یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

بهینه‌سازی گاوآهن قلمی با استفاده از روش اجزای محدود

هوشنگ محبوب ینگجه[۱]، ابوالفضل آخوندزاده[۲]، اسعد مدرس مطلق[۳]

[۱]دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ h.mahboub@ urmia.ac.ir
[۲]دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ A.akhoundzadeh@urmia.ac.ir
[۳]دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ a.modarres@urmia.ac.ir

چکیده

در چند دهه گذشته شاهد توسعه درزمینه مختلف بوده‌ایم، و همچنین درزمینه کشاورزی پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای رخداده است. نیاز به ابزارهای بهبودیافته در کشاورزی یکی از مهم‌ترین تحولات در کشاورزی است. فن‌آوری‌ها و ظرفیت کامپیوتر در حال حاضر و در دسترس، ازجمله نرم‌افزار طراحی و روش‌های عددی به ما اجازه حل مسائل پیچیده در رشته‌های مختلف مهندسی و طراحی ماشین‌آلات کشاورزی را می‌دهد. در این مطالعه برای به دست آوردن پارامترهای هندسه بهینه یک گاوآهن قلمی با استفاده برنامه کاربردی مهندسی (CAE) به کمک کامپیوتر متمرکزشده است. مطالعه تجزیه‌وتحلیل المان محدود (FEA) برای شبیه‌سازی تنش بر روی ساقه خاک ورز قلمی انجام‌شده است. با توجه به نتایج FEA حداکثر استرس وارده به خاک ورز معادل ۳۸۸/۱۶ مگاپاسکال به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات تجربی و نتایج FEA با توجه به شرایط تنش کاری ماده گاوآهن قلمی ۳۵۵ مگاپاسکال نشان داد، که تغییر شکل پلاستیک و تنش بیشینه در قطعه مشهود بود. بر اساس نتایج FEA، مطالعه‌ای بر روی پارامترهای هندسی مطلوب بدون وقوع تغییر شکل پلاستیک، تنش و حالت بهینه‌سازی مدل انجام شد. با توجه به نتایج مطالعه بهینه‌سازی پارامترهای بهینه از هندسه، حداکثر تنش معادل ۳۰۸/۲۲ مگاپاسکال به دست آمد. علاوه بر این، مجموع جرم گاوآهن قلمی به میزان ۰/۲۹کیلوگرم کاهش یافت.

کلمات کلیدی: گاوآهن قلمی، روش المان محدود(FEM)، بهینه‌سازی، طراحی ماشین‌آلات کشاورزی.

Optimization of Chisel Plow Using Finite Element Method

Houshang Mahboub yangeje[1], Abolfazl Akhoundzadeh[2], Asad Modarres Motlagh[3]

[1]PhD student of Mechanical Bio System Engineering, Urmia University, h.mahboub@urmia.ac.ir
[2]PhD student of Mechanical Bio System Engineering, Urmia University, a.akhoundzadeh@urmia.ac.ir
[3]Associate Professor, Department of Mechanical Bio System Engineering, Urmia university, a.modarres@urmia.ac.ir

ABSTRACT

In the past few decades, We witnessed development in various fields, There has also been considerable progress in the field of agriculture. The need for improved agricultural tools is one of the most important developments in agriculture. Available technology and computer capabilities, including design software and numerical methods, allow us to solve complex problems in various fields of engineering and design of agricultural machinery. in this study, In order to obtain optimal geometry parameters of a spade blade using computer engineering application (CAE), the computer is focused on it. A finite element analysis (FEA) study was conducted to simulate stress on stem borers. Due to the results of the FEA, the maximum stress for chisel plow was obtained at 388.16 MPa. The results from visual research and FEA results showed that plastic deformation and excessive stress in the piece were evident in terms of working stress conditions of 355 MPa, The results of FEA, a study on optimal geometric parameters without plastic deformation, stress and mode optimization were performed. According to the results of the study, the optimal parameters of geometry were optimized, with a maximum stress of 308.22 MPa. In addition, the total mass of the plow fell 0.29 kg.

Keywords: chisel plow, finite element method (FEM), optimization, agricultural machinery design.

