

**Farklı Ağız Yapısına Sahip Kültivatör Uç Demirlerinin Çeki Kuvveti Üzerine Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi****Draft Force Determination for Cultivator Shares with Different Mouth Structures Using The Finite Element Method****Mustafa Gökalp BOYDAŞ<sup>1\*</sup>****Öz**

Toprak işleme alet ve makinalarının tasarımında ve optimizasyonunda bilinmesi gereken en önemli dinamik parametre çeki kuvvetidir. Günümüzde toprak işleme alet ve makinalarında çeki kuvveti değişik yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bunlar deneysel, analitik ve nümerik yöntemlerdir. Nümerik yöntemler içinde özellikle sonlu elemanlar yöntemi toprak işleme alet ve makinalarının tasarımında ve çeki kuvveti tahminlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Toprak makine ilişkisinde sonlu elemanlar yönteminin kullanılması yeni ekipmanların ve makinaların tasarım, optimizasyon ve değerlendirilmesinde büyük kolaylıklar ve ekonomiklik sağlamıştır. Toprak makine ilişkisini tanımlamada kullanılan önemli yazılımlardan biri ANSYS dir. ANSYS Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak toprak-makine ilişkisini analiz edebilen güçlü bir nümerik yazılım programı olması ve gerçek toprak parametrelerinin ve sınır şartlarının simülasyona girilmesiyle gerçeğe çok yakın sonuçlar vermesi nedeniyle bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada, kültivatörler için kullanılacak farklı ağız yapılarına sahip (düz, sivri ve çatal şekilli) uç demirleri kullanılmıştır. Bu uç demirlerinin farklı çalışma hızlardaki ( $1.5 \text{ m s}^{-1}$ ,  $2.5 \text{ m s}^{-1}$  ve  $3.5 \text{ m s}^{-1}$ ) çeki kuvveti değerleri belirlenmiştir. ANSYS içerisinde gömülü toprak modelleri mevcut olup bu modeller içerisinde Drucker and Prager modeli kullanılarak uç demirleri ile elde edilen çeki kuvveti değerleri belirlenmiştir. Bu model toprak makine ilişkisini temsil eden en iyi model olarak belirtilmektedir. İlerleme hızının artması ile çeki kuvvetinin arttığı belirlenmiştir. Ancak çatal uç demirinin diğer uç demirlerine göre hız artışından daha az etkilendiği belirlenmiştir. Bu durum bu uç demirini diğerlerinden daha önemli bir konuma getirmiştir. En yüksek çeki kuvveti  $3.5 \text{ m s}^{-1}$  ilerleme hızında düz uç demiri ile  $1.64 \text{ kN}$  olarak bulunmuştur. En düşük çeki kuvveti ise  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  ilerleme hızında çatal uç demiri ile  $0.39 \text{ kN}$  olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak işleme, Çeki kuvveti, Kültivatör uç demiri, Sonlu elemanlar metodu, Toprak-makine ilişkisi

<sup>1\*</sup>**Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Mustafa Gökalp BOYDAŞ, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye. E-mail: [mboydas@atauni.edu.tr](mailto:mboydas@atauni.edu.tr)  ORCID: [0000-0002-3290-9089](https://orcid.org/0000-0002-3290-9089).

**Atıf/Citation:** Mustafa Gökalp BOYDAŞ. Farklı ağız yapısına sahip kültivatör uç demirlerinin çeki kuvveti üzerine etkisinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmesi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2): 306-317.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2023

## **Abstract**

The most important dynamic parameter to be known in the design and optimization of soil tillage tools and machines is the draft force. Today, the draft force in soil cultivation tools and machines can be determined by different methods. These are experimental, analytical, and numerical methods. Among the numerical methods, especially the finite element method has been widely used in the design of soil tillage tools and machinery and in the estimation of the draft force. The use of the finite element method in the soil-machine relationship has provided great convenience and economy in the design, optimization, and evaluation of new equipment and machines. One of the important software used to define the soil-machine relationship is ANSYS. ANSYS has been used in this study because it is a powerful numerical software program that analyzes the soil-machine relationship using the finite element method and gives very close results by entering real soil parameters and boundary conditions into the simulation. In the study, shares with different mouth structures (flat, pointed and fork-shaped) that can be used for cultivators were used. The draft force values of shares at different operating speeds ( $1.5 \text{ m s}^{-1}$ ,  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ , and  $3.5 \text{ m s}^{-1}$ ) were determined. There are buried soil models in ANSYS and the draft force values obtained with the cultivator shares were determined by using the Drucker and Prager model among these models. This model is stated as the best model representing the soil-machine relationship. It was determined that the draft force increased with the increase of the forward speed. However, it was determined that the fork share was less affected by the speed increase compared to the other shares. This situation has made this cultivator shares a more important position than the others. The highest draft force was found to be 1.64 kN with the flat share at a forward speed of  $3.5 \text{ m s}^{-1}$ . The lowest draft force was found to be 0.39 kN with the fork share at a forward speed of  $1.5 \text{ m s}^{-1}$ .

