# بررسی اثر عمق، عرض و زاویه نفوذ ادوات باریک خاکورز بر نیروی کششی در انباره خاک

**پرویز احمدی مقدم[۱]، لعیا چراغی[۲]، امیر شیخی آراسته[۳*]، یدالله احمدی[۴]**
**۱- استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه۲ و ۴- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه ، ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه**
*Email: a.sh.arasteh@gmail.com

**چکیده**
بهینه‌سازی ساختار بستر بذر و آماده نمودن زمین‌های کشاورزی به منظور کاشت محصول، با نگاه به کاهش انرژی مصرفی از مسائل مهم در کشاورزی دقیق به شمار می‌رود. با توجه به حجم بالای عملیات در سیستم خاکورزی مرسوم، این بخش بیش از نیمی از انرژی تولید محصول را به خود اختصاص می‌دهد. در این تحقیق، برهم‌کنش تیغه و خاک به روش تجربی در دستگاه انباره خاک مورد بررسی قرار گرفته است. خاک موجود در انباره خاک از نوع ماسه با دانه‌بندی خوب تعیین شد. آزمایشات بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای مورد آزمایش شامل عمق خاکورزی (۱۰، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر)، زاویه ابزار (۶۰، ۷۰ و ۹۰ درجه) و عرض تیغه (۳ و ۶ سانتی‌متر) و صفات اندازه‌گیری شامل نیروی کششی، نیروی عمودی و سطح به هم خورده خاک می‌باشد. نتایج نشان داد که اثرات متقابل دوگانه تیمارها بر مقدار نیروی کششی و مساحت به‌هم خورده خاک در سطح احتمال ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ترکیب عمق ۲۵ سانتی‌متر و زاویه ۹۰ درجه بیشترین مقدار بهم خوردگی خاک و نیز بالاترین مقدار نیروی کششی را نیاز دارد. همچنین نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌ها برای بازده نیروی کششی نشان داد که بهترین ترکیب به منظور افزایش نیروی کششی استفاده از تیغه ۳ سانتی‌متر، زاویه ۶۰ درجه و عمق کار ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج مدل تحلیلی مک‌کیز نشان داد که داده‌های بدست آمده از نظر کیفی با نتایج مدل مک‌کیز تطابق کاملی دارد.

**کلمات کلیدی: انباره خاک، تیغه برشی، خاک، شیار، نیروی کششی**

## مقدمه

با اینکه سیستم‌های نوظهور در کشاورزی مدرن، تولید و فرآوری محصول را آسان نموده‌اند امّا همچنان تقاضا برای انرژی در بخش کشاورزی افزایش یافته است. خاکورزی به عنوان گامی مقدماتی و پایه‌ای برای تولید محصولات کشاورزی، حجم بالایی از انرژی را مصرف می‌کند [Kheiralla et al,2004]. تغییر الگوی مصرف انرژی، مشکلاتی از قبیل گرم شدن محیط زیست ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب و خاک را در پی داشته است [Hatirli et al, 2005]. با توجه به توسعه سیستم های خاکورزی حفاظتی، استفاده از ادوات خاکورز باریک (چیزل مانند) در سراسر جهان افزایش چشم گیری داشته است. ساده‌ترین روش برای تخمین انرژی مورد نیاز یک ابزار خاکورز، اندازه‌گیری نیروی کششی مورد نیاز برای ادوات در حال کار است [Ehrhardt et al, 2001].

محققین زیادی از این روش به منظور ارزیابی و بررسی عملکرد ادوات خاکورز استفاده نموده‌اند [Mamman and Oni, 2005]. کشش ویژه ادوات خاکورزی، در شرایط و موقعیت‌های مختلف متغیر می‌باشد زیرا تحت تأثیر عواملی هم‌چون بافت خاک، شکل هندسی و سرعت ابزار، مشخصات اصطکاکی خاک و سطح درگیر با آن، تیزی تیغه و عمق کار می‌باشد [Manuwa, 2009].

