تأثیر فرکانس ارتعاش، زاویهٔ تمایل تیغه و عمق کار زیرشکن ارتعاشی بر مقاومت کششی در خاکهایی با بافت لای لومی و لای رسی لومی

هوشنگ بهرامی [1] و مرتضی الماسی [2]

تردد ماشین‌ها در دراز مدت بر روی خاکهای زراعی و در شرایط مستعد از نظر نوع بافت و مقدار رطوبت، سبب تشکیل سخت لایه در عمق خاک می‌شود. برای شکستن این لایهٔ سخت از زیرشکن استفاده می‌شود که نیاز به نیروی کششی زیادی دارد. در این رابطه طی آزمایش‌هایی بر روی خاک‌هایی که بافت آنها بین لای لومی و لای رسی لومی بوده براساس طرح آماری آزمایشهای فاکتوریل بر مبنای سه عامل مؤثر عمق‌کار ، فرکانس‌ارتعاش و زاویهٔ تمایل تیغه مقدار نیروی کششی مورد نیاز برای زیر شکن در هر حالت اندازه‌گیری شد. عوامل مؤثر در آزمایش‌های انجام شده عبارت بودند از : زاویهٔ تمایل تیغه (بمیزان ۹ و ۱۳ درجه)، فرکانس نوسان حرکت ارتعاشی (بمیزان صفر، ۳/۷۷ ، ۴/۸۵ و ۵/۸۲ هرتز) و عمق کار زیرشکن (بمیزان ۴۰۰ ، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌متر). سایر عوامل از جمله سرعت پیشروی تراکتور، دامنهٔ نوسان حرکت ارتعاشی، رطوبت خاک، شرایط زمین و ... ثابت در نظر گرفته شده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان داده‌اند که عوامل مورد نظر هر یک به تنهایی و همچنین در ترکیب با یکدیگر میزان مقاومت کششی یا نیروی کششی لازم را برای زیرشکن بطور معنی‌داری تغییر داده‌اند. در این آزمایش‌ها مشخص گردید که افزایش زاویهٔ تمایل از ۹ به ۱۳ درجه و همچنین افزایش عمق کار از ۴۰۰ میلی‌متر به ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌متر موجب افزایش نیروی کششی موردنیاز می‌گردند. و در هر حال ارتعاش تیغه می‌تواند بطور معنی‌داری سبب کاهش نیروی کششی مورد نیاز شود.

واژه‌های کلیدی : مقاومت کششی ، زیرشکن ارتعاشی ، زاویهٔ تمایل تیغه، فرکانس ارتعاش ، عمق زیرشکنی.

۱- عضو هیأت علمی گروه ماشین‌های کشاورزی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهیدچمران اهواز و دانشجوی دورهٔ دکترای دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهیدچمران اهواز

تاریخ دریافت : ۷۶/۱۰/۶ تاریخ پذیرش : ۷۷/۲/۱۴

مقدمه:

توسعهٔ مکانیزاسیون با استفادهٔ بیشتر از ماشین و لزوم سرعت کار و بهره‌گیری از توان بیشتر در پیشبرد کارهای کشاورزی ، سبب بکارگیری تراکتورها و ماشین‌های بزرگتر و سنگین‌تری شده است. اعمال نیروهای عمودی مستمر و مداوم روی خاک که ناشی از تردد زیاد ماشین‌ها است ، از مهمترین عوامل در تشکیل لایهٔ مقاوم و سخت زیرین در پاره‌ای از زمین‌های زراعی است . چامن [1] و کاوالی [2] در مطالعات خود به تأثیر معنی‌دار تردد ماشین در افزایش میزان فشردگی [3] خاک پی برده‌اند (۸).

برای آنکه میزان فشردگی کم شود، باید فشار تماس چرخ با زمین زیر ۲۰۰ کیلوپاسکال و ترجیحاً زیر ۱۰۰ کیلوپاسکال باشد (۱۵). صرف‌نظر از متوسط فشار تماس، وسیلهٔ نقلیه‌ای که با سیستم چرخ‌های متداول (بادی)، وزنی بیش از ۱۲۰ کیلو نیوتن را تحمل می‌کند، احتمالاً فشردگی کافی را در پایین عمق شخم معمول سبب می‌شود (۱۵).

سوآن [4] و همکاران در ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱ بیان داشتند که شخم سطحی روی زمینی که یک بار شخم خورده، یک لایهٔ فشرده را در زیر شیار عمیق شخم ایجاد می کند(۱۵). این لایهٔ فشرده که در کف شیار شخم ایجاد می‌شود به لایهٔ شخم [5] معروف است. ادامهٔ تردد ماشین‌ها و شرایط نامساعد خاک از نظر بالا بودن درصد رس و رطوبت خاک می‌توانند بتدریج فشردگی خاک را در زیر لایهٔ زراعی افزایش داده و سبب تشکیل لایهٔ مقاومی به نام سخت لایه [6] گردد.

عمده‌ترین مضرات سخت لایه، محدودکردن رشد ریشهٔ گیاهان دارای ریشهٔ عمیق و عدم نفوذ آب و هوا در خاک زیرین است. از آنجا که زهکش‌های بکار رفته در زمین معمولاً نسبتاً عمیق هستند، لذا عمل زهکشی نیز بخوبی انجام نخواهد شد.

برای جلوگیری از فشردگی خاک، مدیریت خاک‌ورزی با کم‌کردن تردد ماشین‌ها بویژه

1-Chamen
2- Cavalli
3- Compaction
4- Soane
5- Plow Pan
6-Hard Pan

ماشین‌های سنگین در طول عملیات زراعی موجب بهبود شرایط نامساعد خاک می‌شود. بدین منظور متخصصان امور زراعی سعی کرده‌اند که با ارائه روش‌های نوین زراعی از جمله بی‌خاک‌ورزی [۱] و کم‌خاک‌ورزی [۲] بدین مهم دست یابند.

عوامل دیگری مثل نوع خاک از نظر میزان رس و رطوبت خاک هر کدام به تنهایی و یا در مجموع تأثیر مستقیم یا غیرمستقیمی در ایجاد لایهٔ فشرده دارند. بنابراین در چنین خاک‌هایی، باید سعی شود که بازهکشی مناسب، میزان رطوبت خاک همواره درحد بهینه [۳] نگه داشته شود.