**Keywords:** Tillage, Draft force, Cultivator shares, Finite element method, Soil-machine interaction

## 1. Giriş

Tarım insanlığın en eski faaliyetlerinden biri olup, insan hayatının devamı için gerekli olan yiyecek, giyecek ve barınma ihtiyacını karşılar. İnsan nüfusunun hızla artması bu ihtiyaçlarında artmasına sebep olmaktadır. 2050 yılına kadar insan nüfusunun 9 milyara ulaşacağı düşünüldüğünde zirai faaliyetlerin önemi bir kez daha ön plana çıkmaktadır. Ziraai faaliyetlerin yürütüldüğü toprakların sınırlı olması, ihtiyaçların ise sınırsız olması göz önüne alındığında ürün artışının ancak zirai verimliliğin artırılması ile gerçekleşebileceği gerçeğini ortaya koymaktadır (Burgess ve Morris, 2009).

İnsanlar ürün verimini artırmak için eski çağlardan beri toprağın işlenmesi gerektiğini keşfetmişlerdir. Toprak işlemenin amacı toprağı uygun büyüklükte parçalamak, havalandırmak, karıştırmak ve diğer toprak fiziksel özelliklerini iyileştirmek olarak tanımlayabiliriz. Böylece bitkinin gelişebileceği uygun bir toprak yapısı oluşturulmaktadır (Johnson ve Buchele, 1969; Baran ve ark., 2014; Korkutal ve ark., 2018). Toprak işleme aletlerinin bu işlemleri yerine getirebilmeleri için önemli miktarda bir enerjiye ihtiyaçları vardır. Bu enerji toprak işleme aletinin geometrik yapısına, iş derinliğine, makinanın çalışma hızına ve işlem yapılan toprak özelliklerine göre önemli oranda değişmektedir. Bu nedenle toprak işleme alet ve makinaları üzerine yapılan çalışmalar sürekli olarak artmaktadır. Bu çalışmalar ile mümkün olduğunca verimliliği yüksek, enerji tüketimi az makinaların üretimi amaçlanmaktadır. Bu çalışmaların birçoğunda araştırmacılar çeki kuvvetini azaltmaya yönelik çalışmalar yapmışlardır. Örneğin Peltre ve ark. (2015) atık çamuru toprağa atarak bir kültivatörün çeki kuvveti üzerine etkisini araştırmışlardır, Hoseinian ve ark. (2022) bir çizel pulluğun ayak geometrik yapısını değiştirerek çeki kuvvetine etkisini ölçmüşlerdir, Boydaz (2017) kanatlı çizel pullukta kullanılan farklı kanat yapılarının çeki kuvvetine etkisini araştırmıştır, benzer olarak Çelik ve ark. (2007) kulaklı pulluk ve diskli pulluk karışımı bir pulluğun çeki kuvvetini ve yakıt tüketimini diskli ve kulaklı pulluk ile karşılaştırmışlardır. Bu konu üzerine yapılan çalışmaların bir kısmı tarla şartlarında, bir kısmı toprak kanallarında deneysel olarak yapılmış, bir kısmı analitik ve bir kısmı da nümerik olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak yapılan çalışmalar pratik olmasına karşın pahalı çalışmalardır. Ayrıca tarla çalışmalarında toprağın homojen olmaması yanıltıcı sonuçlar çıkmasına da sebep olabilmektedir. Analitik yöntemlerde Owen (1988), Godwin ve ark. (2007), Tong ve Moayad (2006) gibi araştırmacıların da kullandığı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak toprak yapısının homojen olmaması ve toprak işleme makinalarındaki geometrik yapıların çok farklı olması her bir makine ve alet için yeni bir denklem geliştirmeyi gerekli kılmaması bu yöntemin zor kısmıdır. Toprak makine arasındaki ilişkiyi modelleyen diğer bir yöntem ise nümerik yaklaşımdır. Son yıllarda kullanılan güçlü bilgisayarların ve geliştirilen yazılımların hızla artması toprak işleme üzerine çalışan araştırmacıları hızla bu yöntemi kullanmaya yöneltmiştir. Günümüzde toprak işleme konusunda yapılan çalışmalarda iki nümerik yöntem ön plana çıkmaktadır. Bunlardan biri sonlu elemanlar yöntemi (FEM-Finite Element Method) diğeri ise ayırık eleman yöntemi (DEM- Discrete Element Method) dir. Birçok çalışmada hem FEM hemde DEM karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarında göz atılacak olursa, Armin ve ark. (2015) sonlu elemanlar yönteminin toprak işlemede uygulanabilirliğini araştırmıştır, Upadhyay ve ark. (2017) diskli pulluğun güç gereksinimi sonlu elemanlar yöntemi kullanarak belirlemişlerdir, Savrukoğlu (2016) kulaklı pullukların kulak-toprak ilişkisini nümerik ve analitik yöntemler ile modellemiştir, Şahin ve ark. (2018a) farklı firmalarca üretilen kültivatör kazayağı uç demirlerinin bazı mukavemet özelliklerini sonlu elemanlar metodu kullanarak belirlemişlerdir, yine Şahin ve ark (2018b) farklı firmaların ürettiği kültivatörler dar uç demirlerinin değişken yüklenmeler altında deformasyon değişimlerini sonlu elemanlar metodu kullanarak belirlenmişlerdir. Kesner ve ark. (2021) çizel pulluk ayağının optimizasyonunu hem sonlu elemanlar yöntemi hem de ayırık elemanlar yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Benzer şekilde Sadek ve ark. (2021) ayırık elemanlar yöntemini kullanarak yüksek hızlı diskli bir pulluğun çeki kuvvetini belirlemişlerdir.

