش‌ها

مراحل ایجاد مدل و شبیه‌سازی

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

ساکای و همکاران (1993) عملکرد یک زیرشکن چهارشاخه را 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 بود، بسیار قابل ملاحظه می‌باشد. بنابراین آنها زیرشکن 4 ساقه را با آرایش 4-2-3-1 و اختلاف فاز 90 درجه بین شاخه-ها 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 شدند. اثر زاویه نوسان در محدوده 15- تا 30+ درجه با تغییر موقعیت و جلو و عقب بردن شاخه‌ها بررسی و مشخص شد زمانی که نوک شاخه در مقابل نقطه چرخش شاخه در زاویه نوسان 30+ قرار دارد بیشترین کاهش کشش ملاحظه می‌شود.

شاهقلی و همکاران (2006) عملکرد یک زیرشکن با دوشاخه را بررسی کردند. برای یافتن زاویه نوسان مناسب آزمایشاتی در خاک شنی لومی در 6 زاویه نوسان متفاوت انجام دادند. ارتعاش شاخه‌ها در فرکانس 4/9 هرتز با دامنه ± 69 میلی‌متر و سرعت پیشروی 3 کیلومتر بر ساعت انجام گرفت. نتایج آزمون-ها بر پایه کشش مورد نیاز، ذخیره توان، توان اسمی و سطح سست شده تعیین شدند. بیشترین مقدار کاهش کشش، 50% در زوایای نوسان منفی به دست آمد و توان نسبی کمتر از یک بود. ذخیره توان اثر معنی‌دار با تغییر زاویه نوسان داشت. در کل ارتعاش صندلی راننده در زوایای منفی بیشتر بود. عملکرد در زاویه 22/5- درجه برای کاهش کشش و ذخیره توان مناسب بود در حالی که کم‌ترین ارتعاش در زاویه 16+ درجه به دست آمد.

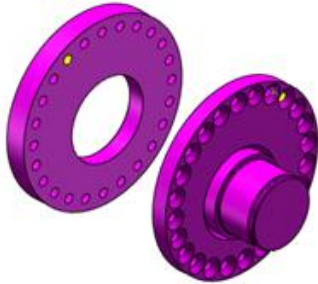
یک جنبه ناخواسته اثر ارتعاش زیرشکن انتقال بخشی از ارتعاشات به تراکتور و اپراتور است. این ارتعاشات در نتیجه حرکت جلو و عقب تیغه‌ها (اینرسی)، نیروهای برشی خاک، گشتاور جانبی پی تی

^۲ Pitch moment

^۳ ADAMS

^۱ Pitch motion

سوراخ‌های این دو صفحه که مقابل هم قرار می‌گیرند دامنه‌های نوسان مختلف به وجود می‌آیند (شکل 3).



شکل 3- 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 که جزئیات آن به شرح زیر است:

مدل تراکتور

- تراکتور

1- فریم تراکتور

2- صندلی راننده که با یک اتصال انتقالی، یک فنر عمودی با سختی 5/5 کیلونیوتن برمتر و یک دمپر با ضریب 1/14 کیلونیوتن ثانیه بر متر به تراکتور متصل شده است.

- چهارچرخ، هر کدام توسط اتصال چرخشی (*Revolute Joint*) به تراکتور متصل شده- اند. اندازه تایرهای عقب 30-18/4 و تایرهای جلو 24-12/4 بوده و از نوع یونیورسال می‌باشند. برای ایجاد سرعت پیشروی 3 کیلومتر بر ساعت یک نیروی رانشی که نقش موتور را در تراکتور ارائه می‌کند توسط فرمول زیر برای نیروی کاربردی ایجاد گردید

$$F = G \times (V - V_s) \quad [2]$$

که در آن:

