



## اثر نوع خاک، هندسه ماشین و شرایط کاری بر مقاومت کششی گاوآهن‌های برگرداندار و بشقابی

ایمان احمدی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۳

### چکیده:

یکی از مهمترین عواملی که بر بازده کاری ادوات خاک‌ورزی تاثیرگذار است، مقاومت کششی آنهاست. اگر نیروی وارده از ادوات به تراکتور در راستاهای حرکت و عمود بر آن تجزیه شود، مؤلفه در راستای حرکت مقاومت کششی ماشین می‌باشد. در این مقاله با استفاده از دو مدل مکانیکی توسعه یافته برای محاسبه مقاومت کششی گاوآهن‌های برگرداندار و بشقابی، اثر تغییر پارامترهای خاک، ماشین و شرایط کاری بر مقاومت کششی این گاوآهن‌ها مدنظر قرار گرفته است. برای ارائه فرمولهای ریاضی بیانگر وابستگی مقاومت کششی به پارامترهای مورد مطالعه، ابتدا بازه  $[50\%X_{base}, 150\%X_{base}]$  به عنوان بازه تغییرات هر پارامتر در نظر گرفته شد (در این بازه  $X_{base}$  مشخص کننده مقدار مبنای پارامتر  $X$  می‌باشد). سپس پنج عدد با فاصله توالی یکسان در این بازه انتخاب شد و مقادیر مقاومت کششی مربوط به این اعداد به کمک مدل‌های مکانیکی محاسبه گردید. در نهایت منحنی‌های مورد نیاز به کمک نرم‌افزار اکسل ترسیم گردید و معادله بهترین برازش به منحنی‌های ترسیم شده به همراه ضریب تعیین مربوطه ( $R^2$ ) ارائه گردید. بر مبنای نتایج به دست آمده با افزایش درصد ذرات ریز دانه خاک (سنگین شدن خاک)، سهم مقاومت ناشی از برش خاک از مقاومت کششی کل هر یک از گاوآهن‌ها بیشتر شد. از سوی دیگر مقاومت کششی ویژه گاوآهن برگرداندار در بازه عمق کاری ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر کمترین مقدار را داشت. به‌علاوه بهترین عرض خیش گاوآهن برگرداندار ۴۰ سانتی‌متر و بهترین قطر بشقاب گاوآهن بشقابی ۸۰ سانتی‌متر به دست آمد. همچنین بهترین زاویه تمایل از نظر بازده کاری گاوآهن بشقابی برابر با ۱۵ درجه تعیین گردید.

**واژه‌های کلیدی:** برش خاک، جابجایی خاک، نیروی اصطکاک، مدل‌های تئوری، قوانین مکانیکی

### مقدمه :

یکی از مهمترین عواملی که بر بازده کاری ادوات خاک‌ورزی تاثیرگذار است، مقاومت کششی آنهاست. مقاومت کششی، مؤلفه در راستای سرعت نیروی اعمالی از ادوات به تراکتور است. به دلیل اهمیت در اختیار بودن مقاومت کششی از نقطه‌نظرهای طراحی و کارایی ماشین، پژوهشگران با روش‌های مختلف به اندازه‌گیری، تخمین یا محاسبه مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی پرداخته‌اند. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی از دینامومتر استفاده می‌شود. دینامومترها به دو نوع اتصال سه نقطه (Aljalil et al., 2001; Formato et al., 2005; Kasisira & du Plessis, 2006) و مالبندی (Ahmadi, 2016(a); Chen et al., 2007) تقسیم می‌شوند.

تخمین مقاومت کششی به کمک توسعه معادلات تجربی که بیانگر ارتباط نیرو با پارامترهای تاثیرگذار بر آن است، میسر می‌شود (Rashidi et al., 2013; Ranjbar et al., 2013). از سوی دیگر محاسبه مقاومت کششی، با مدلسازی اثر متقابل ماشین با خاک امکانپذیر می‌گردد. این محاسبه از طریق به‌کارگیری روش‌های عددی مثل FEM یا DEM (Bentaher et al., 2007; Shmulevitch et al., 2013) و یا استفاده از مدل‌های توسعه یافته بر مبنای قوانین مکانیک کلاسیک (Godwin & O'Dogherty, 2006; Godwin, 2007) امکانپذیر است. یکی از مزیت‌های توسعه مدل‌های مکانیکی علاوه بر اهداف پژوهشی، امکان به‌کارگیری آنها در امر آموزش و انتقال مفاهیم مربوط به چگونگی ایجاد مقاومت کششی از طریق برهمکنش بین عامل خاک‌ورز و خاک می‌باشد.

۱- استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران



برگردان و بشقاب  $(\theta, \eta)$  و جرم عامل خاک ورز (M).  
ورودیهای اختصاصی گاوآهن بشقابی عبارتند از: زاویه تمایل  
 $(\alpha)$ ، زاویه بشقاب  $(\theta)$  و درصد همپوشانی بشقاب‌های مجاور  
(OP).