Toprak işleme aletleri içerisinde yaygın kullanılan aletlerden biri kültivatörlerdir. Kültivatörler bitki üretiminin birçok aşamasında kullanılmaktadırlar. Bu özelliği kültivatörün önemini daha da artırmaktadır. Kültivatörler çoğunlukla birinci toprak işlemeden sonra tohum yatağı hazırlamada, yabancı ot kontrolünde, toprağı kabartmada ve azaltılmış toprak işlemede yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Birçok araştırmacı, bitki yetiştirme işlemlerinin basitleştirilmesinin enerji tüketiminin azalmasına neden olduğunu, aynı zamanda toprak bozulmasını azalttığını ve verimi olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir (Chen ve ark., 2005; Rouw ve ark., 2010). Kültivatörün bu öneminden dolayı kültivatörlerin çeki gücünü azaltmaya yönelik deneysel, analitik ve nümerik birçok çalışma yürütülmüştür. Özellikle farklı geometrik şekillere sahip uç demirlerinin ve ayak tiplerinin çeki kuvveti üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Mamman ve Oni, 2005; Lejman ve

ark., 2018). Shmulevich ve ark. (2007) simülasyon yoluyla uç demiri açılarını değiştirerek toprak direnci üzerine etkilerini araştırmışlardır. Benzer olarak Bo ve ark. (2016) aynı ayak üzerinde dört farklı uç demirinin çeki kuvveti üzerine etkisini DEM modeli kurarak araştırmışlardır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak üç farklı uç demirinin farklı hızlarda çeki kuvvetine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışmada kullanılan kültivatör uç demirleri

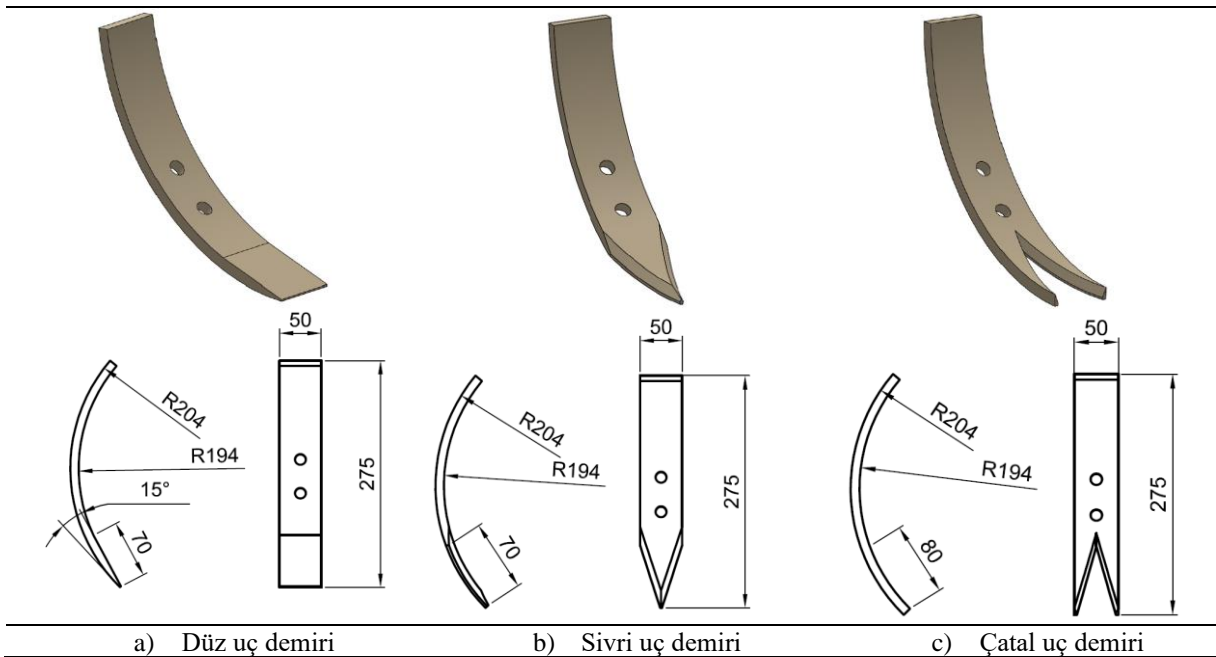
Bu çalışmada aynı ayakta kullanılacak şekilde dizayn edilmiş düz, sivri ve çatal şekilli uç demirleri tasarlanmıştır. Uç demirlerinin ağız kısımları hariç diğer bölgeleri aynı bırakılmıştır. Düz ve sivri uç demirlerinin tercih edilme sebebi uygulamada yaygın kullanılmasıdır. Böylece yeni geliştirilmiş olan çatal uç demirinin değerlendirilmesinde bu uç demirleri kullanılmıştır. Uç demirlerinin malzeme özellikleri *Tablo 1.*' de, geometrik özellikleri *Şekil 1.*' de verilmiştir.

