تحلیل پارامترهای مهندسی موثر بر شکل انحناء صفحه برگردان خیش یک گاوآهن برگردان‌دار

سید محمد رضا ناظم السادات [۱]، مجتبی نادری بلداجی [۲*]، داود قنبریان [۳]، محمد امین نعمت اللهی [٤]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (reza_nazemsadat@yahoo.com)
۲*. دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (naderi.mojtaba@sku.ac.ir; m.naderi@ut.ac.ir)
۳. دانشیار گروه طراحی صنعتی، دانشگاه هنر (d.ghanbarian@art.ac.ir)
٤. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز (manema@shirazu.ac.ir)

چکیده

از مهم‌ترین ماشین‌های خاک‌ورزی اولیه، گاوآهن برگردان‌دار می‌باشد. در این گاوآهن خیش یکی از قسمت‌های مهم آن بوده که به عنوان عامل اصلی خاک‌ورز محسوب شده و پنج وظیفه بریدن، بالا آوردن، شکستن، برگرداندن و انتقال لایه برش خورده خاک را انجام می‌دهد. مروری بر پژوهش‌های انجام شده پیرامون مکانیک گاوآهن‌های برگردان‌دار نشان می دهدکه طبیعت پیچیده این سازه مکانیکی در برگیرنده زمینه های مختلفی از پژوهش‌ها می باشد. صفحه برگردان‌دار را می‌توان مهم‌ترین قسمت خیش در گاوآهن دانست که بر مبنای شکل هندسی این صفحه خیش‌های متفاوتی با توجه به کیفیت خاک‌ورزی، انرژی مصرفی، نوع خاک و مصرف انرژی وجود دارد. به منظور تعیین مقاومت خاک در زمان شخم، لازم است که از توصیف ریاضی خیش گاوآهن و ارزیابی دقیق از تعاملات خاک-ماشین استفاده شود. همچنین طراحی خیش گاوآهن برگردان‌دار به دلیل نامشخص بودن نیروهای اعمالی از طرف خاک مسئله‌ای پیچیده بوده و مستلزم دقت زیادی می‌باشد. در این تحقیق، به بررسی و تحلیل پارامترهای مهندسی موثر بر شکل انحناء صفحه برگردان خیش یک گاوآهن برگردان‌دار انتخاب شده تولید داخلی با استفاده از نرم افزار برنامه نویسی MATLAB پرداخته شد. نتایج نشان داد که با افزایش پارامترهای هندسی γ و β، شعاع انحنای صفحه برگردان کاهش که نتیجه آن افزایش نیروی کششی خواهد بود. افزایش پارامترهای هندسی m، q و r، باعث افزایش شعاع انحنای صفحه برگردان شده و درنتیجه منجر به کاهش نیروی کششی خواهند شد.

کلمات کلیدی:
گاوآهن برگردان‌دار، خیش، پارامترهای هندسی، خاک‌ورزی.

* **نویسنده مسئول: مجتبی نادری بلداجی** (E-mail: naderi.mojtaba@sku.ac.ir; m.naderi@ut.ac.ir)

تحلیل پارامترهای مهندسی موثر بر شکل انحناء صفحه برگردان خیش یک گاوآهن برگردان‌دار

مقدمه

عملیات خاک‌ورزی سخت ترین و از نظر انرژی پرمصرف ترین بخش تولید محصولات کشاورزی است. بیش از ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی در بخش کشاورزی صرف آماده کردن زمین می شود و در عین حال عملکرد محصولات نیز تقریبا تا ۲۵ درصد به کیفیت عملیات خاک ورزی بستگی دارد. علی رغم پیشرفت های چشمگیر بشر در ابداع و استفاده از فناوری های نوین، هنوز بخش اعظم عملیات آماده‌سازی خاک به منظور ایجاد شرایط مناسب برای رشد و نمو گیاهان با روش های مکانیکی انجام می شود. بنابراین طراحی، ساخت و بهینه‌سازی ماشین‌ها و ادوات مختلف خاک‌ورزی و بررسی تاثیر این ادوات بر کیفیت و عملکرد محصولات کشاورزی بخش عمده‌ای از فعالیت محققین و مهندسین کشاورزی را به خود اختصاص داده است[۲].

گاوآهن برگردان‌دار یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین ادوات خاک‌ورزی به شمار می‌رود. تعداد این گاوآهن در کشور تا سال ۱۳۸۱حدود ۲۳۰ هزار دستگاه برآورد شده است[۲]. بررسی آمارنامه های کشاورزی منتشر شده وزارت جهاد کشاورزی (معاونت برنامه ریزی و اقتصادی) نیز نشان داد که آمار موجودی گاوآهن برگردان دار در ایران از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ سیر صعودی داشته است و آمار موجودی آن به حدود ۳۵۰ هزار دستگاه در سال ۱۳۹۶ رسیده است[۱]، که این امر بیانگر اهمیت این ماشین خاک‌ورز در کشور می باشد و علی‌رغم تبلیغاتی که در سال های اخیر برای جلوگیری از تولید و استفاده گاوآهن برگردان‌دار صورت گرفته است، کشاورزان به دلیل افزایش کیفیت خاک-ورزی در هنگام استفاده از این وسیله و همچنین قیمت مناسب (به ویژه نوع دو خیشه و سه خیشه) استقبال خوبی در خرید گاوآهن برگردان‌دار داشته‌اند. قسمت‌های اصلی گاوآهن برگردان‌دار عبارتند از خیش، ساقه، شاسی و ضمایم (پیش بر، چرخ و ..). در این گاوآهن خیش یکی از قسمت‌های مهم آن بوده که به عنوان عامل اصلی خاک‌ورز محسوب شده و پنج وظیفه بریدن، بالا آوردن، شکستن، برگرداندن و انتقال لایه برش خورده خاک را انجام می‌دهد. قطعات اصلی تشکیل دهنده خیش گاوآهن برگردان‌دار عبارتند از: سینه، ساقه، تیغه، صفحه برگردان‌دار و کفش. صفحه برگردان دار را می توان مهم‌ترین قسمت خیش در گاوآهن دانست که بر مبنای شکل هندسی این صفحه خیش‌های متفاوتی با توجه به کیفیت خاک ورزی، انرژی مصرفی، نوع خاک و مصرف انرژی وجود دارد. به منظور تعیین مقاومت خاک در زمان شخم، لازم است که از توصیف ریاضی خیش گاوآهن و ارزیابی دقیق از تعاملات خاک- ماشین استفاده شود. همچنین طراحی خیش گاوآهن برگردان‌دار به دلیل نامشخص بودن نیروهای اعمالی از طرف خاک مسئله‌ای پیچیده بوده و مستلزم دقت زیادی می باشد.