بر اساس مدل مربوط به گاوآهن برگرداندار (Ahmadi, 2016)  
(b)، مقاومت کششی یک خیش گاوآهن از رابطه زیر به دست  
می‌آید:

$$P_u = P_c + P_{dx} + P_f$$

$$= \frac{cbd}{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \left(\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \tan\varphi\right)}$$

$$+ \frac{\rho gb \frac{d^2}{2 \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)} \left(\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \tan(\varphi)\right)}{\left(\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \tan(\varphi)\right)}$$

$$+ bd\rho_{soil}v^2(1 - \cos(\theta)) + \mu bd\rho_{soil}v^2 \sin(\theta)$$

$$+ \mu(M_{plowbottom} + \rho_{soil}b^2d)g$$

همچنین بر اساس مدل مربوط به گاوآهن بشقابی  
(Ahmadi, 2016(c))، مقاومت کششی یک بشقاب گاوآهن از  
رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$P_u = P_c + P_{dx} + P_f$$

$$= \int_{\xi_0}^{\xi_m} \left(-K_8 \frac{\sin^3 \xi}{3} + K_9 \xi\right) d\xi$$

$$+ K_{10} \sin \xi + K_{11} \sin 2\xi \Big|_{\xi_0}^{\xi_m} - (1 - OP)\xi_m$$

$$+ R^2 \left(\xi_m - \frac{\sin(2\xi_m)}{2}\right) \cos\alpha \cos\theta \rho_{soil}v^2(1 - \cos \eta)$$

$$+ \mu R^2 \left(\xi_m - \frac{\sin(2\xi_m)}{2}\right) \cos\alpha \cos\theta \rho_{soil}v^2 \sin \eta$$

$$+ \mu g M_{blade+frame}$$

پس از به دست آمدن مقاومت کششی یک عامل خاک‌ورز،  
از ضرب تعداد عوامل خاک‌ورز (N) در  $P_u$ ، مقاومت کششی  
گاوآهن (P) محاسبه می‌گردد و از ضرب P در سرعت پیشروی  
(v)، توان کششی مورد نیاز گاوآهن (DPR) به دست می‌آید.  
از سوی دیگر حاصل تقسیم P به سطح مقطع شخم، مقاومت  
کششی ویژه گاوآهن ( $P_s$ ) می‌باشد. لازم به ذکر است که برای  
محاسبه سطح مقطع شخم در مورد گاوآهن بشقابی دارای  
بیش از یک بشقاب، باید همپوشانی بشقاب‌های مجاور در نظر  
گرفته شود که در فرمول مدل مربوطه به این نکته توجه  
شده است. برای تسهیل انجام محاسبات و امکان بررسی اثر  
ورودیهای مدل بر هر یک از خروجی‌ها، فرمولهای بالا وارد نرم  
افزار اکسل گردید. در نتیجه تنها با داشتن مقادیر پارامترهای

همچنین به علت ساختار ریاضی معادلات توسعه یافته از  
مدلهای مکانیکی، امکان بررسی اثر متغیرهای مستقل بر روی  
متغیرهای وابسته به صورت تئوری با این نوع مدلها بهتر از  
سایر روشها فراهم می‌گردد.  
در این مقاله با استفاده از مدلهای مکانیکی توسعه یافته توسط  
احمدی راجع به مقاومت کششی گاوآهن‌های برگرداندار  
(Ahmadi, 2016(b)) و بشقابی (Ahmadi, 2016(c))، اثر  
تغییر پارامترهای خاک، ماشین و شرایط کاری بر اجزای  
مقاومت کششی این گاوآهن‌ها مد نظر قرار گرفته و نتایج  
به دست آمده با نتایج پژوهشگران دیگر مقایسه شده است.

### مواد و روشها:

در این مقاله به منظور پیش‌بینی نیرو از دو مدل استفاده  
می‌شود که مقاومت کششی گاوآهن‌های برگرداندار و بشقابی را  
به کمک روابط مکانیکی به پارامترهای خاک، پارامترهای  
ماشین و پارامترهای مربوط به شرایط کاری ارتباط می‌دهند.  
فرضیه مورد استفاده در این دو مدل این است که مقاومت  
کششی هر عامل خاک ورز ( $P_u$ ) از سه مؤلفه تشکیل  
شده است، این سه مؤلفه عبارتند از: مقاومت ناشی از برش  
خاک ( $P_c$ )، مقاومت ناشی از جابجایی توده خاک ( $P_{dx}$ ) و  
مقاومت ناشی از اصطکاک خاک با بدنه گاوآهن ( $P_f$ ). فرمول  
مربوط به مقاومت ناشی از برش، به کمک معادله حاصل از  
تعادل استاتیکی نیروهای وارد به سطح گسیختگی در لحظه  
گسیختگی نتیجه می‌شود، رابطه مربوط به مقاومت ناشی از  
جابجایی توده خاک با به کارگیری روش ضربه-اندازه حرکت  
در مورد پدیده حرکت پیوسته خاک روی صفحه برگردان و یا  
سطح داخلی بشقاب حاصل می‌شود و رابطه مربوط به مقاومت  
ناشی از اصطکاک به کمک قانون فیزیکی مشهور نیروی  
اصطکاک به دست می‌آید. در این مقاله مقاومت کششی کل  
( $P_u$ ) و اجزای آن ( $P_c$ ،  $P_{dx}$ ،  $P_f$ ) به عنوان خروجی‌های مدل  
مطرح هستند. ورودیهای مشترک دو مدل عبارتند از ورودیهای  
مربوط به پارامترهای خاک (چسبندگی خاک (c)، زاویه  
اصطکاک داخلی خاک ( $\phi$ )، زاویه اصطکاک بین فلز و خاک  
( $\delta$ ) و جرم مخصوص خاک ( $\rho_{soil}$ )) و ورودی‌های مربوط به  
پارامترهای ماشین و شرایط کاری (سرعت پیشروی (v)، عرض  
کاری عامل خاک‌ورز (b, R)، عمق کاری عامل خاک‌ورز (d)،  
 $h_m$ ، تعداد عاملهای خاک‌ورز (N)، زاویه انتهای صفحه