موارد ذکرشده صرفاً روش‌هایی در جلوگیری از ایجاد سخت لایه هستند، ولی برای برطرف کردن این مسأله چاره‌ای جز شکستن این لایه وجود ندارد. ریدر [۴] و همکاران با مطالعات خود به این نتیجه رسیده‌اند که شخم سطحی نمی‌تواند لایهٔ مقاوم تشکیل شده درزیر خاک زراعی را از بین ببرد(۱۳).

کاربرد زیرشکن در شکستن سخت لایه از جمله کارهای مؤثر در این زمینه است (۴و۹). ریدر و همکاران با مطالعه روی عملکرد پنج نوع زیرشکن، طی گزارشی در سال ۱۹۹۳ تأثیر مثبت کاربرد زیرشکن را در افزایش محصول سویا بیان کرده‌اند (۱۳). در همین گزارش، نتایج کار محققان دیگری از جمله کویسترا [۵]، بوئرسما [۶]، شونینگ [۷] و راسموس [۸] نیز در مورد تأثیر مثبت زیرشکن در شکستن لایهٔ فشرده و بهبود خواص فیزیکی ذکر شده است.

نیروی کششی موردنیاز

کاربرد زیرشکن اگرچه در شکستن سخت لایه مفید است ولی در بیشتر موارد بدلیل عمق زیاد کار آن به نیروی کششی خیلی زیادی احتیاج دارد که در توان هر تراکتوری نیست. نیروی

1- No tillage
2-Minimum tillage
3-Optimum
4-Reeder
5-Kooistra
6-Boersma
7-Schonning
8- Rasmusse

کششی لازم برای زیرشکن‌ها در خاک‌های لومی‌شنی[1] و لومی‌رسی[2] بترتیب برابر ۱۲۰ تا ۱۹۰ و ۱۹۰ تا ۳۸۰ نیوتن به ازای هر سانتی‌متر عمق کار تخمین زده می‌شود(۶). بنابراین برای یک زیرشکن تک‌ساق (شاخه)[3] که در عمق حدود ۸۰سانتی‌متر کار کند، بطور متوسط درحدود ۱۵ تا ۲۰ کیلونیوتن نیروی کششی موردنیاز است.

بدلیل عوامل متعدد، فقط بخشی از توان موتور هر تراکتور صرف نیروی کششی می‌شود که در صورت نیاز به نیروی کششی بیشتر، باید از تراکتورهای با قدرت بیشتری استفاده کرد که خود مستلزم تحمل هزینهٔ زیادتر است و همچنین سنگین‌شدن تراکتور سبب فشردگی بیشتر خاک می‌شود.

نیروی کششی[4] مورد نیاز ، مقدار نیروی کششی لازم برای خنثی‌کردن مقاومت برشی خاک است و بهمین دلیل گاهی به آن مقاومت کششی هم می‌گویند. این نیرو در واقع عبارت از مؤلفهٔ افقی نیروی کششی اعمال شده از طرف تراکتور بر زیرشکن یا هر وسیلهٔ دیگر متصل به آن می‌باشد(۶).

عوامل مؤثر بر مقاومت کششی

تودهٔ ذرات خاک مانند اجسام دیگر، تحت تأثیر نیروهای خارجی در معرض فشار، کشش و برش قرار می‌گیرد. مقاومت خاک بیشتر در برابر نیروهای فشاری است. نیروهای اعمال شده از جانب وسیلهٔ خاک‌ورز به طور عمده برای مقابله با مقاومت برشی خاک بکار می‌روند. در سال ۱۷۷۶ کولمب[5] دانشمند فرانسوی رابطه‌ای خطی برای تنش برشی خاک بصورت زیر عنوان کرد(۱):

$$\tau = c + \mu\sigma \qquad (۱)$$

1-Sandy Loam

2-Clay Loam

3-Shank

4-Draft

5- Coulomb

در این رابطه:

τ = تنش برشی (N/m^2)

σ = تنش عمودی روی صفحه‌ای که تنش برشی در آن واقع شده (N/m^2)

c = ضریب هم‌چسبی یا چسبندگی ظاهری [1] (N/m^2)

μ = ضریب اصطکاک ظاهری [2] $(\mu = \tan \phi)$

ϕ = زاویهٔ اصطکاک داخلی [3] (درجه)

خاک‌های چسبنده که دارای درصد رس بالایی هستند، ضریب هم‌چسبی (c) در آنها زیاد است، بنابراین مقاومت برشی زیادی دارند. در حالی که خاکهای شنی ضریب هم‌چسبی خیلی کم ولی ضریب اصطکاک ظاهری بالایی دارند. بکر [4] در سال ۱۹۵۶ با استفاده از رابطهٔ کولمب، رابطه‌ای بصورت زیر ارائه داد(۲ و ۷):

$$F = Ac + W \tan \phi \qquad (۲):$$

در این رابطه علاوه بر اجزاء ذکرشده در رابطهٔ ۱ ، سایر اجزاء عبارتند از:

F = حداکثر نیروی مقاومتی خاک وارد بر چرخ‌های تراکتور (N)

A = سطح تماس یا سطح برش (m^2)

W = بار دینامیکی [5] عمودی وارد بر سطح برش (N)

از این رابطه می‌توان برای تخمین حداکثر کشش [6] قابل حصول توسط چرخ‌های تراکتور استفاده کرد. با توجه به روابط ۱و۲ ملاحظه می‌شود که دو عامل عمده در افزایش مقاومت برشی خاک، چسبندگی ذرات خاک در خاکهای رسی و اصطکاک داخلی در خاکهای شنی است. برای افزایش بازدهٔکششی تراکتور، چنانچه بتوان ضریب اصطکاک ظاهری و همچنین میزان چسبندگی ذرات خاک، بویژه چسبندگی در خاک‌های رسی را کم کرد و یا بعبارتی از شدت تأثیر

1-Apparent Cohesion
2-Apparent Friction
3-Angle of Internal Friction
4-Bekker
5-Dynamic Load
6-Traction

این دو عامل روی تیغهٔ خاک‌ورز کاست، پیشروی ابزار خاک‌ورز در خاک تسهیل خواهد شد که خود می‌تواند موجب کاهش نیروی کششی گردد.