سوهن در سال ۱۹۵۹ نتایج به دست آمده از آزمایش-های مزرعه‌ای روی گاوآهن برگردان‌دار را در سرعت های بالا (9km/h) مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه دست یافت که پارامترهای هندسی خاصی در گاوآهن برگردان‌دار مهم بوده و سهم عمده‌ای را در طراحی این خاک‌ورز ایفا می کند. این پارامترها عبارتند از: زاویه تقاطع تیغه(δ_1) در نوک و انتهای تیغه، زاویه برش تیغه(φ_1)، زاویه تیغه در ارتفاع(φ_5) و زاویه تقاطع تیغه(δ_5) در در ناحیه باله [۱۳].

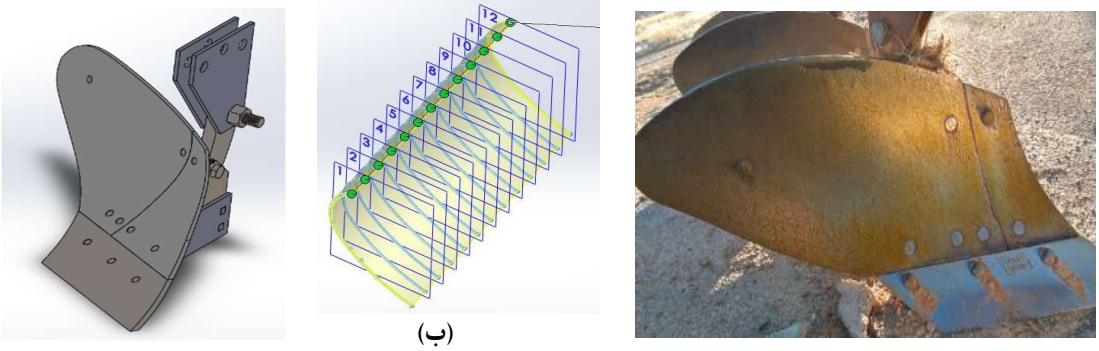
مافود و ایلهام(۲۰۱۳)، مدل پیش بینی نیروهای اعمال شده از طرف خاک بر گاوآهن برگردان‌دار را ارائه دادند و این مدل را با مدل‌های گاریاچکین و جی کلاف مقایسه نمودند. آن‌ها در مدل ارائه شده، خصوصیات هندسی سطوح فعال قطعات کار را نیز در نظر گرفتند. مدل فوق با روش مدل‌سازی (باکینگهام- وچی) شکل گرفته بود. این مدل سپس با مدل‌های گاریاچکین و جی کلاف مورد مقایسه قرار گرفت. صفحه برگردان‌دار گاوآهن در مدل مقایسه شده در الجزایر توسط شرکت ENPMA (فرم کشاورزی) و SACRA (فرم استوانه ای) ساخته شده بود [۸].

ایبراهمی و همکاران (۲۰۱٦)، به منظور بررسی پارامترهای هندسی(α، β، q و m) بر روی سطح سه بعدی استوانه‌ای شکل صفحه برگردان‌دار گاوآهن، یک روش تحلیلی پیشرفته توسط نرم افزار کامپیوتری ارائه دادند. خیش گاوآهن برگردان‌دار دارای یک سطح هندسی پیچیده است که کیفیت خاک‌ورزی و مصرف انرژی را تعیین می‌کند. این مطالعه نشان داد که افزایش زاویه برش (α) و زاویه برگردان خاک (β) صفحات برگردان‌دار مختلفی را تولید می کند که باعث ایجاد یک لبه برش بزرگتر شده و انرژی مصرفی را نیز افزایش می دهد. با این حال، افزایش پارامترهای هندسی (q) و (m) شعاع انحناء صفحه برگردان‌دار را کاهش می دهد که به طور مستقیم بر فرآیند برگرداندن خاک و مصرف انرژی تاثیر می گذارد [٦].