۱- h.mahboub@urmia.ac.ir

۱- مقدمه

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 (Kepner et al., 1978). هدف از خاک‌ورزی مناسب، به وجود آوردن یک محیط مناسب برای جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، کنترل علف‌های هرز، کنترل فرسایش خاک و کنترل رطوبت و اجتناب از هدر رفتن رطوبت کاهش تنش رطوبت می‌باشد (Anonymous, 1976). 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 (Srivastava., 2006). 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 ۲۵۰میلی‌متر در زیر سطح زمین کار کند. با افزایش عمق کار، مقاومت کششی گاوآهن‌های چیزل افزایش تدریجی پیدا می‌کند (Kepner et al., 1978).که احتمال شکستن و تغییر شکل ساقه‌ها را افزایش می‌دهد. 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(فناوری در دسترس، گسترش کامپیوترها و نرم‌افزار کاربردی و پیچیده در جهان طراحی مهندسی به مهندسین طراح اجازه می‌دهند تا مشکلات پیچیده با استفاده از تکنیک‌های طراحی کامپیوتری (CAD) که روش‌های مهندسی کامپیوتری یا عددی (CAE) را به‌صورت مجازی مسائل را حل می‌کنند بدون اینکه نیاز به آزمایش فیزیکی متعهد باشند. مهندسی در طراحی مکانیک، با استفاده از چنین برنامه‌های کاربردی (CAE) از سال ۱۹۵۰ به‌سرعت در حال بهبود است. 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 راه حل‌های 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. این روش در دهه ۱۹۵۰ بهبود یافت و در دهه ۱۹۶۰ شروع به اعمال (FEM) به دیگر رشته‌ها مهندسی کردند. امروزه می‌توان نمونه‌های مختلف کاربردی (FEM) را در بسیاری از رشته‌های علوم کاربردی مشاهده کرد. به‌عنوان‌مثال، که امروزه به‌طور گسترده در فرایندهای طراحی ماشین‌آلات کشاورزی درحال‌توسعه است (Moaveni,1991).

در این مقاله، ما یک مطالعه پارامتری به‌منظور بهینه‌سازی ساختاری یک ابزار کشاورزی از طریق استفاده از برنامه‌های (CAE) انجام شد. هدف اصلی مطالعه پارامتری و ارائه یک وضعیت نمونه است، که در آن امکان دستیابی به پارامترهای هندسی مطلوب ابزار کشاورزی بدون تغییر شکل پلاستیک در شرایط مرزی مشخص می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

یک دستگاه خاک ورز قلمی شامل یک یا گروهی از ادوات خاک ورز همراه با قاب یا شاسی مربوطه، چرخ‌ها، اتصالات وسایل کنترل و ایمنی سایر قطعات بخش پشتیبانی می‌باشند. مقدار نیروی پیشنهادی برای دستگاه خاک ورز قلمی بر اثاث اندازه‌گیری‌ها و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط استاندارد ASABE D497.5 (ASABE Standards, 2006) برای هر خیش از گاوآهن قلمی برابر ۲/۷۳۴ KN ارائه داده‌اند. همچنین (Askari, M., & Khalifahamzehghasem, S., 2013) آزمایش‌ها مزرعه‌ای به‌منظور اندازه‌گیری و پیش‌بینی نیروی برای چهار دستگاه خاک‌ورز اولیه و ثانویه (دیسکی، برگردان دار، پنجه غازی و قلمی) در یک خاک رس لومی در آذربایجان غربی انجام شد، که مقدار نیرو را برای خیش از گاوآهن قلمی برابر ۳/۰۸۲KN برآورد کردند. که ما درروند این تحلیل از میانگین دونیروی پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده را اعمال کرده‌ایم.

تجزیه‌وتحلیل المان محدود خاک ورز قلمی: ابتدا ابعاد خاک ورز موردنظر اندازه‌گیری شد، سپس یک مدل جامد سه‌بعدی (3D) و فرایند مونتاژ آن با استفاده از نرم‌افزار Solidworks2016 طراحی و پارامترهای 3D ایجاد شد(شکل ۱). این مطالعه بر روی تغییر شکل و شکست گاوآهن قلمی توسط روش تحلیل FEM متمرکزشده است. از بسته نرم‌افزاری FEM تجاری Ansys Workbench 17.0، برای فرآیند تحلیل تنش و بهینه‌سازی FEM مورداستفاده قرار گرفت.

