# تجزیه‌وتحلیل ساقه گاوآهن چیزل پیلر به روش المان محدود

هوشنگ محبوب ینگجه[1*]، ابوالفضل آخوندزاده یامچی[2]، عارف مردانی کرانی[3]

[1]دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ (h.mahboub@urmia.ac.ir)
[2]دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ (a.akhoundzadeh@urmia.ac.ir)
[3]دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ (a.mardani@urmia.ac.ir)

## چکیده

از آنجایی که عملیات خاک‌ورزی با استفاده از نیرو انجام می‌شود، طراحی مناسب ادوات کشاورزی به‌منظور افزایش طول عمر زمان کار آن‌ها و کاهش هزینه‌های کشاورزی ضروری است. در این مطالعه نیز یک ساق خیش خاک‌ورز با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای طراحی Solidworks و ANSYS مورد تجزیه‌وتحلیل به روش المان محدود (FEM) قرار گرفت. مدل سه‌بعدی ساق خیش خاک‌ورز با استفاده از نرم‌افزار Solidworks طراحی شد سپس تجزیه‌وتحلیل مدل طراحی‌شده با روش المان محدود به‌صورت استاتیکی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS انجام گردید. پارامترهای ابعادی ساق خیش خاک‌ورز از مشخصات سازنده آن گرفته شد، همچنین شرایط بارگذاری تعریف‌شده نیز از حداکثر نیروی کششی به‌صورت میدانی برای کار ادوه به‌دست‌آمده، تعریف‌شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که حداکثر تغییر شکل ۰/۲۵ میلی‌متر و در پایین ساق خیش خاک‌ورز، و حداکثر تنش معادل (فون میسز) و کرنش معادل (فون میسز) به ترتیب ۸۱/۲۵ مگاپاسکال و $۰/۳۸۷\times۱۰^{-۳}$ میلی‌متر به‌دست‌آمده آمد. همچنین مقدار ضریب ایمنی ۵/۳۳ مشاهده گردید که ضریب ایمنی بسیار بالا است، بنابراین به طراحی بهینه نیاز است.