ایبراهمی و همکاران(۲۰۱٦)، شبیه سازی سه بعدی المان محدود اثر طراحی خیش گاوآهن برگردان دار بر مصرف انرژی و کیفیت خاک ورز ی را انجام دادند. در این تحقیق توسط روش المان محدود(FEM)، تأثیر پارامترهای هندسی طراحی ابزار یعنی زاویه برش (α)، زاویه برگردان خاک (β)، پارامترهای هندسی (q) و (m) بر نیروهای خاک-ورزی(عمودی، جانبی و کشش) و کیفیت خاک‌ورزی مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل عددی نشان داد که افزایش این پارامتر ها تاثیر زیادی بر نیروی کششی و جانبی دارد. با افزایش زاویه های α و β نیروی کشش به صورت خطی، افزایش و همچنین با افزایش پارامترهای هندسی (m) و (q) این نیرو به صورت خطی کاهش می یابد. نیروی جانبی با افزایش پارامتر هندسی (q) و زاویه برش α به صورت خطی، کاهش و با افزایش زاویه بلند شدن β، افزایش می یابد و وابسته به پارامتر هندسی (m) نمی باشد. تمام این پارامترهای هندسی تاثیر کمی بر نیروی عمودی داشتند. این مطالعه نشان داد که زاویه برگردان خاک (β) و پارامتر (m) بیشترین تاثیر را در مصرف انرژی نسبت به سایر پارامترها دارند. علاوه بر این، انتخاب $\alpha = 45^\circ$، $\beta = 25^\circ$، $m = 1$ و $q = 24$ به عنوان پارامترهای هندسی برای طراحی صفحه برگردان‌دار خیش، می تواند باعث کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت خاک‌ورزی شود [۷].

با توجه به بررسی مدل‌های پیش بینی نیروهای وارد بر ادوات خاک‌ورزی محققین [١٤و١٢و١٠و٨و٧و٣]، می توان گفت که این مدل‌ها به هندسه ابزار، ویژگی های فیزیکی خاک و طبیعت گسیختگی خاک جلوی ابزار وابسته هستند. بنابراین شکل هندسی صفحه برگردان‌دار خیش گاوآهن از پارامترهای مهم و موثر بر انرژی خاک ورزی و نیروی کششی می باشد. آگاهی از مکانیزم رابطه ابزار- خاک در طراحی اجزا برای گسیختگی خاک و نفوذ ادوات در آن نیز دارای ارزش و اهمیت می باشد. همچنین آگاهی از نحوه طراحی ادوات خاک‌ورزی بهینه در گستره وسیعی از شرایط و نوع خاک بسیار مهم است.

در این تحقیق با در نظر گرفتن خیش مزرعه‌ای یکی از گاوآهن‌های تولید داخل(گاوآهن سوار سه خیشه ساخت شرکت قطعات آهنگری خراسان)، ضمن مدل‌سازی توسط نرم افزار Solid work، به تحلیل پارامترهای مهندسی موثر بر شکل انحناء صفحه برگردان‌دار خیش پرداخته می‌شود(شکل۱).



(ب)

(الف) (ج)

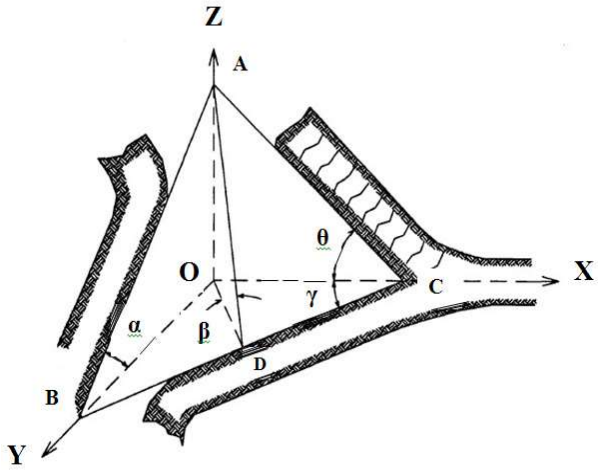
شکل ۱. خیش گاوآهن برگردان‌دار تولید شرکت قطعات آهنگری خراسان. الف- خیش از نمای روبرو، ب-کانتورهای ایجاد شده جهت مدل‌سازی منحنی خیش، ج- خیش مدل‌سازی شده توسط نرم افزار Solid work 2016.

مواد و روش‌ها

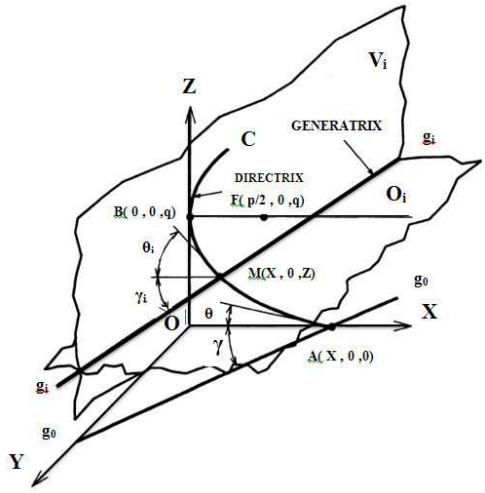
مدل‌سازی تغییرپذیری پارامترهای مهندسی خیش

- تعیین پارامترهای مهندسی خیش

پارامترهای هندسی ابزارهای خاک‌ورزی غیر فعال با ایجاد یک گوه سه پهلو که شامل یک سطح سه بعدی ABC **است، مطابق شکل ۲ توصیف می‌شود. یک سیستم مختصات دکارتی به شرح زیر مشخص شده است:**



شکل ۲. ایجاد گوه سه پهلو برای تعیین پارامترهای هندسی ابزار خاک‌ورزی.



شکل ۳. روش تولید منحنی صفحه برگردان‌دار.

محور OX **در جهت حرکت ابزار خاک‌ورز است، صفحه** XOY **کف شیار شخم را تشکیل می دهد، صفحه** XOZ **، صفحه‌ای عمودی است که موازی با جهت حرکت ابزار است، و صفحه** YOZ **یک صفحه عمودی می باشد که عمود بر جهت حرکت ابزار قرار گرفته است.** β **حداکثر زاویه سطح ابزار نسبت به سطح افقی** XOY **و** γ **زاویه نوک تیغه با راستای پیشروی**(OX) **می باشد. با افزایش زاویه** β **انرژی خاک‌ورزی افزایش یافته و میزان پودر شدن خاک افزایش می یابد. زاویه** γ **سرعت جانبی، مسافتی که خاک به سمت کنار حرکت می کند و نیروهایی که مربوط به حرکت خاک در سطح ابزار می باشد را تحت تاثیر قرار می دهد** [۱۱].