سه مرحله مهم در نرم‌افزار ANSYS برای مدل‌سازی و تجزیه‌وتحلیل مدل CAD مورداستفاده قرار می‌گیرد: پیش‌پردازش، حل و پس پردازش.

تجزیه‌وتحلیل FEM در فرضیه مدل3D، خطی، استاتیک و ایزوتروپیک ایجادشده است. ابتدا شرایط مرزی و کاری خاک ورز قلمی مورد برسی قرار گرفت، سپس تمام شرایط به‌درستی به مدل اعمال شد. حداکثر نیروی پیشنهادی برای هر شاخه از گاوآهن با توجه به تحقیقات انجام‌شده (ASABE Standards., 2006) و (Askari, M., & Khalifahamzehghasem, S. 2013) ۲/۹ KN برای هریک تیغه که بر روی سطح تیغه و ساق خاک‌ورز در جهت مخالف حرکت قرار در نظر گرفته شد.

Figure 1. Figure and Solid 3D model chisel plow.
شکل ۱ - شکل و مدل جامد 3D گاوآهن قلمی.

بعد از باز کردن Ansys که مرحله تعریف ماژول برای تحلیل است، ماژول Static Structural استفاده شد که این تحلیل جابجایی‌ها، تنش‌ها، کرنش‌ها و نیروهایی که در سازه یا اجزای یک سیستم (توسط بارگذاری‌هایی که در آن‌ها اثر اینرسی و میرایی ناچیز باشد) را تعیین می‌کند. مرحله بعدی تعریف مواد برای هندسه است که در اینجا خصوصیات مواد فلزی استاندارد St-52 برای گاوآهن قلمی اختصاص داده شد (جدول۱).

جدول ۱- خصوصیات مواد استاندارد St-52 برای گاوآهن قلمی.

Table 1. St-52 Stalled Material Properties for the chisel plow.

Properties	Unit	Value
Young's Modulus	(GPa)	205
Tensile Ultimate Strength	(MPa)	520
Yield Strength	(MPa)	355
Poisson Ratio	(--)	0.29
Density	(kgm-3)	7870

در عملیات meshing از مش بندی پیش‌فرض و باکمی تغییرات در اندازه مش‌ها و کیفیت‌سنجی در نوع ساختار مش برای مدل اعمال شد. مجموع تعداد ساختار کل مش گاوآهن قلمی ۱۴۱۳۵ گره‌های و ۷۹۸۳ المان تشکیل‌شده است. در تعریف شرایط بارگذاری و مرزی مطابق با شرایط حاکم مطابق با شرایط کاری مدل عمل شده است، شرایط مرزی و ساختار مش به ترتیب در شکل (۲) نشان داده‌شده است.

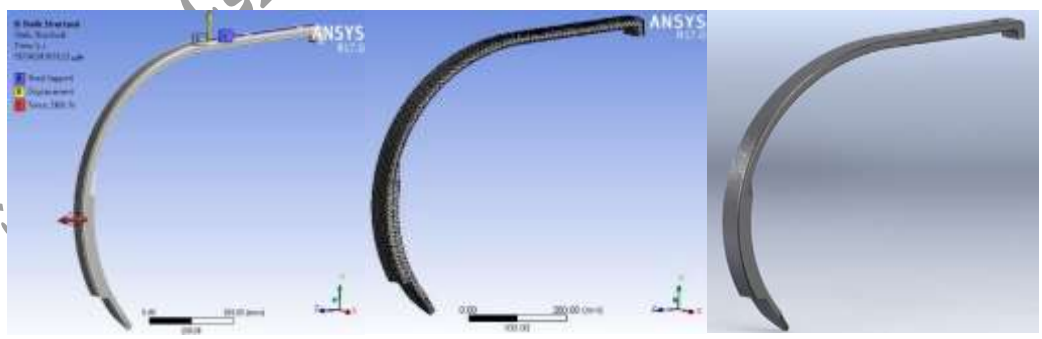

Figure 2. 3D solid model, boundary conditions and mesh structure of the chisel plow.
شکل ۲- مدل جامد 3D ، شرایط مرزی و ساختار مش گاوآهن قلمی.