نتایج تحقیقات نشان داد که طراحان و کاربران ادوات خاکورزی نباید تصمیم‌گیری‌های خود را تنها بر اساس کاهش نیروی کششی مورد نیاز ادوات بنا نمایند[Gadvin, 2007]. پارامتر مهم دیگری که باید مد نظر قرار گیرد، تا بتوان توصیف بهتری از مصرف انرژی برای ادوات خاکورز بیان نمود، مساحت خاک بهم خورده می‌باشد. بنابراین شاخص بازده انرژی مصرفی (کشش ویژه) تعریف گردید که برابر است با مساحت سطح مقطع خاک بهم خورده بخش بر نیروی کششی مورد نیاز [Gadvin, 2007]. دزیر، (2007) در تحقیقات خود در خاک لومی رسی نشان داد که ابزار با زاویه نفوذ کوچک‌تر عملکرد (بازده انرژی مصرفی) بهتری از ابزار با زاویه نفوذ بزرگ‌تر دارند. گادوین (2007) نیز نشان داد که کاهش شاخص رعنایی (نسبت عمق کار به عرض تیغه) ادوات خاکورزی تا مقدار معینی باعث افزایش بازده انرژی مصرفی می‌گردد. رحمان و چن[1]، (2001) طی تحقیقاتی به این نتیجه رسیدند که پارامتر عمق کار ادوات خاکورزی، نسبت به پارامتر سرعت کار، فاکتور بسیار مؤثرتری بر مقدار نیروی کششی ادوات خاکورز می‌باشد.

با توجه به مطالب ارائه شده، به منظور بررسی کامل و دقیق ادوات خاکورز باریک، علاوه بر نیروی کششی ادوات خاکورز باریک، تأثیر تغییرات عمق، زاویه ابزار و شاخص رعنایی بر بازده انرژی مصرفی و مساحت به‌هم خوردگی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها**

به منظور بررسی اثر شکل هندسی تیغه بر مقدار نیروی کششی، مساحت خاک به هم خورده و بازده انرژی مصرفی از دو تیغه فولادی باریک استفاده گردید. آزمایشات بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی انجام گرفت. متغیرها شامل عرض تیغه در دو سطح (۳ و ۶ سانتی متر)، عمق کار در سه سطح (۱۰، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر) و زاویه نفوذ تیغه در سه سطح (۶۰، ۷۰ و ۹۰ درجه) مورد بررسی قرار گرفت. سطوح متغیرها با توجه به کاربرد ادوات چیزل مانند انتخاب گردید. به منظور بررسی آماری داده‌ها، آزمایشات در هر یک از تیمارها سه بار تکرار گردید.

خاک مورد آزمایش دارای ٪۱۳/۸ شن، ٪۷۹/۳۱ ماسه و ٪۶/۸۹ رس می‌باشد. نوع خاک، شنی با دانه‌بندی خوب همراه با رس لای‌دار تعیین گردید. در این آزمایش زاویه اصطکاک داخلی خاک برابر ۲۰ درجه و چسبندگی برابر با ۰/۰۰۳ $kg/cm^2$ تعیین گردید. دگرچسبی بین خاک و فلز برابر ۱/۰۶ $kg/cm^2$ زاویه‌ی اصطکاک خارجی برابر ۳۰ درجه بدست آمد. با توجه به عرض کانال و برای از بین بردن اثرات تیغه، پس از انجام هر آزمایش تیغه به اندازه ۴۰ سانتی‌متر در عرض انباره خاک جابجا شده و تکرار دوم برای همان شرایط آزمایش صورت می‌گرفت.

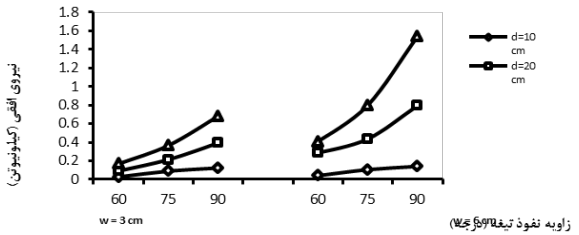
برای ثبت و جمع‌آوری داده‌های مربوط به نیروی کششی از مجموعه‌ای شامل لودسل، دیتالاگر، نمایشگر و کامپیوتر استفاده گردید. دیتالاگر و نمایشگر بهم متصل بوده و مستقیماً از طریق کابل USB به یک کامپیوتر متصل می‌گردد. مجموعه بر روی یک میز نگهدارنده‌ی کوچک که با حامل سویل‌بین حرکت می‌نماید، قرار دارد تا عمل جمع‌آوری و ثبت داده‌ها را بطور هم‌زمان میسر سازد. بعد از عبور تیغه، مقدار خاک بهم خورده و مشخصات شیار ایجاد شده ثبت گردید. بدین منظور از یک پروفیل شیشه ای سوراخ شده استفاده شد. فاصله سوراخها ۲۰ میلی‌متر