**کلمات کلیدی:** *طراحی ماشین‌آلات کشاورزی، چیزل پیلر، المان محدود (FEM)، ANSYS، Solidworks*

[*]نویسنده مسئول: h.mahboub@urmia.ac.ir

# تجزیه‌وتحلیل ساقه گاوآهن چیزل پیلر به روش المان محدود

## مقدمه

انسان از هزاران سال پیش، جهت رفع احتیاجات غذایی و افزایش تولید مواد غذایی اقدام به خاک‌ورزی کرده است [۷]. خاک‌ورزی را می‌توان عمل‌آوری مکانیکی خاک برای حصول هر منظور خاصی تعریف نمود. یکی از هدف‌های عمده خاک‌ورزی تدارک شرایط مطلوب محیطی برای رشد گیاه است. نیروهای عامل بر یک وسیله خاک‌ورز برای ایجاد یک اثر معین در خاک را می‌توان دقیقاً اندازه گرفت، ولی اثرات تغییر در طراحی وسیله را نمی‌توان با اطمینان پیش‌بینی کرد. درنتیجه تعجب‌آور نیست که طراحی ادوات خاک‌ورزی به‌جای اینکه یک دانش باشد، یک هنر به شمار می‌آید[۵]. امروزه انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه با ماشین‌آلات سنگین و یا عمل ابزار خاک‌ورزی در عملیات پی‌درپی باعث فشردگی خاک شده، همچنین باقی ماندن پوشش گیاهی در سطح خاک باعث جلوگیری از فرسایش خاک می‌شود [۱۰]. استفاده نابجا از گاوآهن برگردان دار در بسیاری از زمین‌های کشاورزی سبب مشکلاتی از قبیل فرسایش خاک، از دست رفتن رطوبت و ایجاد لایه سخت در زیر عمق شخم می‌شود، برای بهبود این وضعیت می‌توان از گاوآهن چیزل استفاده کرد، که می‌تواند در عمق ۱۵۰-۳۵۰ میلی‌متر در زیر سطح زمین کار کند. با افزایش عمق کار، مقاومت کششی گاوآهن‌های چیزل افزایش تدریجی پیدا می‌کند[۵].که احتمال شکستن و تغییر شکل ساقه‌ها را افزایش می‌دهد. عرض برش تیغه خاک‌ورز اثر معنی‌داری بر نیروی برش خاک دارد و با افزایش پهنای تیغه، نیروی برشی موردنیاز تیغه خاک‌ورز به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد[۶]. همچنین مقاومت کششی گاوآهن چیزل تحت تأثیر عمق کار ابزار می‌باشد[۴]. طراحی مؤثر ادوات برش خاک، با تحلیل شکست خاک و محاسبه میزان نیرو و انرژی موردنیاز برای این ادوات آغاز می‌شود[۲]. بنابراین تحلیل رفتار انواع ساقه‌ها به هنگام کار در عمق زیاد، می‌تواند به طراحی و ساخت بهتر آن‌ها کمک نماید. روش‌های تجربی دارای پاسخ‌های کاملاً قطعی و واضح می‌باشند، اما مطالعه تجربی برهمکنش تیغه و خاک زمان‌بر بوده و هزینه بالایی داشته و محدود به شرایط عملیاتی خاصی می‌باشد[۸]. روش‌های مهندسی کامپیوتری یا عددی (CAE) را به‌صورت مجازی مسائل را حل می‌کنند بدون اینکه نیاز به آزمایش فیزیکی متعهد باشند. اگرچه برخی از مشکلات طراحی مهندسی را می‌تواند با استفاده از روش‌های تحلیلی و یا روش‌های تجربی حل کرد اما برخی از مشکلات پیچیده‌ای هستند که قابل‌حل نیست، که توسط نرم‌افزارها قابل‌حل است. ازاین‌رو، مهندسان به روش‌های عددی برای به دست آوردن راه‌حل‌های تقریبی برای مشکلات بزرگ و پیچیده خود اشاره می‌کنند. یکی از این تکنیک‌های عددی، روش عددی محدود (FEM) است که کاربرد وسیع درزمینه طراحی مکانیکی و صنعت تولید دارد. (FEM) یک روش عددی است که می‌تواند برای دستیابی به راه‌حل‌های مجموعه از مشکلات مهندسی شامل تحلیل تنش، انتقال حرارت، الکترومغناطیس و جریان سیال استفاده شود. امروزه می‌توان نمونه‌های مختلف کاربردی (FEM) را در بسیاری از رشته‌های علوم کاربردی به‌ویژه در فرایندهای طراحی ماشین‌آلات کشاورزی درحال‌توسعه، مشاهده کرد[۸]. در تحقیقی که آنالیزهایی به روش اجزا محدود بر روی شاخه‌های ریزشکن C شکل، L شکل و مورب انجام شد، نتایج نشان داد که بیشترین تنش در محل اتصال شاخه به شاسی می‌باشد[۹]. آنالیز مودال و تخمین عمر خستگی ساقه چیزل ناشی از تحریک‌های القایی از خاک بررسی شد و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که، حساس‌ترین متغیر هندسی که بر طول عمر خستگی تأثیر می‌گذارد ، ضخامت بازوی چیزل است[۳].

برای طراحان و تولیدکنندگان ماشین‌آلات کشاورزی حائز اهمیت است که در طی عملیات کشاورزی؛ تغییر شکل‌ها، ضریب اطمینان و توزیع تنش بر روی دستگاه را پیش‌بینی کنند و با استفاده از دانش پیش‌بینی، ماشین‌آلات بهینه را بسازند. که درنتیجه منجر به افزایش طول عمر کاری آن‌ها و کاهش هزینه‌های کشاورزی و طراحی مناسب شود. هدف از این مطالعه نیز تجزیه‌وتحلیل ساقه یک خاک‌ورز چیزل پیلر با استفاده از برنامه‌های کاربردی طراحی و مهندسی به کمک کامپیوتر (CAD، CAE) است.