پس از انجام عملیات پیش پردازش، فرآیند پردازش به روش FEM حل و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، حداکثر تنش معادل ۳۸۸/۱۶ مگاپاسکال و حداکثر انحراف و تغییر شکل ۳۵/۶۷۲ میلی‌متر به دست آمد. نتایج استرس با محدوده عملکرد (۳۵۵ مگاپاسکال) جنس ساقه مقایسه مشاهده گردیدکه حداکثر تنش بیش‌ازحد عملکرد است که نشان می‌دهد که تغییر شکل پلاستیک در خاک ورز قلمی وجود

دارد. همچنین تحقیقات بصری تأیید کرد که تنش بیش‌ازحد مجاز در خاک ورز به وجود آمده است. تصاویر شبیه‌سازی FEM و تیغه آسیب‌دیده در شکل (۳) نشان داده‌شده است.

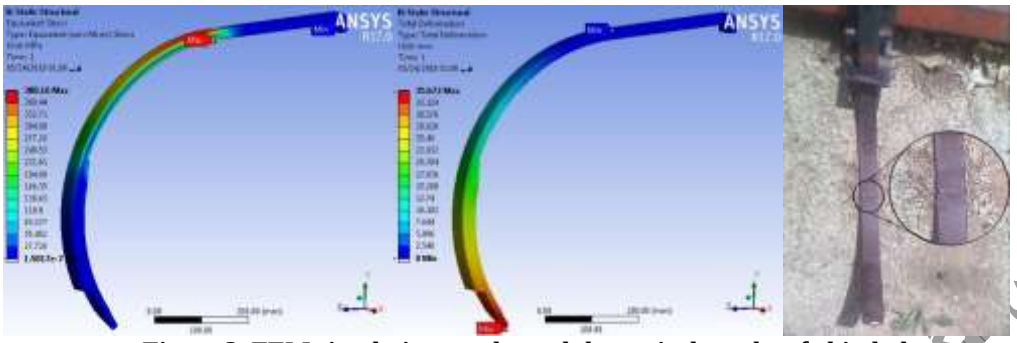

Figure 3. FEM simulation results and theoretical results of chisel plow.

شکل ۳- نتایج شبیه‌سازی FEM و نظری گاوآهن قلمی.

بهینه‌سازی گاوآهن قلمی: معمولاً ممکن است قطعه‌ای از یک ماشین بدون شکست کار کند، اما این بدان معنا نیست که بهترین طراحی را داشته باشد. زمینه این مقاله، را می‌توان مشکل در بهینه‌سازی که به روش ریاضی حل می‌شود را تعریف کرد. امروزه برای به دست آوردن بهترین پارامترهای طراحی برای محصولات، از تکنیک‌های بهینه‌سازی توسط کامپیوتر استفاده می‌شود. معنای ریاضی بهینه‌سازی یعنی به دست آوردن شرایط (پارامترها) که به حداکثر یا حداقل مقدار یک تابع می‌رسند، را تعریف کرد(Rao, S. S., 1996) . یک مسئله بهینه‌سازی طراحی به سه جزء اصلی تعریف‌شده، پارامترهای طراحی (متغیرها)، محدودیت‌های طراحی(مقیدها) و توابع هدف است(Akhoroz, E., 1999).

به‌طورکلی، یک مسئله بهینه‌سازی را می‌توان به شرح زیر بیان کرد: برای پیدا کردن ارزش $X=\{X_1, X_2, \dots X_p\}$ که توسط شرایط مقیدهای $g_j(x) \le 0, j = 1, 2, \dots m$ و $h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots n$ محدودشده است، و تحت تابع $f(x)$ به حداقل برسد. در اینجا $f(x)$ تابع هدف، $g_j(x)$ و $h_i(x)$ محدودیت‌های طراحی، $X_1, X_2, \dots X_p$ پارامترهای طراحی هستند. مطابق با شکل(۴)، اگر در نقاط X^* مقدار حداقل تابع $f(x)$ مدنظر باشد، به این معنی است که حداکثر مقدار برای طرح مقدار تابع $f(x)$ - است.

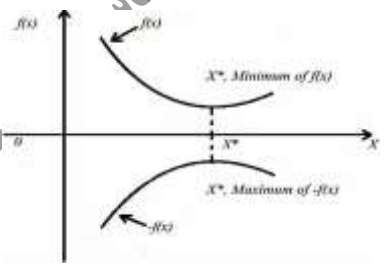

Figure 4. Curve of optimization.

