



تعیین معادله عمومی نیروهای وارد بر گاوآهن قلمی تک ساق به روش تحلیل ابعادی

سید علی حسینی^۱، سید حسین کارپورفر^۲

۱-۲ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

چکیده

تحقیق حاضر به منظور بدست آوردن معادلاتی به روش تحلیل ابعادی برای پیشگویی مقادیر نیروهای کششی و عمودی وارد بر گاوآهن قلمی انجام گردید. آزمون‌ها در آزمایشگاه ادوات خاک ورزی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج اجرا شد. در این تحقیق اثرات چهار زاویه حمله (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه)، سه سطح سرعت پیشروی (۱/۵، ۳ و ۴/۵ کیلومتر بر ساعت) و سه نسبت ظاهری تیغه (۱/۵، ۲ و ۳) بر نیروهای عمودی و کششی وارد بر ابزار باریک خاک ورز مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام آزمایشات از گاوآهن قلمی با پهنای تیغه ۵ سانتی متر استفاده گردید. آزمایشات در خاک لومی و در رطوبت ۱۴ درصد بر اساس وزن خشک انجام شد. در این تحقیق از طرح فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار استفاده گردید. روابط نهایی جهت تخمین نیروهای کششی و عمودی وارد بر تیغه، به ترتیب ذیل بدست آمد:

$$\frac{R_F}{\rho g W^3} = 10^{-0.022} \left[\left(\frac{V}{g^{0.2} W^{0.8}} \right)^{0.226} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.773} \times (10)^{0.022(20)} \right]^{1.107}$$

$$\frac{R_T}{\rho g W^3} = 10^{-1.022} \left[\left(\frac{V}{g^{0.2} W^{0.8}} \right)^{0.226} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.773} \times (10)^{0.022(20)} \right]^{1.107}$$

بنابراین با استفاده از مدل حاضر می‌توان مقادیر نیروهای کششی و عمودی وارد بر گاوآهن قلمی را در محدوده‌ای معین بدست آورد.

کلید واژه: آنالیز ابعادی، گاوآهن قلمی، مقاومت کششی، نیروی عمودی

مقدمه

هزاران سال است که انسان برای تأمین غذای مورد نیاز خود به کشاورزی روی آورده است. افزایش روزافزون جمعیت در سراسر جهان و کاهش منابع طبیعی از یک سو و لزوم فراهم نمودن مواد غذایی مورد نیاز آنها از سوی

دیگر، بشر را واداشته است تا بدنبال راههایی برای پاسخگویی به این نیاز فوری و ضروری باشد. در این راستا تلاش می شود تا از منابع موجود نظیر آب و خاک بهترین بهره عاید گردد و شیوه هایی برای جلوگیری از تخریب و یا هدر رفتن آنها به کار گرفته شود.

عملیات خاکورزی از مهمترین عواملی است که اگر متناسب با شرایط اقلیمی و نوع محصول انتخاب گردد، می توان از آب و خاک به بهترین وجه بهره برداری نمود. خاک ورزی عبارتست از بر هم زدن خاک به طریق مکانیکی که هدف اصلی آن فراهم نمودن شرایط محیطی بهینه برای رشد گیاه می باشد. در سالهای اخیر ادوات مختلفی طراحی شده اند تا هدف اصلی از عملیات خاک ورزی را محقق سازند. هر چند که کشاورز در انتخاب هر یک از ادوات آزاد است، اما همواره سعی دارد تا انرژی مصرفی مورد نیاز هر یک از آنها را شناخته و مطابق با شرایط کشت خود ادوات را انتخاب کند [۱].

انرژی مصرفی در عملیات خاک ورزی در مقایسه با سایر فعالیت ها در کشاورزی بسیار بالاتر می باشد. بنابراین ذخیره جزئی ناچیز از انرژی مصرفی در عملیات خاک ورزی باعث خواهد شد تا میلیون ها دلار از هزینه های صرف شده در کشاورزی کاسته شود [۲].

مهمترین قسمت ادواتی همچون گاوآهن برگردان دار، گاوآهن قلمی و زیر شکن که بصورت مستقیم با خاک درگیر شده و کار خرد کردن و شکست خاک را انجام می دهد، تیغه اینگونه ادوات است. این ادوات خاک ورز بر اساس نحوه عملکرد به دو دسته کلی با تیغه های عریض^۱ و با تیغه های باریک^۲ طبقه بندی می شوند [۳]. تیغه های عریض، تیغه هایی هستند که به هنگام حرکت، خاک را در دو جهت بالا و جلو حرکت می دهند. در واقع در اینگونه تیغه ها عرض خاک بر هم خورده و سست شده با عرض تیغه تقریباً یکسان می باشد. لذا معمولاً به فرآیند شکست خاک توسط تیغه های عریض شکست دو بعدی^۳ اطلاق می گردد. از جمله این ادوات می توان به گاوآهن برگردان دار اشاره نمود [۴].

در گاوآهن های با تیغه های باریک، به هنگام حرکت تیغه در خاک، علاوه بر آنکه خاک در دو جهت بالا و جلو حرکت کرده و سست می شود، به طرفین نیز گسترش می یابد. بطوریکه معمولاً عرض خاک سست شده در اثر حرکت تیغه های باریک به مراتب بیشتر از عرض تیغه می باشد. لذا به فرآیند شکست خاک در این نوع تیغه ها شکست سه بعدی^۴ اطلاق می گردد. از جمله ادوات با تیغه باریک می توان به گاوآهن قلمی و زیر شکن اشاره نمود [۵].