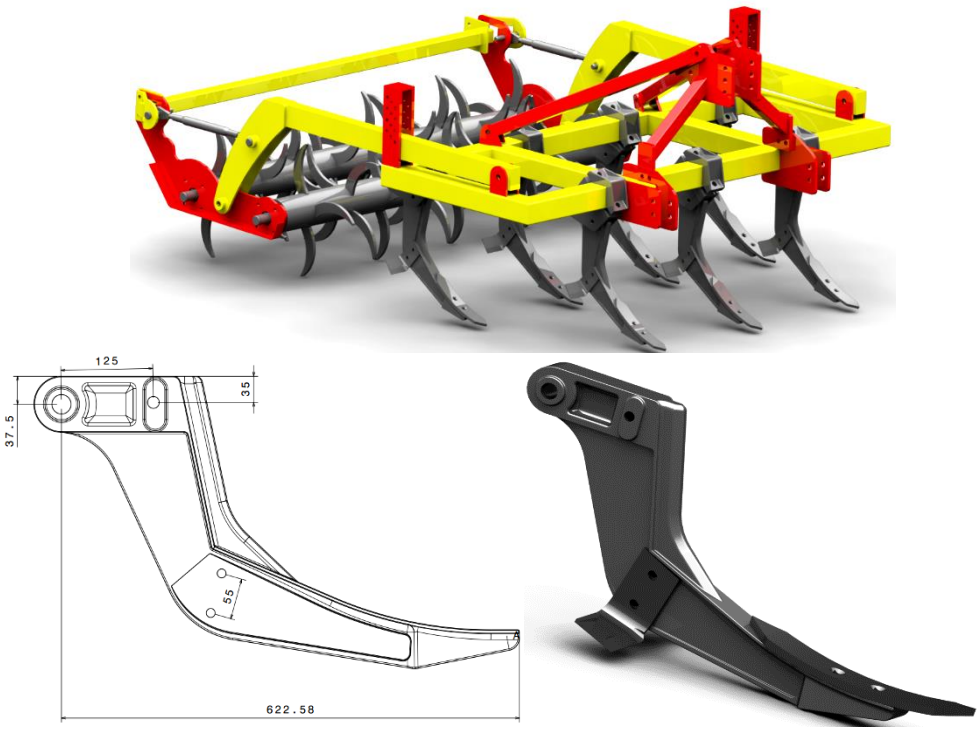
## مواد و روش

**آزمایش میدانی:** در این تحقیق، تحلیل یک ساقه خاک‌ورز دستگاه گاوآهن چیزل پیلر موردبررسی قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌ها از مزرعه تحقیقات دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه که یک شرایط مزرعه‌ای است و می‌توان به نتایج واقعی‌تری دست‌یافت، استفاده شد. مشخصات خاک محل آزمایش در جدول(۱) آمده است. برای اندازه‌گیری نیروی کششی خاک‌ورز از روش آزمون دو تراکتوری (RNAM) استفاده گردید. حداکثر مقدار نیروی به‌دست‌آمده در آزمون برای هر خیش برابر ۳/۷۸KN به دست آمد. همچنین از سرعت پیشروی ۷ کیلومتر در ساعت که در محدود حداکثر سرعت پیشروی پیشنهادی برای خاک‌ورزی است، در این آزمون استفاده و عملیات خاکورزی در عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد.

**جدول ۱. خواص فیزیکی خاک بستر آزمایش.**

| بافت خاک | رس (درصد) | سیلت(درصد) | شن (درصد) | رطوبت بر مبنای خشک(درصد) | وزن مخصوص ظاهری (تن بر مترمکعب) |
|---|---|---|---|---|---|
| سیلتی | ۴۷/۴ | ۴۰/۳ | ۱۲/۳ | ۷/۳ | ۱/۲ |

**طراحی، تجزیه‌وتحلیل ساقه خاک‌ورز:** برای دستیابی به اهداف این مطالعه، طراحی مدل سه‌بعدی ساق خاک‌ورز توسط نرم‌افزار solidworks2016 که بسته نرم‌افزاری طراحی به کمک کامپیوتر (CAD) است، انجام شد(شکل ۱). همچنین برای تجزیه‌وتحلیل آن از روش المان محدود (FEM) توسط نرم‌افزار ANSYS Workbench17.0 که بسته نرم‌افزاری مهندسی به کمک کامپیوتر(CAE) است، استفاده شد. روند تحلیل در نرم‌افزار ANSYS برای حل مسئله به ترتیب: تعریف ماژول برای حل مسئله، تعریف خواص مواد، ترسیم هندسی، مش بندی هندسه، تعریف شرایط مرزی و بارگذاری، حل مسئله و مشاهده نتایج می‌باشد.