شکل ۴. منحنی بهینه‌سازی.

ساختار یک مسئله بهینه‌سازی را می‌توان با توجه به نوع رفتار سازه، نوع متغیرهای طراحی و نوع ساختار بهینه‌شده طبقه‌بندی کرد. به‌طور عمده ساختار بهینه‌سازی سه دسته از مشکلات ازجمله اندازه (جرم)، شکل، همبندی و ساختار طرح را مورد بررسی قرار می‌دهد (Papadrakakis et al., 2004).

Figure 5. Different types of optimization categories: size (a), shape (b) and topology (c).

شکل ۵- انواع مختلفی از دسته‌های بهینه‌سازی: اندازه (a)، شکل (b) و همبندی و ساختار طرح (c).

در این مطالعه بعد از نتایج حاصل از روش FEM که نشان داد تنش بیشینه‌ای به خاک ورز واردشده است. به شرح زیر تابع هدف، مقیدها و پارامترهای طراحی تعریف و بهینه‌سازی انجام گرفت. تابع هدف باید به نحوی تعیین کردد که درنتیجه پارامترهای طراحی یک هندسه مطلوب و بدون تغییر شکل پلاستیک با حداقل جرم ممکن را دارا باشد. این بدان معنی است که مقدار تنش باید زیر نقطه تنش بیشینه عملکرد مواد تعریف‌شده باشد. همچنین برای به دست آوردن وزن مطلوب و ساختار جرم باید حداقل باشد. پارامترهای طراحی اولیه، چون پارامترDP1 (پارامتر طراحی ضخامت ساقه خاک‌ورز) و پارامتر DP2 (پارامتر طراحی عرض ساقه خاک‌ورز) که به تربیت مقادیر ۲۰ میلی‌متر ۵۰ میلی‌متر رادارند، محدوده طراح برای پارامترهای طراحی به شرح زیر است:

(1) $1mm \leq DP1 \leq 4mm$

(2) $3mm \leq DP2 \leq 6mm$

ماژول بهینه‌سازی Workbench DesignXplorer Ansys برای مطالعه بهینه‌سازی استفاده شد. محیط DesignXplorer یک ابزار قدرتمند برای طراحی و درک پاسخ‌های تجزیه‌وتحلیل قطعات و مونتاژ است(Ansys Software Product., 2009).

در این ماژول بهینه‌سازی با توجه به محدودیت‌های طراحی، درمجموع ۱۶ طرح از طراحی‌های متفاوت درون ماژول ایجاد شد و سپس تجزیه‌وتحلیل به روش FEM برای تمام مجموعه‌های طراحی به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار انجام شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج بر اساس تنش معادل (فون میسز)، تغییر شکل کل و جرم کل خاک‌ورز تعیین و مورد بررسی قرار گرفت. مجموعه‌های طراحی و تغییرات در نتایج که وابسته به پارامترهای طراحی هستند در جدول (۲) ارائه‌شده است. علاوه بر این، نمودارهایی که ارتباط بین نتایج و پارامترهای طراحی را در شکل‌های(۸،۷،۶و۹) آمده است.

جدول ۲- تغییرات در مجموعه‌های طراحی و نتایج.

Table 2. Variations of the design sets and results.

Input Parameter		Output Parameter				
Design Parameter-1 (mm)	Design Parameter-2 (mm)	Mass (kg)	Total Deformation Maximum (mm)	Global Max. Stress (Von Mises) (Mpa)		Design Sets (Number)
20	50	9.75	35.672	388.16		1
25	45	10.72	19.61	272.66	Initial Design	2
10	45	5.34	344.33	1840.63		3
40	45	15.78	4.31	140.56		4
25	30	7.68	30.2	439.67		5
25	60	13.77	14.55	228.49		6
10	30	4.1	544.74	2949.67		7
40	30	11.05	6.58	242.73		8
10	60	6.59	251.94	1346.24		9
40	60	20.53	3.22	117.48		10
30	30	8.82	16.16	319.35		11
20	40	8.14	52.24	553.19		12
28	35	9.46	17.62	308.22	Approved Final Design	13
30	33	9.52	14.78	292.95		14
26	38	9.59	20.67	317.38		15
30	34	9.59	15.34	293.52		16