در سالهای اخیر استفاده از وسایل خاک‌ورز ارتعاشی از جمله زیرشکن‌های ارتعاشی رواج یافته‌است. اینگونه وسایل با ایجاد بارهای ضربه‌ای مستمر باعث می‌شوند که گسستگی و شکست خاک بهتر انجام گیرد. حرکت رو به بالای صفحهٔ مرتعش شونده موجب جداشدن بهتر لایه‌های خاک بریده‌شده از روی سطح تیغه و کم‌کردن اصطکاک روی سطح تماس تیغه می‌گردد(۳و۶).

در ابزار خاک‌ورز ارتعاشی، علاوه بر توان کششی تراکتور از توان چرخشی محور توان‌دهی (p.t.o)[1] نیز بهره گرفته می‌شود(۶). حرکت محور توان‌دهی می‌تواند توسط مکانیزمی، تیغه و یا صفحهٔ روی تیغه را با یک حرکت نوسانی به ارتعاش درآورد. این کار در بیشتر موارد موجب کاهش نیروی کششی موردنیاز شده و درنتیجه امکان بکارگیری تراکتورهای سبک‌تر را در کشیدن زیرشکن در خاک فراهم می‌سازد.

نیاماپا[2] در مطالعات خود پی برد که مقاومت کششی برای ابزار ارتعاشی در مقایسه با ابزار غیرارتعاشی بمیزان ۴۱ تا ۴۵درصد کمتر است (۱۲). در آزمایش دیگری نیز ۳۳درصد کاهش نیروی کششی در حالت زیرشکنی ارتعاشی نسبت به حالت زیرشکنی معمولی گزارش شده‌است(۵).

در بررسیهای انجام‌شده، مشخص شد که عوامل زیادی بر مقاومت کششی تأثیر دارند. از جمله لغزش چرخ‌های محرّک تراکتور(۲)، شرایط رطوبتی و بافت خاک، سرعت پیشروی تراکتور، عمق کار زیرشکن، زاویهٔ تمایل تیغه[3]، فرکانس[4] یا تواتر و همچنین میدان یا دامنهٔ نوسان[5] حرکت ارتعاشی می‌توان ذکر کرد (۳ و ۱۴). براساس اهداف این تحقیق تأثیر زاویهٔ

1-Power Take Off
2-Niyamapa
3-Rake Angle
4-Frequency
5-Amplitude

تمایل تیغه و فرکانس ارتعاشی، در کنار عمق کار زیرشکن مطالعه گردیده‌اند.

بررسی‌های ولف[1] و همکاران در مورد انرژی مکانیکی خاک‌ورزی در سه عمق بکاررفته نشان داد که در افزایش انرژی مکانیکی و نیروی کششی، تأثیر عمق کار معنی‌دار بوده است. نتایج این بررسی‌ها در منبع ۵ آورده شده‌است.

زاویهٔ تمایل یا زاویه‌ای که سطح رویی تیغهٔ خاک‌ورز با افق می‌سازد و گاهی به آن زاویهٔ بالابری[2] و یا زاویهٔ حمله نیز می‌گویند، از جمله عواملی است که در میزان نیروی کششی مورد نیاز تأثیر دارد(۳). مطالعات انجام شده توسط گادوین[3] و اسپور[4] که در منابع ۵ و ۱۱ آمده است، نشان داد که کاهش زاویهٔ تمایل، مقاومت کششی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

تنر[5] نیز پی برد که در زاویهٔ تمایل بیش از ۶۰تا۷۵ درجه، نیروی عمودی خاک به سمت بالا جهت می‌گیرد. در این شرایط مخروط ثابتی از خاک متراکم در نوک تیغه باقی می‌ماند که اندازهٔ آن با افزایش زاویهٔ تمایل بیشتر می‌شود(نقل از منبع ۶).

گیل[6] و واندنبرگ[7] بیان داشته‌اند که سوهن[8] نیز در مطالعات خود پی برد که افزایش زاویهٔ تمایل از ۱۰ تا ۴۰ درجه، مقاومت خاک با در واقع نیروی مقاومت کششی وسیلهٔ خاک‌ورز را افزایش می‌دهد(۱۰). در ابزار خاک‌ورز ارتعاشی نیز همانند ابزار غیر ارتعاشی، افزایش زاویهٔ تمایل موجب افزایش مقاومت کششی می‌شود.

نیاماپا در مطالعات خود بطورکلّی نتیجه گرفت که افزایش نوسان موجب کاهش نیروی مقاومت کششی و افزایش دامنهٔ نوسان، سبب افزایش آن می‌شود(۱۲).

با توجه به موارد ذکرشده، اهداف این تحقیق برمبنای سه عامل مهّم و مؤثر بر نیروی

1-Wolf
2-Lift Angle
3-Godwin
4-Spore
5-Tanner
6- Gill
7-Vanden Berg
8-Soehne

کششی لازم برای حرکت زیرشکن بنا گردیده‌اند. سعی شده که سایر عوامل تا حد امکان در تمام آزمایشها یکسان باشند. عوامل یا متغیرهای مهم بکاررفته در این مطالعه عبارتند از: زاویهٔ تمایل تیغه، عمق کار زیرشکن و فرکانس نوسان در زیرشکن ارتعاشی.

ابزار و روش آزمایش

در آزمایش‌های انجام شده از یک دستگاه زیرشکن ارتعاشی تک‌ساق استفاده گردید. زیرشکن مذکور از نوع سوارشونده با عمق کار حدود ۹۰۰ میلی‌متر بوده است. یک صفحهٔ ارتعاشی به پهنای ۱۴۵ میلی‌متر و طول حدود ۳۵۰ میلی‌متر روی تیغه قرار داشت که حرکتی نوسانی در جهت قائم را ایجاد می‌کرد.