1 Rahman and Chen

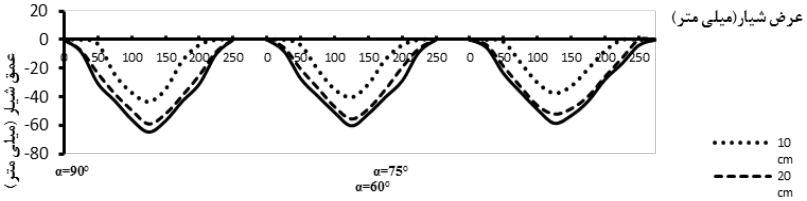
در نظر گرفته شد تا مشخصات شیار با دقت کافی استخراج گردد. پروفیل شیشه‌ای در بالای شیار ایجاد شده قرار گرفته و با استفاده از کولیس دیجیتال فاصله هر نقطه از شیار تا سطح خاک بدست آمد و مساحت و شکل واقعی شیار استخراج گردید.

**نتایج و بحث**

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که هر سه متغیر عمق کار، عرض کار و زاویه نفوذ تیغه در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر دو مؤلفه نیروی کششی و مساحت خاک بهم خورده دارند. همچنین تأثیر عمق کار و زاویه نفوذ تیغه بر بازده انرژی مصرفی نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بوده ولی عرض تیغه اثر معنی‌داری بر بازده انرژی مصرفی (کشش ویژه) که در بسیاری از موارد شاخص تصمیم‌گیرنده در انتخاب متغیرها می‌باشد، ندارد (جدول ۱). نتایج نشان داد که اثرات متقابل دوگانه این متغیرها بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار می‌باشد ($P<0.01$). مقایسه میانگین‌های مربوط به دو متغیر عمق کار و زاویه نفوذ نشان از افزایش نیروی کششی (افقی) با افزایش عمق کار و افزایش زاویه نفوذ تیغه می‌باشد (شکل ۱). افزایش عمق کار و نیز افزایش زاویه نفوذ از ۶۰ به ۹۰ درجه باعث افزایش مساحت خاک به هم خورده در اثر عبور تیغه نیز می‌شود (شکل ۲).




**شکل ۱. اثر عرض تیغه و عمق کار بر مقدار نیروی کششی ابزار باریک خاکورز**




**شکل ۲. اثرات عمق کار و زاویه نفوذ ابزار بر پروفیل شیار ایجاد شده**

**جدول ۱- تجزیه واریانس پارامترهای نیروی کششی، سطح مقطع خاک بهم خورده و بازده نیروی کششی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (MS) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | نیروی کششی | مساحت بهم خوردگی | بازده کششی |
| عمق | ۲ | ۱/۳۳۷* | ۰/۰۲۱* | ۸۲۹/۹۹۴* |
| زاویه | ۲ | ۰/۷۷۷* | ۰/۰۰۱* | ۱۳۹۳/۰۵۳* |
| عرض | ۱ | ۰/۸۷۳* | ۰/۰۰۱* | ns۱/۸۰۴ |
| برهم‌کنش عمق – عرض | ۲ | ۰/۲۵۱* | ۰/۰۰۰۰۸* | ۲۱/۳۸۳* |
| برهم‌کنش عمق – زاویه | ۴ | ۰/۲۶۹* | ۰/۰۰۰۰۱* | ۵۶/۲۹۷* |
| برهم‌کنش عرض – زاویه | ۲ | ۰/۰۵۶* | ۰/۰۰۰۰۴* | ۱۶/۳۷۳* |

*: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪
ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