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

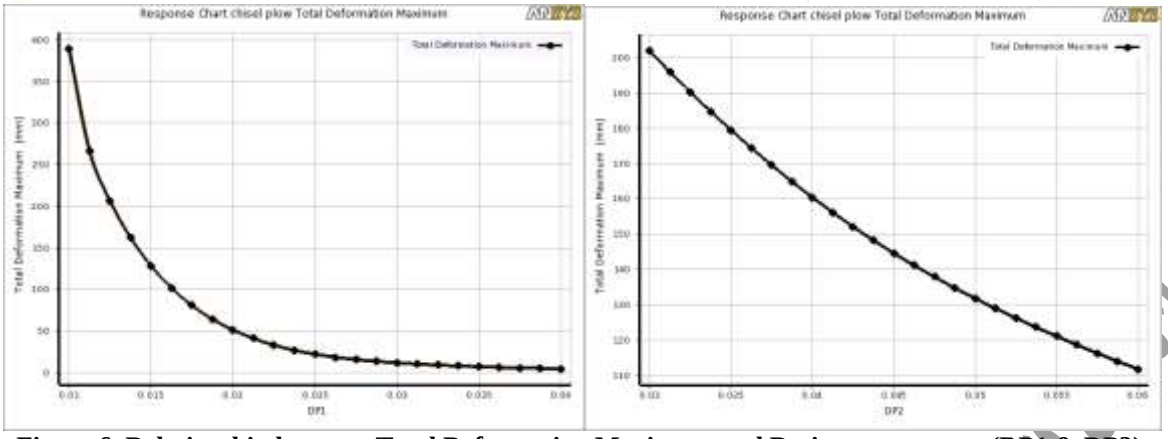

Figure 6. Relationship between Total Deformation Maximum and Design parameters (DP1 & DP2).

شکل ۶- رابطه بین حداکثر تغییر شکل با پارامترهای طراحی (DP1 وDP2).

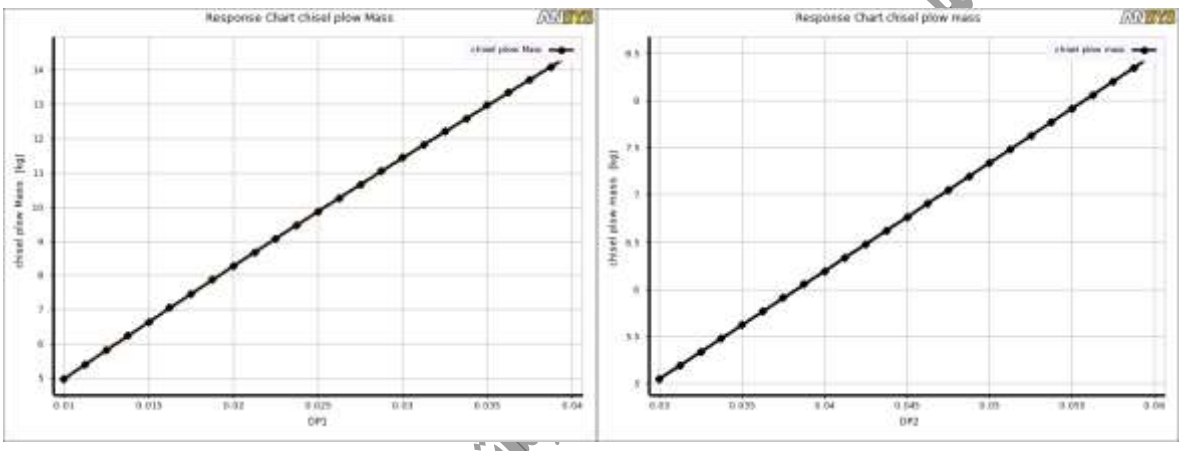

Figure 7. Relationship between chisel plow mass and Design parameters (DP1 & DP2).

شکل ۷: رابطه بین وزن خاک‌ورز قلمی با پارامترهای طراحی (DP1 وDP2).