Simülasyonda kullanılan uç demirlerinin sadece ağız kısımları değiştirilmiş diğer kısımları sonuçları etkilememesi için aynı bırakılmıştır.

**Tablo 1. Araştırmada kullanılan uç demiri malzeme özellikleri**

*Table 1. The material properties of the cultivator shares used in the research*

Özellik	Değer
Kullanılan malzemenin ismi	Paslanmaz çelik (AISI 4130)
Yoğunluk ( $\rho$ ) ( $\text{kg m}^{-3}$ )	7850
Elastisite Modülü (E) ( $\text{N m}^{-2}$ )	$2 \times 10^{11}$
Poisson oranı ( $\epsilon$ )	0.3
Sıkışma modülü (K) ( $\text{N m}^{-2}$ )	$1.6667 \times 10^{11}$
Kayma modülü (G) ( $\text{N m}^{-2}$ )	$7.692 \times 10^{10}$
Akma noktası ( $\text{N m}^{-2}$ )	$2.5 \times 10^8$
Basma dayanımı ( $\text{N m}^{-2}$ )	$2.5 \times 10^8$
Nihai gerilme kuvveti ( $\text{N m}^{-2}$ )	$4.6 \times 10^8$



*Figure 1. The cultivator shares and technical dimensions used in the research*

**Şekil 1. Araştırmada kullanılan uç demirleri ve teknik ölçüleri**

## 2.2. Araştırma modelinin kurulduğu toprak özellikleri

Simülasyonda kullanılan toprak özellikleri zirai işlemlerin yapıldığı toprak özellikleri dikkate alınarak seçilmiştir. Bu özellikler Tablo 2’de verildi.

**Tablo 2. Simülasyonda kullanılan toprak özellikleri**

Table 2. Soil properties used in the simulation

Özellik	Değer
Hacim ağırlığı ( $\rho$ ) ( $\text{kg m}^{-3}$ )	1420
Kohezyon ( $c$ ) ( $\text{N/m}^2$ )	$4 \times 10^3$
Toprak iç sürtünme açısı ( $\phi$ ) (derece)	28
Dilatasyon açısı ( $\psi$ ) (derece)	0
Elastisite Modülü ( $E$ ) ( $\text{N m}^{-2}$ )	$5 \times 10^6$
Poisson oranı ( $\epsilon$ )	0,3
Toprak-metal sürtünme açısı ( $\phi_b$ ) (derece)	23
Toprak-metal sürtünme katsayısı ( $\mu$ )	0.3

## 2.3. Simülasyonun yapıldığı yazılım ve toprak modeli

Çalışmada Atatürk Üniversitesi network ağına bağlı olan ANSYS 2021 sonlu elemanlar yazılım programı kullanılmıştır. ANSYS sonlu elemanlar yazılımı üstün özelliklere sahip bir yazılım programı olup birçok bilim alanında sonlu elemanlar konusunda hizmet vermektedir.

Toprağın mekanik özellikleri kullanılarak toprak makine ilişkisi analizleri sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılmaktadır. Bunun yapılabilmesi için çok sayıda toprak modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin sayısının fazla olmasının sebebi toprak materyal davranışının karmaşık olması, toprağa uygulanan kuvvet karşısında verdiği tepkinin lineer olmaması analizlerde zorluklar yaşanmasına neden olmaktadır. Shen ve Kushawaha (1998), toprağın gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlamak için kullanılan yapısal modelleri doğrusal ve doğrusal olmayan modeller, elastik, plastik ve elastoplastik modeller, statik ve dinamik modeller (zamanın dahil edilip edilmediğine bağlı olarak) olarak sınıflandırmışlardır. Lineer modeller çoğunlukla yapısal elemanlardaki gerilme analizinde kullanılırken, lineer olmayan modeller ise çoğunlukla tarımsal çalışmalarda kullanılmaktadırlar. Toprağın elastikiyetini ve plastisitesini tanımlayan unsurlar göz önüne alındığında, elastoplastik modeller, toprağın tarım aletlerinin çalışan organları ile etkileşime girdiğinde mekanik tepkilerini simüle etmede en çok kullanılan modeller olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü toprak farklı koşullara bağlı olarak plastik, elastik veya elastoplastik şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Doğrusal olmayan elastik ya da elastoplastik toprak modelleri içinde en çok kullanılanlar; Mohr-Coulomb, Drucker and Prager, Cam-Clay dir. ANSYS yazılımında bu modellerin hepsi mevcut olup istenildiğinde kullanılabilirlerdir.