حرکت نوسانی صفحهٔ ارتعاشی از طریق یک دستگاه جعبه دنده روی زیرشکن که مجهز به یک لنگ جهت ایجاد حرکت نوسانی بود، توسط محور توان‌دهی تراکتور تأمین می‌گردید. زاویهٔ تمایل تیغه یا صفحهٔ ارتعاشی در دو حالت قابل تغییر بود و دامنهٔ نوسان همواره ثابت و برابر ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

با توجه به ابعاد و اندازه‌های قطعات و ارتباط انتقال حرکتی اجزاء زیرشکن رابطهٔ زیر برای محاسبهٔ فرکانس بکار رفته‌است:

$$f = \frac{0.647\ n}{60} = 0.01078\ n \qquad (۳)$$

در این رابطه:

f = فرکانس حرکت‌نوسانی صفحهٔارتعاشی برحسب سیکل در ثانیه[1]

n = گردش محور توان‌دهی تراکتور برحسب دور در دقیقه[2]

برای کنترل و دقت عمل بیشتر در تعیین فرکانس مورد نظر از یک دستگاه فرکانس‌سنج برقی یا استروبوسکوپ[3] (نوع **Movistrob** مدل **2000N**) استفاده شد. این دستگاه که با

1-Hertz(Hz)

2-Revolution per minute

3-Stroboscope

برق جریان متناوب کار می‌کرد، دارای یک چراغ چشمک‌زن و یک صفحهٔ مدرج برای تغییر دادن فرکانس روشن و خاموش شدن چراغ چشمک‌زن بود. هنگامی‌که فرکانس چراغ چشمک‌زن با فرکانس حرکتی قطعهٔ متحرک و یا محور دوار مورد آزمایش برابر می‌گردید قطعهٔ متحرک بنظر ثابت می‌آمد، در این حالت فرکانس خوانده شده روی صفحهٔ مدرج برابر فرکانس حرکتی قطعه متحرک در نظر گرفته می‌شد.

برای اندازه‌گیری نیروی‌کششی در هر آزمایش از یک دستگاه کشش‌سنج هیدرولیکی [1] و همچنین یک دستگاه کشش‌سنج الکترونیکی [2] استفاده گردید. برای این منظور کشش‌سنج را بین یک تراکتور کشنده و یک تراکتور یدک قرار داده و نیروی کششی لازم تعیین می‌شد. این عمل در دو حالت صورت می‌گرفت، یک‌بار زمانی که دستگاه زیرشکن ارتعاشی متصل به تراکتور یدک در حال کار بود و بار دیگر وقتی‌که دستگاه زیرشکن خارج از خاک قرار داشت. از تفاضل دو عدد اندازه‌گیری شده، مقدار نیروی کششی مورد نیاز برای حرکت زیرشکن در وضعیت کاری بدست آمده است. در این آزمایش‌ها از یک دستگاه تراکتور جاندیر مدل ۴۵۶۰ شش سیلندر با توان موتور حدود ۲۰۰ قوهٔ اسب بعنوان تراکتور یدک و از یک دستگاه لودر مدل ۹۳۰ کاترپیلار بعنوان تراکتور کشنده استفاده گردید. از توان تراکتور یدک فقط برای ایجاد ارتعاش صفحهٔ ارتعاشی زیرشکن استفاده شد. در فرکانس‌های پایین ارتعاش که دور محور توان‌دهی تراکتور یدک با کم‌کردن دور موتور کاهش می‌یافت، نیروی کششی لازم از طرف تراکتور کشنده اعمال می‌گردید، بنابراین تأثیری در عملکرد دستگاه و نتایج حاصل ایجاد نمی‌شد.

آزمایش‌های عملی در مزارع متعلق به دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی [3] براساس آزمایش‌های فاکتوریل [4] انجام یافت که متغیرها [5] و سطوح [6] مورد نظر هرکدام بشرح جدول ۱ می‌باشد. با ترکیب عوامل یا متغیرهای مندرج در این جدول در سطوح مختلف و با داشتن سه تکرار در هر آزمایش، تعداد کُلّ آزمایش‌ها برابر ۷۲ مورد اندازه‌گیری بوده‌است.

1-Hydraulic Dynamometer
2-Load cell
3-Randomized compelet block design
4-Factorial Experiments
5-Factors
6-Levels

برای آنکه آزمایش‌ها در شرایط یکسانی انجام بگیرند، تلاش شد که سایر عوامل مانند شرایط زمین و ... تا حد امکان یکسان باشند. سرعت پیشروی زیرشکن به هنگام آزمایش‌ها تقریباً ثابت و برابر ۴ کیلومتر در ساعت بوده است. شرایط زمین مورد آزمایش از نظر پوشش گیاهی، تسطیح و بافت خاک نسبتاً یکنواخت بوده‌است. بافت خاک با نمونه‌برداری‌هایی که از اعماق مختلف و در شش نقطهٔ زمین انجام گرفت، از نوع لای لومی[1] و لای رسی لومی[2] تشخیص داده شد. رطوبت نسبی خاک در زمان آزمایش‌ها در حدود ۱۵ تا ۱۸ درصد وزن خاک خشک تعیین شده‌است. ابعاد قطعات[3] آزمایشی درحدود ۲۰۰ متر طول و ۵۰ متر عرض بوده‌است.

از نظر فشردگی، زمین مذکور بیش از ۱۵ سال بطور مرتب کشت شده و تردد ماشین‌ها روی آن زیاد بوده‌است. در این مدت نیز هیچگونه عمل زیرشکنی در آن صورت نگرفته است. با وجود این برای آگاهی از وضعیت زمین، با اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک و میزان

جدول ۱- متغیرهای مورد آزمایش و سطوح هر کدام

نام متغیر	کدسطوح تغییرات	مقدار کمیت سطوح
زاویهٔ‌تمایل	A_1	۹ درجه
	A_2	۱۳ درجه
فرکانس‌ارتعاش	F_1	۰ (بدون ارتعاش)
	F_2	۳/۷۷ هرتز
	F_3	۴/۸۵ هرتز
	F_4	۵/۸۲ هرتز
عمق کار	D_1	۴۰۰ میلی‌متر
	D_2	۶۰۰ میلی‌متر
	D_3	۸۰۰ میلی‌متر

1-Silty Loam

2-Silty Clay Loam

3-Plots

جدول ۲ : تجزیهٔ واریانس نتایج اندازه‌گیری مقاومت‌کششی زیرشکن

منابع تغییر	درجهٔ‌آزادی	مجموع‌مربعات	میانگین‌مربعات	کمیت F
بلوک(تکرار)	۲	۵۲/۹۵۲	۲۶/۴۷۶	-
زاویه	۱	۱۲۲۰/۰۰	۱۲۲۰/۰۰	*۵۹۶/۰۷
فرکانس	۳	۶۰۴/۳۳	۲۰۱/۴۴	*۹۸/۴۲
زاویه×فرکانس	۳	۷۶/۲۱۸	۲۵/۴۰۶	*۱۲/۴۱
عمق	۲	۴۱۵۲/۱۰۰	۲۰۷۶/۱۰۰	*۱۰۴۱/۳۵
زاویه×عمق	۲	۳۴۳/۱۰	۱۷۱/۵۵	*۸۳/۸۲
فرکانس×عمق	۶	۲۳۶/۰۴	۳۹/۳۴۰	*۱۹/۲۲
زاویه×فرکانس×عمق	۶	۴۰۴/۳۱	۶۷/۳۸۴	*۳۲/۹۲
باقیمانده(خطا)	۴۶	۹۴/۱۴۸	۲/۰۴۶۷	-

* - در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار است.