همراه ضریب تعیین ( $R^2$ ) مربوط به معادله که به عنوان معیار مناسب بودن برازش شناخته می‌شود، ارائه شد (ضریب تعیین عددی است بین صفر و یک که هر چه این عدد به یک نزدیک باشد نشان دهنده این است که برازش بهتری به صورت یک تابع به داده‌های پراکنده صورت گرفته‌است).

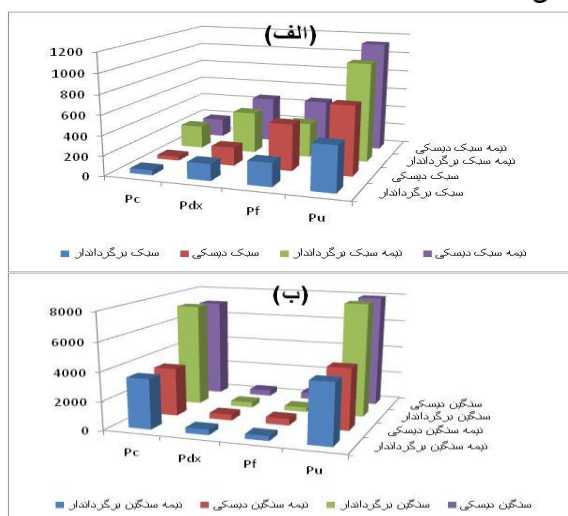
از سوی دیگر برای بررسی اثر تغییر نوع خاک بر مقدار مؤلفه‌های مقاومت کششی یک گاوآهن ثابت، مقدار مؤلفه‌های مقاومت کششی برای چهار بافت خاک سبک، نیمه سبک، سنگین و نیمه سنگین محاسبه گردید. ویژگی‌های این چهار نوع خاک در جدول ۲ آورده شده است (McKyes, 1985).

جدول ۲. ویژگی‌های چهار بافت خاک مورد استفاده برای محاسبه تغییرات سهم مؤلفه‌های مقاومت کششی از مقاومت کششی کل با تغییر بافت خاک

بافت خاک	چسبندگی خاک (c, kPa)	زاویه اصطکاک داخلی خاک ( $\phi$ , °)	جرم مخصوص خاک ( $\rho$ , g/cm <sup>3</sup> )
سبک	۰	۰	۰/۸۴
نیمه سبک	۰	۱۸	۲/۱۱
نیمه سنگین	۲۸/۲	۰	۱/۸۹
سنگین	۲۸/۲	۳۷	۱/۸۹

### نتایج و بحث:

نتیجه حاصل از اثر بافت خاک بر سهم هر یک از مؤلفه‌های مقاومت کششی از مقاومت کششی کل در شکل ۱ نشان داده شده است:



شکل ۱. الف) اثر خاک دارای بافت سبک و نیمه سبک و ب) نیمه سنگین و سنگین بر مقدار مقاومت ناشی از برش خاک ( $P_c$ )، مقاومت

ورودی امکان محاسبه متغیرهای وابسته (خروجی‌های) هر یک از مدلها فراهم شد. به منظور مشابه شدن شرایط کاری دو گاوآهن مورد مقایسه در این مقاله در حالت مینا، هندسه گاوآهن‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که سطح مقطع شخم آنها یکسان باشد. بنابراین عرض و عمق کاری گاوآهن برگرداندار برترتیب برابر با 20 cm و 30 cm انتخاب گردید و زاویه تمایل، زاویه بشقاب، قطر و حداکثر عمق کاری بشقاب گاوآهن بشقابی برترتیب  $15^\circ$ ،  $45^\circ$  و 60 cm در نظر گرفته شد و تعداد عامل خاک‌ورز هر گاوآهن  $N=1$  لحاظ گردید. از سوی دیگر چون هدف این پژوهش بررسی اثر تغییرات هر یک از پارامترهای مستقل بر پارامترهای وابسته مدل‌های توسعه یافته می‌باشد، بنابراین حالت مبنای پارامترهای خاک به صورت مقادیر نشان داده شده در جدول ۱ انتخاب گردید:

جدول ۱. مقادیر مبنای مربوط به پارامترهای خاک

کلاس خاک	چسبندگی (c, kPa)	زاویه اصطکاک داخلی خاک ( $\phi$ , °)	زاویه اصطکاک بین خاک و فلز ( $\delta$ , °)	جرم مخصوص خاک ( $\rho$ , g/cm <sup>3</sup> )
لوم رسی سیلت دار	۲۲	۳۰	۱۸	۱/۵

همچنین حالت مبنای مربوط به زاویه انتهای صفحه برگردان ( $\theta$ ) و جرم خیش گاوآهن برگرداندار (M) برترتیب  $30^\circ$  و 50 kg و زاویه خط مماس بر لبه بشقاب در نقطه تماس با زمین با جهت مخالف سرعت پیشروی ( $\eta$ ) و جرم بشقاب گاوآهن بشقابی (M) برترتیب برابر با  $65^\circ$  و 150 kg لحاظ گردید. برای ارائه فرمول‌های ریاضی بیانگر وابستگی مقاومت کششی و اجزای آن به تک‌تک متغیرهای مستقل، ابتدا بازه تقریبی  $[50\%X_{base}, 150\%X_{base}]$  به عنوان بازه تغییرات هر متغیر مستقل در نظر گرفته شد (در این بازه  $X_{base}$  مشخص کننده مقدار مبنای متغیر مستقل X می‌باشد). سپس پنج عدد با فاصله توالی یکسان در این بازه انتخاب شد و مقادیر متغیرهای وابسته مربوط به این اعداد به کمک نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید. در نهایت منحنی تغییرات هر متغیر وابسته نسبت به هر متغیر مستقل به کمک قابلیت نرم‌افزار اکسل ترسیم گردید و معادله بهترین برازش به منحنی ترسیم شده به



ناشی از جابجایی خاک ( $P_{dx}$ )، مقاومت ناشی از اصطکاک خاک با فلز ( $P_f$ ) و مقاومت کل عامل خاک‌ورز ( $P_{II}$ ) گاوآهن‌های برگرداندار و

#### بشقابی

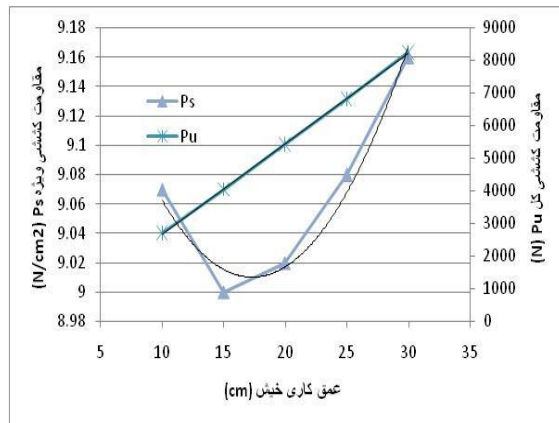
نتیجه‌ای که از شکل ۱ به دست می‌آید این است که با افزایش درصد ذرات ریزدانه توده خاک (سنگین شدن خاک)، سهم مقاومت ناشی از برش خاک ( $P_c$ ) از مقاومت کششی کل هر یک از گاوآهن‌ها بیشتر شده‌است. از نقطه نظر کاربردی این طور می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای کاستن از مقدار مقاومت کششی در خاک درشت دانه (بافت سبک) می‌توان از طریق تغییر پارامترهای ماشین و یا پارامترهای کاری گاوآهن اقدام کرد، به این دلیل که در این نوع بافت سهم این دو مؤلفه مقاومتی از مقاومت کششی کل قابل توجه بوده و هر عامل کاهنده این دو مؤلفه روی مقاومت کششی کل تاثیر بسزا خواهد داشت. از سوی دیگر برای کاهش مقاومت کششی گاوآهن در حال کار در خاک سنگین، بهتر است توجه بر روی تغییر شرایط خاک متمرکز شود تا تغییر شرایط ماشین. به عنوان مثال تغییر درصد رطوبت خاک با تاثیرگذاری بر چسبندگی و یا زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌تواند به تغییر مقاومت کششی ناشی از برش و در نتیجه کاهش مقاومت کششی کل هر یک از گاوآهن‌های برگرداندار و بشقابی منجر شود. یکی دیگر از اهداف مقاله حاضر ارائه فرمول‌های مشخص کننده اثر هر یک از پارامترهای مستقل مدل‌های توسعه‌یافته بر متغیرهای وابسته می‌باشد. نتایج حاصله راجع به اثرگذاری متغیرهای مستقل مدلهای مقاومت کششی کل ( $P_{II}$ ) و مقاومت ویژه ( $P_s$ ) به تفکیک پارامترهای مشترک دو گاوآهن، پارامترهای اختصاصی گاوآهن برگرداندار و پارامترهای اختصاصی گاوآهن بشقابی به ترتیب در جداول ۳ تا ۵ آورده شده‌است:

جدول ۳. معادلات بیانگر اثر متغیرهای مستقل مشترک بین دو گاوآهن روی مقاومت کششی کل ( $P_{II}$ ) و ویژه ( $P_s$ )