Bu çalışmada Drucker and Prager modeli kullanılmıştır. Bu model toprağın plastik davranışını temsil etmektedir. Toprak-makine ilişkisini inceleyen birçok araştırmacı bu modeli kullanmıştır. Moslem ve Hossein (2014) tekerlek-toprak ilişkisini bu modeli kullanarak Finite Element Analysis (FEA) ile incelemişlerdir. Skirkus ve Jankauskas (2015) kültivatör ayağının aşınmasını bu modeli kullanarak FEA ile araştırmıştır. Benzer olarak Elbashir ve ark. (2014) farklı kama açılarının toprak işleme aletinde çeki kuvvetine etkilerini bu modeli kullanarak FEA ile belirlemişlerdir. Drucker and Prager modeli toprak kohezyonu ve iç sürtünme açısına bağlı olarak akma yüzeyi dik bir koni şeklindedir.

Toprak materyallerini tanımlamak için ANSYS ile gelen Drucker and Prager modeli aşağıdaki eşitlikle (Eş.1) tanımlanmıştır (Avcı ve Bhargava, 2020).

$$f(I_1, J_2) = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - K = 0 \quad (\text{Eş.1})$$

Burada  $I_1$ = gerilme tensörünün ilk değişmezi,  $J_2$ = gerilme tensörünün ikinci değişmezi,  $\alpha$  ve  $K$ ; kohezyon ( $c$ ), iç sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve dilatasyon açısına ( $\psi$ ) bağlı parametreler (Tan ve ark., 2022).

## 2.4. Sonlu Elemanlar Modeli

Üç farklı kültivatör uç demirinin çeki kuvvetine olan etkisini belirlemek için yapılan bu çalışmada ANSYS de üç

boyutlu bir model oluşturuldu (Şekil 2).

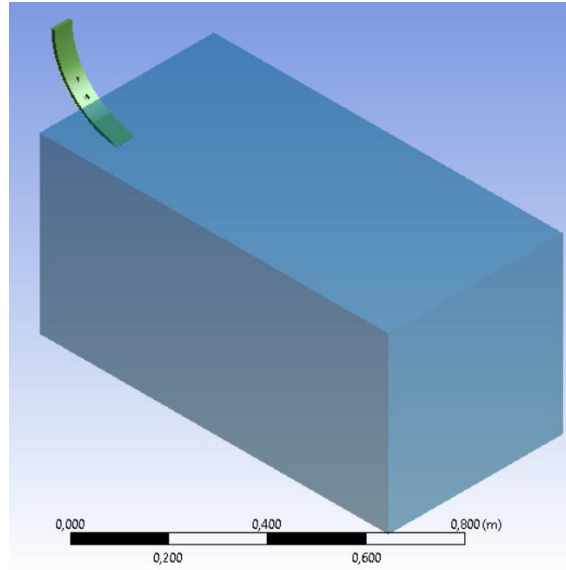


Figure 2. The cultivator share and soil model created in ANSYS

**Şekil 2. ANSYS' de oluşturulan kültivatör uç demiri ve toprak modeli**

Bu model iki kısımdan oluşmaktaydı. Birincisi deforme olabilen toprak kanalı, ikicisi uç demiri idi. Toprak kanalı boyutları 1x0.5x0,5 m olarak tasarlandı. Uç demirleri ise 15 cm derinlikte çalışacak şekilde ve göğüs açısı 25° olarak seçildi (Şekil 3).

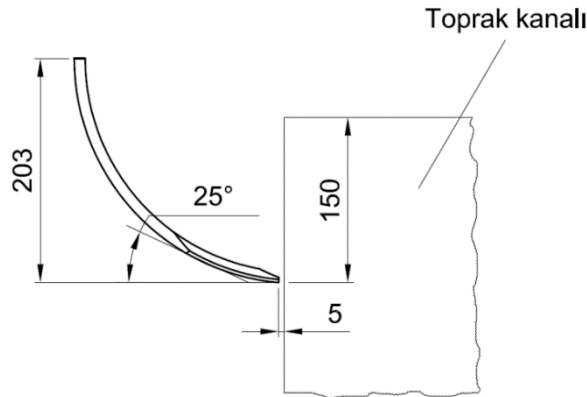


Figure 3. Positioning of the cultivator share in the soil channel

**Şekil 3. Kültivatör uç demirlerinin toprak kanalına konumlandırılması**

Dar uç demirine sahip kültivatörlerde göğüs açısı 20°-45° arasında değişmekte olup 30° altındaki açılar genelde kültivatörlerde 30° üzeri açılardan ise ağır kültivatör veya çizel pulluklarda kullanılmaktadır (Erol ve Yavuzcan 1995). Uç demiri toprak kanalına 5 mm uzaklıkta, 25° göğüs açısında ve 15 cm derinliğe gelecek şekilde pozisyonlandırılmıştır. Simülasyonda üç farklı çalışma hızı belirlenmiştir. Bu hızlar ASAE D497.5 (2006) de verilen değerler dikkate alınarak 1.5, 2.5 ve 3.5 m s<sup>-1</sup>olarak belirlenmiştir. Mesh işlemi yapılırken uç demirleri için TET10 dört yüzlü hacim elemanı kullanıldı. Bu elemanın her bir düğüm noktası 3 serbestlik derecesine sahip olup üçgen prizma şeklinde bir elemandır. Uç demiri gibi kavisli ve girintili-çıkıntılı şekle sahip modeller için geliştirilmiş bir elemandır. Toprak kanalı mesh yapılırken toprağın işleneceği bölge daha küçük parçalara ayrılırken, dışa doğru kısımlar büyük parçalara ayrılarak hem çalışmanın hassasiyeti yükseltildi hem de çözüm süresi mümkün olduğunca kısaltılmaya çalışıldı (Şekil 4). Toprak kanalı mesh yapılırken HEX20 altı yüzlü hacim elemanı kullanıldı. Çalışmada toprak kanalı eleman sayısı 6000 ve nod sayısı 27111 idi. Uç demiri eleman sayısı ise uç demirinin şekline bağlı olarak minimum eleman sayısı 354 ve nod sayısı 878 idi. Mesh kalitesi ortalama 0.87 olarak belirlendi. Ortalama aspect ratio oranı 3.24 ve ortalama skewness değeri 0.028 olarak bulunmuştur. Bu değerler mesh kalitesinin iyi

olduğunu göstermektedir.

Sınır şartları verilirken toprak kanalının yan, alt ve uç demirinin karşısındaki kenar sabitlendi. Uç demiri-toprak sürtünme katsayısı olarak 0.3 alındı.

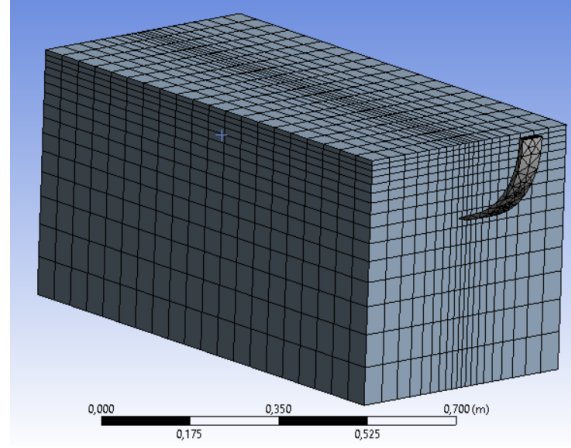


Figure 4. Mesh processing

Şekil 4. Mesh işleminin yapılması

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Çeki kuvveti üzerine hızın etkisi

Şekil 5 (a, b, c ve d) de  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  ilerleme hızında sırası ile 0.0293 s, 0,0410 s, 0.05 s ve 0,08 s aralıklarındaki uç demiri-toprak etkileşimini gösterilmiştir.

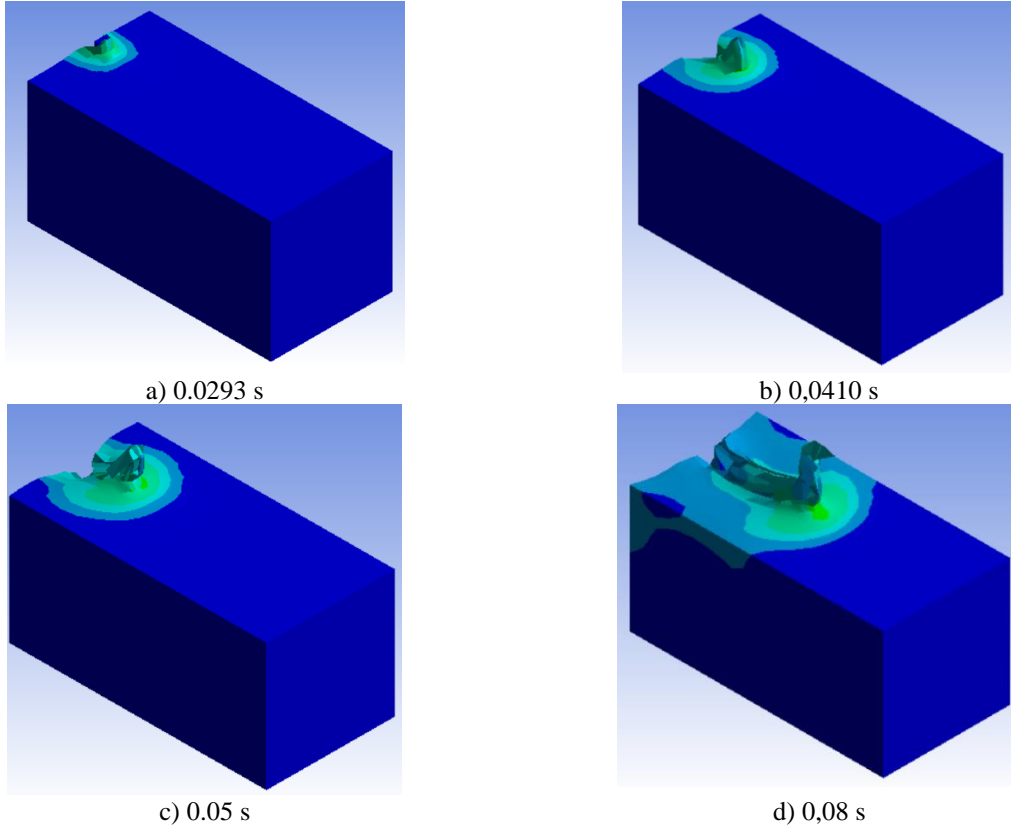


Figure 5. The cultivator share–soil interaction at different time intervals at a forward speed of  $1.5 \text{ m s}^{-1}$

Şekil 5.  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  ilerleme hızında farklı zaman aralıklarındaki uç demiri-toprak etkileşimini

Uç demirinin topraktaki hareketi kanal boyunca 0.8 m olarak sınırlandırılmıştır. Üç farklı ilerleme hızı için yürütülen simülasyon çalışmalarında elde edilen çeki kuvveti-zaman değerlerine ilişkin örnek grafik (Şekil 6) incelendiğinde ilk başta yüksek bir çeki kuvveti görülmekte daha sonra bu değer azalmaktadır.

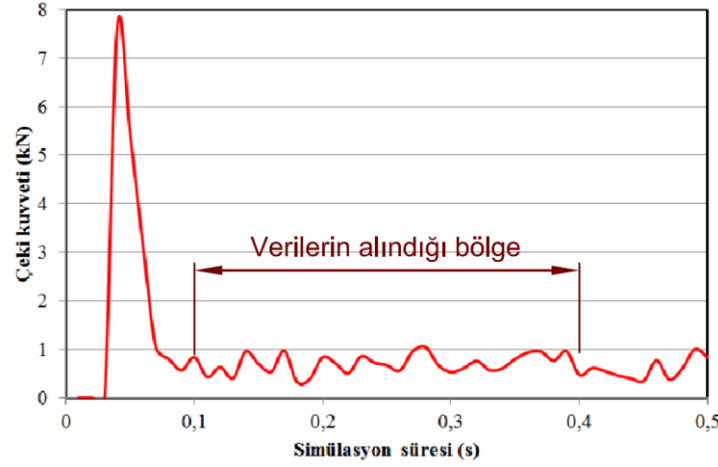


Figure 6. Example graph of draft force-time values obtained from simulations

**Şekil 6. Simülasyonlardan elde edilen çeki kuvveti-zaman değerlerine ilişkin örnek grafik**

Bunun sebebi uç demirinin toprak kanalına 5 mm uzakta konumlandırılmış olmasıdır. Hızla toprağa giren uç demiri yüksek bir çeki kuvvetine neden olmuş daha sonra bu değer azalarak normal çalışma hızındaki çeki kuvveti değerine ulaşmıştır. Bu sebeple elde edilen çeki kuvveti değerlerini bulmak için başlangıçtaki bu ani çeki kuvveti değerleri ihmal edilerek şekilde gösterildiği gibi belirlenen zaman aralığındaki çeki kuvveti değerleri dikkate alınmıştır.

Düz uç demiri ile farklı hızlarda elde edilen çeki kuvveti değerleri Şekil 7. de verilmiştir.