عوامل موثر بر مقاومت کششی و نیروهای عکس العمل عمودی و جانبی تیغه های خاک ورز عبارتند از: سرعت پیشروی ابزار خاک ورز، درصد رطوبت خاک، چگالی توده ای خاک، زاویه حمله تیغه^۵، عمق کار تیغه و پهنای تیغه [۶].

1 . Wide Tine

2 . Narrow Tine

3 . Two-dimensional soil failure

4 . Three- dimensional soil failure

5 . Rake angel

در تیغه های باریک نسبت ظاهری^۱ (نسبت عمق کار تیغه به پهنای آن) یک مشخصه مهم می باشد. در یک تیغه که پهنای مشخصی دارد، با افزایش عمق کار سطح خاک بر هم خورده افزایش می یابد، اما این افزایش همواره یکسان نبوده و با افزایش عمق تا حد معینی از نسبت ظاهری تیغه، حرکت تیغه به سمت جلو باعث بالا آمدن خاک نشده و تنها شیاری در خاک ایجاد می شود که دلیل آن زیاد شدن فشار خاک بالای تیغه می باشد. عمقی که این پدیده در آن واقع می گردد را عمق بحرانی^۲ می نامند. در عمق های کمتر از عمق بحرانی، خاک شکسته شده به سمت بالا حرکت می کند ولی در عمق های بیشتر از این عمق، حرکت خاک به سمت جوانب محدود شده و تنها خاک به سمت طرفین متراکم می گردد [۶].

پراکندگی نوع خاک و بافت آن، گستردگی نوع نیاز کشاورزان به ادوات خاک ورزی مختلف و احتیاج به کارایی بهینه هر یک از ادوات باعث شده تا بر روی ماشین های خاک ورز تحقیقات وسیعی صورت پذیرد. در طی سال ها محققین تلاش نمودند تا بتوانند عملکرد ابزار خاک ورز در خاک را توجیه نموده و به مدل های تئوری خاصی در این خصوص دست یابند. حصول مدل ها و روابط تئوری اولین و اساسی ترین گام مطمئن در خصوص ایجاد یک تحقیق دقیق و کاربردی می باشد. بدون وجود این تحقیقات نمی توان از متغیرهای مختلفی که بر میزان مصرف انرژی تیغه و عملکرد آن اثر می گذارند، آگاهی داشت. آنالیز ابعادی یکی از روش هایی است که میتوان با استفاده از آن، به روابط تئوری برای پیشگویی مقادیر نیروهای وارد بر ادوات خاک ورز دست یافت.

گیل و واندربرگ [۷] پیشنهاد کردند که نیروی کشش (F_s) و شرایط نهایی خاک، تحت تاثیر شکل هندسی تیغه (T_s)، چگونگی حرکت تیغه در خاک (T_m) و شرایط اولیه خاک (S_i) می باشند. آنها معادلات زیر را جهت عملکرد تیغه های خاک ورز ارائه نمودند:

$$S_f = g(T_m, T_s, S_i) \quad (1)$$

$$F_s = f(T_m, T_s, S_i) \quad (2)$$

همچنین بیان نمودن که شرایط نهایی خاک (S_f) نیز تابعی (g) از سه عامل فوق الذکر می باشد. ریوز و همکاران [۸] سعی نمودند رابطه ای را برای میزان نیروی مصرفی گاواهن قلمی بدست آورند. آنها بیان کردند که نیروی مصرفی تیغه تابعی از شکل هندسی تیغه و شرایط اولیه و نهایی خاک می باشد، ولی در انجام آزمایشات از تاثیر شرایط نهایی خاک صرف نظر نمودند. همچنین بیان کردند عواملی که بر عملکرد تیغه های چیزل موثر هستند، همگی دارای سه دیمانسیون اصلی جرم (M)، طول (L) و زمان (T) می باشند. آن ها بیان کردند w را که دارای بعد L ، g را که دارای بعد T و ρ را که دارای بعد M است، انتخاب نموده و با استفاده از این متغیر ها می توان ابعاد اصلی T ، M و L را به طریق زیر تشکیل داد:

$$(L)=(W), (T)=(W/g)^{0.5}, (M)=(\rho/w^3) \quad (3)$$

¹ . Aspect ratio

² . Critical depth

با تقسیم متغیر نیروی کشش تیغه بر نمایش ابعادی آن، عبارت بی بعد زیر را تشکیل دادند:

$$\pi_1 = \frac{D}{\rho g w^3} \quad (4)$$

به همین روش سایر عوامل موثر بر عملکرد تیغه بصورت فاکتورهای بدون بعد تبدیل میشوند. لذا نهایتاً میتوان نوشت:

$$\frac{D}{\rho g w} = f\left(\frac{A}{\rho g w}, \frac{c}{\rho g w}, \frac{v}{\sqrt{g w}}, \varphi, \frac{h}{w}, \theta, \alpha, \dots\right) \quad (5)$$

در این رابطه نیروی مورد نیاز برای کشش تیغه (D)، تابعی است از عواملی مانند همدوستی (c) و دگردوستی (A) خاک، سرعت حرکت تیغه (v)، زاویه اصطکاک داخلی خاک (φ)، عمق کار (h)، زاویه حمله (α) و سایر خصوصیات تیغه. ذکر این نکته ضروری است که هر یک از متغیرهای معادله فوق نظیر کسر $\frac{D}{\rho g w}$ بدون بعد می باشند.