نام پارامتر	گاوآهن برگرداندار		گاوآهن بشقابی	
	مقاومت کششی ( $P_{II}$ , N)	مقاومت کششی ویژه ( $P_s$ , N/cm <sup>2</sup> )	مقاومت کششی ( $P_{II}$ , N)	مقاومت کششی ویژه ( $P_s$ , N/cm <sup>2</sup> )
چسبندگی خاک (c, kPa)	$P_u = 207c + 858.7$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.344c + 1.434$ $R^2 = 1$	$P_u = 202.8c + 1016.$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.342c + 1.712$ $R^2 = 1$
زاویه اصطکاک داخلی خاک ( $\phi$ , °)	$P_u = 2.014\phi^2 - 10.75\phi + 3910$ $R^2 = 0.999$	$P_s = 0.003\phi^2 - 0.017\phi + 6.512$ $R^2 = 0.999$	$P_u = 1.919\phi^2 - 9.252\phi + 4018.$ $R^2 = 0.999$	$P_s = 0.003\phi^2 - 0.013\phi + 6.745$ $R^2 = 0.999$
جرم مخصوص خاک ( $\rho$ , g/cm <sup>3</sup> )	$P_u = 467.8\rho + 4711$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.777\rho + 7.857$ $R^2 = 0.999$	$P_u = 363.7\rho + 4934.$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.615\rho + 8.317$ $R^2 = 0.999$
سرعت پیشروی ( $v$ , km/h)	$P_u = 7.388v^2 - 1.458v + 5061.$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.012v^2 + 0.004v + 8.41$ $R^2 = 1$	$P_u = 6.924v^2 - 1.371v + 5150.$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.011v^2 + 0.001v + 8.675$ $R^2 = 1$
عمق کاری (d, cm)	$P_u = 275.9d - 72.90$ $R^2 = 0.999$	$P_s = 0.001d^2 - 0.033d + 9.302$ $R^2 = 0.967$	$P_u = 2.898d^2 + 230.3d - 289.2$ $R^2 = 1$	$P_s = -0.0001d^3 + 0.030d^2 - 0.730d + 15.04$ $R^2 = 0.999$
عرض کاری خیش و یا شعاع بشقاب گاوآهن (b بشقابی (R), cm)	$P_u = 178.0b + 83.09$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.0001b^2 - 0.028b + 9.536$ $R^2 = 0.979$	$P_u = -1.361R^2 + 193.0R + 918.9$ $R^2 = 0.999$	$P_s = 0.001R^2 - 0.092R + 10.99$ $R^2 = 0.998$
زاویه اصطکاک فلز و خاک ( $\delta$ , °)	$P_u = 0.168\delta^2 + 11.78\delta + 5146.$ $R^2 = 0.999$	$P_s = 0.0001\delta^2 + 0.016\delta + 8.598$ $R^2 = 1$	$P_u = 0.011\delta^3 - 0.362\delta^2 + 29.34\delta + 5001.$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.0001\delta^2 + 0.033\delta + 8.509$ $R^2 = 0.999$



اندک در عمق کاری گاوآهن می‌تواند به کاهش مقاومت کششی ماشین منجر شود.



شکل ۲. اثر عمق بر مقاومت کششی کل و مقاومت کششی ویژه گاوآهن برگرداندار

از سوی دیگر مقاومت کششی ویژه گاوآهن مورد مطالعه در این پژوهش در بازه عمق کاری ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر کمترین مقدار را داشت. بنابراین می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که هر چند افزایش عمق کاری خیش به افزایش مقاومت کششی کل منجر شده‌است، اما نرخ افزایش سطح مقطع شخم در بازه مذکور از نرخ افزایش مقاومت بیشتر بوده است و این امر به کاهش مقاومت کششی ویژه در این بازه انجامیده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که چون مقاومت کششی ویژه پارامتر مناسبتری در مقایسه با مقاومت کششی کل از نظر نماینده بودن بازده کاری گاوآهن است، می‌توان بازه بهینه این گاوآهن را از نظر عمق کاری، بازه گزارش داده شده دانست. تغییرات مقاومت کششی کل و ویژه گاوآهن‌های برگرداندار و بشقابی به صورت تابعی از عرض کاری خیش (شعاع بشقاب) در شکل‌های ۳-الف و ب نشان داده شده‌است. از این دو شکل مشخص می‌شود که افزایش عرض کاری و یا شعاع بشقاب به اندازه 30 cm بترتیب به افزایش تقریبی پنج و سه کیلونیوتنی مقاومت کششی گاوآهن‌های برگرداندار و بشقابی منجر شده‌است. این نتیجه در راستای گزارش حاصل از پژوهش Saunders et al., (2000) قرار دارد، جایی‌که افزایش در عرض کاری گاوآهن برگرداندار به اندازه 10 cm، افزایش ۱/۳ کیلونیوتنی مقاومت کششی یک خیش را به دنبال داشته‌است.

جدول ۴. معادلات بیانگر اثر متغیرهای مستقل اختصاصی گاوآهن برگرداندار روی مقاومت کششی کل ( $P_u$ ) و ویژه ( $P_s$ )

نام پارامتر	مقاومت کششی ( $P_u, N$ )	مقاومت کششی ویژه ( $P_s, N/cm^2$ )
جرم خیش ( $M, kg$ )	$P_u = 3.139M + 5255$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.005M + 8.750$ $R^2 = 0.998$
زاویه انتهایی صفحه برگردان ( $\theta, ^\circ$ )	$P_u = -0.048\theta^2 + 7.285\theta + 5238$ $R^2 = 1$	$P_s = -3E-05\theta^2 + 0.009\theta + 8.769$ $R^2 = 0.998$

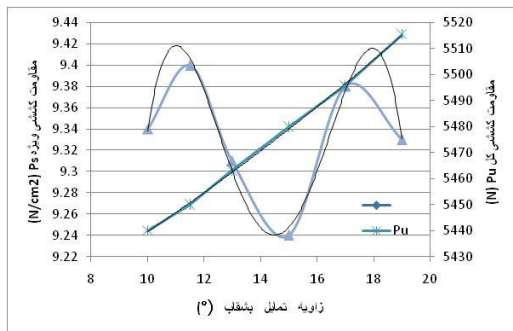
جدول ۵. معادلات بیانگر اثر متغیرهای مستقل اختصاصی گاوآهن بشقابی روی مقاومت کششی کل ( $P_u$ ) و ویژه ( $P_s$ )

نام پارامتر	مقاومت کششی ( $P_u, N$ )	مقاومت کششی ویژه ( $P_s, N/cm^2$ )
جرم بشقاب ( $M, kg$ )	$P_u = 3.139M + 5008$ $R^2 = 1$	$P_s = 0.005M + 8.434$ $R^2 = 0.999$
زاویه مماس بر لبه بشقاب روی سطح زمین با جهت مخالف سرعت پیشروی ( $\eta, ^\circ$ )	$P_u = -0.049\eta^2 + 5.690\eta + 5319$ $R^2 = 1$	$P_s = -8E-05\eta^2 + 0.009\eta + 8.983$ $R^2 = 0.999$
زاویه تمایل بشقاب ( $\alpha, ^\circ$ )	$P_u = 0.122\alpha^2 + 4.832\alpha + 5379$ $R^2 = 0.999$	$P_s = -0.001\alpha^4 + 0.070\alpha^3 - 1.512\alpha^2 + 14.03\alpha - 38.50$ $R^2 = 0.986$
زاویه بشقاب ( $\theta, ^\circ$ )	$P_u = -0.701\theta^2 - 22.41\theta + 7920$ $R^2 = 0.999$	$P_s = 0.0001\theta^2 - 0.023\theta + 9.378$ $R^2 = 0.994$

مقادیر ضرایب تعیین ( $R^2$ ) به‌دست آمده حاکی از این است که فرمولهای برازشی حاصله به‌خوبی بیانگر رابطه تابعی بین متغیر مستقل و متغیر وابسته می‌باشد. در ادامه نتایجی که از نقطه نظر طراحی ماشین مطلوب می‌باشند، ارائه شده و مورد تاکید قرار گرفته‌اند. شکل ۲ نشان دهنده اثر عمق کاری بر مقاومت کششی کل (محور عمودی سمت راست) و مقاومت کششی ویژه (محور عمودی سمت چپ) گاوآهن برگرداندار می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود افزایش عمق کاری به افزایش مقاومت کششی کل منجر شده‌است. این نتیجه با گزارش حاصل از تحقیق Godwin & Spoor (1977) به‌طور نسبی در توافق است. این پژوهشگران به افزایش نمای مقاومت کششی عامل خاک‌ورز با افزایش عمق کاری آن پی بردند و از نظر کاربردی به این نکته اشاره داشته‌اند که کاهش

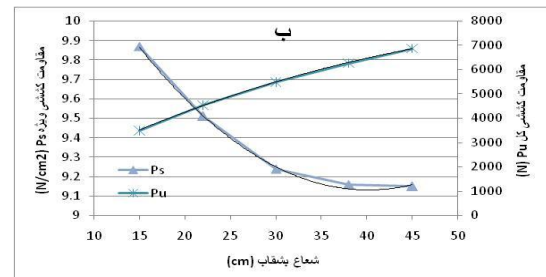
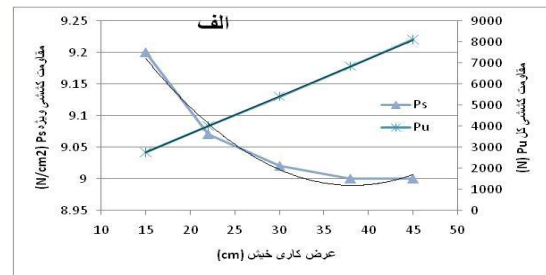


Saunders et al., (2000) و Wheeler & Godwin(1996) نیز افزایش کمتر از یک کیلونیوتن را با افزایش سرعت در بازه سرعتی مشابه گزارش داده‌اند. اثر تغییرات زاویه تمایل بشقاب گاوآهن بشقابی بر مقاومت کششی کل و ویژه این گاوآهن در شکل ۵ نشان داده شده است. از این نمودار این نکته نتیجه می‌شود که بهترین زاویه تمایل از نظر بازده کاری گاوآهن بشقابی زاویه تقریباً  $15^\circ$  می‌باشد، چون کمترین مقاومت کششی ویژه در این زاویه تمایل حاصل شده‌است.