مطابق شکل ۱، ارتباط زوایای γ ،β ،α **و** θ **به صورت زیر است:**

$$\tan\theta = \tan\beta \times \sin\gamma = \tan\gamma \times \tan\alpha \qquad (۱)$$

برای ایجاد ارتباط بین پارامترهای هندسی ابزار، شرایط خاک و نیروهایی که بر روی سطح ابزار وارد می شوند، نیاز به معادله ریاضی سطح ابزار است. روش گرافیکی طراحی ابزار مورد استفاده در گذشته، مطالعه کمی از روند کاری ابزار را در اختیار ما قرارمی دهد. تولید یک سطح ابزار خاک‌ورز از معادله سطح $F(x,y,z)=0$ **بدست می**

آید. این معادله با حرکت خط مستقیم BC (که خط مولد[1] نامیده می شود)، توسط معادله $F(x,y,\lambda)=0$ روی خط مستقیم AC (که خط راهنما[2] نامیده می شود)، با معادله $F(y,z)=0$ بدست می آید (شکل۲). خط مولد BC همیشه با صفحه XOY موازی می باشد. بنابراین [۱۱]:

$$F(x,y,\lambda)=0 \qquad F(y,z)=0 \qquad (۲)$$

و در نتیجه معادله سطح گوه برابر است با:

$$F(x,y,z)=0 \qquad (۳)$$

با توجه به موارد ذکر شده فوق ، هنگامی که زوایای α، β، γ و θ به عنوان توابعی از مختصات z تغییر می کنند، تجزیه و تحلیل سطح صفحه برگردان دار صورت می گیرد و شکل‌های مختلفی از سطح صفحه برگردان‌دار ممکن است با تغییر مرزها و تغییر شرایط اولیه حاصل شود.

برای تولید سطح شبه استوانه‌ای(مزرعه‌ای) یک خیش گاوآهن برگردان‌دار، منحنی C در صفحه XOZ مطابق شکل(۳) در نظر گرفته می‌شود. این منحنی باید تضمین کند که خاک را به راحتی در طول مرحله اولیه بر روی سطح صفحه برگردان‌دار بالا ببرد. پس از آن تضمین کند که خاک را به خوبی برگردان کند. یک سهمی با انحنای متفاوت آن این عملیات را به خوبی انجام می دهد [٤]. سطح شبه استوانه ای (مزرعه ای) را می توان با حرکت خط مولد g_0- g_0 روی خط راهنمای C تولید کرد. خطوط مولد از g_0-g_0 تا g_i-g_i و تا انتهای خط راهنمای C، موازی با صفحه افقی XOY باقی می مانند، اما موقعیت آن ها با توجه به محور OX با تغییر زاویه $\gamma=f(z)$ تغییر می یابد. منحنی سهمی C از رابطه زیر بدست می آید:

$$(z-q)^2=2px \qquad y=0 \qquad (٤)$$

که در آن p پارامتری از منحنی سهمی و q پارامتر انتقال عمودی راس سهمی می باشد.

از نظر بسیاری از محققین زاویه γ، مهم ترین زاویه منحنی صفحه برگردان دار می باشد. و رابطه آن به صورت زیر است:

$$\gamma_i=\gamma+\frac{{z_i}^2}{2r}m \qquad (i=0,1,2,3,\dots n) \qquad (٥)$$

که در آن γ زاویه خط مولد g_0-g_0 با محور OX در صفحه افقی XOY بوده که در آن $Z=0$ می باشد. جمله $\frac{{z_i}^2}{2r}$ یک چندجمله مرتبه دوم است که برای توصیف نرخ تغییر γ توسط z، m ضریب افزایش زاویه γ و z_i ارتفاع نقطه i ام است.

مطابق شکل(۳) خط مولد g_0-g_0 مقید به پیروی از خط راهنما در صفحه XOZ می باشد. باید توجه داشت که خط راهنما به صورت یک سهمی در معادله رابطه (٤) بوده و همیشه موازی با صفحه XOY می باشد. خط راهنما می تواند توسط معادلات زیر تعریف شود:

$$z=\lambda \qquad (O_i) \qquad (٦)$$

$$x=-\frac{1}{\tan\gamma}y+\frac{(z-q)^2}{2p} \qquad (V_i) \qquad (٧)$$

1. Generatrix
2. Directrix

که در آن O_i و V_i خانواده های صفحات افقی و عمودی و λ ارتفاع خط راهنما در بالای صفحه XOY است. از ترکیب روابط (۵) و (۷) معادله شکل سطح صفحه برگردان‌دار خیش شبه استوانه ای(مزرعه ای) به صورت زیر است:

$$\left[\frac{(z-q)^2}{2p}-x\right]\tan\left(\gamma+\frac{z^2}{2r}m\right)-y=0 \qquad (۸)$$