جی کلاف و همکاران [۹] بر پایه تحلیل ابعادی معادله ای جهت پیشگویی نیروی کشش گاوآهن بدست آوردند که به صورت زیر بیان شده است:

$$\frac{D}{awv} = k_1 \left(\frac{va}{g}\right) + k_2 \left(\frac{va}{g}\right) \left(\frac{v^2}{ga}\right) \quad (6)$$

در این رابطه (D) مقاومت کششی گاو آهن، (a) عمق شخم، (w) عرض برش گاو آهن، (σ) تنش خاک، (k₂, k₁) ضرایبی هستند که بر اساس آزمایشات و بر پایه تحلیل ابعادی بدست می آیند. (γ) وزن مخصوص خاک، (v) سرعت پیشروی و (g) شتاب ثقل می باشند. این محققین با کمک آزمایشات مزرعه ای نهایتاً معادله فوق را بصورت زیر ساده تر نمودند:

$$\frac{D}{awv} = 1.33\gamma \cdot a + 3.06 \quad (7)$$

هدف از تحقیق حاضر تعیین معادلاتی به روش تحلیل ابعادی جهت تخمین مقادیر نیروهای کششی و عمودی وارد بر گاوآهن قلمی تک ساق می باشد.

مواد و روش ها

آزمایش ها در انباره خاک^۱ و آزمایشگاه دینامیک خاک موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج انجام گرفت. این آزمایشگاه با همکاری مشترک موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج و دانشکده سیلیسوی دانشگاه کرانفیلد انگلستان طراحی، ساخته و راه اندازی شده است. در اجرای تحقیق مذکور از طرح فاکتوریل در قالب بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده گردید. این آزمایش ها با استفاده از گاوآهن قلمی با پهنای تیغه ۵ سانتی متر و در سه نسبت ظاهری ۱/۵، ۲ و ۳، سرعت های پیشروی ۱/۵، ۳، ۴/۵ کیلومتر بر ساعت، زوایای حمله ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ درجه انجام شد. گاوآهن های مورد استفاده در این تحقیق از نوع گاوآهن های با ساقه L شکل و تیغه ها از جنس فولاد FD2 و طبق استاندارد ASAE 2002 ساخته شده بود. از مهمترین دلایل انتخاب این نسبت های عمق به عرض، آن است که تیغه ها بتوانند در اعماق کمتر از عمق بحرانی کار کرده و سبب فشردگی خاک به جوانب نگردند.

¹.soil bin

انباره خاک استفاده شده در این تحقیق دارای ابعاد کلی طول، عرض و ارتفاع بترتیب ۲۴، ۱/۷ و ۱ متر بود. با توجه به اینکه در آزمایشات بترتیب از ۱۵ و ۱/۶ متر از طول و عرض مخزن خاک استفاده گردید، و با توجه به انجام دو آزمایش در عرض و سه آزمایش در طول مخزن، آزمایشات در بلوک های ۸۰ × ۵۰ سانتی متر انجام شد. انباره مذکور از بخش های اصلی مخزن، سیستم تامین و انتقال قدرت، دستگاه پردازش خاک و واحد حمل ادوات^۱ تشکیل شده بود. حمل ادوات توسط اتصال سه نقطه به تراکتور متصل شده و جهت تامین نیروی لازم برای حرکت طولی حمل بر روی انباره خاک و کشش دینامومتر و ادوات متصل به آن، از یک تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ استفاده شد. کلیه تجهیزات مورد نیاز برای آماده سازی خاک مخزن بر روی دستگاه پردازش خاک قرار داشتند. این واحد شامل بیل های مکانیکی جابجایی خاک، تیغه تسطیح کننده خاک، دو غلتک صاف و دندان میخی فشرده ساز خاک بود. سرعت پیشروی ابزار خاک ورز در خاک توسط تغییرات دور موتور و بوسيله گاز دستی تراکتور تنظیم گردید. همچنین به منظور اندازه گیری سرعت پیشروی از یک سنسور سرعت که بر روی محور چرخ ها عقب نصب شده بود، استفاده گردید.

بافت خاک مورد استفاده در انباره از نوع لومی (۳۳/۲۸٪ شن، ۴۵/۸۴٪ سیلت و ۲۰/۸۸٪ رس) بود. همچنین رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک و جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۱۴٪ و ۱/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب بدست آمد. به منظور تعیین میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک، از دستگاه آزمون سه محوری استفاده گردید. بدین منظور نمونه هایی را توسط استوانه هایی با ابعاد استاندارد برداشته و به آزمایشگاه دینامیک خاک شرکت مهندسين سانو در تهران انتقال داده شد. با انجام آزمایشات مربوطه، مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک بترتیب 0.15 kg/cm^2 و ۳۵ درجه گزارش گردید. برای کنترل میزان فشردگی لازم خاک از دستگاه نفوذسنج مخروطی Eijkelkamp مدل 06.15 استفاده شد. جهت انجام آزمایشات با دستگاه نفوذ سنج مخروطی از یک مخروط با زاویه 30° و قطر قاعده ۱۲/۸۳ میلی متر استفاده گردید که بر اساس استاندارد مهندسی کشاورزی آمریکا ساخته شده است.