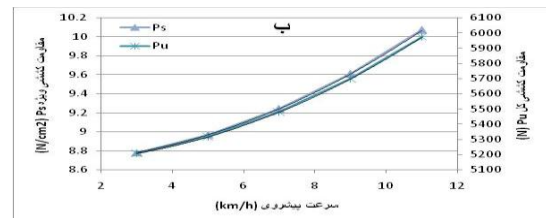
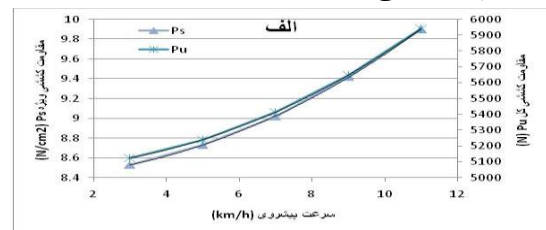
شکل ۵. اثر زاویه تمایل بشقاب گاوآهن بشقابی بر مقاومت کششی کل و ویژه

این نتیجه در راستای گزارش حاصل از پژوهش Godwin & Spoor (1977) قرار دارد. آنها اثر تغییر زاویه تمایل عامل خاک‌ورز را در بازه مقادیر بیشتر از  $22^\circ$  بر مقاومت کششی آن مورد مطالعه قرار دادند و اینطور جمع بندی کردند که نفوذ بهتر در خاک و مقاومت کششی کمتر از عامل خاک‌ورز دارای زاویه تمایل کوچکتر حاصل می‌شود. شکل ۶ اثر زاویه بشقاب گاوآهن بشقابی را بر مقاومت کششی کل و ویژه این گاوآهن ارائه می‌دهد. از این شکل این نکته حاصل می‌شود که افزایش زاویه بشقاب از  $30^\circ$  به  $60^\circ$  به کاهش تقریبی دو هزار و پانصد نیوتنی مقاومت کششی کل انجامیده است. از سوی دیگر افزایش زاویه بشقاب به افزایش مقاومت کششی ویژه منجر شده است، بنابراین می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که هر چند افزایش زاویه بشقاب کاهش مقاومت کششی کل را نتیجه داده‌است، اما نرخ کاهش سطح مقطع شخم در بازه مذکور از نرخ کاهش مقاومت بیشتر بوده‌است و این امر افزایش مقاومت کششی ویژه را در این بازه به همراه داشته است.



شکل ۳. مقاومت کل و ویژه گاوآهن‌های برگرداندار (الف) و بشقابی (ب) به صورت تابعی از عرض کاری خیش (شعاع بشقاب)

از سوی دیگر با در نظر گرفتن تغییرات مقاومت کششی ویژه این گاوآهن‌ها اینطور می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بهینه‌ترین عرض خیش گاوآهن برگرداندار تقریباً 40 cm و بهینه‌ترین قطر بشقاب گاوآهن بشقابی تقریباً 80 cm می‌باشد. اثر سرعت پیشروی بر مقاومت کششی کل و ویژه گاوآهن برگرداندار و بشقابی بترتیب در شکل‌های ۴-الف و ب نشان داده شده و حاکی از افزایش مشابه هر دو نوع مقاومت با افزایش سرعت پیشروی می‌باشد.



شکل ۴. اثر سرعت پیشروی بر مقاومت کششی کل و ویژه گاوآهن برگرداندار (الف) و بشقابی (ب)

از نظر کمی افزایش سرعت پیشروی گاوآهن برگرداندار از 4.5 km/h به 10 km/h به افزایش تقریبی ۶۰۰ نیوتنی مقاومت کششی کل منجر شده است. در مقام مقایسه،



5- Bentaher, H., Ibrahim, A., Hamza, E., Hbaieb, M., Kantchev, G., Maalej, A. & Arnold, W. 2013. Finite element simulation of moldboard-soil interaction. *Soil & tillage research*, 134, 11-16.

6- Chen, Y., McLaughlin, N. B. & Tessier, S. 2007. Double extended octagonal ring (DEOR) drawbar dynamometer. *Soil & Tillage Research*, 93: 462-471.

7- Formato, A., Faungo, S. & Paolillo, G. 2005. Numerical simulation of soil-plough moldboard interaction. *Biosystema Engineering*, 92, 309-316.

8- Godwin, R. J. & O'Dogherty, M. J. 2006. Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics*, 44: 3-14.

9- Godwin, R. J. & Spoor, G. 1977. Soil failure with narrow tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22, 213-228.

10- Godwin, R. J. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soli & Tillage Research*, 97, 331-340.

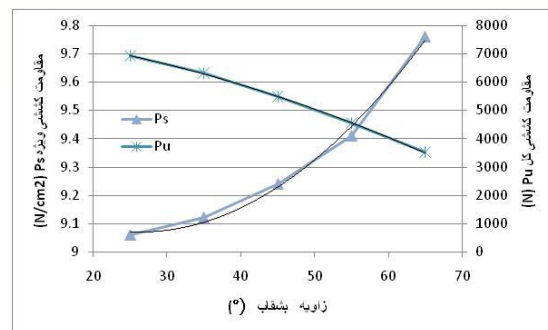
11- Godwin, R. J., Seig, D. A. & Allott, M. 1987. The development and evaluation of a force prediction model for agricultural discs. *Soil use and management*, 3 (3), 106-114.