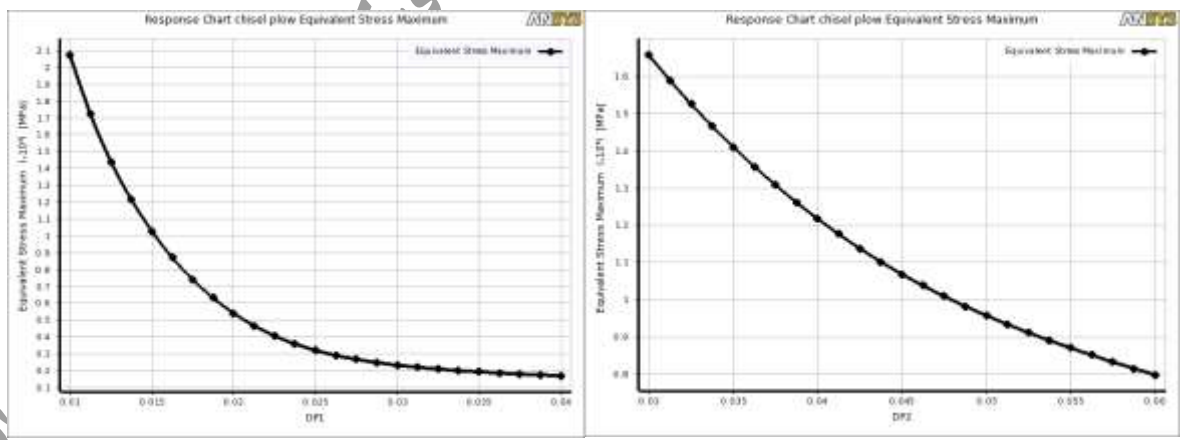

Figure 8. Relationship between Equivalent Stress Maximum and Design parameters (DP1 & DP2).

شکل ۸. رابطه بین پارامترهای حداکثر استنباط و پارامترهای طراحی (DP1 وDP2).

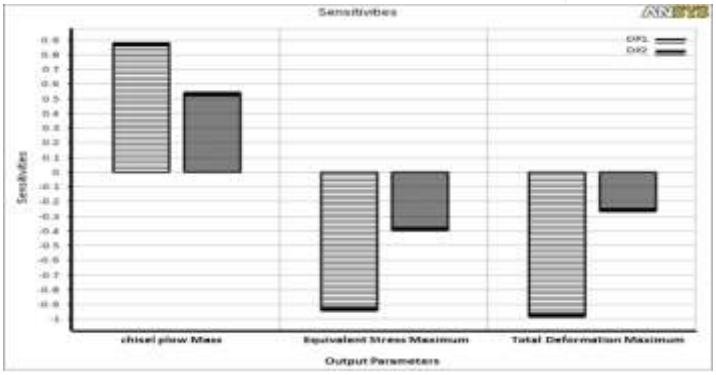

Figure 9. Effect of input design parameters (DP1 and DP2) on output results (mass, stress and deformation).
شکل ۹- میزان تأثیر پارامترهای طراحی ورودی (DP1 وDP2) بر روی نتایج خروجی (جرم، تنش و تغییر شکل).

با توجه به اهداف مطالعه پس از مجموعه طراحی و بر اساس نتایج شبیه‌سازی طراحی بهینه صورت گرفت، طراحی بهینه‌ای که برای گاوآهن قلمی پیشنهاد شد، شماره ۱۳ در جدول (۲) به‌عنوان طرح نهایی خاک‌ورز مورد تائید قرار گرفت. نقطه بهینه مورد تائید در نتایج نشان می‌دهد که نه‌تنها میزان تمرکز تنش، بلکه میزان وزن خاک‌ورز نیز کاهش‌یافته است. و کاهش آن به میزان ۰/۲۹کیلوگرم است، این بدان معنی است که جرم قطعه به میزان ۲/۹۷٪ کاهش‌یافته است. مقایسه پارامترهای طراحی اولیه و نهایی در جدول (۳)آمده است.

جدول ۳- مقایسه طراحی اولیه و نهایی خاک‌ورز قلمی.
Table 3. Comparison of the initial and final design chisel plow.

chisel plow Parameters Initial	Unit	Design	Final Design
Design Parameter-1	(mm)	20	28
Design Parameter-1	(mm)	50	35
chisel plow Mass	(kg)	9.75	9.46
Equivalent Stress (max.)	(MPa)	388.16	308.22
Global Max. Deflection	(mm)	35.672	17.62