برای تعیین مقادیر نیروی کششی و عمودی وارد بر ابزار خاک ورز از یک دستگاه دینامومتر هشت وجهی^۳ کشیده که به همراه سخت افزار و نرم افزار مربوطه عمل واحدی را انجام می دادند، استفاده گردید. این دستگاه می تواند کرنش ها و تنش های حاصل از نیروهای افقی (F_x) و عمودی (F_z) و گشتاورهای وارده به ادوات (M_y) را اندازه گیری نماید. توجه به این نکته بسیار ضروری است که قبل از استفاده از هر دستگاهی، ابتدا بایست آن را کالیبره نمود و ضرایب کالیبراسیون را محاسبه نمود. بنابراین قبل از انجام آزمایشات، دینامومتر هشت وجهی را در سه تکرار کالیبره نموده و ضرایب کالیبراسیون برای مقادیر نیروهای کششی و عمودی به ترتیب ۰/۰۲۶۲ و ۰/۰۲۱۲ بدست آمد. همچنین به منظور

¹ Tool carriage

² . cone Index

³ . Extended octagonal ring

جمع آوری و ثبت داده های خروجی دینامومتر از یک دستگاه میکرولاگر^۱ ساخت شرکت CAMPBELL انگلیس، مدل CR23X استفاده شد. با اتصال دستگاه به کامپیوتر از طریق پورت^۲ RS-232 و برقراری ارتباط، امکان انتقال برنامه مورد نظر نوشته شده به میکرولاگر و همچنین انتقال داده های جمع آوری شده به کامپیوتر برای انجام تجزیه و تحلیل، فراهم گردید.

تجزیه و تحلیل داده ها

با توجه به تعداد تیمار ها معمولی ترین روش، استفاده از گروه های بدون بعد جهت معرفی نمودن اثرات اصلی هر یک می باشد. در تحقیق حاضر مقاومت کششی و نیروی عمودی وارد بر ابزار خاک ورز تابعی از ۳ گروه بدون بعد فرض می شود که با استفاده از قضیه باکینگهام تعیین می گردد. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها، فقط اثرات اصلی گروه ها در نظر گرفته شده است، بدین معنا که هر گروه مستقل تلقی شده و کلیه خطاهای موجود و همچنین اثرات متقابل در کل خطا در نظر گرفته شده است. در این تحقیق هدف دستیابی به روابط خطی برای بیان هر یک بود، که بر این اساس رابطه زیر ارائه گردید:

$$\left(\frac{R_f}{\rho g W^2}\right) = F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) + F_2 \left(\frac{d}{W}\right) + F_3 \quad (8)$$

$$\left(\frac{R_v}{\rho g W^2}\right) = F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}}\right) + F_2 \left(\frac{d}{W}\right) + F_3 \quad (9)$$

در رابطه (۸) و (۹)، گروه های اول و دوم تابعی از w هستند. بنابراین چنانچه در هر گروه اثرات عرض تیغه ثابت در نظر گرفته شود، به راحتی میتوان اثرات عامل بعدی آن گروه بر R_f و R_v را بدست آورد. به عبارت دیگر با ثابت نگه داشتن عرض تیغه و تغییر در مقدار عمق شخم، میتوان اثرات سرعت پیشروی ابزار خاک ورز را بر مقادیر R_f و R_v بررسی نمود.

تجزیه و تحلیل گروه $F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)$:

در ابتدا لگاریتم داده های مربوط به عمق شخم نسبت به لگاریتم داده های R_f و R_v رسم گردیدند (شکل ۱ و ۲). هر یک از این نقاط در جدول داده ها موجود بود. بنابراین در هر نمودار پس از تعیین و دسته بندی نقاط دارای $\text{Log} \left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)$ یکسان، فواصل طولی آن ها نسبت به مبدا مختصات بر روی هر نمودار به روش ترسیمی تعیین گردید. این فواصل بیانگر شاخصی از تغییرات لگاریتم تابع $\left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)$ در مقابل مقادیر عددی $\text{Log} \left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)$ هستند. بنابراین با متناظر قرار دادن طول هر یک از این فواصل با مقادیر عددی $\text{Log} \left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}}\right)$ مربوط به خود، نمودارهای هر تکرار حاصل گردید. با رسم بهترین خط انطباق، هر یک از نمودارهای دارای شیب "n" مربوط به خود بوده که با توجه به تعداد تکرارها و متوسط گیری از کلیه شیب های حاصله، مقدار عددی $n=0.206$ و $n=0.292$ به ترتیب برای نیروهای کششی و عمودی بدست آمد.

¹ . Micro Logger

² . port

بنابراین برای نیروی کششی:

$$\text{Log} F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right) = 0.206 \text{ Log} \left(\frac{v}{g^{0.5} w} \right) \quad (10)$$

$$F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right) = \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right)^{0.206} \quad (11)$$

و برای نیروی عمودی میتوان نوشت:

$$\text{Log} F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right) = 0.292 \text{ Log} \left(\frac{v}{g^{0.5} w} \right) \quad (12)$$

$$F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right) = \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right)^{0.292} \quad (13)$$

نتایج حاصل از فرآیند فوق الذکر برای نیروی کششی در شکل (۳) نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل گروه F_2 :

به منظور آنالیز این گروه ابتدا مقادیر عددی زیر محاسبه گردید.