مقاومت به نفوذ خاک توسط فروسنج[1] در اعماق مختلف آزمایش یکنواختی بعمل آمد.

آمار بدست آمده از ۷۲ آزمایش انجام شده ، مقادیر نیروی کششی لازم برای زیرشکن ارتعاشی و غیرارتعاشی را در شرایط مختلف بیان می‌کند . کار تجزیه واریانس[2] آمار مذکور به کمک یک نرم‌افزار[3] انجام گردید که در جدول ۲ درج شده‌است .

نتایج و بحث :

با استفاده از آمار بدست آمده، میانگین نیروی کششی موردنیاز برحسب کیلونیوتن (kN) برای هر یک از متغیرها و در سطوح مختلف مربوط در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

1-Penetrometer

2-Analysis of Variance

3- Msustat

جدول ۳ : میانگین‌های نیروی کششی مورد نیاز در شرایط مختلف

نام‌متغیر	کدسطح	تعدادانداز‌ه‌گیری	میانگین‌نیروی‌کششی (KN)	مقایسهٔ‌میانگین‌ها
زاویهٔ‌تمایل	۱	۳۶	۱۳/۱۵۳	A
*(A)	۲	۳۶	۲۱/۳۸۵	B
فرکانس‌ارتعاشی	۱	۱۸	۲۲/۲۳۶	A
*(F)	۲	۱۸	۱۶/۲۳۸	B
	۳	۱۸	۱۵/۵۱۷	BC
	۴	۱۸	۱۵/۰۸۵	C
	۱	۲۴	۹/۰۴۳	A
عمق‌کار	۲	۲۴	۱۵/۴۰۲	B
*(D)	۳	۲۴	۲۷/۳۶۲	C
میانگین‌کل:	۷۲		۱۷/۲۶۹	

*(A)=Angle,(F)=Frequency,(D)=Depth

با توجه به جدول ۲ مربوط به تجزیهٔ واریانس آمار بدست آمده، ملاحظه می‌شود که در همهٔ ترکیبات تیماری، کمیت F در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است و این مطلب نشان می‌دهد که متغیرها، تأثیر معنی‌داری بر نیروی کششی مورد نیاز دارند.

مقایسهٔ میانگین‌ها که براساس حداقل تفاوت معنی‌دار[1] در سطح احتمال ۵٪ محاسبه شده، در ستون آخر جدول ۳ درج گردیده‌اند. در این ستون در مقابل سطوح مربوط به هر متغیر، با توجه به مقایسهٔ انجام‌شده، تفاوت‌ها با حروف الفبایی انگلیسی مشخص شده‌اند. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ در میانگین سطح موردنظر است. در حالی که حروف یکسان و یا حروف مشابه در مقابل سطوح، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار با احتمال ۵٪ بین آن سطوح است.

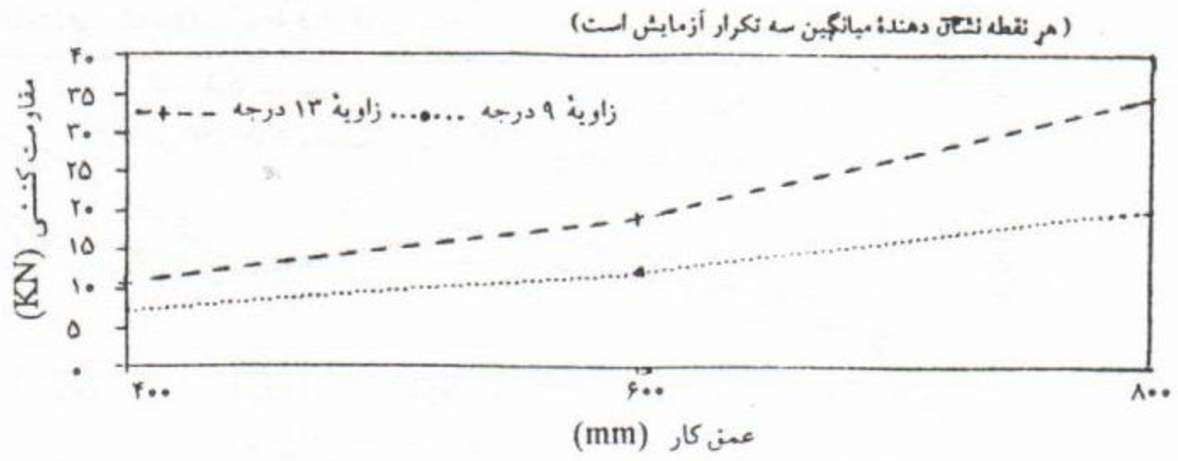
1-Least Significant Difference (LSD)

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش زاویهٔ تمایل و عمق کار بطور معنی‌داری موجب افزایش نیروی کششی شده‌اند. درحالی‌که افزایش فرکانس ارتعاشی بتدریج موجب کم‌شدن نیروی کششی شده است. همینطور زیرشکنی بدون ارتعاش یعنی با فرکانس صفر(سطح ۱ فرکانس) نسبت به حالت‌های ارتعاشی (سطوح فرکانس ۲،۳و۴) نیروی کششی خیلی زیادتری را می‌طلبد.

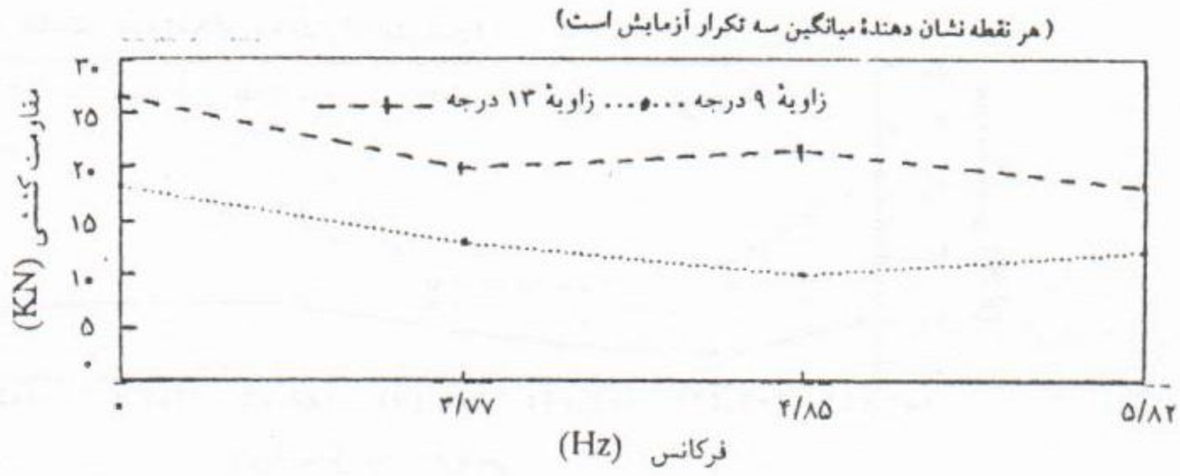
نمودارهای مندرج در شکل‌های ۱ تا ۶ تغییرات نیروی کششی مورد نیاز را تحت شرایط متغیرهای مورد نظر نشان می‌دهند. با توجه به این نمودارها و مقایسهٔ میانگین‌ها که بر مبنای حداقل تفاوت معنی‌دار برای هر یک از ترکیبات تیماری متغیرها انجام شده‌اند، نتایج بشرح زیر بیان می‌شوند:

۱- افزایش عمق کار چه بصورت مستقل و چه بصورت ترکیب با سایر متغیرها بطور معنی‌داری موجب بالا رفتن مقدار نیروی کششی مورد نیاز شده است. عواملی چون افزایش سطوح گسستگی خاک و افزایش حجم تودهٔ خاک روی سطح تیغه و همچنین بالا بودن چگالی تودهٔ خاک در اعماق پایین‌تر، موجب خواهد شد که برای حرکت تیغهٔ زیرشکن در خاک و غلبه بر نیروهای وارده از طرف خاک، نیروی‌کششی زیادتری را طلب می‌نماید.(شکل‌های ۱و۳و۵).

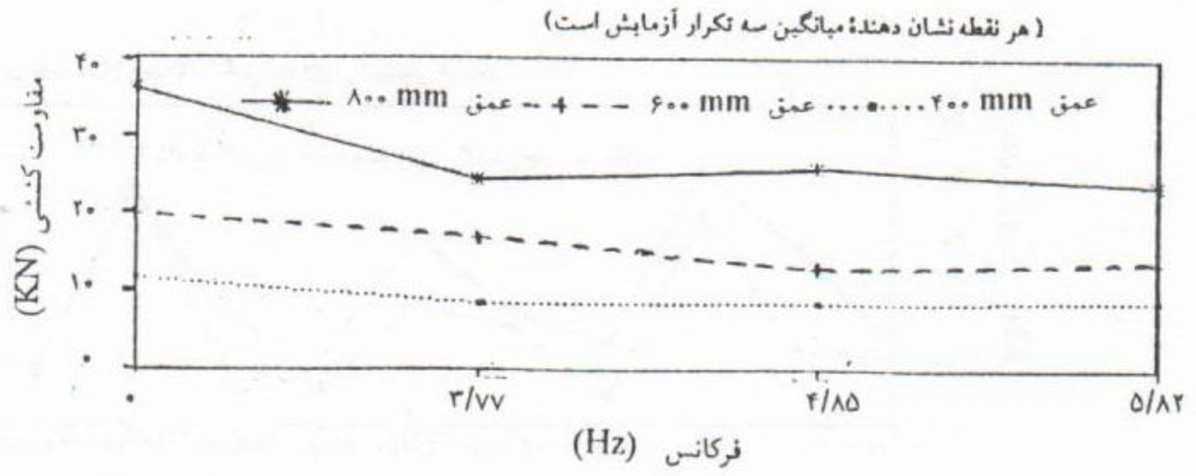
۲- افزایش زاویهٔ تمایل تیغه از ۹ درجه به ۱۳ درجه در همهٔ شرایط تأثیر معنی‌داری در افزایش نیروی کششی مورد نیاز نشان می‌دهد. با افزایش زاویهٔ تمایل تیغه، حرکت رو به بالای خاک افزایش یافته و با سرعت بیشتری نیز انجام می‌گیرد که این دو موجب افزایش مقاومت کششی تیغه می‌گردد. افزایش زاویهٔ تمایل تیغه باعث می‌شود که حالت گوه‌ای تیغه کم شده و تمایل بیشتر به نفوذ در خاک و توانایی برش کمتری داشته باشد و از این رو پیشروی دستگاه مشکل شده و مقاومت کششی افزایش می‌یابد. با زیاد شدن زاویهٔ تمایل تیغه، سطح تماس تیغه با خاک افزایش می‌یابد که این مسأله سبب بیشتر شدن مقاومت خاک می‌شود و برای خنثی‌کردن این مقاومت زیاد، باید نیروی کششی بیشتری اعمال شود



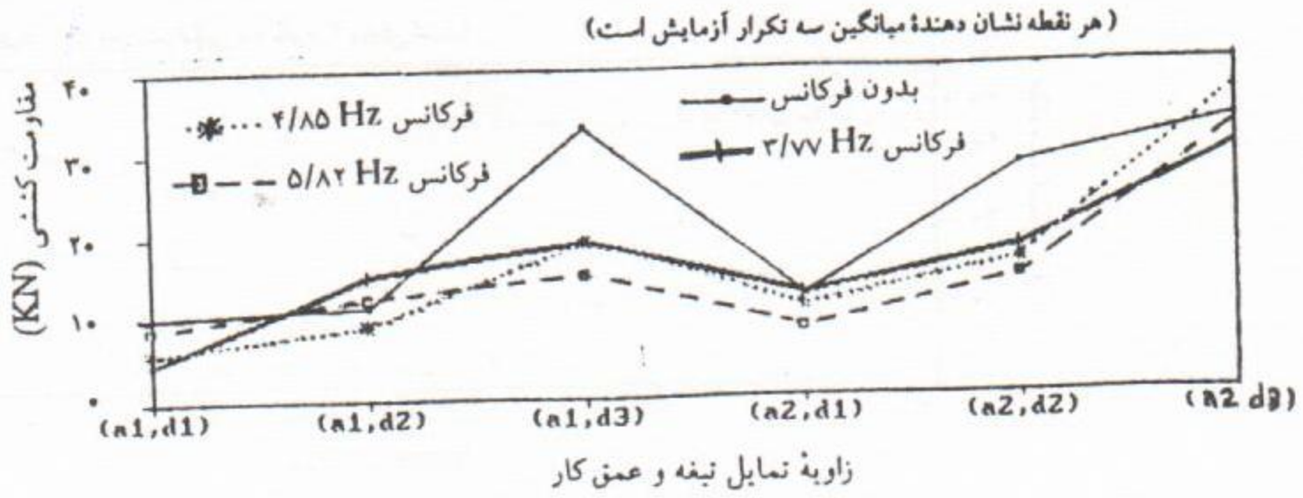
شکل ۱ : تأثیر زاویهٔ تمایل تیغه و عمق کار بر مقاومت کششی



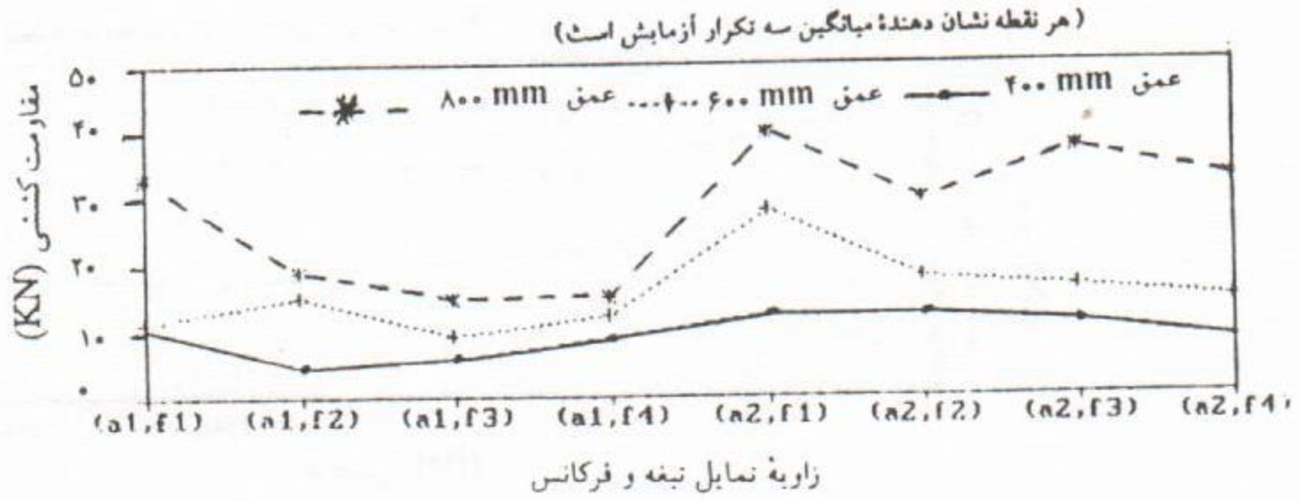
شکل ۲ : تأثیر زاویهٔ تمایل تیغه و فرکانس ارتعاش بر مقاومت کششی



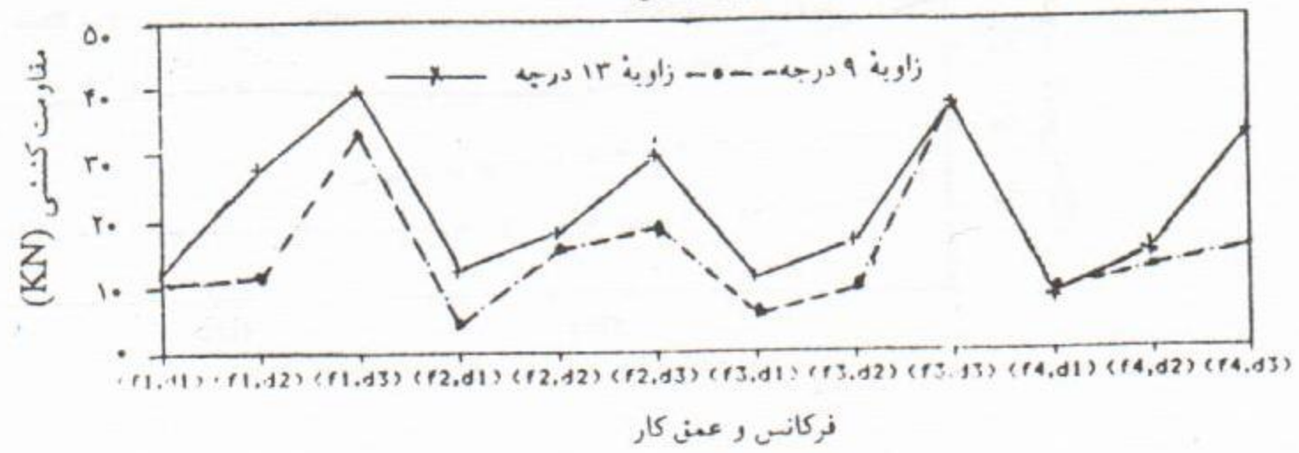
شکل ۳ : تأثیر فرکانس ارتعاش و عمق کار بر مقاومت کششی



شکل ۴ : تأثیر متقابل زاویهٔ تمایل تیغه ، عمق کار و فرکانس ارتعاش بر مقاومت کششی



شکل ۵ : تأثیر متقابل زاویهٔ تمایل تیغه ، فرکانس ارتعاش و عمق کار بر مقاومت کششی



شکل ۶ : تأثیر متقابل فرکانس ارتعاش ، عمق کار و زاویهٔ تمایل تیغه بر مقاومت کششی

(شکل‌های ۱و۲و۶).

۳- وجود ارتعاش بطور کلّی تأثیر معنی‌داری در کم‌کردن نیروی کششی مورد نیاز داشته است. حرکت ارتعاشی در جهت قائم موجب بلندکردن تودهٔ خاک بریده‌شده و کم کردن اصطکاک روی سطح تیغه می‌شود. این عمل سبب سهولت پیشروی تیغه و نفوذ بهتر آن در خاک می‌گردد. بلندشدن خاک از روی سطح تیغه بدلیل انتقال انرژی جنبشی ناشی از حرکت نوسانی صفحهٔ ارتعاشی به تودهٔ خاک می‌باشد.(شکل‌های ۲و۳و۴).

۴- تغییر فرکانس ارتعاش تأثیر معنی‌داری در کاهش نیروی‌کششی موردنیاز نشان نداده‌است. با وجود این نمودارها(شکل‌های ۲و۳و۴) تأثیر مثبت افزایش فرکانس‌ارتعاش در کم‌کردن نیروی‌کششی موردنیاز را هر چند کم ولی بطور مشخص نشان می‌دهند.

۵- بررسی اثرات متقابل[1] هر سه متغیر یعنی فرکانس، زاویهٔ‌تمایل، عمق‌کار، با توجه به معنی‌داربودن کمیت F بدست‌آمده در جدول ۲ نشان می‌دهد که ترکیبات تیماری این متغیرها نیز در تغییر نیروی کششی موردنیاز معنی‌دار است. اثرات متقابل متغیرها در نمودارهای شکل‌های ۴و۵و۶ نشان داده شده‌اند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها:

از نتایج آزمایش‌های انجام‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش عمق کار زیرشکن مقاومت کششی را زیادتر کرده و بنابراین برای غلبه بر چنین مقاومت کششی بالایی، لازم است تراکتور نیروی کششی بیشتری اعمال نماید.

حرکت ارتعاشی در زیرشکن عملا" توانسته است نیروی کششی مورد نیاز را کاهش دهد. بنابراین استفاده از زیرشکن‌های ارتعاشی، برای شکستن سخت لایه از نظر آنکه به نیروی‌کششی کمتری نیاز دارد مطلوب بنظر می‌رسد.

1-Interactions

تأثیر ارتعاش در کم‌کردن نیروی کششی مورد نیاز تراکتورهای متداول طی یک سری آزمایشهایی که در مزرعه بعمل آمد نشان داد که تراکتورهای متداول با توان موتوری متوسط نیز قادر به کشیدن زیرشکن مربوط خواهندبود.

منابع : REFERENCES :

۱ـ ابن‌جلال ـ رضا و شفاعی‌بجستان ـ محمود. ۱۳۷۱ . اصول نظری و عملی مکانیک خاک . انتشارات دانشگاه شهیدچمران اهواز. ۷۲۵صفحه.

۲ـ الماسی ـ مرتضی ، بهرامی ـ هوشنگ و شیخ‌داودی ـ محمدجواد . ۱۳۶۹. اندازه‌گیری و مقایسهٔ درصد لغزش چرخ‌های محرک (عقب) تراکتورهای متداول در خوزستان. مجلهٔ علمی کشاورزی . جلد چهاردهم.شمارهٔ ۱و۲ . صفحات ۱۰۳تا۱۱۶ .

۳ـ پیمان ـ میرحسین. ۱۳۷۳. تدوین مدل کامپیوتری برای تعیین انرژی موردنیاز وسیلهٔ خاک‌ورزی ارتعاشی. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد. دانشکدهٔ‌کشاورزی. دانشگاه تربیت‌مدرس. ۱۱۰صفحه.

۴ـ شفیعی ـ سیداحمد. ۱۳۷۴. ماشین‌های خاک‌ورزی. مرکز نشر دانشگاهی. ۲۷۵صفحه.

۵ـ صادق‌نژاد ـ حمیدرضا ۱۳۷۴. مقایسهٔ نیروی کششی زیرشکن معمولی و ارتعاشی. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد. دانشکدهٔ‌کشاورزی. دانشگاه‌تهران.

۶ـ کپنر ـ آر.۱. بنیر ـ روی و بارگر ـ ای.ال. (ترجمهٔ دکتر سیداحمد شفیعی). ۱۳۷۱. اصول ماشین‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه‌تهران. جلداول. ۴۶۸صفحه.

۷ـ لیل‌جدال ـ جان.ب. بارگر ـ ال. کارلتون ـ ام.دبلیو. و کیبن ـ ئی.جی. (ترجمهٔ دکتر محمودثقفی).۱۳۶۹. تراکتور و مکانیسم آن. مرکز نشردانشگاهی. ۴۹۰صفحه.

8- CHAMEN,W.C.T. and CAVALLI,R. 1994. The effect of soil compaction on mole plough draught. Soil and Tillage Research. 32:303-311.

9- CULPIN, C. 1992. Farm Machinery. Blackwell Scientific

Publications. 12th ed. PP, 444.

10- GILL,R.W. and VANDEN BERG,G.E. 1967. Soil dynamics in tillage and traction. U.S.D.A., Agricultural Research Service. PP,511.

11- McKYES,E. 1989. Agricultural Engineering Soil Mechanics. Elsevier. Science Publishers, B.V. PP,292.

12- NIYAMAPA,T.1995. Study on Performance test of vibrating tillage tool. Proceedings of International Agricultural Mechanization Conference. Beijing, China. P,126-132.

13- REEDER,R.C. WOOD,R.K. and FINCK,C.L.1993. Five subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. Transactions of the ASAE 36(6): 1525-1531.

14- SAKAI,K. HETA,S.I. TAKAI,M. and NAMBA,S.1993. Design parameter of four shank vibrating subsoiler. Transactions of the ASAE 36(1): 23-26.

15- SOANE,B.D. BLACKWELL,P.S. DICKSON,J.W. and PAINTER, D.J. 1980/1981. Compaction by agricultural vehicles: A Review, II. Compaction under tyres and other runninggear. Soil and Tillage Research 1:373-400.