

## توسعه ماشین حساب مقاومت و توان کششی گاوآهن قلمی بر مبنای برخی از قوانین مکانیکی

ایمان احمدی\*

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۲۶)

### چکیده

گاوآهن قلمی از جمله ادوات خاک‌ورزی است که برای اجرای کشاورزی حفاظتی می‌تواند به‌کار رود، بنابراین مطلوب است که این گاوآهن از نقطه‌نظر نیازهای نیرویی مورد توجه قرار گیرد. برای رسیدن به این هدف، ابتدا یک مدل تئوری برای محاسبه مقاومت، مقاومت ویژه و توان کششی گاوآهن قلمی ارائه شد و سپس نتایج به دست‌آمده از مدل با گزارش‌های سایر پژوهشگران و نتیجه آزمون مزرعه‌ای، به‌منظور تأیید مدل، مقایسه گردید. بر مبنای نتایج به‌دست آمده، مقاومت کششی گاوآهن قلمی دوازده شاخه‌ای، با عمق کاری 30 cm در خاک دارای بافت شنی، لومی و رسی به‌ترتیب برابر با 27، 43 و 55 kN و مقاومت کششی ویژه آن به‌ترتیب برابر با 3.3، 5.1 و  $6.5 \text{ N/cm}^2$  به‌دست آمد که در گستره نتایج به‌دست آمده توسط سایر محققین و استاندارد (2011) ASABE بود. بنابراین روش توسعه‌یافته در این مقاله می‌تواند با دقت قابل قبولی نیازهای کششی گاوآهن قلمی را برآورد کند.

واژه‌های کلیدی: برش خاک، قوانین مکانیکی، مدل تئوری، مقاومت کششی ویژه

### مقدمه

گاوآهن قلمی به‌عنوان یکی از ادوات خاک‌ورز اولیه که به طور گسترده مورد استفاده کشاورزان قرار گرفته مطرح است. این ماشین ویژگی‌های مطلوبی دارد که عبارتند از: ۱- ایجاد گسیختگی در توده خاک بدون زیر و رو کردن آن. این ویژگی گاوآهن قلمی، علاوه بر تسهیل در نفوذ آب و ریشه‌ی گیاهان زراعی به داخل خاک، با کاهش تبخیر رطوبت موجود در خاک به حفظ منابع آبی کمک شایانی می‌کند. ۲- حفظ بقایای محصولات قبلی روی سطح خاک. این ویژگی می‌تواند فرسایش بادی و آبی خاک را محدود کند. ۳- انرژی مصرفی گاوآهن قلمی در مقایسه با سایر گاوآهن‌هایی که خاک را زیر و رو می‌کنند کمتر است. این امر به حفظ بهتر منابع انرژی کمک می‌کند (Srivastava et al., 2006). بنابراین مطلوب است که این گاوآهن را از نقطه‌نظر نیازهای نیرویی مورد توجه قرار دهیم. با اختراع دینامومترهای تراکتوری پژوهشگران عمدتاً به اندازه‌گیری مقاومت کششی گاوآهن‌ها پرداختند (Grisso et al., 1996; Loghavi & Ashrafizadeh, 1997; McLaughlin et al., 2013; Al-Suhaibani & Ghaly, 2008). از سوی دیگر برخی از پژوهشگران (Harrigan & Rotz, 1995) با جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده توسط سایر محققین درباره مقاومت کششی ادوات

خاک‌ورزی، به توسعه معادلات تجربی اقدام کرده‌اند که می‌توان با استفاده از این معادلات رگرسیونی، مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی را به‌کمک پارامترهای در اختیار تخمین زد. این پژوهش‌ها مبنایی برای ایجاد استانداردهای بین‌المللی مانند استاندارد (2011) ASABE شده‌اند. مدل‌های تئوری محاسبه‌کننده نیازهای توانی ادوات خاک‌ورزی نیز توجه برخی از محققین را به خود جلب کرده‌اند (Godwin & O'Dogherty, 2007; Godwin, 2007; Ahmadi, 2016). از جمله ویژگی‌های این مدل‌های تئوری این است که از آنها علاوه بر اهداف پژوهشی، می‌توان در انتقال مفاهیم مربوط به چگونگی ایجاد مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی استفاده کرد. از جمله پژوهش‌هایی که درباره نیازهای توانی گاوآهن قلمی انجام شده‌است می‌توان به پژوهش‌های (Reid et al., 1983), Askari & Roul et al., (2009), Khalilian et al., (1988), Akbarnia et al., (2014), Khalifahamzehghasem (2013), Karpavarfard & Rahmani-Koushkaki (2015) اشاره کرد. در این پژوهش‌ها به‌کمک روش‌های متنوع مانند اندازه‌گیری مستقیم، شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل ابعادی به برآورد نیازهای توانی این گاوآهن اقدام شده‌است.

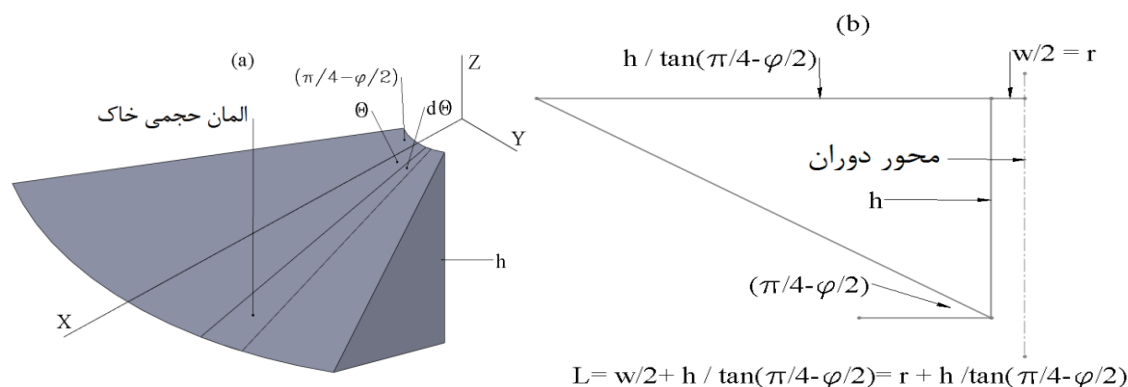
در این مقاله، با استفاده از برخی قوانین مکانیکی، یک مدل تئوری برای محاسبه مقاومت، مقاومت ویژه و توان کششی گاوآهن قلمی توسعه داده شد. سپس با هدف تأیید مدل، نتایج به دست‌آمده از مدل توسعه یافته، با گزارش‌های

\* نویسنده مسئول: i\_ahmadi\_m@yahoo.com

حرکت، ضربه ناشی از نیروهای خارجی وارد به حجم کنترل محصور کننده خاک، از تغییر در اندازه حرکت خاک در حال جابجایی ناشی می‌شود و تغییر در اندازه حرکت هم از تغییر در سرعت توده خاک به وجود می‌آید (Ahmadi, 2016). بنابراین در مورد گاوآهن قلمی در سرعت‌های معمول که کار آن با انتقال توده خاک به اطراف همراه نیست، می‌توان مقاومت کششی ناشی از تغییر سرعت را نادیده گرفت. در پژوهش Grisso *et al.*, (1996) نیز به‌وضوح اینطور جمع‌بندی شده‌است که مقاومت کششی گاوآهن قلمی در حال کار در خاک لوم رسی سیلت‌دار از تغییرات عمق شخم تأثیر می‌پذیرد، اما تغییرات سرعت پیشروی تقریباً هیچ اثری بر مقدار مقاومت کششی این گاوآهن ندارد. همچنین در پژوهش Chen (2002) نیز بر عدم تأثیر سرعت پیشروی بر مقدار مقاومت کششی ابزار تزیق کود حیوانی مایع به داخل خاک، که از نظر ساختار بسیار شبیه به گاوآهن قلمی می‌باشد، تأکید شده‌است. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که از سه نیروی مطرح در ایجاد مقاومت کششی، گاوآهن قلمی فقط از مقاومت کششی ناشی از برش خاک تأثیر می‌پذیرد که در ادامه روش محاسبه این مؤلفه مقاومتی ارائه می‌شود.

#### محاسبه مقاومت کششی ناشی از برش خاک توسط گاوآهن قلمی

ابتدا فرض می‌شود که حجم گسیختگی خاک به‌وسیله یک شاخه گاوآهن قلمی به‌صورت آنچه در شکل ۱-ا نشان داده شده‌است، باشد. این شکل از دوران مثلث نشان داده شده در شکل ۱-ب به اندازه  $(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})$  به‌صورت متقارن نسبت به صفحه XOZ حاصل شده‌است.



شکل ۱. حجم گسیختگی ایجاد شده توسط یک شاخه گاوآهن قلمی (a)، مثلث مورد استفاده در ایجاد حجم گسیختگی (b)

داخلی خاک. دلیل این‌که محدوده خاک گسیخته شده با زاویه  $(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})$  از توده خاک مجاور جدا شده، این است که این نوع

سایر پژوهشگران و نیز نتایج به‌دست آمده از استاندارد ASABE (2011) و آزمون مزرعه‌ای درباره نیازهای نیرویی گاوآهن قلمی، مقایسه گردید.

#### مواد و روش‌ها

اساس پژوهش حاضر بر این فرضیه استوار است که مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی غیرفعال که برای انجام کار از توان دورانی تراکتور استفاده نمی‌کنند، از سه مؤلفه تشکیل شده‌است که عبارتند از: مقاومت کششی ناشی از برش خاک، مقاومت کششی ناشی از اصطکاک و مقاومت کششی ناشی از سرعت (Ahmadi, 2016). از سوی دیگر چون در این مقاله توسعه یک مدل تئوری ساده برای پیش‌بینی مقاومت کششی گاوآهن قلمی مورد نظر است، فرض می‌شود که اثر اصطکاک و سرعت بر مقاومت کششی این گاوآهن قابل اغماض باشد. این فرضیه بر این مبنا استوار است که ظهور نیروی اصطکاک از اصطکاک بین خاک و بخش فلزی گاوآهن قلمی، همچنین اصطکاک بین لایه‌های خاک ناشی می‌شود. به علت کم بودن سطح تماس خاک با بخش فلزی این گاوآهن، می‌توان از اثر اصطکاک بین خاک و بخش فلزی گاوآهن صرف‌نظر کرد. از سوی دیگر شواهد زیادی از عدم برهم‌خوردگی سطح خاک پس از عبور گاوآهن قلمی وجود دارد (Srivastava *et al.*, 2006) که حاکی از عدم حرکت لایه‌های خاک برش خورده‌است، بنابراین اثر اصطکاک بین لایه‌های خاک نیز قابل چشم‌پوشی است. همچنین از آنجا که حرکت گاوآهن قلمی از توده خاک باعث جابجا شدن آن نمی‌شود، می‌توان از اثر مقاومت کششی ناشی از سرعت هم صرف‌نظر کرد. دلیل صحت تأثیر نداشتن سرعت بر مقاومت کششی گاوآهن قلمی این است که بر اساس اصل ضربه-اندازه

در مثلث مبنا پارامترهای  $w$ ،  $h$  و  $\varphi$  به‌ترتیب عبارتند از عرض شاخه گاوآهن، عمق کاری گاوآهن و زاویه اصطکاک

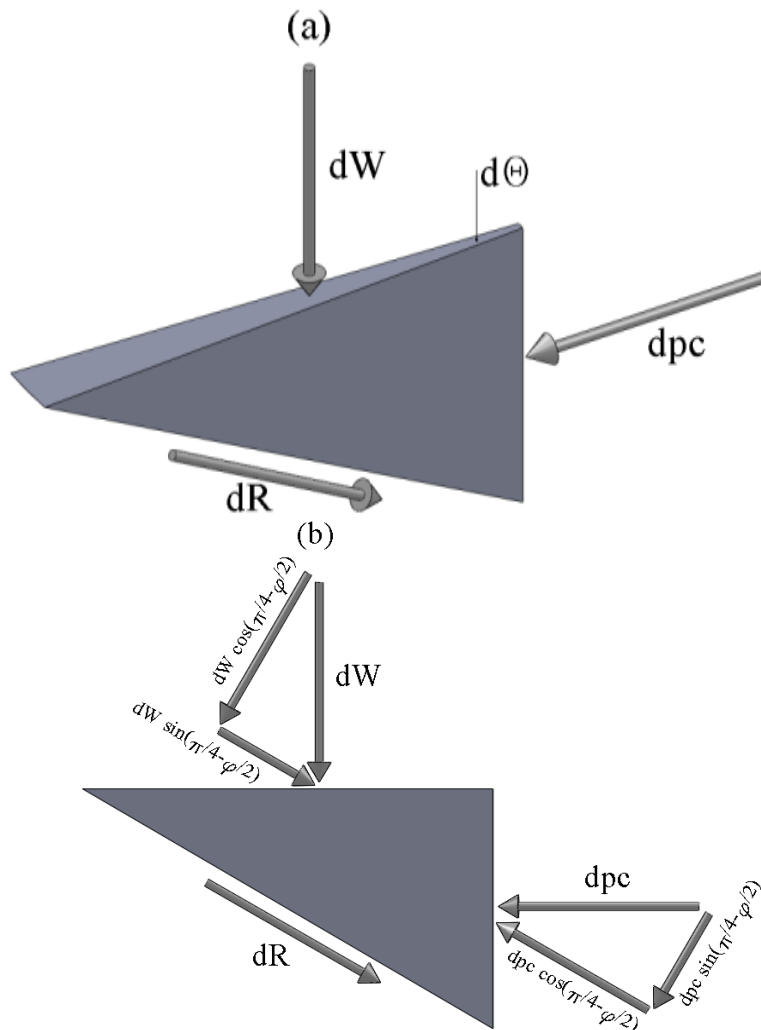
استاتیکی المان حجمی خاک استفاده می‌شود. همانطور که در شکل ۲-a نشان داده شده‌است، علاوه بر  $dp_c$  نیروهای  $dW$  و  $dR$  هم به المان حجمی خاک وارد می‌شوند که به ترتیب عبارتند از وزن و مقاومت برشی المان حجمی. از سوی دیگر با توجه به شکل ۲-b، با نوشتن تعادل استاتیکی نیروها در راستای  $dR$ ، رابطه ۱ نتیجه می‌شود:

$$dR = -dW \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + dp_c \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

جایی که بر طبق قانون کولمب، مقدار  $dR$  از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$dR = (dp_c \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + dW \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)) \tan \varphi + c dA$$

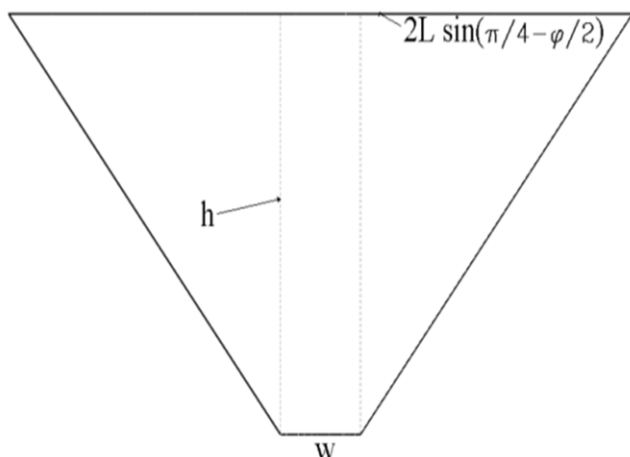
گسیختگی خاک که به وسیله حرکت عامل خاک‌ورز در خاک ایجاد می‌شود، گسیختگی غیرفعال می‌باشد. در این نوع گسیختگی با رسم خط مشخص کننده معیار کولمب و دایره مور مربوط به ترکیب تنش‌های وارد به المان‌های خاکی، زاویه سطح گسیختگی با صفحه تنش اصلی کوچکتر برابر با  $(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})$  به دست می‌آید. از سوی دیگر اگر مقدار نیروی مورد نیاز برای برش المان حجمی توده خاک که در شکل ۱-a نشان داده شده‌است،  $dp_c$  باشد، محاسبه مقاومت کششی ناشی از برش خاک ( $P_{cx}$ ) با انتگرالگیری از مؤلفه  $dp_c$  که در راستای محور X می‌باشد، یعنی  $dp_c \cos(\theta)$  امکان پذیر است. جایی که  $\theta$  زاویه المان حجمی با جهت مثبت محور X می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۲-a نشان داده شده‌است، برای محاسبه  $dp_c$  از تعادل



شکل ۲. نمایش سه بعدی المان حجمی خاک گسیخته شده به همراه نیروهای وارد به آن (a) نمایش دو بعدی نیروهای وارد به المان حجمی خاک (b)

به کمک روابط هندسی می‌توان مقادیر  $dA$  و  $dW$  را به ترتیب از روابط ۳ و ۴ محاسبه کرد:

در رابطه ۲،  $c$  و  $dA$  به ترتیب عبارتند از چسبندگی خاک و مساحت بخش تحتانی المان حجمی خاک. از سوی دیگر



شکل ۳. سطح مقطع شخم یک شاخه گاواهن قلمی

اگر همپوشانی سطح مقطع شخم بین شاخه‌های مجاور به OP نشان داده شود، مساحت واقعی شخم از رابطه ۹ قابل محاسبه است:

$$A_{\text{actual}} = N \times A - (N - 1) \times OP \times A \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$= A(N(1 - OP) + OP)$$

و در نهایت مقاومت کششی ویژه گاواهن قلمی از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$P_s = \frac{N \times P_{cx}}{A(N(1 - OP) + OP)} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

با وارد کردن معادلات به‌دست آمده در نرم افزار Excel (Excel, Microsoft Corporation, Redmond, Wash. 2007) محاسبات لازم به آسانی و به سرعت قابل انجام است. در این پژوهش کاربرد توسعه یافته، ماشین حساب مقاومت و توان کششی گاواهن قلمی نامیده می‌شود (شکل ۴).

شیوه تأیید مدل توسعه یافته در این پژوهش

تأیید مدل توسعه یافته از طریق مقایسه نتایج به‌دست آمده از ماشین حساب با نتایج حاصل از به‌کارگیری استاندارد ASABE (2011)، همچنین با نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران درباره مقاومت کششی گاواهن قلمی صورت پذیرفت. همچنین مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری ماشین حساب با مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت کششی به روش RNAM (1983) جهت تأیید مدل انجام شد.

$$dA = \frac{(L + r) h d\theta}{2 \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$dW = \rho_{\text{soil}} g dV = \rho_{\text{soil}} g \frac{(L+2r)(L-r)}{6} h d\theta \quad (\text{رابطه ۴})$$

با قرار دادن معادله‌های ۳ و ۴ در روابط ۱ و ۲ و برابر قرار دادن روابط ۱ و ۲ مقدار  $dp_c$  از معادله ۵ محاسبه می‌شود:

$$dp_c = \frac{c dA + \rho_{\text{soil}} g dV \left(\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \times \tan \varphi\right)}{\left(\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \times \tan \varphi\right)} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در نهایت می‌توان  $P_{cx}$  را به کمک رابطه ۶ به‌دست آورد

(رابطه ۶)

$$P_{cx} = \int dp_{cx} = \int_{-\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}^{\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)} dp_c \cos \theta = 2 \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \left( \frac{c \frac{(L+r)h}{2 \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)} + \rho_{\text{soil}} g \frac{(L+2r)(L-r)}{6} h \left(\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \times \tan \varphi\right)}{\left(\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \times \tan \varphi\right)} \right)$$

تعریف تمام پارامترهای رابطه ۶ در شکل ۴ آورده شده‌است. ذکر این نکته لازم است که نیروی محاسبه شده از رابطه ۶ نیروی برشی مورد نیاز برای جدا شدن حجم خاک گسیخته شده از توده خاک دست نخورده می‌باشد.

همچنین نیروی محاسبه شده به کمک رابطه ۶ مقدار نیروی کششی مورد نیاز یک شاخه گاواهن قلمی است. از ضرب تعداد شاخه (N) در  $P_{cx}$  مقاومت کششی کل گاواهن و از ضرب مقاومت کششی کل در سرعت پیشروی (v)، توان کششی طبق رابطه ۷ به‌دست می‌آید:

$$DPR = P \times v = N \times P_{cx} \times v \quad (\text{رابطه ۷})$$

از سوی دیگر برای محاسبه مقاومت کششی ویژه گاواهن قلمی، سطح مقطع شخم نیز باید محاسبه شود. سطح مقطع شخم (A) مطابق شکل ۳ برای یک شاخه گاواهن قلمی از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

$$A = \frac{\left(2L \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + w\right) h}{2} \quad (\text{رابطه ۸})$$

| ماشین حساب مقاومت و توان کششی گاوآهن قلمی |                    |  |      |                    |          |                   |         |                                    |        |                   |
|---|--------------------|--|------|--------------------|----------|-------------------|---------|------------------------------------|--------|-------------------|
| ورودی‌ها                                  |                    |  |      |                    | خروجی‌ها |                   |         |                                    |        |                   |
| نام                                       | تعریف              | مقدار                                  | واحد | مقدار              | واحد     | نام               | تعریف   | مقدار                              | واحد   |                   |
| پارامترهای خاک                            | c                  | چسبندگی خاک                            | 5    | kPa                | 5000     | Pa                | Pcx     | مقاومت کششی ناشی از برش خاک        | 2238.7 | N                 |
|   | $\phi$             | زاویه اصطکاک داخلی خاک                 | 45   | deg                | 0.79     | rad               | Pu      | مقاومت کششی یک شاخه گاوآهن قلمی    | 2238.7 | N                 |
|   | $\tan(\phi)$       | ضریب اصطکاک داخلی خاک                  |      |                    | 1.01     |                   | DP      | توان کششی یک شاخه گاوآهن قلمی      | 3.74   | kW                |
|   | $(\pi/4 - \phi/2)$ | زاویه صفحه گسیختگی با افق              |      |                    | 0.39     | rad               | Aactual | سطح مقطع شخم واقعی خاک بر هم خورده | 0.78   | m <sup>2</sup>    |
|   | $\rho$             | جرم مخصوص خاک                          | 2    | ton/m <sup>3</sup> | 2000     | kg/m <sup>3</sup> | Ps      | مقاومت کششی ویژه گاوآهن قلمی       | 3.44   | N/cm <sup>2</sup> |
| پارامترهای گاوآهن                         | w                  | عرض شاخه گاوآهن                        | 5    | cm                 | 0.05     | m                 | P       | مقاومت کششی گاوآهن قلمی            | 26.86  | kN                |
|   | N                  | تعداد شاخه‌های گاوآهن                  | 12   |                    | 12       |                   | DPR     | نیاز توانی گاوآهن قلمی             | 44.88  | kW                |
|   | r                  | نصف عرض شاخه گاوآهن                    |      |                    | 0.025    | m                 |         |                                    |        |                   |
| پارامترهای کاری                           | v                  | سرعت پیشروی                            | 6    | km/h               | 1.67     | m/s               | L       | $w/2+h/(\tan(\pi/4-\phi/2))$       | 0.75   | m                 |
|   | OP                 | درصد همپوشانی سطح مقطع خاک بر هم خورده | 30   | %                  | 0.3      |                   | A       | سطح مقطع شخم یک شاخه گاوآهن قلمی   | 0.09   | m <sup>2</sup>    |
|   | h                  | عمق کاری                               | 30   | cm                 | 0.3      | m                 |         |                                    |        |                   |
|   |                    |  |      |                    |          |                   |         |                                    |        |                   |

شکل ۴. ماشین حساب مقاومت و توان کششی گاوآهن قلمی

شماره‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند، برای سه نوع خاک شنی، لومی و رسی در جدول ۳ ارائه شده‌است:

جدول ۳. مقادیر مقاومت کششی و مقاومت کششی ویژه به دست آمده از مدل توسعه یافته برای سه نوع گاوآهن قلمی در سه بافت خاک مختلف

| نوع گاوآهن | نوع خاک | مقاومت کششی محاسبه شده (kN) | مقاومت کششی ویژه (N/cm <sup>2</sup> ) |
|------------|---------|-----------------------------|---------------------------------------|
| ۱          | شنی     | ۲۶/۸۶                       | ۳/۴۴                                  |
| ۱          | لومی    | ۴۱/۲                        | ۵/۲۸                                  |
| ۱          | رسی     | ۵۲/۷۵                       | ۶/۷۶                                  |
| ۲          | شنی     | ۲۸/۲۹                       | ۳/۲۵                                  |
| ۲          | لومی    | ۴۳/۵۶                       | ۵/۰۱                                  |
| ۲          | رسی     | ۵۵/۱۳                       | ۶/۳۴                                  |
| ۳          | شنی     | ۲۹/۱                        | ۳/۳۴                                  |
| ۳          | لومی    | ۴۴/۸۹                       | ۵/۱۶                                  |
| ۳          | رسی     | ۵۷/۰۴                       | ۶/۵۶                                  |

از سوی دیگر با توجه به استاندارد (ASABE 2011)، از طریق رابطه ۱۱ می‌توان مقاومت کششی گاوآهن قلمی را تخمین زد:

$$D = F_i [A + B(S) + C(S^2)] WT \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

with the variation range of  $\pm 50\%$

در رابطه ۱۱،  $F_i$  پارامتر تنظیم کننده اثر بافت خاک می‌باشد که مقادیر آن برای سه بافت خاک ریز دانه، متوسط و درشت دانه برای گاوآهن قلمی به ترتیب ۱، ۰/۸۵ و ۰/۶۵ می‌باشد. A، B و C پارامترهای ویژه ماشین هستند که مقادیر آن برای گاوآهن قلمی نوع ۱ به ترتیب ۹۱، ۵/۴ و ۰، برای گاوآهن نوع ۲ به ترتیب ۱۰۷، ۶/۳ و ۰ و برای گاوآهن نوع ۳ به ترتیب ۱۲۳، ۷/۳ و ۰ می‌باشد. همچنین W و T به ترتیب نماینده تعداد شاخه‌های گاوآهن و عمق کاری گاوآهن (cm) بوده و عدد به دست آمده از رابطه ۱۱ برحسب نیوتن می‌باشد.

## نتایج و بحث

مقایسه نتایج به دست آمده از مدل توسعه یافته با نتایج حاصل از استاندارد (ASABE 2011)

در این پژوهش به منظور محاسبه مقاومت کششی گاوآهن قلمی، مقادیر پارامترهای زیر ثابت در نظر گرفته شدند (جدول ۱):

جدول ۱. مقادیر پارامترهایی که در مدل توسعه یافته ثابت در نظر گرفته شدند

| نام | تعریف                  | مقدار | واحد |
|-----|------------------------|-------|------|
| N   | تعداد شاخه گاوآهن قلمی | ۱۲    | -    |
| v   | سرعت پیشروی            | ۶     | Km/h |
| OP  | درصد همپوشانی          | ۳۰    | %    |
| h   | عمق کاری گاوآهن        | ۳۰    | cm   |

از سوی دیگر با توجه به گستره مقادیر پارامترهای c،  $\phi$  و  $\rho$  مربوط به خاک‌های شنی، لومی و رسی که در کتاب Soil cutting and tillage (McKeys, 1985) ارائه شده‌است. مقادیر زیر به عنوان نماینده پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های دارای بافت شنی، لومی و رسی انتخاب شدند (جدول ۲):

جدول ۲. مقادیر مربوط به پارامترهای خاک مورد استفاده در مدل توسعه یافته

| نوع خاک | c (kPa) | $\phi$ (°) | $\rho$ ( $\frac{g}{cm^3}$ ) |
|---------|---------|------------|-----------------------------|
| شنی     | ۵       | ۴۵         | ۲                           |
| لومی    | ۱۲      | ۳۸         | ۱/۷                         |
| رسی     | ۲۰      | ۳۰         | ۱/۴                         |

نتایج به دست آمده از به کارگیری مدل توسعه یافته در پیش‌بینی مقاومت کششی و مقاومت کششی ویژه سه گاوآهن قلمی با سه عرض کاری ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتیمتر که به ترتیب با

نتایج حاصل از وارد کردن مقادیر داده شده برای سه گاوآهن قلمی در رابطه ۱۱، در جدول ۴ داده شده است: نتیجه به دست آمده از مقایسه مقادیر ارائه شده در جدول های ۳ و ۴ حاکی از سازگار بودن نتایج مدل توسعه یافته با نتایج حاصل از استاندارد (2011) ASABE می باشد. چون تمام مقادیر محاسبه شده به کمک مدل در بازه حد بالا و حد پائین اعداد به دست آمده از استاندارد (2011) ASABE و نزدیک مقدار متوسط اعداد حاصل از این استاندارد قرار دارند. برای انجام مقایسه کمی بین مقاومت کششی محاسبه شده به کمک ماشین حساب و مقاومت کششی متوسط به دست آمده از استاندارد ASABE می توان به پارامتر آماری انحراف استاندارد توجه کرد که مقدار آن برای مقایسه مذکور برابر با 5.4 kW از میانگین 43 kW است. در پژوهش Akbarnia et al., (2014) که درباره شبیه سازی مقاومت کششی تیغه خاک ورز بالداری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می باشد، مقدار خطای نسبی میانگین ( $\varepsilon$ ) برابر با ۶/۵۶٪ به دست آورده شده است که با انجام تحلیل آماری مشابه بر روی مقاومت کششی محاسبه شده به کمک ماشین حساب و مقاومت کششی متوسط به دست آمده از استاندارد ASABE مقدار این خطا برابر با ۱۱٪ به دست آمد. نتیجه مقادیر اندازه گیری شده برای مقاومت کششی ویژه گاوآهن قلمی در خاک لوم رسی (بافت نسبتاً سنگین) در آزمایش (1997) Loghavi & Ashrafizadeh، مشابه نتایج به دست آمده برای خاک های دارای بافت سبک حاصل از استاندارد (2011) ASABE و تحقیق حاضر می باشد.

جدول ۴. مقادیر مقاومت کششی به دست آمده برای سه نوع گاوآهن قلمی در سه بافت خاک مختلف به کمک رابطه استاندارد (2011) ASABE

| نوع گاوآهن | نوع خاک | مقاومت کششی به دست آمده از استاندارد ASABE (kN) |         |             |
|------------|---------|---|---------|-------------|
|            |         | حد پائین  | حد بالا | مقدار متوسط |
| ۱          | شنی     | ۱۴/۴  | ۴۳/۴    | ۲۸/۹        |
| ۱          | لومی    | ۱۸/۹  | ۵۶/۶    | ۳۷/۷        |
| ۱          | رسی     | ۲۲/۲  | ۶۶/۶    | ۴۴/۴        |
| ۲          | شنی     | ۱۷  | ۵۰/۹    | ۳۳/۹        |
| ۲          | لومی    | ۲۲/۲  | ۶۶/۵    | ۴۴/۳        |
| ۲          | رسی     | ۲۶/۱  | ۷۸/۲    | ۵۲/۱        |
| ۳          | شنی     | ۱۹/۵  | ۵۸/۵    | ۳۹          |
| ۳          | لومی    | ۲۵/۵  | ۷۶/۵    | ۵۱          |
| ۳          | رسی     | ۳۰  | ۹۰      | ۶۰          |

آنها مقاومت کششی حاصل از کار گاوآهن قلمی هفت شاخه ای را در عمق کاری بیست و پنج سانتیمتر برابر با ۱۵/۹۷ کیلو نیوتن اندازه گیری کردند که معادل مقاومت کششی ۲۷/۳۷ کیلونیوتنی برای گاوآهن قلمی دوازده شاخه ای است. همچنین

مقاومت کششی ویژه گاوآهن قلمی در تحقیق لغوی و اشرفی زاده برابر با ۳/۶۵ نیوتن بر سانتیمتر مربع به دست آمده که با مقدار محاسبه شده (حدوداً پنج نیوتن بر سانتیمتر مربع) در پژوهش حاضر متفاوت است. ممکن است به غیر از کمتر بودن عمق کاری گاوآهن استفاده شده در پژوهش لغوی و اشرفی زاده (25 cm) در مقایسه با پژوهش حاضر (30 cm)، تفاوت در محتوای رطوبتی خاک مورد استفاده در این دو پژوهش نیز عامل اختلاف در نیروی کششی ویژه باشد. به گونه ای که در آن درصد رطوبت (درصد رطوبت بین هشت تا چهارده درصد بر مبنای وزن خشک در پژوهش لغوی و اشرفی زاده) از مقدار پارامترهای مقاومت برشی خاک کاسته شده و بنابراین با وجود لوم رسی بودن بافت خاک، این خاک از نظر مقدار مقاومت کششی شبیه خاک دارای بافت سبک رفتار کند. لازم به ذکر است که اثر درصد رطوبت خاک در ماشین حساب توسعه یافته با مقدار پارامترهای مقاومت برشی خاک (یعنی  $c$  و  $\phi$ ) لحاظ می شود. به بیان دیگر برای استفاده از ماشین حساب باید ابتدا پارامترهای مقاومت برشی خاک که مقدارشان وابسته به درصد رطوبت خاک است با آزمون های استاندارد مکانیک خاک به دست آورده شوند.

نتایج حاصل از پژوهش های (1988) Khalilian et al., و (1983) Reid et al., که در هر دو مورد از گاوآهن قلمی یازده شاخه ای در عمق کاری بیست و پنج سانتیمتر برای اندازه گیری مقاومت کششی در خاک های لوم شنی و شنی لومی استفاده شده، حاکی از مقاومت کششی به ترتیب ۲۸ و ۲۸/۶ کیلو نیوتن می باشد که با نتایج به دست آمده در این تحقیق و استاندارد (2011) ASABE در توافق است. همچنین مقاومت کششی ویژه اندازه گیری شده حاصل از کار گاوآهن قلمی در خاک دارای بافت سبک (sandy) در پژوهش Al-Suhaibani & Ghaly (2013) برابر با سه نیوتن بر سانتیمتر مربع به دست آمد که حدود ۱۰٪ از مقدار محاسبه شده در تحقیق حاضر کمتر است.

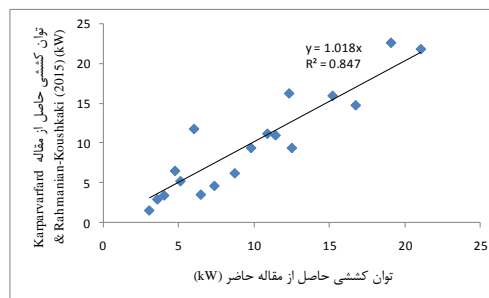
در پژوهش دیگری، Karparvarfard & Rahmianian (2015) Koushkaki با استفاده از سامانه جمع آوری داده مفصل تراکتوری، اطلاعات لازم برای توسعه معادله مشخص کننده توان کششی و مصرف سوخت مورد نیاز گاوآهن قلمی در حال کار در خاک لوم رسی را به کمک تحلیل ابعادی به دست آوردند. مقایسه توان کششی حاصل از ماشین حساب توسعه یافته در این پژوهش و مقادیر به دست آمده در پژوهش کارپرورفرد و رحمانیان کوشکاکی که با ورودی های سرعتی، عمق و عرض شاخه مشابه حاصل شده اند در شکل ۵ نشان داده شده است:

کشاورزی از مدل‌های بر مبنای شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل ابعادی استفاده کرده‌اند. تاکید بر این مطلب ضروری بنظر می‌رسد که توسعه این مدل‌ها منوط به وجود داده‌های اندازه‌گیری شده گسترده راجع به توان کششی ادوات می‌باشد که انجام آن وابسته به تجهیز تراکتور کشنده به وسایل اندازه‌گیری است. برتری ماشین حساب توسعه یافته در این پژوهش بر روش‌های مذکور در این است که چون این ماشین حساب بر مبنای قوانین مکانیکی توسعه یافته است، به وجود سیستم جمع آوری داده مفصل وابسته نیست و تنها با انجام آزمون‌های استاندارد مکانیک خاک در مورد اندازه‌گیری پارامترهای مقاومت برشی می‌توان از ماشین حساب استفاده کرد. همچنین ویژگی دیگر این ماشین حساب و به طور کلی تمام مدل‌های تئوری این است که از آنها علاوه بر اهداف پژوهشی، می‌توان در امر آموزش و انتقال مفاهیم مربوط به چگونگی ایجاد پدیده مورد مطالعه (در اینجا مقاومت کششی گاواهن قلمی) و پارامترهای مؤثر بر آن به‌گونه‌ای که برای دانشجویان محسوس باشد استفاده کرد.

مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری ماشین حساب با مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت کششی به روش RNAM (1983) نیز جهت تأیید مدل صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که پارامترهای کاری مشابه مورد استفاده در این مقایسه عبارتند از  $N=9$ ,  $w=5$  cm,  $h=20$  cm,  $v=3$  km/h از خاک مزرعه مورد استفاده در آزمون مزرعه‌ای در جدول ۵ آورده شده است:

مقاومت کششی متوسط به‌دست آمده از آزمون مزرعه‌ای در حدود 24 kN به دست آمد. از سوی دیگر مقاومت کششی به‌دست آمده از ورود پارامترهای مشابه آزمون مزرعه‌ای به ماشین حساب در بازه (19.8 kN, 28.4 kN) و بازه خطایی (-18.3%, 17.5% تغییر کرد که حد بالا مربوط به درصد همپوشانی OP=0% و حد پائین مربوط به درصد همپوشانی OP=30% می‌باشد.

این مقایسه نیز بر سازگار بودن خروجی‌های ماشین حساب با داده‌های اندازه‌گیری شده تأکید دارد.



شکل ۵. همبستگی بین توان کششی به‌دست آمده در این پژوهش و پژوهش Karparvarfard & Rahmani-Koushkaki (2015)

معادله خط  $y=1.018x$  و ضریب تعیین  $(R^2=0.847)$  به دست‌آمده نشان دهنده این است که توان کششی مورد نیاز برای کار گاواهن قلمی حاصل از دو پژوهش با یکدیگر در توافقند.

در پژوهشی دیگر، Pitla *et al.*, (2016) اثر تغییرات بار وارده به ادوات کشاورزی را بر مقدار مصرف سوخت تراکتور کشنده مورد بررسی قرار دادند. در بخشی از این پژوهش توان کششی ماشین anhydrous NH<sub>3</sub> applicator که آمونیاک را با سرعت 7.64 km/h در عمق ۲۲ سانتیمتری خاک قرار می‌دهد اندازه‌گیری شده است. توان کششی متوسط گزارش شده برابر با 7.21 kW/tool بود. با وارد کردن پارامترهای کاری مشابه در ماشین حساب توسعه یافته در این پژوهش توان کششی برابر با 6.1 kW/tool برای خاک لومی به دست آمد.

همچنین در پژوهش Askari & Khalifahamzehghasem (2013) که در آن به اندازه‌گیری مقاومت کششی گاواهن قلمی پنج شاخه‌ای با عرض شاخه 5 cm، عمق کاری 25 cm و سرعت پیشروی 3.4 km/h در خاک دارای بافت clay loam پرداخته شده است، مقدار مقاومت کششی برابر با 15.41 kN به‌دست آمده است. با ورود پارامترهای مشابه در ماشین حساب توسعه یافته در این پژوهش، مقدار مقاومت کششی برابر با 15.25 kN به دست آمد که مشابهت خروجی مدل با مقدار اندازه‌گیری شده محرز است.

برخی از پژوهشگران مانند Roul *et al.*, (2009) Karparvarfard & Rahmani- و Akbaria *et al.*, (2014) Koushkaki (2015) نیز در پیش‌بینی نیازهای توانی ادوات

جدول ۵- خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمون

| کلاس بافتی       | درصد شن (%) | درصد سیلت (%) | درصد رس (%) | C (kPa) چسبندگی | زاویه اصطکاک داخلی (°) | چگالی (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|------------------------|----------------------------|
| لوم رسی سیلت دار | ۱۸          | ۴۲            | ۴۰          | ۲۲              | ۳۰                     | ۱/۵                        |

توانی این ادوات حائز اهمیت است. توسعه مدل‌های تئوری پیش‌بینی نیازهای نیرویی ادوات خاک‌ورزی یکی از روش‌های مورد توجه محققین در محاسبه توان موردنیاز ماشین‌های

## نتیجه‌گیری

ادوات خاک‌ورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده انرژی مکانیکی در تولید محصولات زراعی می‌باشند، بنابراین محاسبه نیازهای

حساب مقاومت و توان کششی گاواهن قلمی ارائه گردید. ویژگی کاربرگ توسعه یافته در این است که تنها با وارد کردن مقادیر مربوط به هشت پارامتر مرتبط با کار گاواهن قلمی (سه پارامتر مربوط به خاک، دو پارامتر مرتبط با گاواهن و سه پارامتر وابسته به شرایط کاری)، مقاومت، مقاومت ویژه و توان کششی مورد نیاز این گاواهن قابل محاسبه است. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل توسعه یافته در این پژوهش با نتایج گزارش‌های حاصل از سایر پژوهشگران، همچنین نتایج به دست آمده از استاندارد ASABE (2011) و آزمون مزرعه‌ای نشان داد که کاربرد مدل توسعه یافته در محاسبه مقاومت و توان کششی گاواهن قلمی بلامانع است.

## REFERENCES

- Ahmadi, I. (2016). Development and evaluation of a draft force calculator for moldboard plow using the laws of classical mechanics. *Soil & Tillage Research*, 161, 129-134.
- Akbarnia, A., Mohammadi, A., Farhani, F. & Alimardani, R. (2014). Simulation of draft force of winged share tillage tool using artificial neural network mode. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 16(4), 57-65.
- Al-Suhaibani, S. A. & Ghaly, A. E. (2013). Comparative study of the kinetic parameters of three chisel plows operating at different depths and forward speed in a sandy soil. *The international journal of engineering and science (IJES)*, 2(7), 42-59.
- ASABE. (2011). ASAE D497.7 MAR 2011. Agricultural Machinery Management Data. ASABE Standards 2011. St. Joseph, MI.
- Askari, M. & Khalifahamzehghasem, S. (2013). Draft Force Inputs for Primary and Secondary Tillage Implements in a Clay Loam Soil. *World Applied Sciences Journal*, 21(12), 1789-1794.
- Chen, Y. (2002). A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions. *Transactions of the ASAE*, 45(6), 1729-1736.
- Godwin, R. J. & O'Dogherty, M. J. (2007). Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics*, 44, 3-14.
- Godwin, R. J. (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil & Tillage Research*, 97, 331-340.
- Grisso, R. D., Yasin, M. & Kocher, M. F. (1996). Tillage implement forces operating in silty clay loam. *Transaction of the ASAE*, 39 (6): 1977-1982.
- Harrigan, T. M. & Rotz, C. A. (1995). Draft relationships for tillage and seeding equipment. *Applied engineering in agriculture*, 11(6), 773 - 783.
- Karparvarfard, S. H. & Rahmani-Koushkaki, H. (2015). Development of a fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel-ploughing in a clay loam soil. *Biosystems Engineering*, 130, 23-33.
- Khalilian, A., Garner, T. H., Dodd, R., Musen, H. L. & Hale, A. (1988). Energy for conservation tillage in Coastal Plain soils. *Transaction of the ASAE*, 31(5), 1333-1337.
- Loghavi, M. & Ashrafzadeh, S. R. (1997). Draft, specific draft and drawbar power requirement of chisel plow at different levels of soil moisture content and plowing depth. *Water and soil science (Journal of science and technology of agriculture and natural resources)*, 1(2), 85-96. (In Farsi)
- McKyes, E. (1985) Soil cutting and tillage, Amsterdam: Elsevier science publisher.
- McLaughlin, N. B., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Yang, X. M., Li, Y. X., Welacky, T. W. & Stewart, G. (2008). Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. *Transaction of the ASAE*, 51, 1153-1163.
- Pitla, S. K., Luck, J. D., Werner, J., Lin, N. & Shearer, S. A. (2016). In-field fuel use and load states of agricultural field machinery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121: 290-300.
- Regional Network for Agricultural Machinery, 1983. RNAM test codes and procedures of farm machinery. *Technical Series*, No. 12 (p. 129), Bangkok, Thailand.
- Reid, J. T., Carte, L. M. & Clark, R. L. (1983). Draft measurements with a three-point dynamometer. ASAE Paper 83- 1036. St. Joseph, ASAE.
- Roul, A. K., Raheman, H., Pansare, M. S. & Machavaram, R. (2009). Predicting the draught requirement of tillage implements in sandy clay loam soil using an artificial neural network. *Biosystems Engineering*, 104: 476-485.
- Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P. & Buckmaster D. R. (2006). Engineering principles of agricultural machines, second ed. ASAE Publication, USA.