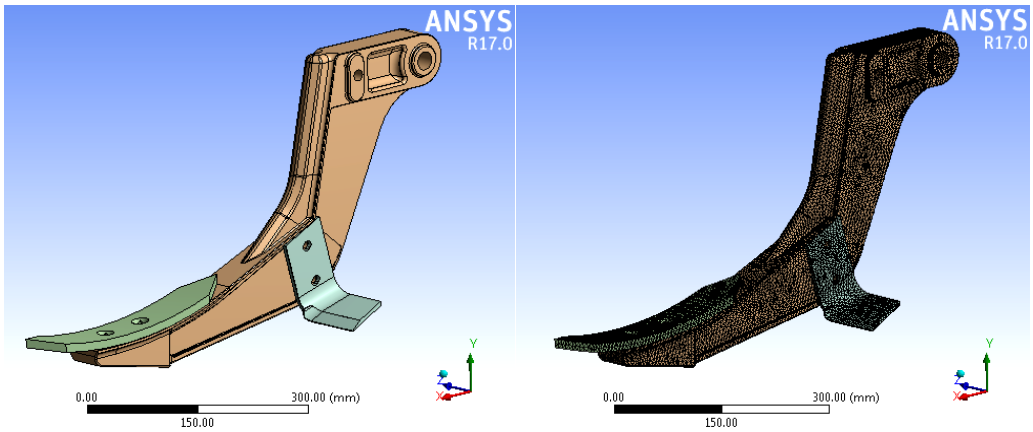

**شکل ۱- مدل سه‌بعدی خاک‌ورز چیزل پیلر طراحی به کمک solidworks2016.**

**خواص مواد:** مواد در نظر گرفته‌شده در تحلیل‌ها برای ساق خاک‌ورز مطابق با خصوصیات فلزی ارائه‌شده توسط سازنده، که در ساخت آن از مواد فلزی استاندارد CK45 به‌کاررفته بود، استفاده شد(جدول۲).

**جدول ۲. خصوصیات مواد استاندارد CK45 برای ساق چیزل پیلر.**

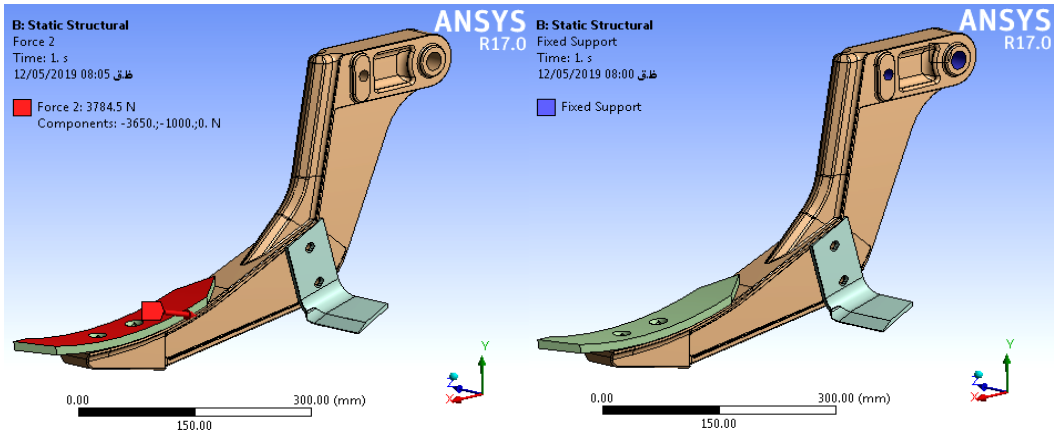
| Properties | Unit | Value |
|---|---|---|
| Young's Modulus | (GPa) | 210 |
| Tensile Ultimate Strength | (MPa) | 750 |
| Yield Strength | (MPa) | 565 |
| Poisson Ratio | (--) | 0.28 |
| Density | (kgm-3) | 7800 |

**مش‌بندی:** پس از اختصاص دادن مواد به مدل سه‌بعدی در نرم‌افزار، مش‌بندی انجام شد. در عملیات مش‌بندی بعد از کیفیت‌سنجی در نوع ساختار مش، مش بهینه در مدل اعمال گردید که درنهایت مجموع ساختار مش برای مدل از ۲۶۵۳۶۱ گره‌های و ۱۷۳۰۷۸ المان تشکیل‌شده است(شکل۲).




**شکل۲- (راست) مدل سه‌بعدی فراخوان شده از Solidworks در ANSYS، (چپ) ساختار مش‌بندی ساق خاک‌ورز.**

**شرایط مرزی و بارگیری:** بعد از مرحله مش بندی قطعه شرایط مرزی به مدل داده شد. شرایط مرزی یکی از عوامل مهم برای صحت در محاسبات هستند. در اینجا شرایط مرزی به سوراخ‌های ساقه خاک‌ورز که امکان اتصال ساقه به قاب دستگاه را فراهم می‌کند، اعمال گردید. شرایط مرزی به این صورت می‌باشد که همه درجات آزادی در سوراخ‌های اتصال ساقه به قاب، محدود شد تا قطعه مورد تحلیل قادر به حرکت و چرخش به جهات مختلف در آن نقطه را نداشته و کاملاً ثابت باشد. همچنین برای اعمال شرایط بارگذاری از حداکثر نیروی به‌دست‌آمده از آزمون تجربی به مقدار ۳/۷۸KN، استفاده شد. در این مدل نیرو به‌دست‌آمده را بر روی سطح تیغه خاک‌ورز که با خاک درگیر است، اعمال گردید (شکل۳).

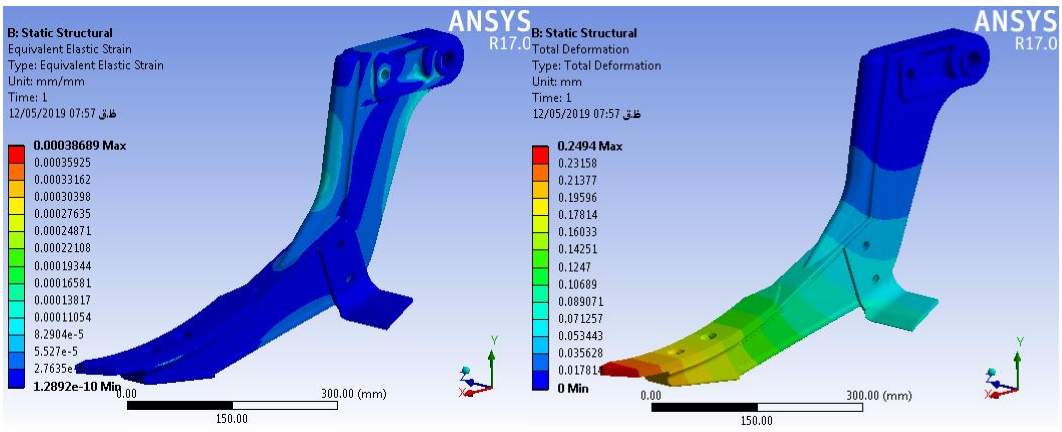



**شکل۳- (راست) شرایط بارگیری، (چپ) شرایط مرزی اعمالی در ساقه خاک‌ورز.**

شبیه‌سازی پس از تعیین شرایط مرزی اعمال گردید. پارامترهای انتخاب‌شده برای تجزیه‌وتحلیل استاتیک ساقه خاک‌ورز، شامل تغییر شکل کلی، حداکثر تنش معادل (فون میسز) و کرنش معادل (فون میسز) و ضریب ایمنی بود.

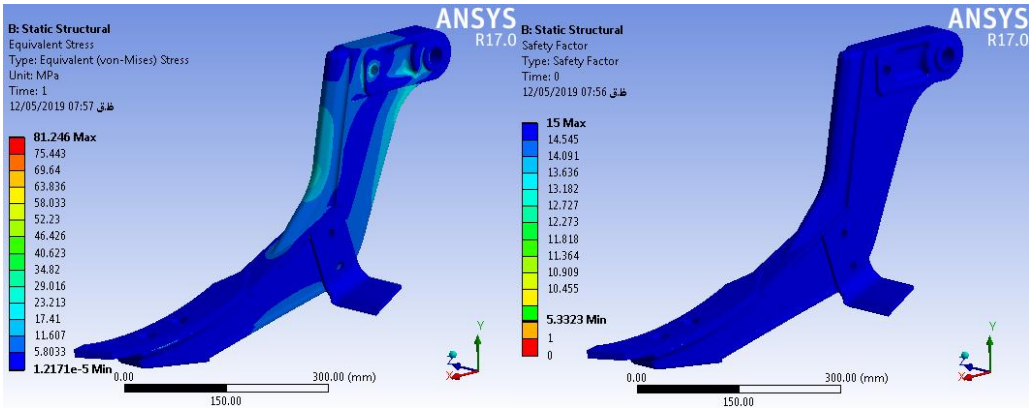
## نتایج و بحث

پس از تجزیه‌وتحلیل مدل ساق خاک‌ورز به روش **(FEM)**، نتایج از نرم‌افزار ANSYS استخراج شد. یکی از نتایج استخراجی که در شکل(۴) نشان داده‌شده، تغییر شکل کلی است. حداکثر تغییر شکل در ساق خاک‌ورز به مقدار ۰/۲۵ میلی‌متراست که در پایین ساق خاک‌ورز ایجاد شد. همچنین مقدار حداکثر کرنش در مدل، $۰/۳۸۷\times۱۰^{-۳}$ میلی‌متر که در پیشانی ساق و سوراخ‌های اتصال به شاسی ایجادشده است (شکل۴).




**شکل٤- (راست) تغییر شکل، (چپ) کرنش معادل (فون میسز) ایجادشده در ساقه خاک‌ورز چیزل پیلر.**

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌ها، حداکثر تنش معادل (فون میسز) در ساق خاک‌ورز برابر ۸۱/۲۵ مگاپاسکال است، شکل (۵) نشان داده‌شده است. در طراحی‌های بهینه مطلوب است، حداکثر تنش ایجادشده در مدل پایین‌تر از تنش نهایی مواد آن قطعه باشد که در نتایج این شبیه‌سازی نیز صدق می‌کند. اما پارامتر مهم دیگر که در طراحی حائز اهمیت است ضریب اطمینان می‌باشد. مقدار ضریب اطمینان در نتایج شبیه‌سازی ۵/۳۳ مشاهده شد گردید که ضریب ایمنی بسیار بالا است، بنابراین ساق خاک‌ورز چیزل پیلر نیازمند طراحی بهینه است.




**شکل۵- (راست) ضریب اطمینان ، (چپ) تنش معادل(فون میسز) ایجادشده در ساقه خاک‌ورز چیزل پیلر.**

## نتیجه‌گیری

طراحی و مهندسی به کمک کامپیوتر ابزاری مؤثر برای توسعه هر محصول است. در این مطالعه به کمک نرم‌افزارهای مهندسی Solidworks و ANSYS با استفاده از روش FEM، طراحی یک ساقه خاک‌ورز چیزل پیلر موردبررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد، که حداکثر تغییر ایجادشده در ساق خاک‌ورز ۲۵/ میلی‌متر است و همچنین حداکثر تنش معادل (فون میسز) و کرنش معادل (فون میسز) به ترتیب ۸۱/۲۴ مگاپاسکال و $۰/۳۸۷\times۱۰^{-۳}$ میلی‌متر به دست آمد که در مقایسه با نقطه عملکرد مواد طرح، نتایج نشان می‌دهد که تغییر شکل پلاستیکی و تنش بیشینه‌ای روی خاک‌ورز وجود ندارد. اما پارامتر مهم دیگر در طراحی ضریب اطمینان است و مقدار ضریب اطمینان به‌دست‌آمده در نتایج شبیه‌سازی ۵/۳۳ مشاهده شد گردید و این ضریب اطمینان مقدار بسیار بالا و صرفه اقتصادی در طراحی‌ها ندارد و کاهش هزینه‌های نیز یکی از معیارهای است. بنابراین برای یک طراحی مطلوب ساق خاک‌ورز چیزل پیلر نیازمند طراحی بهینه است.

## مراجع:

1- محبوب ینگجه، ه. آخوندزاده، ا. و مدرس مطلق، ا. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی گاوآهن قلمی با استفاده از روش اجزای محدود، یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران، همدان، دانشگاه بوعلی سینا.

2- Bukhari, S., Baloch, M. & Mirani, A. N. (1989). Soil manipulation with tillage implement. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 20, 17-20.

3- Ebrahimi, R., Mirdamadi, H. R., & Ziaei-Rad, S. (2018). Operational modal analysis and fatigue life estimation of a chisel plow arm under soil-induced random excitations. Measurement, 116, 451-457.

4- Glancey, J. L., Upadhyaya, S. K., Chancellor, W. J. & Rumsey, J. W. (1996). Prediction of agricultural implement draft using an instrumented analog tillage tool. Journal of Soil & Tillage Research, 37, 47-65.

5- Kepner, R.A., R. Bainer, and E.L. Berger. 1978. Principles of Farm Machinery. (3rd edition) The AVI Publishing Company, Inc.

6- Kheiralla, F. A., Yahia, A., Zohadie, M. & Ishak, W. (2004). Modeling of power and energy requirements for tillage implements operating on serdang sandy clay loam, Malaysia. Journal of Soil & Tillage Research, 78, 21-34.
7- McKyes E. 1985. Soil cutting and tillage: development in agricultural engineering. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Press.
8- Moaveni, S. 1991. Finite element analysis. Prentice Hall, USA. 510 p.
9- Mollazade. K., A. Jafari, and E. Ebrahimi. 2010. Application of dynamical analysis to choose best subsoiler s shape using ANSYS. New York Science Journal 3(3):93-100.
10- Srivastava A.K., C.E. Georing, R.P. Rohrbach, and D.R. Buckmaster. 2006. Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph Publisher.

# analysis of Chisel Piller Plow shank using Finite Element Method

Houshang MahboubYangeje [1*], Abolfzal Akhoundzadeh yamchi [2], Aref Mardani Karani [3]

1. PhD student of Mechanical BioSystem Engineering, Urmia University, (h.mahboub@urmia.ac.ir).
2. PhD student of Mechanical BioSystem Engineering, Urmia University, (a.akhoundzadeh@urmia.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Mechanical Bio System Engineering, Urmia University, (a.mardani@urmia.ac.ir).

## Abstract

Since tillage is done using force, Proper design of agricultural equipment is essential to extend their working life and reduce agricultural costs. In this study, a tiller shank was analyzed using Finite Element Method (FEM) using solidworks and ANSYS design software. The 3D model of the tiller was designed using solidworks software and then the model was analyzed statically using finite element method using ANSYS software. The dimensional parameters of the tiller shank were taken from its constituent specifications and the defined loading conditions were also defined from the maximum field tensile strength obtained for the tillage processes. The simulation results showed that the maximum deformation of 0.25 mm at the bottom of the tiller shank, and the maximum equivalent stress (von-mises) and equivalent strain (von-mises) were 81.25 MPa and 0.387e-3 mm, respectively. There was also a safety coefficient of 5.33 which was very high, therefore, optimal design is needed.

**Key words**: agricultural machinery design, chisel Piller, finite element method (FEM), ANSYS solidworks,

*Corresponding author
E-mail: (h.mahboub@urmia.ac.ir).