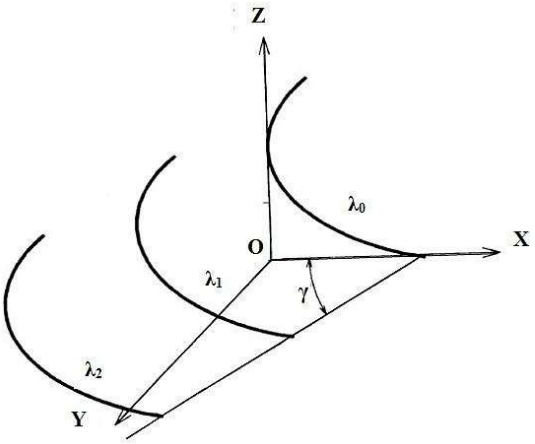
خطوط کانتور ابزار خاک ورز نشان دهنده منحنی هایی می باشد که از تقسیم بندی سطح ابزار با صفحات عمودی، موازی با XOZ (خانواده های $y=V_i$) به دست می آید. یک خانواده از منحنی تعریف شده توسط معادله را بدست می آید:

$$x=\frac{(z-q)^2}{2p}-\frac{V_i}{\tan\left(\gamma+\frac{z^2}{2r}m\right)} \qquad (۹)$$

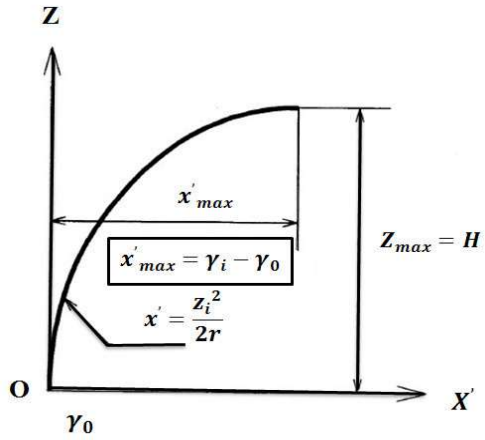
که در آن $i=0,1,2,3,\dots n$ تعداد تقسیم بندی صفحات می باشد(شکل٤).

- طراحی مهندسی صفحه برگردان‌دار خیش گاوآهن

صفحه برگردان‌دار گاوآهن دارای یک سطح هندسی پیچیده است که کیفیت خاک‌ورزی و مصرف انرژی را تعیین می کند. تغییرات هندسی شکل انحناء صفحه گاوآهن برگردان‌دار تحت تاثیر پارامترهایی نظیر زوایای γ (زاویه نوک تیغه با راستای پیشروی)، β (زاویه برگردان خاک)، θ (زاویه بالا آوردن خاک)، q (پارامتر انتقال عمودی راس سهمی)، m (ضریب افزایش زاویه γ)، r (پارامتری از منحنی سهمی) و P (پارامتری از منحنی سهمی) می‌باشد (شکل۳ و٤). در شکل (۵)، تغییرات زاویه γ به عنوان تابعی از Z نمایش داده شده است.



شکل٤. خطوط منحنی صفحه برگردان دار خیش مزرعه ای.



شکل۵. تغییرات زاویه γ به عنوان تابعی از Z.

پارامتر p به صورت تابعی از زاویه θ به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$p=q\tan\theta \qquad (۱۰)$$

و با جایگذاری رابطه (۱) در رابطه (۱۰) داریم:

$$p=q\tan\beta\times\sin\gamma \qquad (۱۱)$$

مقدار γ با توجه به نوع خاک به صورت زیر است:

برای خاک‌های شنی: $45^{\circ} \leq \gamma \leq 50^{\circ}$ **، برای خاک‌های متوسط:** $40^{\circ} \leq \gamma \leq 45^{\circ}$ **و برای خاک‌های چمن‌زار:** $30^{\circ} \leq \gamma \leq 40^{\circ}$ **می‌باشد. همچنین** $22^{\circ} \leq \beta \leq 30^{\circ}$ **در نظر گرفته می شود [۵].**

همانطور که گفته شد در معادله (۵)، چندجمله ای مرتبه دوم $x' = \frac{z_i^2}{2r}$ **تغییرات** γ **توسط** z **را نشان می دهد. که** x' **مقدار تغییرات** γ **برحسب درجه و** z **ارتفاع برحسب سانتی متر است (شکل۵). پارامتر** r **می تواند به عنوان تابعی از ضریب افزایش زاویه** γ **(m) محاسبه گردد. ضریب**m **به صورت زیر محاسبه می شود:**

$$m = \frac{\gamma_{max} - \gamma_0}{x'_{max}} = 1 = \frac{\Delta\gamma}{x'_{max}} \Rightarrow x'_{max} = \Delta\gamma = \frac{z_{max}^2}{2r} \qquad (۱۲)$$

بنابراین مقدار r **برابر است با:**

$$r = \frac{z_{max}^2}{2\Delta\gamma} \qquad (۱۳)$$

در نهایت با جایگذاری رابطه (۱۳) در رابطه (۹) و در نظر گرفتن $y = V_i$**، معادله سطح منحنی صفحه برگردان-دار خیش شبه استوانه‌ای (مزرعه‌ای) به صورت زیر بدست می آید:**

$$x = \frac{(z-q)^2}{2q\tan\beta \times \sin\gamma} - \frac{y}{\tan\left(\gamma + \frac{z^2}{2\frac{z_{max}^2}{2\Delta\gamma}m}\right)} \qquad (۱۴)$$

که در آن $\Delta\gamma = \gamma_{max} - \gamma_0$ **و مقدار آن برای خاک با بافت متوسط:** $2^{\circ} \leq \Delta\gamma \leq 7^{\circ}$ **و برای خاک با بافت سنگین:** $7^{\circ} \leq \Delta\gamma \leq 17^{\circ}$ **می‌باشد.**

استخراج و تعیین تغییرات مقادیر پارامترهای مهندسی خیش

جدول(۱) میزان تغییرات پارامترهای مهندسی موثر بر شکل انحناء صفحه گاوآهن برگردان دار مدل سازی شده را که شامل β ،γ ،q ،r **و** m **می باشند، نشان می دهد. مطابق جدول فوق، در هر مرحله یکی پارامترها متغیر و چهار پارامتر دیگر ثابت در نظر گرفته شده اند. با توجه به معادله سطح منحنی صفحه برگردان دار خیش مزرعه‌ای (رابطه۸) و با استفاده از برنامه نویسی متلب، به طور جداگانه برنامه تغییرات هر پارامتر با ثابت بودن پارامترهای دیگر توسط نرم افزار متلب نوشته می شود. مطابق رابطه (۱۳) جهت محاسبه مقادیر مختلف** r **مقدار** $2^{\circ} \leq \Delta\gamma \leq 7^{\circ}$ **در نظر گرفته شد.**

جدول۱. میزان تغییرات پارامترهای موثر بر شکل انحناء صفحه گاوآهن برگردان‌دار مدل‌سازی شده.

پارامترها	γ (درجه)	β (درجه)	m	q	r (میلی متر مربع)
	٤٠	۲۷/٤	۰/۵۵	۲۱۰	۲/۲۹×E٦
	٤۲	۲۷/٤	۰/۵۵	۲۱۰	۲/۲۹×E٦
γ (زاویه نوک تیغه با راستای	٤٤	۲۷/٤	۰/۵۵	۲۱۰	۲/۲۹×E٦
پیشروی)	٤٦	۲۷/٤	۰/۵۵	۲۱۰	۲/۲۹×E٦
	٤۸	۲۷/٤	۰/۵۵	۲۱۰	۲/۲۹×E٦
	۵۰	۲۷/٤	۰/۵۵	۲۱۰	۲/۲۹×E٦
β (زاویه برگردان خاک)	٤٦	۱۲/٤	۰/۵۵	۲۱۰	۲/۲۹×E٦

	٤٦	١٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٣٢/٤	٠/٥٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٣٤/٤	٠/٥٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/١	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٢٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٤٠	٢١٠	٢/٢٩×E٦
m (ضریب افزایش زاویه γ)	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٧٠	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٨٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	١	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	١٥٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	١٦٥	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	١٨٠	٢/٢٩×E٦
q (پارامتر انتقال عمودی	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	١٩٥	٢/٢٩×E٦
راس سهمی)	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢٢٥	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢٤٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢٥٥	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٢/٢٩×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	١/٥٢×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	١/١٤×E٦
r (پارامتر سهمی)	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٠/٩٢×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٠/٧٦×E٦
	٤٦	٢٧/٤	٠/٥٥	٢١٠	٠/٦٥×E٦

نتایج و بحث

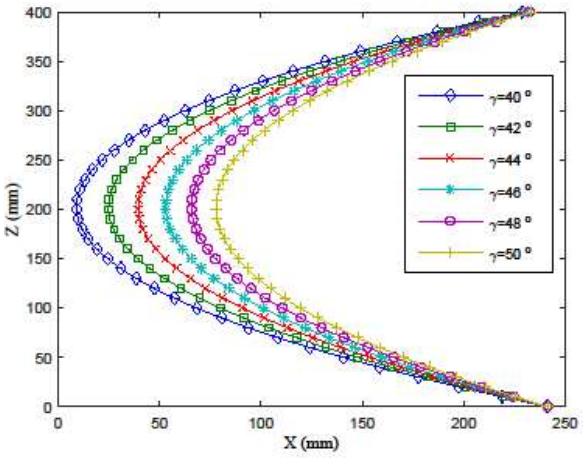
شکل های (٦) تا (١٠)، نمودارهای استخراج شده از نرم افزار MATLAB را نشان می دهد. شکل(٦)، تاثیر مقادیر مختلف پارامتر هندسی γ بر منحنی راهنمای خیش مزرعه ای مدل سازی شده را نشان می‌دهد. مطابق این شکل با افزایش زاویه γ ، شعاع سهمی کاهش یافته و طول لبه برش ابزار افزایش می یابد. همچنین بر اساس جهت حرکت خیش(X)، راس‌های سهمی‌ها تحت تاثیر زوایای ٤٨، ٤٦، ٤٤، ٤٢، ٤٠ : γ و٥٠ درجه به ترتیب در فواصل ٢٤٥، ٢٢٥، ٢٠٥، ١٩٥، ١٨٠و ١٧٠ میلی‌متر قرار می گیرند.

در شکل (٧) راس‌های سهمی‌ها تحت تاثیر زوایای ٤/٣٢، ٤/٢٧، ٤/١٧، ٤/١٢ :β و ٣٤/٤ درجه به ترتیب در فواصل ٤٧٥، ٣٩٠، ٢١٠، ١٧٥ و١٦٠ میلی متر قرار می گیرند. نمودار شکل (٨) نیز نشان می دهد که با افزایش زاویه β طول لبه برش ابزار نیز بزرگتر می‌شود و همچنین شعاع انحنای صفحه برگردان کاهش می‌یابد. نتایج استخراج شده از شکل

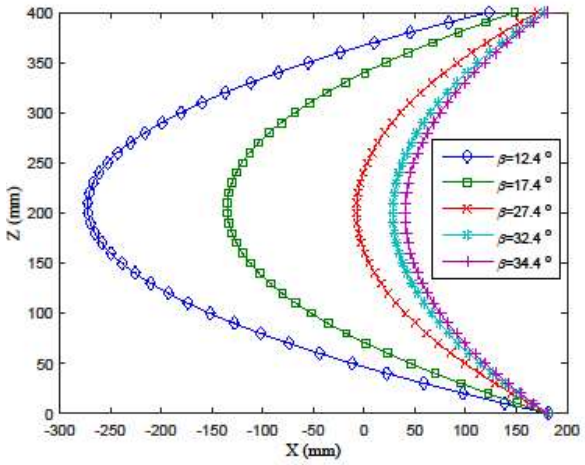
های (٦) و (٧) نشان می دهد که با افزایش زوایای γ و β مقدار انرژی لازم جهت شخم‌زنی و در نتیجه نیروی کششی افزایش می یابد [٩].

شکل های (٨) و (٩) تاثیر پارامترهای m و q را منحنی راهنمای خیش مزرعه ای مدل سازی شده را نشان می دهند. مطابق این شکل ها با افزایش پارامترهای m و q، شعاع انحنای انحنای صفحه برگردان افزایش یافته است. مطابق شکل (١٠) نیز با افزایش پارامتر هندسی r شعاع انحنای صفحه برگردان‌دار نیز افزایش می‌یابد.

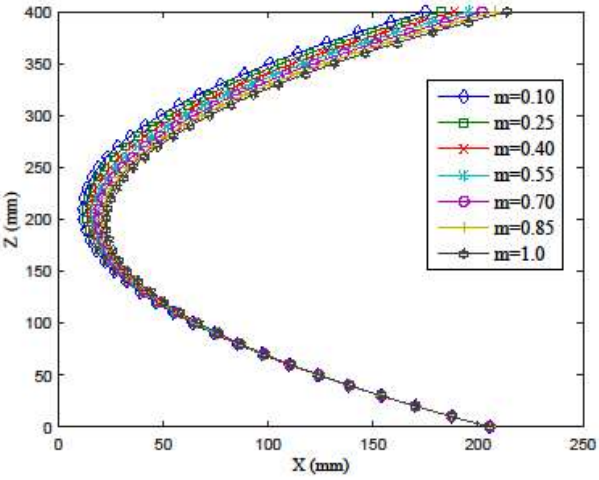
شکل (١١) رابطه بین پارامترهای هندسیp و q را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار با افزایش پارامتر q (پارامتر انتقال عمودی راس سهمی)، پارامتر p نیز افزایش یافته است.



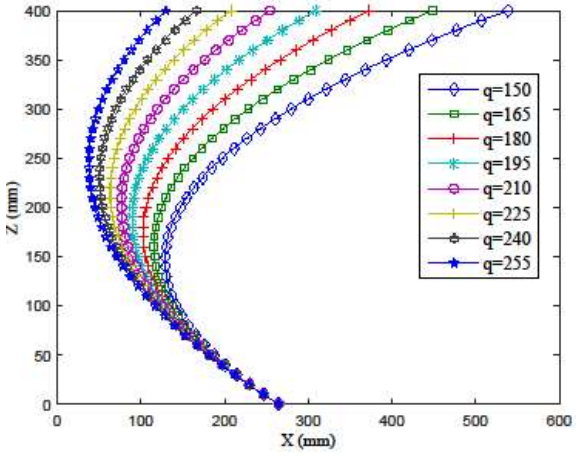
شکل٦. تاثیر مقادیر مختلف پارامتر هندسی γ بر منحنی راهنمای خیش مزرعه‌ای مدل‌سازی شده.



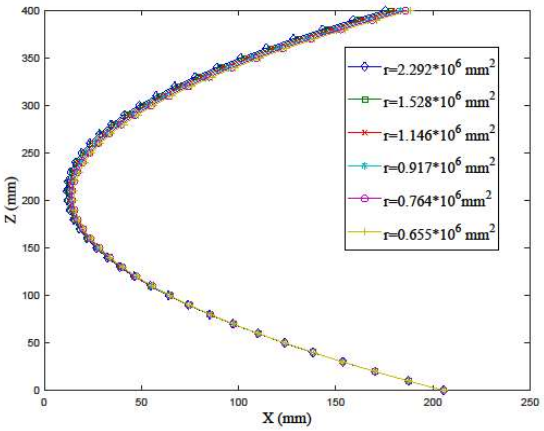
شکل۷. تاثیر مقادیر مختلف پارامتر هندسی β بر منحنی راهنمای خیش مزرعه‌ای مدل‌سازی شده.



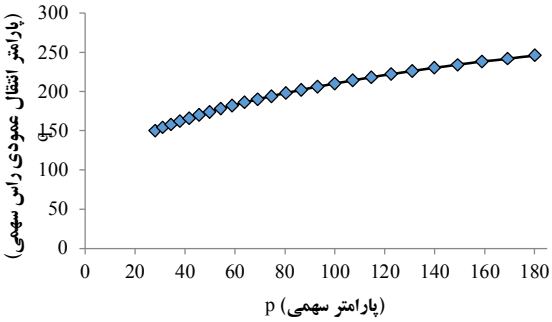
شکل۸. تاثیر مقادیر مختلف پارامتر هندسی m بر منحنی راهنمای خیش مزرعه‌ای مدل‌سازی شده.



شکل۹: تاثیر مقادیر مختلف پارامتر هندسی q بر منحنی راهنمای خیش مزرعه‌ای مدل‌سازی شده.



شکل ۱۰. تاثیر مقادیر مختلف پارامتر هندسی r بر منحنی راهنمای خیش مزرعه‌ای مدل‌سازی شده.



شکل ۱۱. رابطه بین پارامترهای هندسی p و q منحنی سهمی خیش مزرعه‌ای مدل سازی شده.

نتیجه‌گیری

تحلیل و توصیف ریاضی پارامترهای مهندسی صفحه برگردان‌دار خیش را می توان یکی از مهم‌ترین قسمت‌های خیش گاوآهن برگردان‌دار دانست که با تغییرات این پارامترها، شکل‌های هندسی متفاوتی از صفحه برگردان‌دار را می توان با توجه به کیفیت خاک‌ورزی، انرژی مصرفی، نوع خاک و مصرف انرژی بوجود آورد. نتایج نشان می دهد که انتخاب مقادیر بالاتر پارامترهای هندسی γ و β می تواند مصرف انرژی شخم‌زنی را به دلیل کاهش شعاع انحنای صفحه برگردان‌دار، افزایش دهد و همچنین افزایش زوایای γ و β باعث افزایش نیروی کششی می گردد. همچنین نتایج حاصل از پارامترهای (m) و (q) نشان می دهد که افزایش این پارامترها شعاع انحنای صفحه برگردان‌دار را افزایش می دهد که این افزایش، تمام سطح صفحه برگردان‌دار را پوشش می دهد. بنابراین تغییرات پارامترهای (m) و (q) می توانند بر روند برگرداندن خاک و انرژی لازم جهت شخم زنی نیز (تا حد کمتری نسبت به پارامترهای هندسی γ و β) و نیروی کششی موثر باشند. پارامتر هندسی r نیز پارامتر جدیدی است که به افزایش این پارامتر، شعاع انحنای صفحه برگردان‌دار نیز افزایش می‌یابد و این پارامتر نیز بر انرژی لازم جهت شخم زنی و نیروی کششی موثر می باشد.

منابع

۱- **آمارنامه کشاورزی/ دفتر آمار و فناوری اطلاعات. تهران. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات، ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶.**

۲- **قنبریان، داود، ۱۳۸۸، مبانی مهندسی ماشین های خاک ورزی، انتشارات دانشگاه شهرکرد.**

3- Godwina, R.J, et al. 2007. A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. Biosystems Engineering, Vol. 97, pp. 117-129.

4- Goryachkin, V. P. 1968. Collected Works in Three Volumes, 2nd Ed. TT71-50087. Sprinfield, Va.: Nat. Technical Information Service, U.S. Department of Commerce.

5- Gyachev, L.V. 1961. Teoria lemeshnovo-otvarnoi poverkhnosti (theory of share-moldboard surface). Reports of Azov-Black Sea Inst, of Mech. of Agric, Issue 13. Zemograd, Russia:Gosgortekhizdat.

6- Ibrahmi, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., Mouazen, A.M. 2016. Advanced analytical method of mouldboard plough's design, Int J Adv Manuf Technol, Springer-Verlag London, DOI 10.1007/s00170-016-8806-y.

7- Ibrahmi, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., Mouazen, A.M. 2016. 3D finite element simulation of the effect of mouldboard plough's design on both the energy consumption and the tillage quality, Int J Adv Manuf Technol, Springer-Verlag London , DOI 10.1007/s00170-016-9391-9.

8- Mahfoud, A and Ilham, G. 2013. A force prediction model for the plough introducing its geometrical characteristics and its comparison with Gorjachkin and Gee Clough models. Erudite Journal of Engineering sciences and Technology (EJEST), Vol. 1(1), pp. 1-7, April.

9- Mouazen, A.M, Nemenyi, M., Schwanghart, H., Rempfer, M. 1999. Tillage tool design by the finite element method: part 2. Experimental validation of the finite element results with soil bin test. J Agric Eng Res 72:53–58.

10- QIONG, G., PITT, R.E., RUINA, A., 1986. A Model to Predict Soil Forces on the Plough Mouldboard. J. agric. Engng Res. 35, 141-155.

11- Ros, V., Smith, R.J, Marley, S.J., Erbach, D.C. 1995. Mathematical modelling and computer aided design of passive tillage tools. Trans Am Soc Agric Eng 675–683.

12- Saunders, C., Godwin, R.J. and O'Dohgerty, M.J. 2000. Prediction of Soil Forces Acting on Mouldboard Plough. Fourth International Conference on Soil Dynamics, Adelaide.

13- Sohne, W. 1959. Investigation on the shape of plough bodies for higher speed. Grundlagen der Landtechnik, 11, 22 (NIAE Translation 87).

14- Suministrado, D.C., Koike, M., Konaka, T., Yuzawa, S., Kuroishi, I. 1990. Prediction of soil reaction forces on a moldboard plow surface, J. Terramechanics, 27 (4), 307-320.

Analysis of Engineering Parameters Affecting the Curvature Shape of a Mouldboard Plough Bottom

Seyed Mohammad Reza Nazemosadat [1], Mojtaba Naderi-Boldaji [2*], Davoud Ghanbarian[3], Mohammad Amin Nematollahi[4]

1. Ph.D Candidate, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Associate Professor, Department of Industrial Design, University of Art, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Abstract

One of the most important early tillage machines is the mouldboard plough. In this plough, the bottom is one of its important parts, which is considered as the main factor of tillage and performs five tasks of cutting, lifting, breaking, turning and transferring the cut layer of soil. A review of research on the mechanics of mouldboard ploughs shows that the complex nature of this mechanical structure encompasses various areas of research. Mouldboard can be considered as the most important part of the bottom in the plough. Based on the geometric shape of this mouldboard, there are different bottoms according to the quality of tillage, energy consumption, soil type and energy consumption. In order to determine soil resistance during ploughing, it is necessary to use a mathematical description of the plough bottom and a detailed evaluation of soil-machine interactions. Also, the design of a mouldboard plough bottom is a complex issue due to the uncertainty of the forces applied by the soil and requires great care. In this research, the engineering parameters affecting the curvature of a mouldboard of a selected domestically produced mouldboard plough were investigated and analyzed using MATLAB programming software. The results showed that with increasing the geometric parameters γ and β, the radius of curvature of the turntable decreases, which results in an increase in draught force. Increasing the geometric parameters m, q and r will increase the radius of curvature of the turntable and thus reduce the draught force.

Key words: Mouldboard Plough, Bottom, Engineering Parameters, Tillage

*Corresponding author
E-mail: naderi.mojtaba@sku.ac.ir; m.naderi@ut.ac.ir