$$F = \text{نیروی موتوری (نیوتن)}$$

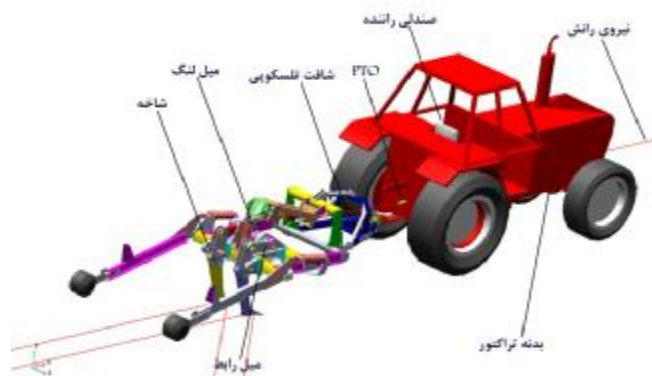
$$V = \text{سرعت پیشروی تراکتور (متر بر ثانیه)}$$

$$V_s = \text{سرعت تایر نسبت به جاده (متر بر ثانیه)}$$

• مرور نتایج شبیه‌سازی توسط پلات‌ها و محرک سازی‌ها

مرور سیستم

شکل 2 سیستم تراکتور-زیرشکن را نشان می‌دهد. نیروی ارتعاشی شاخه‌های زیرشکن از طریق یک شافت تلسکوپی از PTO^1 تراکتور تأمین می‌شود. توان با نسبت ثابتی از طریق یک جعبه دنده و یک چرخ زنجیر به واحد میل بادامک و از طریق میل رابط به دو شاخه زیرشکن 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 180 درجه اختلاف فاز بین دو شاخه وجود دارد، سرعت در نوک شاخه‌ها برابر و مختلف جهت است. زیرشکن توسط دو چرخ عقب برای حمل بخشی از وزن دستگاه پشتیبانی می‌شود.



شکل 2- سیستم تراکتور- زیرشکن

میل بادامک شامل دو صفحه خارج از مرکز است، هر کدام حاوی 24 سوراخ در محیط می‌باشند که مقابل هم قرار می‌گیرند. بسته به موقعیت قرارگیری و شماره

¹ Power Take Off Tractor

$$F_{HC} = K.V_x = K.V + aKw \cdot \cos b \cdot \cos wt$$

هنگام تماس شاخه با خاک بریده نشده و شروع مرحله برش نیروی افقی شاخه به F_{HT} تغییر می‌یابد:

[7]

$$F_{HT} = F_0 + KV_x = F_0 + KV + Kaw \cdot \cos b \cdot \cos wt$$

در زاویه نوسان مثبت در مرحله برگشت در خاک سست شده از معادله 7 استفاده می‌شود. زیرا در این زوایا وسیله در مرحله برگشت خاک را به طور مستقیم می‌برد، ولی شاخه در زاویه نوسان منفی در این مرحله در خاکی که قبلاً سست شده است حرکت می‌کند. معادله 6 برای آزمایشات مرزعه‌ای به کار رفت که با معادله 8 جایگزین شد (یو و اسمیت 1976).

$$F = 6.13 + 2.628V \quad [8]$$

معادله 8 پارامترهای F_0 و K در معادله 4 را مشخص کرد (به ترتیب 6/13 و 2/628).

نتایج و بحث

مدل برای حدود 10 ثانیه در محیط آدامز اجرا شده و داده‌های 2 ثانیه ابتدا حذف و از بقیه داده‌ها استفاده گردید. برای محاسبه هر یک از پارامترها مانند سرعت افقی و عمودی ارتعاشی در مارکرهای ایجاد شده در محل مورد نظر کلیک کرده و داده‌های حاصل از شبیه‌سازی به محیط اکسل انتقال داده شد.

سرعت نوسان افقی فقط در اثر ارتعاش شاخه زیرشکن برای زاویه نوسان مثبت (27 درجه) در نوک شاخه برای فرکانس‌های 1/9 و 8/8 هرتز در شکل 5 نشان داده شده است. سرعت نوسان افقی به صورت کاملاً سینوسی بوده و برای قسمتی از سیکل که شاخه به جلو حرکت کرده مثبت و در برگشت به عقب منفی می‌باشد. سرعت در نقطه وسط ماکزیمم و در هر دو نقطه انتهایی جلو و عقب صفر است. همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است با افزایش فرکانس سرعت افقی نوسان افزایش می‌یابد.

$$F_l = lVwM_l \cos wt \quad [3]$$

که در آن:

F_l = نیروی افزایشی یا کاهشنی مورد نیاز وسیله در حرکت به جلو یا عقب (نیوتن)
 l = نسبت سرعت (بی‌بعد)
 w = سرعت زاویه‌ای (رادیان بر ثانیه)
 M_l = وزن کل شاخه (کیلوگرم)

در تمام مراحل از برش خاک نرم‌افزار به طور اتوماتیک نیروی اینرسی را محاسبه و در نظر می‌گیرد بنابراین نیازی به وارد کردن دستی نمی‌باشد.

نیروهای خاک بر شاخه

در این شبیه‌سازی از معادلات یو و اسمیت (1976) در خاک‌ورزی نوسانی استفاده شد. یو و اسمیت (1976) نشان دادند معادلات زیر برای توصیف نیروها در حین خاک‌ورزی نوسانی به کار می‌روند. کل نیروی کششی در خاک‌ورزی غیر ارتعاشی از معادله 4 به دست می‌آید.

$$F = F_0 + KV \quad [4]$$

که در آن:

F = نیروی لحظه‌ای روی وسیله خاک‌ورز (نیوتن)
 F_0 = عرض از مبدا خط رابطه کشش با سرعت (نیوتن)
 K = ضریب زاویه خط کشش و سرعت
 V = سرعت پیشروی وسیله (متر بر ثانیه)
 سرعت آنی افقی توسط ایگنمولر (1958) تعیین شد:

$$V_x = V + aw \cdot \cos b \cdot \cos wt \quad [5]$$

که در آن:

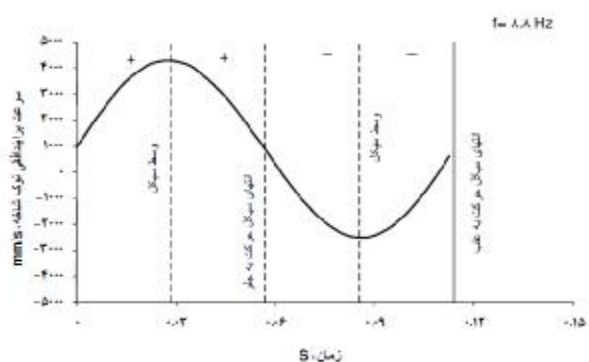
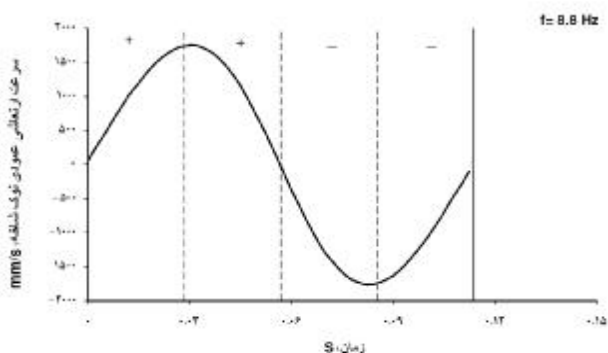
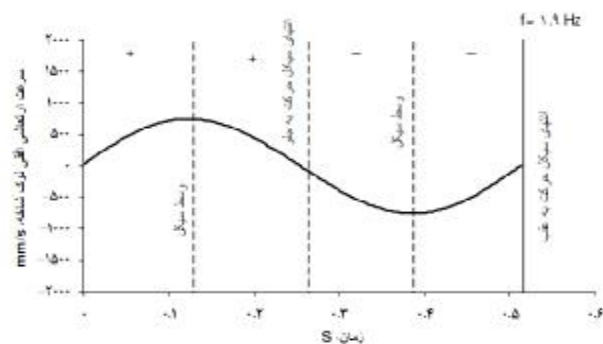
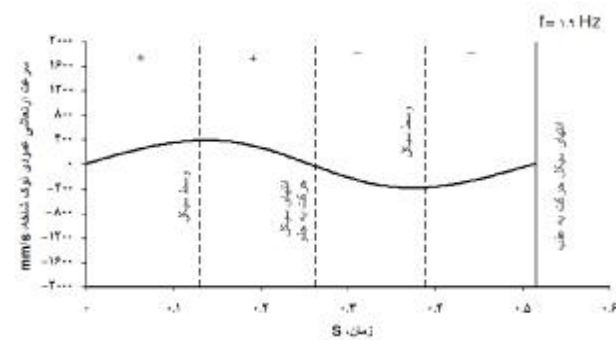
V_x = سرعت افقی برآیند که برآیند سرعت افقی وسیله ارتعاشی و تراکتور می‌باشد (متر بر ثانیه)