بنابراین هنگامی‌که در ساخت چنین تجهیزاتی مسائل طراحی در نظر گرفته می‌شود، نتیجه بهینه‌سازی مدل منجر به متحمل تنش کمتر و کاهش وزن مدل که یک مسئله مهم برای طراحی محصول نیز باشد. روش‌های عددی و روش‌های بهینه‌سازی در برنامه‌های شبیه‌ساز که بر اساس پارامترهای طراحی و با توجه به نقاط رایج طراحی محصول، نه‌تنها برای زمان طراحی، بلکه هزینه‌های تولید و مصرف انرژی نیز می‌تواند کاهش یابد. درنتیجه، استفاده از این برنامه‌ها در طراحی و ساخت ماشین‌آلات کشاورزی مزایای مهمی برای ایجاد طرح‌های بهینه ماشین‌آلات کشاورزی و هزینه‌های کشاورزی خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه بر روی بهینه‌سازی ساختاری ابزار خاک‌ورزی قلمی با استفاده از برنامه‌های CAE متمرکزشده است. نرم‌افزار بکار برده شده در این مطالعه از روش المان محدود که یک ابزار قدرتمند برای بررسی تجزیه‌وتحلیل تنش در قطعات می‌باشد، پیروی می‌کند. روش کار به این صورت است که یک مطالعه پارامتری برای طرح مطرح و ارائه می‌کند. طرح موردمطالعه در این تحقیق یک گاوآهن قلمی است، گاوآهن قلمی یک ابزارهای خاک‌ورزی اولیه که برای حل مشکلات که گاوآهن برگردان دار ایجاد می‌کند (فرسایش خاک، از دست رفتن رطوبت و ایجاد لایه سخت در زیر عمق شخم) مورد استقبال قرارگرفته است.

بر اساس مطالعه، تعدادی از نکات را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

۱- در تجزیه‌وتحلیل اولیه طراحی و بر روی خاک‌ورز به روش FEM، حداکثر تنش معادل ۳۸۸،۱۶ مگاپاسکال و میزان تغییر شکل در مدل ۳۵،۶۷۲ میلی‌متر و همچنین میزان جرم ۹،۷۵ کیلوگرم به دست آمد. در مقایسه با نقطه عملکرد مواد طرح، نتایج نشان داد که تغییر شکل پلاستیکی و تنش بیشینه‌ای روی خاک‌ورز وجود دارد.

۲- در تحقیق بهینه‌سازی مجموعاً ۱۶ مجموعه طراحی پارامتری ایجاد و حل‌شده است. پس از بررسی تمامی نتایج، مجموعه طراحی شماره ۱۳ به‌عنوان طراحی مطلوب گاوآهن قلمی تحت شرایط تعریف‌شده به‌عنوان طرح بهینه در نظر گرفته شد.

۳- طرح نهایی و پیشنهادی نرم‌افزار خاک‌ورز دارای حداکثر تنش ۳۰۸,۲۲ مگاپاسکال و حداکثر تغییر شکل ۱۷,۶۲ میلی‌متر و جرم خاک‌ورز قلمی درنهایت ۹,۴۶ کیلوگرم که یعنی جرم قطعه به میزان ۲,۹۷٪ کاهش‌یافته است.

۵- مراجع

1- Anonymous. 1976. FMO: Fundamental of machine operation- tillage. John Deer Co. Publisher.
2- Kepner, R.A., R. Bainer, and E.L. Berger. 1978. Principles of Farm Machinery. (3rd edition) The AVI Publishing Company, Inc.
3- Moaveni, S. 1991. Finite element analysis. Prentice Hall, USA. 510 p.
4- Srivastava A.K., C.E. Georing, R.P. Rohrbach, and D.R. Buckmaster. 2006. Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph Publisher.
5- ASABE Standards, 2006. ASAE D497.5, Agricultural machinery management data. Available at www.asabe.org.
6- 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.
7- Rao, S. S. 1996. Engineering optimization-theory and practice. 3rd edn. Purdue University, Indiana, USA.
8- Akhoroz, E. 1999. Design Optimization with ANSYS FEM Code. MSc. thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Istanbul Technical Universty, Istanbul, Turkey (In Turkish)
9- Papadrakakis, M., Lagaros, N. D. and Plevris, V. 2004. Structural optimization considering the probabilistic system response. Theoret. Appl. Mech. Belgrade. **31**(3-4):361-393.
10- Ansys Software Product 2009. DesignXplorer Help. Release 11.0 Documentation for Ansys Workbench.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران