

استفاده از انرژی لازم برای سست کردن پروفایل خاک به عنوان مقیاس برای مقایسه عملکرد وسایل خاکورزی غلامحسین شاهقلی

استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه محقق اردبیلی

gshahgoli@yahoo.com

دریافت: ۹۲/۰۳/۱۵ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۷

چکیده

اغلب محققین دنیا از مقاومت ویژه برای ارزیابی و مقایسه عملکرد ادوات خاکورزی مانند انواع گاوآهن‌ها، زیرشکن‌ها استفاده می‌نمایند. با توجه به اینکه در اندازه گیری مقاومت ویژه مقدار سختی خاک در نظر گرفته نمی‌شود و بنابراین وسیله‌ای که در خاک نرم، سطح مقطع زیادی را، با نیروی کشش کم سست نماید مقاومت ویژه کمتری در مقایسه با وسیله‌ای که با همان نیرو سطح مقطع کمی را در خاک سخت، سست می‌کند خواهد داشت. در این تحقیق در نظر است تا نظریه مقدار انرژی مصرف شده، که هم سطح مقطع خاک سست شده و هم سختی آن را تماماً در نظر گرفته را، توسعه داده و آن را در داخل مخزن خاک با استفاده از یک شاخه زیرشکن ارزیابی نموده و با مقاومت ویژه مقایسه نماید. آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ سطح تراکم از خاک (جرم مخصوص ظاهری ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۵۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب) در ۳ تکرار انجام گرفت. در آزمایش‌ها نیروی کشش لازم، مقاومت خاک و سطح مقطع سست شده اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم خاک (جرم مخصوص ظاهری خاک) مقدار نیروی کشش، مقاومت ویژه و انرژی نهاده در خاک و انرژی ویژه افزایش یافت. بر خلاف محاسبات - نظری ضریب تبیین بالایی ($R^2=0/99$) بین افزایش نیروی کشش و انرژی نهاده در نیمرخ خاک و همچنین مقاومت ویژه و انرژی ویژه بر اساس نتایج آزمایشگاهی بدست آمد. نتایج نشان دادند که مقاومت ویژه و انرژی ویژه پارامترهای مناسب برای ارزیابی عملکرد وسایل خاکورزی می‌باشند.

واژگان کلیدی: انرژی مصرفی، نیمرخ خاک، انرژی ویژه، مقاومت خاک، زیرشکن

۱ - مقدمه

بستر بذر به طور مداوم محققین و سازنده‌ها و

سست کردن لایه‌های متراکم خاک و تهیه کشاورزان را به تلاش مداوم وا داشته است. سست

کردن خاک بایستی به طور موثری مدیریت شود تا انرژی لازم برای این کار کاهش داده شود و این عمل به بهترین وجه انجام گیرد. شرایط اقتصادی و محیطی کشاورزان را مجبور می‌کند تا عملیات خاکورزی را با بهترین ترکیب از ادوات انجام داده تا به هدف مورد نظر از نظر شرایط خاک دست یابند. عملیات خاکورزی تقریباً نصف انرژی مورد نیاز برای تولید محصول را مصرف می‌کند (Zhang & Kushwaha, 1998). بهینه کردن طراحی ادوات خاکورزی سبب افزایش راندمان انرژی مصرفی خواهد شد. یک درک صحیح از رابطه متقابل خاک و وسیله خاکورز کلید پایه و اساسی در جهت بهینه کردن طراحی ادوات خاکورزی بوده و می‌تواند از آزمایشات متعدد که بر اساس طراحی با آزمایش و خطا بوده و در نتیجه وقت زیادی نیز در این رابطه صرف می‌شود جلوگیری کند.

عملکرد یک تیغه خاکورز به سه فاکتور عمده بستگی دارد که عبارتند از: ۱. شرایط اولیه خاک ۲. طرح تیغه خاکورز ۳. چگونگی حرکت آن در خاک. در فرایند خاکورزی طرح تیغه خاکورز، چگونگی کارکرد آن در خاک و شرایط اولیه خاک به عنوان پارامترهای ورودی می‌باشند. برهم کنش تیغه و خاک و شرایط نهایی خاک بعد از خاکورزی، پارامترهای خروجی فرآیند می‌باشند (Zhang & Kushwaha, 1998). عملکرد وسیله خاکورز بر اساس شرایط نهایی خاک ارزیابی می‌گردد، در حالیکه راندمان آن بر اساس کشش و انرژی لازم ارزیابی می‌شود. از نظر بهینه سازی هدف نهایی طراحی وسیله خاکورزی می‌باشد که بتواند بهترین شرایط نهایی را با مصرف حداقل انرژی حاصل نماید.

عواملی از قبیل بافت خاک، رطوبت خاک، تراکم خاک، ابعاد هندسی وسیله خاکورز، عمق خاکورزی، سرعت پیشروی وسیله خاکورز و زاویه حمله آن انرژی لازم خاکورزی را به طور آشکارا تحت تاثیر قرار می‌دهند.

در گذشته تحقیقات زیادی در مورد تاثیر این عوامل روی انرژی لازم وسیله خاکورز انجام گرفته است (McKyes, Payne, 1956, 1978, 1983, Koolen & Kuipres). عمق برش، عرض برش، شکل وسیله برش، طرز قرارگیری ابزارها و سرعت حرکت وسیله عواملی هستند که نیروی کشش و راندمان انرژی مصرفی برای یک خاک با شرایط مخصوص را تحت تاثیر قرار می‌دهند. تاثیر این پارامترها بر اساس نوع وسیله خاکورز و شرایط خاک متفاوت خواهد بود (Kepner *et al.*, 1972).

همچنانکه رطوبت افزایش می‌یابد خاک از حالت ترد و شکننده به حالت پلاستیکی در می‌آید و با افزایش رطوبت مانند مایع لزج رفتار می‌کند.

(Mouazen & Romon, 2002) گزارش کردند که نیروی مورد نیاز برای کشش یک زیرشکن با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش

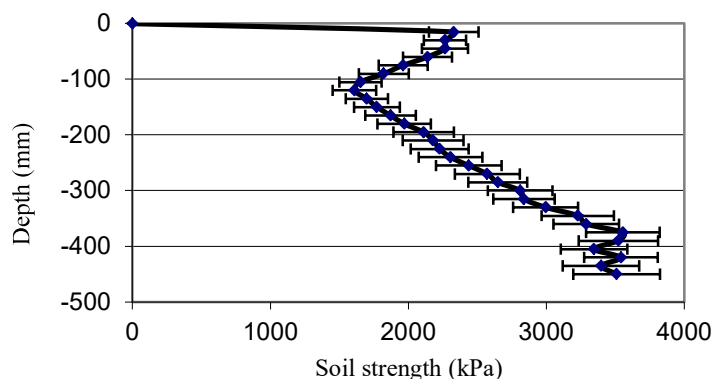
اغلب محققین از مقاومت ویژه (نیروی کشش لازمه بر مساحت مقطع خاک سست شده) یا از توان موتوری ویژه (توان موتور لازمه بر مساحت مقطع خاک سست شده) استفاده می‌کنند. اما یک ارزیابی ساده نشان می‌دهد که روش‌های فوق در خاک‌های با مقاومت غیر یکنواخت دارای اشکال اساسی می‌باشد. بهتر است برای مقایسه تیمارهای خاکورزی از مقیاس مقدار انرژی لازم برای سست کردن خاک استفاده شود.

با افزایش تراکم خاک مقاومت آن در برابر سست کردن افزایش خواهد یافت. مقاومت خاک بسته به مقدار رطوبت و اکثراً با افزایش عمق خاک تغییر می‌یابد. شکل ۱ تغییرات مقاومت خاک تا عمق ۴۵۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد (Shahgholi *et al.*, 2009). این شکل گویای آن است که سست کردن این خاک در عمق‌های زیاد (بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر) مشکل‌تر از عمق‌های کم بوده و انرژی زیادی برای این کار لازم می‌باشد. مقدار افزایش انرژی مربوط به افزایش مقاومت خاک می‌باشد. بنابراین مقایسه تیمارها فقط بر اساس مقدار خاک سست شده گمراه‌کننده می‌باشد. زیرا در این صورت وسیله که در عمق کم خاک زیادی را با مصرف انرژی کمتر در مقایسه با وسیله که در عمق زیاد مساحت مقطع کمی از خاک را با انرژی زیاد سست می‌کند بهتر به نظر می‌رسد.

می‌یابد. کشش به طور خطی با محتوای رطوبتی کاهش یافته و به طور سهمی‌وار با جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد.

انرژی مصرف شده خاکورزی تابع شرایط اولیه و نهایی خاک می‌باشد که این شامل خواص فیزیکی از قبیل مقدار رطوبت، جرم مخصوص ظاهری و بافت خاک می‌گردد. دو فاکتور دیگر یعنی طرح وسیله خاکورز و چگونگی حرکت وسیله مقدار انرژی وسیله خاکورز را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Gill & Vandenberg, 1968). در این گزارش ذکر گردیده که سرعت وسیله، شکل وسیله و زاویه حمله آن از فاکتورهای وسیله خاکورزی می‌باشند.

تراکم خاک عبارت از کاهش حجم خاک غیر اشباع و در نتیجه افزایش جرم مخصوص خاک تحت تاثیر نیروی خارجی بوده و با مکانیزه شدن عملیات کشاورزی و افزایش وزن ماشین‌ها تراکم خاک افزایش یافته است. تراکم خاک باعث افزایش مقاومت خاک در برابر نفوذ ریشه گیاه می‌شود. در نتیجه رشد گیاه و محصول کاهش پیدا می‌کند. موقعی که مقاومت نفوذسنج به طور کلی از حد بحرانی ۲ مگا پاسکال تجاوز می‌کند آن خاک متراکم در نظر گرفته می‌شود و در بیشتر از آن ریشه نمی‌تواند نفوذ کند (Fulton *et al.*, 1996; Wells *et al.*, 2001). هر چند مقاومت خاک برای گیاهان مختلف متفاوت می‌باشد.



شکل ۱: مثال از تغییرات مقاومت خاک با افزایش عمق خاک (انحراف استاندارد ± 1) (Shahgholi et al., 2009)

Figure 1: Soil strength variation with depth increment (StdError ± 1)

کردن خاک در عمق زیاد مصرف خواهد شد و توان ویژه با افزایش عمق افزایش می‌یابد.

$$P_4 > P_3 > P_2 > P_1 > P_0$$

توان ویژه کل خاکورز B بیشتر از وسیله A خواهد شد. بنابراین مقایسه وسایل خاکورزی بر اساس مقاومت ویژه به طور اشتباه نشان خواهد داد که وسیله خاکورز که در خاک سطحی کار می‌کند بهتر است از وسیله‌ای که در عمق زیاد کار کرده و خاک سختی را سست می‌نماید (Desbiolles, 1999).