## بحث

افزایش زاویه برش تیغه از ۶۰ تا ۹۰ درجه، موجب اعمال تنش عمودی بیشتری به خاک شده و نیز حرکت خاک بر روی تیغه به سختی صورت گرفته و کرنش‌های برشی بزرگتری در خاک اتفاق می‌افتد که منجر به افزایش نیروی برشی و گسیختگی لایه‌های خاک بر روی هم می‌گردد که به تبع آن مساحت خاک بهم خورده و نیروی کششی مورد نیاز نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش نیروی کششی با افزایش عمق خاکورزی را می‌توان ناشی از افزایش وزن و جرم مخصوص خاک دانست که منجر به افزایش نیروی اصطکاک بین خاک و تیغه و صرف نیروی بیشتر برای بالا آوردن توده خاک می‌باشد. افزایش عرض تیغه به تنهایی باعث افزایش نیروی کششی و مساحت بهم خورده خاک بطور معنی‌داری می‌گردد، اما با توجه به تعریف بازده انرژی مصرفی (مقدار نیروی مصرفی بازای مساحت بهم خورده خاک)، افزایش عرض تیغه از ۳ به ۶ سانتی‌متر تاثیر معنی‌داری بر این پارامتر نداشته است. می‌توان دلیل این پدیده را از آنجا دانست که صورت و مخرج این پارامتر به یک نسبت ثابت افزایش می‌یابد که در نهایت بر مقدار بازده انرژی مصرفی تاثیر نداشته است. نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به دو متغیر عرض و عمق کار، نشان از افزایش نیروی کششی و مساحت بهم خوردگی خاک با پهن‌تر شدن تیغه دارد که به دلیل بیشتر شدن سطح درگیر تیغه با خاک بوده که نیروی بیشتری نیز برای برش و حرکت دادن تیغه عریض‌تر در خاک مورد نیاز است.

مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که برای داشتن کمترین نیروی کششی، تیمار $d_1w_2$ (عرض تیغه ۳ cm و عمق کار ۱۰ cm) بایستی انتخاب گردد و برای بدست آوردن بیشترین سطح بهم خوردگی تیمار $d_3w_1$ (عرض تیغه ۶ cm و عمق کار ۲۵ cm) انتخاب بهتری می‌باشد. در یک عملیات خاکورزی نیروی کششی کم با مساحت بهم خوردگی زیاد مطلوب می‌باشد که تیمار $d_1w_1$ (عرض تیغه ۶ cm و عمق کار ۱۰ cm) می تواند بهترین انتخاب می‌باشد (جدول ۳). گادوین (۲۰۰۷) نشان داد که افزایش عرض تیغه در ادوات خیلی باریک خاکورزی (کمتر از ۳ سانتی‌متر) اثر معناداری بر افزایش نیروی کششی دارد و برای تیغه های بزگتر از ۳ تا ۶ سانتیمتر تاثیر پهنای تیغه کمتر می گردد. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان می‌دهد که در عمق‌های بیشتر (۲۵cm)، افزایش عرض تیغه اثر معنی‌داری بر مقدار بازده انرژی مصرفی نداشته است و هر دو تیمار $d_3w_1$ (عرض تیغه ۶ cm و عمق کار ۲۵ cm) و $d_3w_2$ (عرض تیغه ۳ cm و عمق کار ۲۵ cm) در یک گروه قرار گرفته‌اند (جدول ۳).

**جدول۲- مقایسه میانگین در تیمارهای عمق و زاویه تیغه**

| تیمار* | میانگین | | |
|---|---|---|---|
| | نیروی کششی | مساحت بهم خوردگی | بازده کششی |
| $R_1d_1$ | a۰/۰۳۴ | h۰/۰۱۴ | **a۴۱/۱۷۰** |
| $R_1d_2$ | d۰/۱۹۱ | f۰/۰۴۸ | **b۲۹/۲۴۵** |
| $R_1d_3$ | e۰/۲۹۲ | c۰/۰۷۴ | **d۲۰/۷۱۰** |
| $R_2d_1$ | b۰/۰۹۸ | h۰/۰۱۶ | **c۲۶/۹۵۰** |
| $R_2d_2$ | f۰/۳۲۶ | e۰/۰۵۲ | **e۱۶/۷۰۰** |
| $R_2d_3$ | h۰/۵۸۴ | b۰/۰۷۹ | **f۱۴/۳۴۰** |
| $R_3d_1$ | ۰/۱۴۱ c | ۰/۰۲۰ g | **۱۷/۲۲۵ e** |
| $R_3d_2$ | ۰/۵۶۷ g | ۰/۰۶۶ d | **۱۱/۱۱۵ g** |
| $R_3d_3$ | ۱/۱۳۳ i | ۰/۱۰۰ a | **۹/۵۰۰ g** |

*میانگین هر ستون که دارای حروف مشابه‌اند، اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن ۵٪).