a = دامنه ارتعاش، m

b = زاویه ارتعاش، درجه

نیرو در مرحله عقب رفتن در خاک سست شده با استفاده از معادله 6 به دست می‌آید، در این مرحله F_0 ، صفر خواهد شد، زیرا از خاک سست شده می‌گذرد.

[6]



شکل 6- سرعت ارتعاشی عمودی در نوک شاخه در فرکانسهای 1/9 و 8/8 هرتز

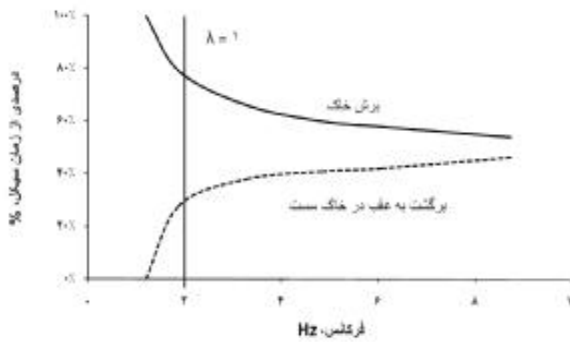
شکل 5- سرعت ارتعاشی افقی در نوک شاخه در فرکانس 1/9 و 8/8 هرتز

تراکتور میباشد که اصطلاحاً سرعت برآیند افقی نامیده شده است.

شکل 7 سرعت برآیند افقی را برای فرکانسهای 1/9 و 8/8 هرتز نشان میدهد. برای فرکانس 1/9 هرتز که سرعت نسبی کوچکتر از 1 بود ($\lambda=0/95$)، سرعت تراکتور بیشتر از سرعت ارتعاشی نوک شاخه زیرشکن بوده، در نتیجه سرعت برآیند افقی همیشه مثبت خواهد بود. این نشان می‌دهد که شاخه همیشه در تماس با خاک محکم بوده و عمل برش را انجام می‌دهد هر چند در هنگام برش سرعت آن متغیر می‌باشد. اما برای فرکانس 8/8 هرتز که سرعت نسبی بزرگتر از 1 بوده ($\lambda=3/9$) و سرعت ارتعاشی شاخه زیرشکن بزرگتر از سرعت حرکت تراکتور میباشد. بنابراین سرعت برآیند

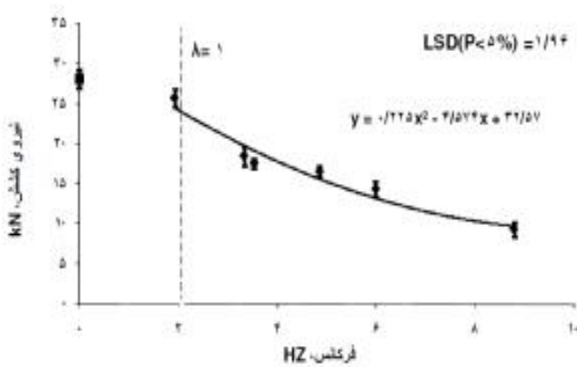
به علت حرکت شاخه روی دایره به هنگام ارتعاش نسبت به مرکز اتکا، تمام نقاط آن علاوه بر سرعت ارتعاشی افقی دارای سرعت ارتعاشی عمودی نیز خواهند بود، که همانند سرعت ارتعاشی افقی کاملاً سینوسی بوده و هنگام حرکت به جلو مثبت و در برگشت به عقب منفی میباشد. شکل 6 نشان می‌دهد که با افزایش فرکانس مقدار سرعت ارتعاشی عمودی افزایش می‌یابد.

سرعت‌های ارتعاشی افقی و عمودی در اثر ارتعاش شاخه بوجود آمده ولی وقتی زیرشکن توسط تراکتور کشیده میشود، سرعت افقی ثابت تراکتور به سرعت افقی شاخه افزوده می‌گردد و سرعت کل افقی شاخه برآیند سرعت ارتعاشی افقی و سرعت پیشروی



شکل 8 - نسبتی از زمان سیکل که تیغه عمل برش و برگشت داشته است

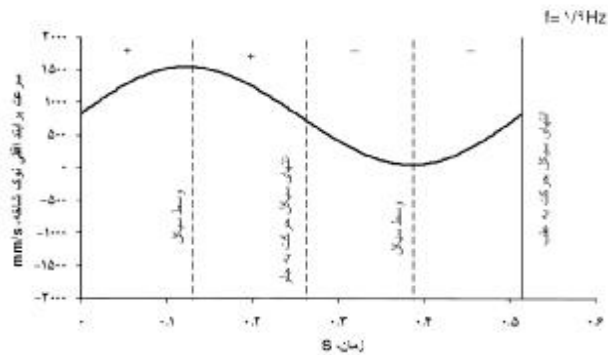
فرکانس نیروی کششی به طور مداوم کاهش می‌یابد (شکل 9) بطوری در فرکانس 8/8 هرتز نیروی کششی لازم نسبت به حالت بدون ارتعاش 69% کاهش می‌یابد.



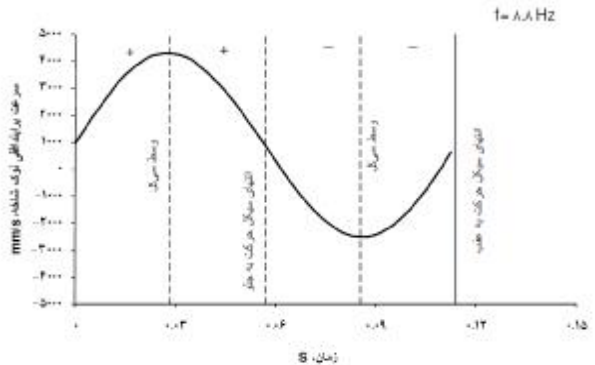
شکل 9- تغییرات نیروی کشش لازم با تغییر فرکانس

همچنان که افزایش فرکانس و متناسب با آن افزایش سرعت نسبی باعث کاهش توان کششی می‌گردد، به نظر می‌رسد بهتر است تا جایی که امکان دارد فرکانس را افزایش داد. ولی بایستی توان لازم جهت ارتعاش که توان *PTO* می‌باشد را در نظر گرفت. نتایج آزمایشات مزرعه‌ای نشان داد که با افزایش فرکانس (سرعت دورانی *PTO*) توان مصرفی *PTO* نیز افزایش می‌یابد (شکل 10).

افقی در حالتی که شاخه به عقب برگشته و سرعت ارتعاشی منفی بوده، منفی خواهد بود. این نشان می‌دهد.

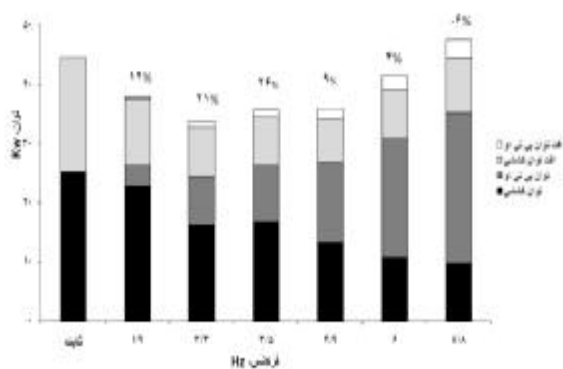


شکل 7- سرعت برآیند افقی که مجموع سرعت ارتعاشی افقی و سرعت تراکتور است

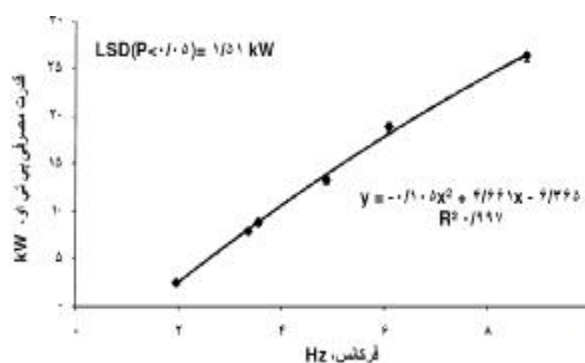


که شاخه از درگیری با خاک سفت آزاد شده و در داخل خاک سست شده به عقب برمی‌گردد. بسته به مقدار فرکانس که سرعت‌های نسبی متفاوتی را بوجود می‌آورد. با افزایش سرعت نسبی مدت زمانی که شاخه به عقب برمی‌گردد و از درگیری آزاد می‌شود افزایش می‌یابد. شکل 8 نشان می‌دهد که با افزایش فرکانس زمان برش کاهش یافته و زمان برگشت به عقب افزایش می‌یابد. برای مثال در فرکانس 8/8 هرتز فقط 54% از زمان سیکل را برش خاک انجام داده و 46% در خاک سست شده قبلی کار کرده است.

همچنان که با افزایش فرکانس مدت زمان کار زیرشکن در خاک سست افزایش می‌یابد، بنابراین انتظار می‌رود با افزایش فرکانس نیروی کششی لازم کاهش یابد. نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داد که با افزایش



شکل 11 توان موتوری لازم در فرکانس‌های مختلف و مقایسه با حالت ثابت



شکل 10 - تغییرات توان *PTO* با افزایش فرکانس

نتایج کلی

- 1- در سرعت نسبی بزرگتر از 1 شاخه زیرشکن نسبتی از سیکل را در خاک سست به عقب برگشته و با افزایش فرکانس و سرعت نسبی این نسبت افزایش می‌یابد.
- 2- متناسب با افزایش فرکانس نیروی کششی لازم کاهش می‌یابد
- 3- متناسب با افزایش فرکانس توان لازم *PTO* افزایش می‌یابد
- 4- بسته به مقدار توان کششی و توان *PTO* در فرکانس‌های مختلف مقدار بهینه ای از توان در فرکانس‌هایی در حدود 2-5 هرتز بدست آمد.
- 5- در کل باید سرعت نسبی را در نظر گرفت چون اگر دامنه، زاویه ارتعاش و سرعت تراکتور متفاوت از این تحقیق باشد نتایج برای این فرکانس‌ها ممکن است متفاوت باشد.

جهت مقایسه توان لازم زیرشکن ارتعاشی با نوع ثابت مجموع توان کشش و توان *PTO* بعلاوه افت‌های مربوطه هر کدام در نظر گرفته شد که اصطلاحاً توان موتوری نامیده می‌شود. بازده کششی بر اساس استاندارد *ASABE* معمولاً 55 تا 78% است. در اینجا 68% در نظر گرفته شد و همچنین بازده خط انتقال توان از طریق *PTO* حدود 88% فرض گردید. برای محاسبه کل توان مورد نیاز زیرشکن تلفات کشش و توان *PTO* لحاظ گردید. شکل 11 توان موتوری را برای حالت‌های مختلف نشان داده و عدد بالای هر ستون آن را با حالت ثابت مقایسه می‌کند. اعداد مثبت نشان می‌دهد که خاک‌ورزی ارتعاشی در فرکانس موردنظر مقدار انرژی را در مقایسه با خاک‌ورزی ثابت ذخیره کرده است. عدد منفی نشانگر انرژی مصرفی اضافی در مقایسه با خاک‌ورزی ثابت است. برای مثال خاک‌ورزی ارتعاشی در فرکانس $3/5 \text{ Hz}$ است که حداقل توان را نیاز داشته و 26% انرژی را ذخیره نموده است.

منابع مورد استفاده

گازر حر و لغوی م، 1385. زیرشکنی زمین‌های کشاورزی (ضرورت یا اجتناب). خلاصه مقالات سومین کنفرانس دانشجویی ماشین‌های کشاورزی، شیراز.

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

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

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.

Shahgoli G, Saunders C, Desbiolles J and 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.

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.

Sulatsky MT and Ukrainetz PR, 1972. Draft reduction by vibratory soil cutting Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineers, vol. 1, no. 4, pp. 175-181.

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.

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

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