شکل ۲ تفاوت بین وسایل خاکورز وقتی در عمق کم و زیاد کار می‌کنند را نشان می‌دهد. فرض می‌کنیم که وسیله خاکورز A، ۵ واحد از خاک سطحی را سست می‌کند. با فرض اینکه از نظر مقاومت تفاوت چندانی بین آن‌ها وجود ندارد، توان ویژه لازم برای سست کردن آن‌ها P_0 خواهد بود. اگر وسیله خاکورز B هم‌این اندازه را ۵ برابر عمیق‌تر و یک پنجم عرض کار تیغه A سست نماید و با فرض اینکه مقاومت خاک با افزایش عمق خاک افزایش یابد. بنابراین انرژی زیادی جهت سست

P0	P0	P0	P0	P0
----	----	----	----	----

P0
P1
P2
P3
P4

شکل ۲: یک مثال از تغییرات انرژی لازم برای سست کردن خاک با توجه به تغییرات مقاومت خاک با افزایش عمق خاک

Figure 2: Required soil loosened profile energy variation with soil strength increment

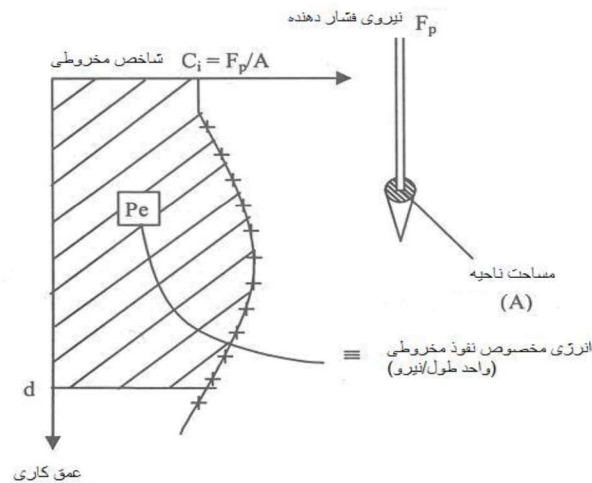
$$Pe = \int_0^d CI \, dd \quad (1)$$

که در آن:

d = عمق کار، (m)

بنابراین انرژی لازم جهت سست کردن پروفایل خاک برابر سطح ناحیه ای است که بین منحنی شاخص مخروطی و محور عمق تا عمق کاری محدود شده است (شکل ۳).

در این تحقیق از روش انرژی لازم برای سست کردن خاک استفاده شد که علاوه بر مقدار مساحت خاک سست شده مقاومت خاک یعنی سختی را هم در نظر می‌گیرد. بر اساس (Desbiolles, 1999) شاخص مخروطی (CI) به عنوان شاخصی جهت محاسبه انرژی نفوذ (P_e) استفاده می‌گردد (شکل ۳). انرژی نفوذ برابر است با مساحت ناحیه بین منحنی CI و عمق و از فرمول زیر محاسبه می‌گردد (Desbiolles, 1999).



شکل ۳: انرژی مخصوص نفوذسنج مخروطی (Desbiolles, 1999)

Figure 3: The variation of specific penetration energy of penetrometer

Frequency = تعداد ستون‌های که شامل ردیف مورد نظر بوده، یعنی یک یا تقریباً نصف قطعه ای از آن ستون‌ها در این ردیف موجود است. برای مثال در ردیف AB فرکانس ۱۹ ستون بوده و برای ردیف CE فرکانس ۱۴ می‌باشد (شکل ۴).

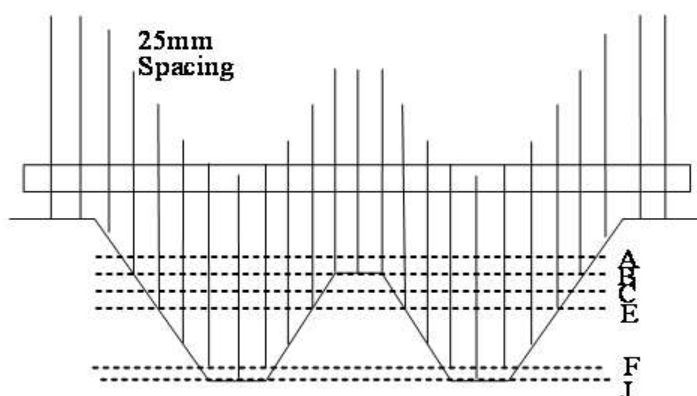
P_e = انرژی نفوذ مربوط به آن ردیف که برای کل ستون‌ها در آن ردیف یکسان می‌باشد، (N/mm)

برای محاسبه انرژی لازم سست کردن برای کل پروفیل متر خاک، می‌توان آن را مطابق شکل ۴ که توسط پروفایل متر اندازه گرفته شده بود در نظر گرفت. انرژی هر ردیف مانند AB از طرق فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$P_e = \text{Frequency} \times Pe \times w \times d \quad (2)$$

که در آن:

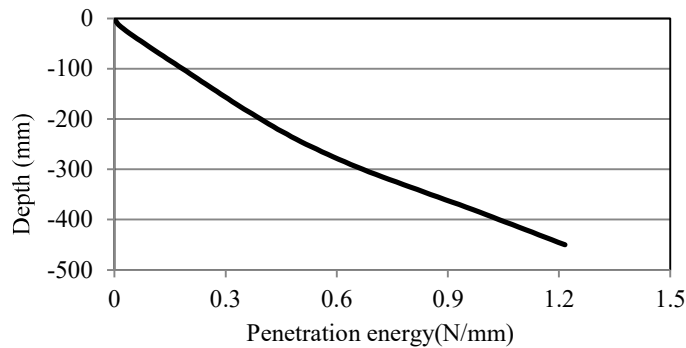
W = عرض هر کدام از ستون‌ها (فاصله بین میله‌های
 d = ارتفاع هر کدام از قطعات ستون‌ها در آن ردیف
 پروفیل متر) که ۲۰ میلی‌متر بود.
 که کلاً برای همه ستون‌ها در همه ردیف‌ها ۶/۵
 میلی‌متر بود.



شکل ۴: اندازه گیری پروفایل خاک سست شده برای زیرشکن ۲ ساقه

Figure 4. Soil loosened profile measurement for 2 tines subsoiler

برای محاسبه انرژی نفوذ می‌توان بطور متوالی
 ارتفاع‌های متفاوتی مانند ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰
 میلی‌متر را به طور اختیاری برای ردیف‌ها در نظر
 گرفت. در هر توالی که برای محاسبه اختیار گردد
 مقاومت در آن عمق بایستی در دسترس بوده،
 بنابراین اگر در آن عمق، داده مقاومتی از دستگاه
 نفوذسنج گرفته نشده بایستی مقاومت را در آن
 عمق بر آورد کرد.
 نتایج محاسبات نشان داد که با کاهش متوالی
 ارتفاع از ۳۰ به ۱۵ میلی‌متر انرژی بدست آمده ۶٪
 افزایش یافته و با کاهش بیشتر از ۱۵ به ۵ میلی‌متر
 دوباره انرژی ۶٪ افزایش یافت. در کل نتیجه گرفته
 شد که ارتفاع ۱۰ میلی‌متر در محاسبات بهترین
 نتیجه را بدست می‌دهد. با توجه به توالی داده های
 نفوذسنج مورد استفاده در این طرح ارتفاع ردیف‌ها
 ۶/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد.
 بنابراین انرژی نفوذ برای قطعاتی که ارتفاعشان
 ۶/۵ و عرضشان ۲۰ میلی‌متر (با توجه به اینکه
 فاصله بین پین‌های پروفایل متر ۲۰ میلی‌متر بود)
 محاسبه گردید. البته کاهش عرض قطعات تاثیری
 در انرژی نهایی بدست آمده نداشت.
 بعد از بدست آوردن انرژی نفوذ برای هر یک از
 قطعات، انرژی نفوذ در طول عمق به صورت تجمعی
 محاسبه گردید یعنی انرژی نفوذ برای هر عمقی
 مجموع تمامی انرژی قطعات بالا تا آن عمق
 می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵. تغییرات انرژی نفوذ بر حسب عمق

Figure 5: Penetration energy requirement as depth increases

انرژی کل پروفایل خاک (P_T) از مجموع انرژی کل ردیف‌ها بدست می‌آید (n تعداد ردیف‌ها می‌باشد).

(۳)
$$P_T = \sum_{i=1}^n P_R$$

اهداف اصلی این طرح عبارتند از:

- ۱- مشخص نمودن اینکه مقاومت ویژه یک مقیاس مناسب برای ارزیابی خاکورزی می‌باشد یا نه
- ۲- تعیین چگونگی محاسبه انرژی مصرفی برای نیمرخ خاک سست شده
- ۳- تعیین تاثیر سختی خاک (شاخص مخروطی) در مقدار انرژی مصرف شده

۲ - مواد و روش‌ها

آزمایشات به صورت طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. برای بررسی تاثیر تراکم بر روی عملکرد شاخه زیرشکن طراحی شده، شاخه زیرشکن در ۵ سطح از جرم مخصوص ظاهری (۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۵۰۰ kgm^{-3}) که شامل ۳ فاز تراکم کم (۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰) و تراکم (۱۴۰۰ و ۱۵۰۰) و خیلی متراکم (۱۲۰۰) بوده و در عمق کاری ۱۵ سانتی‌متر و با سرعت ثابت 5 cm s^{-1} کشیده شد. نوع خاک لومی (شن ۴۵/۶۶، سیلت ۲۹/۳۳ و رس ۲۵ درصد) و رطوبت آن ۱۶٪ بود. برای کار در مخزن خاک که دارای طول ۲ m و عرض ۰/۷ m بود شاخه زیرشکن در اشل یک چهارم طراحی و ساخته شد. بنابراین عمق کاری ۱۵cm برای شاخه مورد استفاده معادل عمق کار ۶۰cm برای شاخه استاندارد در مزرعه می‌باشد. برای تهیه خاک با جرم مخصوص‌های فوق با توجه مشخص بودن جرم مخصوص و عمق کار، ارتفاع خاک مخزن حدود ۵cm سانتی‌متر بیشتر از عمق کار در نظر گرفته شد. با معین بودن ارتفاع خاک مخزن (۲۰ cm) حجمی از مخزن که بایستی با خاک پر گردد معین شد (۲ m × ۰/۷ × ۰/۲). ارتفاع مذکور با کشیدن خط

انرژی کل پروفایل خاک (P_T) از مجموع انرژی کل ردیف‌ها بدست می‌آید (n تعداد ردیف‌ها می‌باشد).

$$P_T = \sum_{i=1}^n P_R \quad (3)$$

اهداف اصلی این طرح عبارتند از:

- ۱- مشخص نمودن اینکه مقاومت ویژه یک مقیاس مناسب برای ارزیابی خاکورزی می‌باشد یا نه
- ۲- تعیین چگونگی محاسبه انرژی مصرفی برای نیمرخ خاک سست شده
- ۳- تعیین تاثیر سختی خاک (شاخص مخروطی) در مقدار انرژی مصرف شده

۲ - مواد و روش‌ها

آزمایشات به صورت طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. برای بررسی تاثیر تراکم بر روی عملکرد شاخه زیرشکن طراحی شده، شاخه زیرشکن در ۵ سطح از جرم مخصوص ظاهری (۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۵۰۰ kgm^{-3}) که شامل ۳ فاز تراکم کم (۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰) و تراکم (۱۴۰۰ و ۱۵۰۰) و خیلی متراکم (۱۲۰۰) بوده و در عمق کاری ۱۵ سانتی‌متر و با سرعت ثابت 5 cm s^{-1} کشیده شد. نوع خاک لومی (شن ۴۵/۶۶، سیلت ۲۹/۳۳ و رس ۲۵ درصد) و رطوبت آن ۱۶٪ بود. برای کار در مخزن خاک که دارای طول ۲ m و عرض ۰/۷ m بود شاخه زیرشکن در اشل یک چهارم طراحی و ساخته شد. بنابراین عمق کاری ۱۵cm برای شاخه مورد استفاده معادل عمق کار ۶۰cm برای شاخه استاندارد در مزرعه می‌باشد. برای تهیه خاک با جرم مخصوص‌های فوق با توجه مشخص بودن جرم مخصوص و عمق کار، ارتفاع خاک مخزن حدود ۵cm سانتی‌متر بیشتر از عمق کار در نظر گرفته شد. با معین بودن ارتفاع خاک مخزن (۲۰ cm) حجمی از مخزن که بایستی با خاک پر گردد معین شد (۲ m × ۰/۷ × ۰/۲). ارتفاع مذکور با کشیدن خط

مشخص به ۵ قسمت برابر تقسیم گردید. بر اساس جرم مخصوص مورد نظر جرم مورد نیاز که مخزن تا ارتفاع تعیین شده پر نماید را محاسبه و با ترازو توزین شد. خاک اندازه گیری شده را به ۵ قسمت تقسیم و در ۵ مرحله هر قسمت را در یک قسمت از ارتفاع که ۴cm بود قرار داده شد. این روش سبب می گردد تا جرم مخصوص خاک همگن باشد. البته هر چه تعداد قسمت ها زیاد باشد جرم مخصوص همگن تر خواهد بود. در هر کدام از تکرارها مقاومت به نفوذ توسط نفوذسنج در ۳ قسمت از جعبه برش تا عمق مورد نظر اندازه گیری شد. بنابراین مقاومت به نفوذسنج بیان شده میانگین ۹ بار اندازه گیری برای هر تیمار می باشد.

برای انجام آزمایشات از مخزن خاک استفاده شد که از قسمت های زیر تشکیل شده است (شکل ۶). ۱- شاسی ۲- ریل اصلی ۳- الکتروموتور و تنظیم کننده سرعت (اینورتور) ۴- سیستم داده برداری ۵- مخزن خاک



شکل ۶ تمیای از مخزن خاک و تیغه مورد استفاده برای آزمایشات

Figure 6: Schematic of soil bin and tine used for conducting the experiments

برای کشیدن تیغه از یک الکتروموتور $1/5kW$ با دور $1400rpm$ همراه با یک جعبه دنده ی کاهش دور ۱ به $17/5$ استفاده شد. برای تنظیم سرعت الکتروموتور از یک اینورتور مدل RS-485 ساخت شرکت هیوندا (Hyundai) استفاده شد. نیروی کششی توسط لودسل S شکل ساخت کشور کره جنوبی با ظرفیت $500Kg$ متصل شده به دیتالاگر مدل DT800، ساخت شرکت Data taker و دارای قابلیت برنامه نویسی ثبت شد. سرعت داده برداری در دیتالاگر قابل تنظیم بوده و به طریقی تنظیم گردید که در هر ثانیه ۵ داده بر می داشت. این عمل باعث افزایش دقت داده برداری می شود.

برای بدست آوردن مساحت خاک سست شده از روش دستی استفاده شد. بدین صورت که ابتدا توسط بیلچه یک چاله در مسیر حرکت تیغه کنده و سپس توسط دست خاک سست شده از آن خارج شد. بوسیله دو خط کش که یکی بر روی سطح خاک قرار می گرفت و دیگری به فواصل مساوی cm ۲، فاصله خط کش تا سطح خاک داخل شیار را اندازه می گرفت. از مجموع مساحت دوزنقه های

۳- نتایج و بحث

جدول ۱ داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در تراکم‌های مختلف از خاک را نشان می‌دهد. نیروی کشش لازمه به طور پیوسته از ۱۵۴/۷۲ نیوتن که مربوط به جرم مخصوص 1100 kg m^{-3} بوده به ۴۵۹/۵۱ نیوتن در جرم مخصوص 1500 kgm^{-3} افزایش یافته است. به همین ترتیب پارامترهای انرژی نهاده در پروفایل خاک، مقاومت ویژه و انرژی نهاده ویژه با افزایش تراکم افزایش یافته‌اند.

بدست آمده، مساحت سطح خاک بر هم خورده محاسبه شد. از تقسیم کردن نیروی کششی بر مساحت سطح مقطع خاک سست شده مقاومت ویژه بدست آمد. بر اساس نیروی کشش و مساحت مقطع خاک سست اندازه‌گیری شده عملکرد شاخه زیرشکن در تراکم‌های مختلف بر اساس نیروی کشش لازمه، مقاومت ویژه، انرژی نهاده و انرژی ویژه ارزیابی شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از طرح فاکتوریل، به صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار و از نرم افزار Mstatc 1.42 که توسط دانشگاه میثیگان ارائه شده استفاده شد.

جدول ۱: داده‌های بدست آمده برای پارامترهای مورد نظر در تراکم‌های مختلف خاک

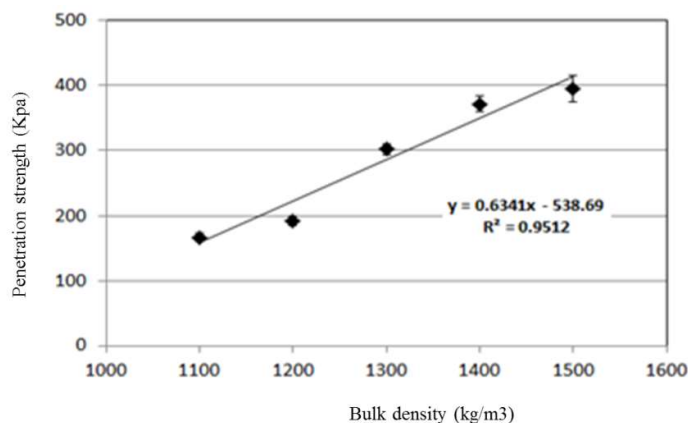
Table 1: Resulted data for different parameters at different soil compaction levels

انرژی ویژه (KJ/m ²)	انرژی نهاده در نیمرخ خاک (J)	مقاومت ویژه (kN/m ²)	مساحت سست شده (cm ²)	نیروی کشش (N)	جرم مخصوص کل خاک (kg/m ³)
11.97	135.23	13.73	116.33	154.72	1100
14.34	171.6	15.66	119.66	187.44	1200
23.8	313.97	21.17	132	276.89	1300
25.8	363.73	21.86	141	307.68	1400
41.37	704.2	26.22	179.33	459.51	1500

از هر کدام به جای دیگری استفاده نمود. در آزمایشات مزرعه‌ای که توسط (Aase et al.2001) انجام گرفت رابطه بین جرم مخصوص ظاهری و مقاومت نفوذسنج تحت تاثیر رطوبت خاک قرار گرفته و ضریب تبیین ۰/۶ و ۰/۷ در رطوبت‌های ۲۰ و ۱۳/۹ درصد در خاک لوم سیلت بدست آمد.

۳-۱- رابطه بین مقاومت نفوذسنج و جرم مخصوص خاک

شکل (۷) نشان می‌دهد که یک رابطه خطی بین جرم مخصوص و مقاومت نفوذسنج وجود دارد و با افزایش جرم مخصوص، مقاومت نفوذسنجی به همان نسبت افزایش می‌یابد. بنابراین هر دو پارامتر مذکور می‌توانند بیانگر تراکم خاک باشند بطوریکه



شکل ۷: رابطه بین جرم مخصوص خاک با مقاومت نفوذ سنجی (انحراف استاندارد ±1)

Figure 7: Soil bulk density and penetration strength relationship (Std Error ±1)

شکل ۸ نشان می‌دهد افزایش تراکم سبب

افزایش نیروی کشش لازم برای برش و سست کردن پروفایل خاک می‌گردد. برای مقایسه میانگین گروه‌های مختلف از تجزیه واریانس و آزمون دانکن استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۱٪ انجام شد.

۳-۲- تغییرات نیروی کشش با افزایش تراکم

تجزیه و تحلیل آماری در جدول ۲ نشان داد که تراکم اثر معنی داری بر روی تغییرات نیروی کششی لازم داشته است. بین تراکم‌های مختلف که همان ۵ جرم مخصوص متفاوت بوده اختلاف معنی دار وجود دارد.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر جرم مخصوص خاک روی نیروی مقاوم کششی

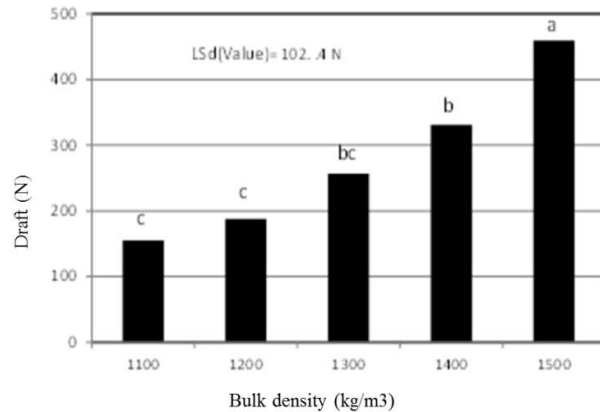
Table 2: Variance analysis results for soil bulk density effect on draft requirement

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F
بین تیمارها	4	171667.9	42916.98	20.2**
خطا	10	21247.3	2124.73	
مجموع	14	192915.2		

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

کشیدن وسیله خاکورز نظیر زیر شکن را نخواهد داشت.

پس افزایش تراکم باعث سختی کارکرد ماشین کشنده می‌گردد. در صورت تراکم بالا و زیاد بودن عمق کار تراکتورهای کم توان نظیر MF285 توانایی

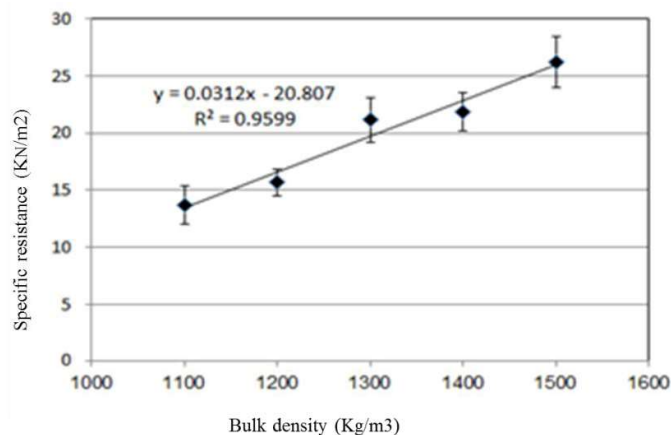


شکل ۸: افزایش نیروی کشش با افزایش تراکم خاک

Figure 8: Draft requirement increment as soil compaction increased

نتیجه انرژی کل نهاده افزایش خواهد می‌یابد. نتایج مطالعه (Mouazen & Ramon, 2002) نشان داد که نیروی کشش زیرشکن با افزایش جرم مخصوص ظاهری خشک و مرطوب خاک افزایش یافت ایشان نتیجه گرفتند که جرم مخصوص ظاهری خشک بیانگر تراکم خاک بوده و هر چه بیشتر باشد نیروی کشش لازمه نیز بیشتر خواهد بود. در تحقیقی (Arvidsson & Keller, 2011) نتیجه گرفتند که مقاومت نفوذسنجی، محتوای رطوبتی و چسبندگی دارای ارتباط نزدیکی می‌باشند. و مقاومت مخصوص بیشتر به چسبندگی خاک در مقایسه با مقاومت نفوذسنجی وابسته می‌باشد و بر همین اساس (Eradat *et al.*, 1982) مقاومت نفوذسنجی را تابعی از چسبندگی و وزن مخصوص خاک بیان نمود.

نتایج نشان داد که مقاومت ویژه خاک نیز همانند نیروی کشش با افزایش تراکم افزایش یافت (شکل ۹). از آنجا که مقاومت ویژه به صورت نسبت نیروی کشش به واحد سطح مقطع سست شده می‌باشد پس با افزایش نیروی کشش سطح مقطع سست شده نیز افزایش یافته است (جدول ۱). همچنان که با افزایش تراکم خاک سفت می‌گردد هنگام شکستن توسط وسیله خاکورز به صورت کلوخه‌های درشت شکسته شده و سطح مقطع سست شده نیز افزایش می‌یابد ولی در خاک سست تیغه خاکورزی از میان ذرات خاک می‌گذرد و خاک همانند سیال در مقابل تیغه رفتار می‌کند. افزایش اندازه کلوخه‌های خرد شده و سفتی آن‌ها با تراکم، نیاز به ادوات خاکورزی ثانویه را افزایش داده و بایستی از وسایلی مانند دیسک و رتیواتور جهت خرد کردن و آماده کردن زمین استفاده نمود، در



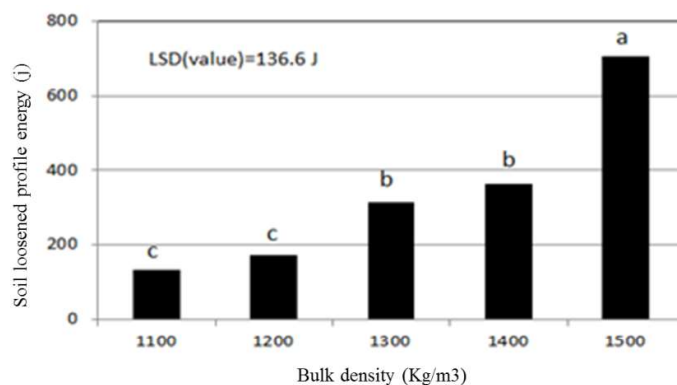
شکل ۹: چگونگی تغییرات مقاومت مخصوص با افزایش تراکم خاک (انحراف استاندارد ±)

Figure 9: Specific draft variation as compaction increases (Std Error ±1)

نشان داد افزایش جرم مخصوص اثر معنی داری روی انرژی نهاده در پروفایل خاک داشته است. پس همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش تراکم انرژی نهاده در پروفایل خاک افزایش یافته است (شکل ۱۰).

۳-۳- تغییرات انرژی نهاده در خاک با افزایش تراکم خاک

در قسمت قبل ذکر گردید که انرژی نهاده در خاک بر اساس مقاومت نفوذسنجی و سطح مقطع سست شده محاسبه می‌گردد. با افزایش تراکم هر دو پارامتر مذکور افزایش یافته است. آنالیز واریانس



شکل ۱۰: انرژی صرف شده در پروفایل خاک با افزایش تراکم خاک

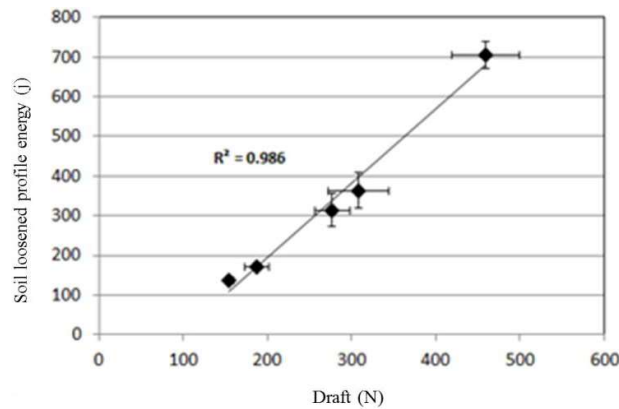
Figure 10: Soil loosened profile energy variation with soil compaction increment

سست شده را در نظر می‌گیرد ولی انرژی نهاده در خاک هر دو پارامتر مقاومت خاک یا اصطلاحاً

قبل از انجام این طرح نظر بر آن بود با توجه به اینکه در محاسبه مقاومت ویژه فقط سطح مقطع

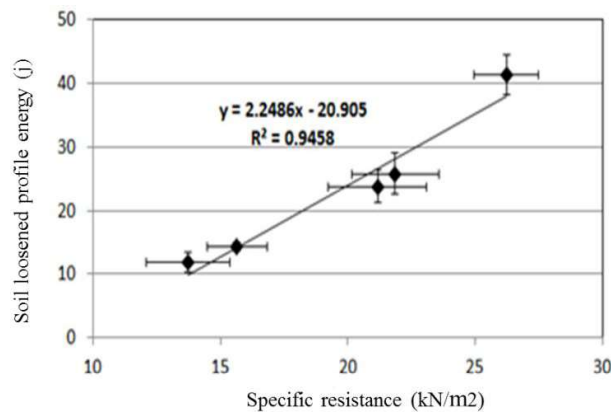
مقاومت ویژه منظور گردیده است. همانطور که از شکل ۱۲ دیده می‌شود رابطه نسبی خوبی هم بین مقاومت مخصوص و انرژی نهاده مخصوص وجود دارد که از هر کدام از آن‌ها می‌توان برای ارزیابی ادوات خاکورزی استفاده نمود.

سختی خاک را در نظر گرفته است. پس باید بین این دو مقیاس ارزیابی عملکرد وسایل خاکورزی تفاوتی باشد. ولی نتایج آزمایش بیانگر ارتباط نسبی زیاد بین این دو می‌باشد (شکل ۱۱). پس بر این اساس نتیجه گرفته می‌شود که مقاومت خاک توسط نیروی کشش برآورد گردیده و در محاسبه



شکل ۱۱: رابطه بین نیروی کشش لازمه و انرژی صرف شده در خاک در تراکم‌های متفاوت (انحراف استاندارد ± 1)

Figure 11: Required draft and loosened profile energy relationship at different soil compaction levels (Std Error ± 1)



شکل ۱۲: رابطه بین مقاومت ویژه و انرژی ویژه در تراکم‌های متفاوت (انحراف استاندارد ± 1)

Figure 12: Specific draft and specific energy relationship at different soil compaction levels (Std Error ± 1)

طراحی آزمایشات در نظر گرفته شده بودند به خوبی توسط نتایج حاصل از انرژی و مقاومت ویژه

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهند که فازهای مختلف تراکم (کم، متراکم و خیلی متراکم) که در

تشخیص داده شده است. در تراکم کم (۱۱۰۰ و 1200 kg/m^3) انرژی و مقاومت ویژه لازمه کمتر از فاز متراکم (۱۳۰۰ و ۱۴۰۰) می باشد. جرم مخصوص ۱۵۰۰ که بیانگر فاز خیلی متراکم می باشد مقدار انرژی ویژه لازمه خیلی بیشتر از فاز متراکم و تراکم کم می باشد.

۴ - نتیجه گیری کلی

۱. با افزایش تراکم خاک نیروی کشش لازمه، انرژی نهاده در خاک، مقاومت ویژه و انرژی نهاده ویژه افزایش یافتند. ارتباط زیادی بین تغییرات نیروی کشش و انرژی نهاده در خاک وجود دارد. $R^2=0.99$ و تغییرات مقاومت ویژه و انرژی نهاده ویژه $R^2=0.95$ وجود دارد. ۲. بر خلاف محاسبات تئوریک نیروی کشش لازمه مقاومت ویژه یک پارامتر مناسب و قابل اطمینان برای ارزیابی عملکرد وسایل خاکورزی می باشد. پارامترهای نیروی کشش، مقاومت ویژه، انرژی نهاده در خاک و انرژی ویژه می توانند برای ارزیابی عملکرد وسایل خاکورزی مانند گاواهن، زیرشکن و غیره مورد استفاده قرار گیرند.

۵- فهرست منابع

1. Aase, J. K., Bjerneberg, D. L. and Sojka, R. E. 2001. Zone-subsoiling relationships to density and cone index on a furrow-irrigated soil. **Transactions of the ASAE**, 44(3): 577-583.
2. Arvidsson, J. and Keller. T. 2011. Comparing penetrometer and shear vane measurements with measured and predicted mouldboard plough draught in a range of Swedish soils. **Soil Tillage Reserch** 111: 219-223.
3. Desbiolles, J., Godwin, R. J., Kilgour, J. and Blackmore, B. S. 1999. Prediction of tillageimplemen draught using cone penetrometer data. **Jurnalof Agriculture Engineering Reserch**, 73: 65-76.
4. Eradat Oskoui, K. and Witney, B. D. 1982. The determination of plough draft-part I. Reduction from soil and meterological data with cone index as the soil strength parameter. **Jurnal of Terramechanics**. 19(2): 97-106.
5. Fulton, J. P., Wells, L. G., Shearer, S. A. and Barnhisel, R. I. 1996. Spatial variation of soil physical properties: A precursor to precision tillage. **ASAE Paper No. 9610.1602. St. Joseph, Mich.: ASAE.**

6. Gill, W. R. and Vanden Berg, G. E. 1968. Soil Dynamics in Tillage and Traction, USDAARS Agricultural Handbook No. 316. U.S., Washington DC 20402: **Government Printing Office.**
7. Kushwaha, R. L. and Zhang, Z. X. 1998. Evaluation of factors and current approaches related to computerized design of tillage tools: a review. **Jurnal of Terramechanics**, 35: 69-86.
8. Kepner, R. A., Bainer, V. and Barger, E. L. 1972. **Principles of Farm Machinery, Westport, CT: The Avi Publishing Co.**
9. Koolen, A. J. and Kuipers, H. 1983. Agricultural soil mechanics, **Berlin, Germany, Library of Congress Cataloging in Publication Data.**
10. McKyes, E. 1979. The calculation of draft forces and soil failure boundaries of narrow cutting blades. **Transactions of the ASAE**, 21(1):20-24.
11. Mouazen, A. M. and Ramon, H. 2002. A numerical hybrid modelling scheme for evaluation of draught requirements of a subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density, and depth. **Soil Tillage Reserchs** 63: 155-165.
12. Payne, P. C. J. 1956. The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements. **Jurnal of Agriculture Engineering Reserch**, 1(1): 23-50.
13. Shahgholi, G., saunders, C, Desbiolles, J and Fielke, J. 2009. The effect of oscillation angle on the performance of oscillatory tillage. **Soil Tillage Reserchs** 104:97-105.
14. Wells, L.G., Stombaugh, T. S. and Shearer, S. A. 2001. Application and assessment of precision deep tillage. **ASAE Paper No. 011032. St. Joseph, Mich.: ASA**

Using Soli Loosening Energy as a Criteria for Tillage Implements Comparison

G. Shahgholi

Address: Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil
gshahgoli@yahoo.com

Received: 2013- 06- 05 Accepted: 2014- 05- 07

Abstract

The important issue in deep tillage is the amount of energy is spent on subsoiling, in other words how much energy is required to loosen the soil up to given depth. Conventional methods have been based on draft force or drawbar power required to conduct a tillage operation. Most of researchers predominantly have used specific soil resistance and specific power to represent subsoiling efficiency and compare different tillage tools performance. Specific draft or power can be defined as draft or power force required loosening a cross-sectional area of soil. As the soil strength increases with depth, loosening the same soil area at shallow depth requires considerably less effort than the equivalent area loosened to greater depth. On this basis, comparing soil-loosening capacity based on specific resistance and specific power can be misleading. Tillage tool which loosen large shallow area may appear to have a greater loosening capacity and better efficiencies than those that loosen to greater depths. Hence, loosened profile energy theory was developed which considers both loosened area and soil strength. To investigate the effect of soil compaction on energy requirement, 5 levels of soil bulk density of 1100, 1200, 1300, 1400 and 15000 kg/m³ were arranged in a complete randomised design in 3 replications. Required draft force, soil resistance and loosened soil profile were measured during experiments. Results showed that with increasing soil bulk density required draft force, specific draft, loosened energy, specific loosened energy increased. In spite theoretical computation relatively high correlation ($R^2=0.97$) was found between draft increment and loosened profile energy and also between specific draft and loosened profile energy. It was concluded that both specific draft and specific loosened profile energy are proper parameters for evaluating tillage tools performance.

Keyword: *Soil resistance, Specific power, loosened area, Energy usage, Subsoiler*