**جدول ۳- مقایسه میانگین در تیمارهای عمق و عرض تیغه**

| تیمار* | میانگین | | |
|---|---|---|---|
| | نیروی کششی | مساحت بهم خوردگی | بازده کششی |
| $d_1w_1$ | b۰/۰۸۶ | e۰/۰۲۴ | **a۲۸/۰۷۶** |
| $d_1w_2$ | a۰/۰۷۲ | f۰/۰۱۹ | **b۲۶/۱۹۰** |
| $d_2w_1$ | e۰/۴۸۱ | c۰/۰۶۰ | **d۱۷/۹۵۳** |
| $d_2w_2$ | c۰/۲۴۲ | d۰/۰۵۱ | **c۲۰/۰۸۷** |
| $d_3w_1$ | f۰/۹۱۹ | a۰/۰۹۰ | **e۱۵/۵۲۷** |
| $d_3w_2$ | d۰/۴۲۱ | b۰/۰۷۹ | **e۱۴/۱۷۵** |

*میانگین هر ستون که دارای حروف مشابه‌اند، اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن ۵٪).

**جدول ۴- مقایسه میانگین در تیمارهای زاویه و عرض تیغه**

| تیمار* | میانگین | | |
|---|---|---|---|
| | نیروی کششی | مساحت بهم خوردگی | بازده کششی |
| $R_1w_1$ | c۰/۲۴۸ | d۰/۰۴۸ | **a۲۹/۲۰۷** |
| $R_1w_2$ | a۰/۰۹۷ | f۰/۰۴۳ | **a۳۰/۹۰۳** |
| $R_2w_1$ | e۰/۴۴۸ | c۰/۰۵۳ | **c۱۹/۶۹۳** |
| $R_2w_2$ | b۰/۲۲۴ | e۰/۰۴۶ | **c۱۸/۹۶۷** |
| $R_3w_1$ | f۰/۸۰۳ | a۰/۰۶۷ | **d۱۳/۶۴۷** |
| $R_3w_2$ | d۰/۴۲۵ | b۰/۰۵۶ | **e۱۱/۵۸۰** |

*میانگین هر ستون که دارای حروف مشابه‌اند، اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن ۵٪)

## نتیجه‌گیری کلی

هدف این تحقیق دستیابی به بهترین ساختار هندسی و شرایط کارکرد ادوات خاکورزی باریک به منظور دستیابی به بیشترین مقدار بازده انرژی مصرفی می‌باشد. نتایج آزمایشات نشان داد کاهش زاویه نفوذ ابزار باریک (تا۶۰ درجه) و نیز کاهش عمق کار ابزار بدون توجه به عرض تیغه باعث افزایش کارایی تیغه می‌گردد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بدون توجه به زاویه نفوذ ابزار در خاک بایستی سعی شود که از تیغه‌های با شاخص رعنایی کم‌تر (تیغه‌های پهن) در هنگام کار استفاده نمود. با وجود تمامی این نتایج، می‌توان بطور کلی بیان نمود که ابزار با زاویه نفوذ کوچک‌تر و ضریب رعنایی کمتر، کارایی بالاتری را دارا می‌باشد ولی انتخاب بهترین حالت برای طراحی و استفاده از ابزار بایستی بر اساس شرایط کار مورد نظر مانند عمق کار خاکورزی و یا در نظر داشتن سطح خاک بهم خورده و یا مصرف انرژی پایین انجام پذیرد.

منابع

1. Abo-Elnor, M et al. 2004. Simulation of soil– blade interaction for sandy soil using advanced 3-D finite element analysis. Soil & Tillage Research. 75, 61-73.
2. Abu-Hamdeh and N.H., C.R. Reeder. 2003. A nonlinear 3-D finite element analysis of soil forces acting on disk plow. Soil & Tillage Research. 74, 115-124.
3. Desir, F.L. 1981. A field evaluation of the wedge approach to the analysis of soil cutting by narrow blades. M.Sc, Thesis, McGill Univ., Montreal, Quebec: 245 pp.
4. Ehrhardt, J.P et al. 2001. Using the veris electrical conductivity cart as a draft predictor. ASAE Paper No. 011012 at Sacramento Convention Center, Sacramento, CA, July, 29-August 1, 2001.
5. Godwin, R.J. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. Soil & Tillage Research. 97: 331-340.
6. Hatirli, S. A et al. 2005. An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 9, 608-623.
7. Kheiralla, F.A et al. 2004. Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating on Serdang sandy clay loam, Malaysia. Soil & Tillage Research. 78: 21–34.
8. Mamman, E and K.C. Oni. 2005. Draught performance of a range of model chisel furrowers. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Manuscript PM 05 003, vol. VII. November 2005.
9. Manian, R et al. 2000. Influence of operating and disk parameters on performance of disk tools. Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America 31 (2), 19–26 38.
10. Manuwa, S.I. 2009. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. Soil & Tillage Research. 103: 399-405.