$$\text{Log} \left(\frac{Rf}{g w^2} \right) - \text{Log} F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right) = \text{Log} F_2 \left(\frac{d}{w} \right) = \text{First Residual of Draft for} \quad (14)$$

$$\text{Log} \left(\frac{Rf}{g w^2} \right) - \text{Log} F_1 \left(\frac{v}{g^{0.5} w^{0.5}} \right) = \text{Log} F_2 \left(\frac{d}{w} \right) = \text{First Residual of Vertical for} \quad (15)$$

روابط (۱۴) و (۱۵) را "باقیمانده اول" می نامیم. به عبارت دیگر اثر تغییرات تابع $\left(\frac{v}{g^{0.5} w} \right)$ از نیروهای کششی و

عمودی، در قالب رابطه ای خطی، حذف گردید. سپس مقادیر عددی حاصل از روابط فوق در مقابل $\text{Log} \left(\frac{d}{w} \right)$ متناظر با آن ترسیم شدند. پس از محاسبه ضریب زاویه نمودارهای هر تکرار و متوسط گیری از آن ها، ضریب زاویه "n" بدست آمد. بنابراین میتوان نوشت:

$$\text{Log} F_2 \left(\frac{d}{w} \right) = n \text{ Log} \left(\frac{d}{w} \right) \quad (16)$$

که در آن برای نیروی کششی $n=0.973$ و برای نیروی عمودی $n=0.727$ می باشد.

بنابراین برای نیروی کششی خواهیم داشت:

$$\text{Log} F_2 \left(\frac{d}{w} \right) = 0.973 \text{ Log} \left(\frac{d}{w} \right) \quad (17)$$

$$F_2 \left(\frac{d}{w} \right) = \left(\frac{d}{w} \right)^{0.973} \quad (18)$$

و برای نیروی عمودی میتوان نوشت:

$$\text{Log} F_2 \left(\frac{d}{w} \right) = 0.727 \text{ Log} \left(\frac{d}{w} \right) \quad (19)$$

$$F_2 \left(\frac{d}{w} \right) = \left(\frac{d}{w} \right)^{0.727} \quad (20)$$

تجزیه و تحلیل گروه: $F_3(\alpha)$

در این مرحله $\text{Log} F_3(\alpha)$ را از مقادیر عددی $\text{Log} \left(\frac{R}{\rho g} \right)$ و $\text{Log} \left(\frac{R}{\rho g} \right)$ کسر می نماییم. مقدار حاصل را "باقیمانده

دوم" می نامیم که برابر با $\text{Log} F_3(\alpha)$ می باشد.

$$\text{Log} \left(\frac{R_f}{\rho_{gw}^2} \right) - \text{Log} F_2 \left(\frac{d}{W} \right) = \text{Log} F_3(\alpha) = \text{Second Residual of Draft for} \quad (21)$$

$$\text{Log} \left(\frac{R_v}{\rho_{gw}^2} \right) - \text{Log} F_2 \left(\frac{d}{W} \right) = \text{Log} F_3(\alpha) = \text{Second Residual of Vertical for} \quad (22)$$

با رسم مقادیر عددی حاصل از روابط فوق در مقابل Log متناظر با آن برای هر تکرار و متوسط گیری، ضریب زاویه $n=0.01$ و $n=-0.006$ به ترتیب برای نیروهای کششی و عمودی (شکل ۴) بدست آمد.

بنابراین برای نیروی کششی:

$$\text{Log} F_3(\alpha) = 0.01 \text{Log} \alpha \quad (23)$$

$$F_3(\alpha) = (10)^{(0.01)\alpha} \quad (24)$$

و برای نیروی عمودی:

$$\text{Log} F_3(\alpha) = -0.006 \text{Log} \alpha \quad (25)$$

$$F_3(\alpha) = (10)^{(-0.006)\alpha} \quad (26)$$

معادله عمومی مقاومت کششی:

با توجه به معادلات (۱۱)، (۱۸) و (۲۴) و استفاده از قرار دادن آن ها در معادله (۸) میتوان نوشت:

$$\left(\frac{R_f}{\rho_{gw}^2} \right) = C \left[\left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)^{0.206} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.973} \times (10)^{(0.01)\alpha} \right] \quad (27)$$

$$\left(\frac{R_f}{\rho_{gw}^2} \right) = C(F_1 \times F_2 \times F_3) \quad (28)$$

بنابراین:

$$\text{Log} \left(\frac{R_f}{\rho_{gw}^2} \right) = \text{Log}(C) + \text{Log}(F_1 \times F_2 \times F_3) \quad (29)$$

مقادیر داخل کروشه معادله (۲۷) در مقابل مقادیر $\left(\frac{R_f}{\rho_{gw}^2} \right)$ رسم گردید و با توجه به نمودار مقادیر $\text{Log}(c)=-0.792$ و $n=1.103$ بدست آمد. بنابراین معادله عمومی مقاومت کششی وارد بر ابزار باریک خاک ورز بصورت نهایی زیر ارائه می شود:

$$\frac{R_f}{\rho_{gw}^2} = 10^{-0.792} \left[\left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)^{0.206} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.973} \times (10)^{(0.01)\alpha} \right]^{1.103} \quad (30)$$

معادله عمومی نیروی عمودی:

با استفاده از معادلات (۱۳)، (۲۰) و (۲۶) در معادله (۹) خواهیم داشت:

$$\left(\frac{R_v}{\rho_{gw}^2} \right) = C \left[\left(\frac{v}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)^{0.292} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.727} \times (10)^{(-0.006)\alpha} \right] \quad (31)$$

$$\left(\frac{R_v}{\rho_{gw}^2} \right) = C(F_1 \times F_2 \times F) \quad (32)$$

$$\text{Log} \left(\frac{R_v}{\rho_{gw}^2} \right) = \text{Log}(C) + \text{Log}(F_1 \times F_2 \times F) \quad (33)$$

با رسم مقادیر داخل کروشه معادله (۳۱) در مقابل مقادیر عددی $\left(\frac{R_v}{\rho_{gw}^2} \right)$ ، مقدار $\text{Log}(c)=-1.029$ و $n=1.216$ بدست آمد. در نتیجه معادله عمومی نیروی عمودی وارد بر ابزار باریک خاک ورز بصورت نهایی زیر حاصل شد:

$$\frac{R_V}{\rho g W^2} = 10^{-1.009} \left[\left(\frac{V}{\rho g W^2 F} \right)^{0.0002} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.0015} \times (10)^{0.001} \right]^4 \quad (34)$$

محدوده به کارگیری معادلات عمومی مقاومت کششی و نیروی عمودی:

تحقیق حاضر تحت شرایط زیر صورت پذیرفته است و در این محدوده امکان تخمین نیروهای کششی و عمودی ابزار باریک خاک ورز فراهم می باشد.

$$0.1459 \leq \left(\frac{R_V}{\rho g W^2} \right) \leq 0.71 \quad (35)$$

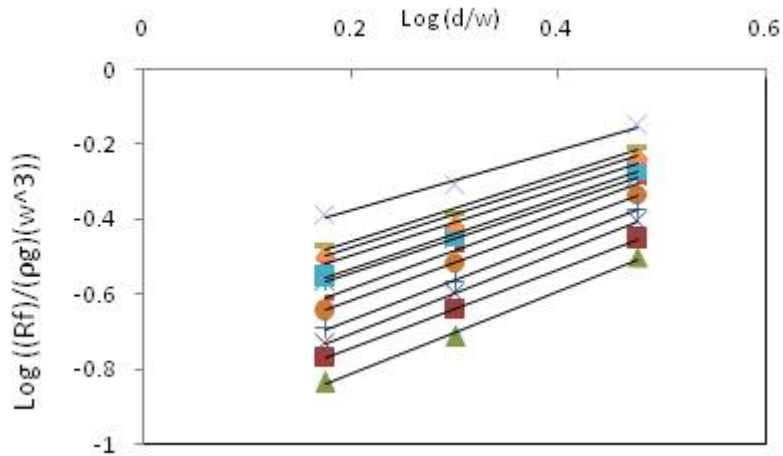
$$0.0305 \leq \left(\frac{R_V}{\rho g W^2} \right) \leq 0.1 \quad (36)$$

$$1.5 \leq \left(\frac{d}{W} \right) \leq \quad (37)$$

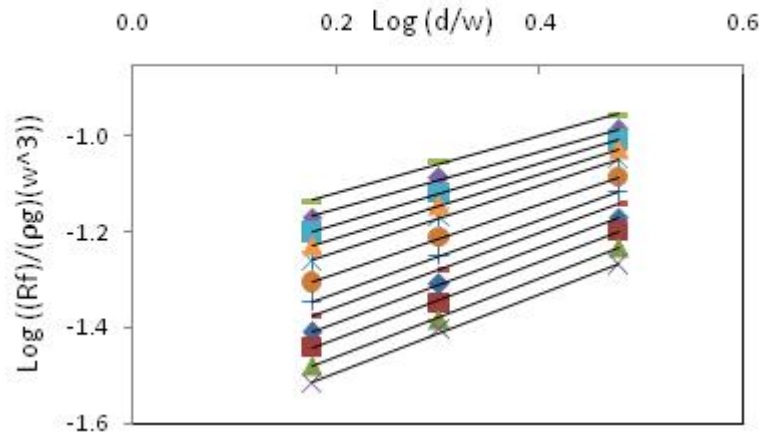
$$10 \leq (\alpha) \leq \quad (38)$$

بحث و نتیجه گیری:

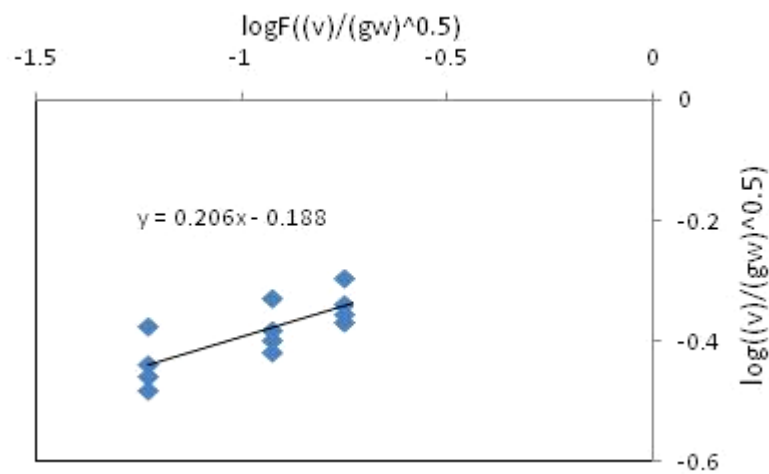
به منظور ارزیابی میزان اعتبار و صحت تخمین نیروهای کششی و عمودی توسط مدل حاصل، از ۲۰ درصد از داده هایی که به منظور تست مدل کنار گذاشته شده بود، استفاده گردید. رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر بدست آمده از مدل در شکل (۵) و (۶) نشان داده شده است. نتایج حاصل از نمودار مقادیر اندازه گیری شده و تخمینی، مبین دقت بالای روش تحلیل ابعادی در تعیین معادلات عمومی ادوات خاک ورز می باشد. همچنین نتایج آماری بدست آمده از آزمون F در سطح ۰.۵٪ (جدول ۱ و ۲) نشان داد که شیب و عرض از مبدا نمودار مقادیر اندازه گیری شده و تخمینی نیروهای کششی و عمودی نسبت به خط ۱:۱، اختلاف معنی داری ندارند. در نتیجه با استفاده از مدل حاضر می توان مقادیر عملی نیروهای کششی و عمودی وارد بر گاوآهن قلمی را بدست آورد و نتایج تحقیقاتی را که داده های آنها در محدوده ی گروه های بدون بعد معرفی شده در رابطه ی (۳۰) و (۳۴) باشد را نیز بازنگری نمود. به منظور تخمین دقیق تر مقادیر مقاومت کششی و نیروی عمودی، می توان تاثیر سایر عوامل از جمله درصد رطوبت، نوع بافت خاک و میزان سختی خاک را با انجام آزمایشات در خاک های با بافت مختلف و درصد رطوبت متفاوت، بررسی نمود.



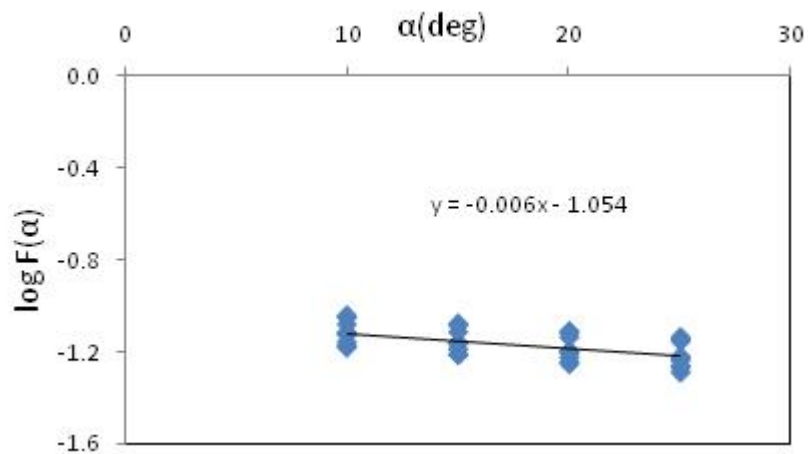
شکل (۱) - نمودار $\text{Log}(d/w)$ و $\text{Log}((Rf)/(pg)(w^3))$ نیروی کششی



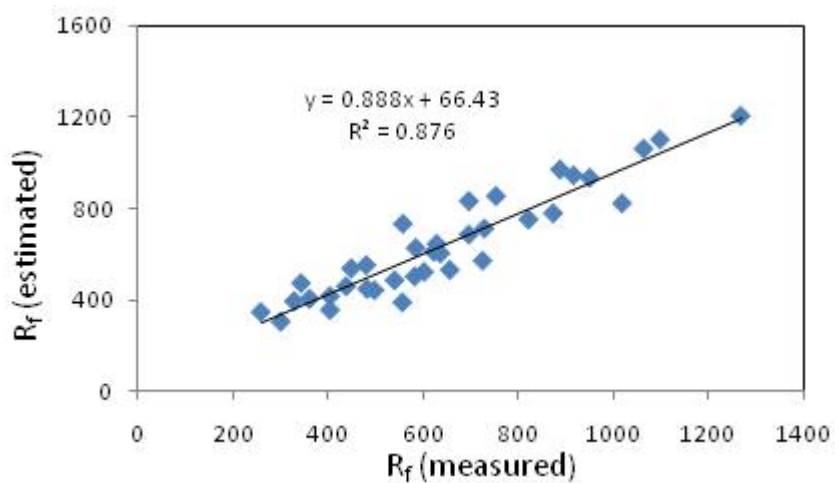
شکل (۲) - نمودار $\text{Log}(d/w)$ و $\text{Log}((Rf)/(pg)(w^3))$ نیروی عمودی



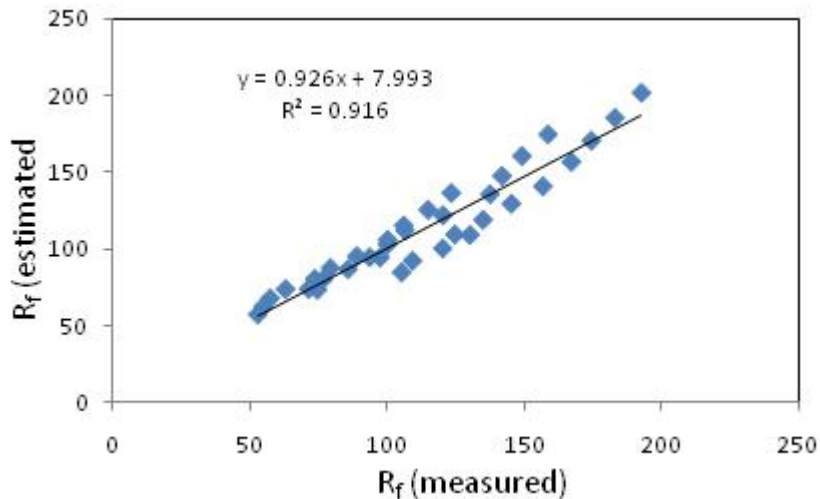
شکل (۳) - نمودار $\text{Log}((v)/(gw)^{0.5})$ و $\text{Log} F((v)/(gw)^{0.5})$ نیروی کششی