12- Kasisira, L. L. & du Plessis, H. L. M. 2006. Energy optimization for subsoilers in tandem in a sandy clay loam soil. *Soil & Tillage Research*, 86, 185-198.

13- McKyes, E. 1985. *Soil cutting and tillage*, Amsterdam: Elsevier science Publisher.

14- Ranjbar, I., Rashidi, M., Najjarzadeh, I., Niazkhani, A. & Niyazadeh, M. 2013. Modeling of Moldboard Plow Draft Force Based on Tillage Depth and Operation Speed. *Middle East Journal of Scientific Research*, 17 (7), 891-897.

15- Rashidi, M., Najjarzadeh, I., Namin, S.T., Naserzaeim, F., Mirzaki, S. H. & Salimi Beni, M. 2013. Prediction of Moldboard Plow Draft Force Based on Soil Moisture Content, Tillage Depth and Operation Speed. *American-Eurasian Journal of Agriculture*



شکل ۶. اثر زاویه بشقاب گاوآهن بشقابی بر مقاومت کششی کل و ویژه

در تحقیق مشابهی که توسط Godwin et al., (1987) صورت گرفته است، تغییر مشابهی در زاویه بشقاب به افزایش تقریبی دو هزار نیوتنی مقاومت کششی کل منجر شده است. تناقض بالا با این نکته بر طرف خواهد شد که بدانیم در پژوهش Godwin et al., (1987) زاویه سطح بشقاب با جهت پیشروی به عنوان زاویه بشقاب لحاظ شده است، در حالیکه در پژوهش حاضر زاویه سطح بشقاب با خط عمود بر جهت پیشروی به عنوان زاویه بشقاب در نظر گرفته شده است. از آنجا که دو زاویه مذکور متمم می‌باشند، افزایش یکی، کاهش دیگری را به همراه خواهد داشت. بنابراین نتیجه به دست آمده در این پژوهش با نتیجه به دست آمده از تحقیق Godwin et al., (1987) در توافق است.

### References:

- 1-Ahmadi, I. 2016(a). Design, fabrication, and evaluation of a wireless pull-type dynamometer. *Journal of Agricultural Machinery*. 6(2): 547-556. (In Farsi)
- 2- Ahmadi, I. 2016(b). Development and evaluation of a draft force calculator for moldboard plow using the laws of classical mechanics. *Soil & Tillage Research*. 161: 129-134.
- 3- Ahmadi, I. 2016(c). Development and assessment of a draft force calculator for disk plow using the laws of classical mechanics. *Soil & Tillage Research*. 163: 32-40.
- 4- Al-Jalil, H. F., Khair, A. & Mukahal, W. 2001. Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. *Soil & Tillage Research*, 62, 153-156.



de cutting blade using discrete element method. *Soil & Tillage Research*, 97, 37–50.

18- Wheeler, P. N. & Godwin, R. J. 1996. Soil dynamics of single and multiple tines at speeds up to 20 km/h. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(3): 243-250.

and *Environmental Science*, 13 (8), 1057-1062.

16- Saunders, C., Godwin, R. J. & O'Dogherty, M. J. 2000. Prediction of soil forces acting on mouldboard ploughs. Fourth International Conference on Soil Dynamics, Adelaide, Australia.

17- Shmulevitch, I., Asaf, Z. & Rubinstein, D. 2007. Interaction between soil and a wi-



*Effect of soil type, machine geometry, and working conditions on draft force of a moldboard plow and a disk plow*

*Iman Ahmadi<sup>1</sup>*

*1- Assistant professor of Mechanics of agricultural machinery, Department of Agronomy, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran  
i\_ahmadi\_m@yahoo.com*

**Abstract**

One of the most important factors that affect the efficiency of tillage implements is the implement draft. If the two components of the exerted force from tillage implements to the tractor that are parallel and perpendicular to the direction of motion are calculated, the parallel component will be the machine draft force. In this paper, effects of soil, machine, and working condition parameters on the components of the moldboard and disk plow draft forces are considered utilizing the two mechanical models. To obtain the considered mathematical formulas, values of each independent variable has been varied in the range  $[50\%X_{base}, 150\%X_{base}]$ , and their corresponding dependent variable was calculated. Finally, using the Excel software the equation and its  $R^2$  value were obtained. According to the results of this study, the increase in the percentage of fine-grained particles of soil led to the increase of the portion of that component of draft force that is derived from the soil cutting process. On the other hand, the minimum values of the specific draft force of the moldboard plow regarding to the plowing depth, took place in the range of 15 to 20 cm. Furthermore, the value of 40 cm was given as the optimum width of the bottom of the moldboard plow, and the value of 80 cm was obtained as the optimum disk diameter of the disk plow. Moreover, the value of  $15^\circ$  was resulted as the best rake angle for the disk plow regarding to the efficiency of the plow.

**Keywords:** soil cutting, soil displacement, friction force, theoretical models, mechanical laws