شکل (۴) - نمودار α و $\text{Log} F(\alpha)$ نیروی عمودی



شکل (۵) - رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمینی نیروی کشش



شکل (۶) - رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمینی نیروی عمودی

جدول ۱ - نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برازش مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده نیروی

کششی با خط ۱:۱ در سطح احتمال ۰.۰۵٪

Line	Within	d.f	$\sum x^2$	$\sum xy$	$\sum y^2$	Coef.	d.f.	S.S.	M.S.
1	Line(1)	35	2097024.47	1862913.83	1888059.35	0.888	34.000	233120.192	6856.476
2	Line(2)	35	2097024.47	2097024.47	2097024.47	1	34	0	0
comparison of slopes						: F =	3.81	N.S	
comparison of intercept						: F =	0.16	N.S	

جدول ۲ - نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برازش مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده نیروی

عمودی با خط ۱:۱ در سطح احتمال ۰.۰۵٪

Line	Within	d.f	$\sum x^2$	$\sum xy$	$\sum y^2$	Coef.	d.f.	S.S.	M.S.
1	Line(1)	35	49189.59	45580.16	46070.14	0.927	34.000	3834.565	112.781
2	Line(2)	35	49189.59	49189.59	49189.59	1	34	0	0
comparison of slopes						: F =	2.35	N.S	
comparison of intercept						: F =	0.03	N.S	

فهرست نشانه گذاری ها

R_f (N)	مقاومت کششی وارد بر ابزار خاک ورز
R_v (N)	نیروی عمودی وارد بر ابزار خاک ورز
ρ (gr/cm ³)	وزن مخصوص ظاهری خاک
g (m/s ²)	شتاب ثقل
W (cm)	پهنای تیغه
V (m/s)	سرعت پیشروی ابزار در خاک
d (cm)	عمق کار ابزار خاک ورز
α^0	زاویه حمله تیغه

منابع:

- 1- Bukhari, S., M. Baloch and A. N. Mirani (1989). Soil Soil manipulation with tillage implement. A. M. A.,20:17-20.
- 2- Gill, W. R., and Vanden Berg (1968). Soil Dinamics in Tillage and Traction. Agricultural Handbook No. 316. USDA-ARS.
- 3- Plasse, R. , G. S.V. Raghavan. , and E. Mckyes. 1985. Simulation of narrow blade performance in different soils. Trans. of the ASAE. 28(4) : 1007-1012.
- 4- Hettiaratchi, D. R. P., B. D. Witney., and A. R. Reece (1966). The calculation of passive pressure in two-dimensional soil failure. J. Agric. Eng. Res. 11(2):89-107
- 5- Hettiaratchi, D. R. P., and A. R. Reece (1967). Symmetrical three- dimensional soil failure. Journal of Terramechanics. 4(3):45-67.
- 6- Gowdin, R. J. , and G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tine. J. Agric. Eng. Res. 22(4):213-228.
- 7- Gill, W. R. , and G. E. Vandenberg. 1960. Soil dynamic in tillage and traction. Agricultural Engineering. 41(6) :372-374,381.
- 8- Reaves, C. A., A. W. Cooper., and F. A. Kummer (1968). Similitude in performance studies of soil-chisel system. Trans. Of the ASAE. 11(5):658-660
- 9- Gee-Clough, D., M. McAllister, G. Pearson and D. W. Evernden. 1978. The empirical prediction of tractor implement field performance. *Journal of Terramechanics*. 15(2):81-94.

Development of Generalized Equations for Estimating of Draft and vertical requirement forces of a Single- shank Chisel Plow by Dimensional Analysis Approach

Abstract

The main aim of this study was developed equations for estimating draft and vertical forces of a Chisel Plow by using dimensional analysis method. Tests were conducted in the soil tillage Laboratory of Agricultural Engineering Research Institute in Karaj. The effects of four levels of rake angle (10, 15, 20 and 25 deg), three levels of velocity (1.5, 3 and 4.5 km/h) and three levels of aspect ratio (1.5, 2 and 3) on draft and vertical requirement forces of a Chisel Plow were investigated. The 50 mm wide Chisel blade was used for testing. Experiments were conducted in loamy soil with 14% moisture. In this study, factorial experiment in randomized complete block design was used in three replications. Final equations for estimation of draft and vertical applied forces on blade, was as fallow:

$$\frac{R_D}{\rho g W^2} = 10^{-0.0028} \left[\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)^{0.6226} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.5792} \times (10)^{0.0013(\alpha)} \right]^{1.4028}$$

$$\frac{R_V}{\rho g W^2} = 10^{-1.0028} \left[\left(\frac{V}{g^{0.5} W^{0.5}} \right)^{0.6226} \times \left(\frac{d}{W} \right)^{0.5792} \times (10)^{0.0013(\alpha)} \right]^{1.6116}$$

Therefore, it can predicted draft and vertical forces on chisel plow in specific limit by using presented model.

Keyword: Dimensional Analysis, Chisel Plow, draft, vertical force