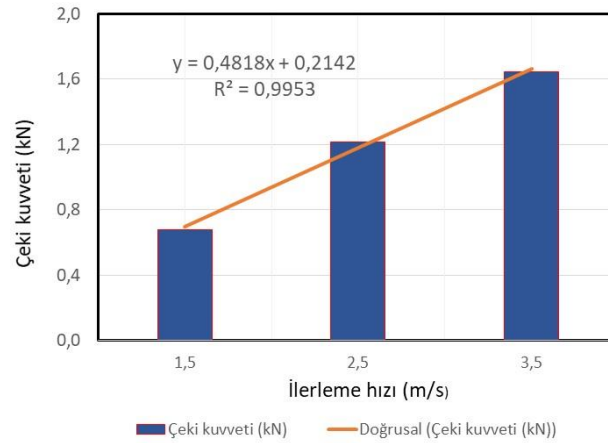


Figure 7. Draft force values obtained at different forward speeds with the flat cultivator share

**Şekil 7. Düz uç demiri ile farklı ilerleme hızlarda elde edilen çeki kuvveti değerleri**

Bu uç demiri ile elde edilen en küçük çeki kuvveti değeri 1.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında 0.68 kN olarak belirlenirken en büyük çeki kuvveti değeri 3.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında 1.64 kN olarak belirlenmiştir. İlerleme hızındaki artış çeki kuvveti değerlerinde artışa neden olmuştur. Benzer etki diğer uç demirlerinde de görülmüştür. Sivri uç demirinde 1.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında elde edilen çeki kuvveti değeri 0.52 kN olurken en yüksek değer 3.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında bu değer 1.40 kN olarak belirlenmiştir (Şekil 8). İlerleme hızının artması ile çeki kuvvetinin arttığı görülmüştür. Çatal uç demiri ile elde edilen çeki kuvveti değerlerinin de ilerleme hızı ile arttığı görülmüştür (Şekil 9). Bu uç demirinde elde edilen en düşük çeki kuvveti değeri 1.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında 0.39 kN olurken en yüksek değer 3.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında 1.08 kN olarak bulunmuştur.



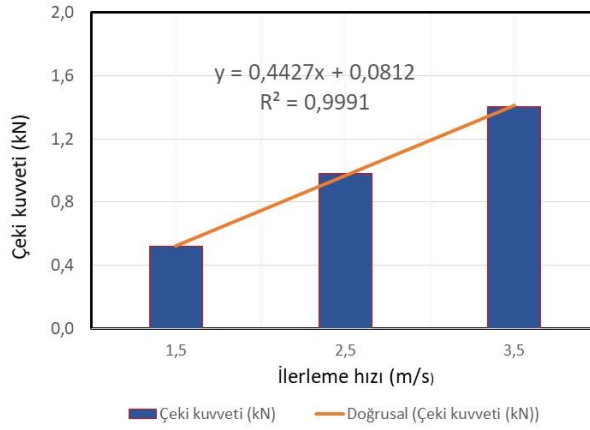


Figure 8. Draft force values obtained at different forward speeds with the pointed cultivator share

**Şekil 8. Sivri uç demiri ile farklı ilerleme hızlarda elde edilen çeki kuvveti değerleri**

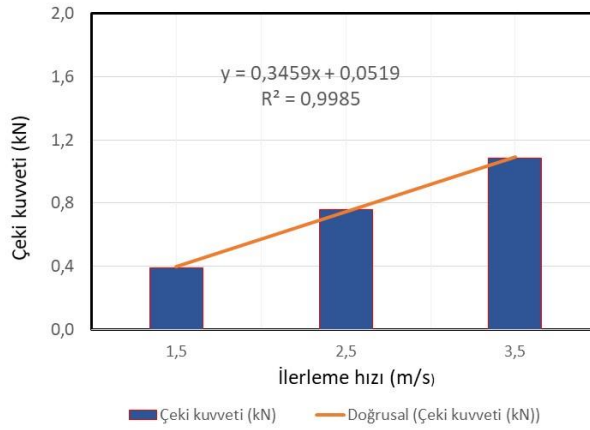


Figure 8. Draft force values obtained at different forward speeds with the fork-shaped cultivator share

**Şekil 9. Çatal uç demiri ile farklı ilerleme hızlarda elde edilen çeki kuvveti değerleri**

Birçok çalışmada toprak işleme aletlerinin ilerleme hızındaki artışın çeki kuvvetini artırdığı bulunmuştur. Boydış (2017) kanatlı çizel pullukta kullanılan kanatlarda farklı ağız yapılarının ilerleme hızının ve iş derinliğinin çeki kuvveti üzerine etkisini belirlediği çalışmasında ilerleme hızının artmasıyla özgül çeki kuvvetinin arttığını bulmuştur. İlerleme hızının  $0.12 \text{ m s}^{-1}$  den  $0.28 \text{ m s}^{-1}$  çıkması ile özgül çeki kuvvetinin  $0.88 \text{ N cm}^{-2}$  den  $1.35 \text{ N cm}^{-2}$  ye çıkmıştır. Elsheikha ve ark. (2021) farklı metallere yapılmış çizel uç demirlerinin farklı ilerleme hızlarında göstermiş oldukları çeki kuvveti değerlerini belirlemişlerdir. Çalışmada  $15 \text{ cm}$  işleme derinliğinde en düşük çeki kuvveti  $0.58 \text{ m s}^{-1}$  ilerleme hızında paslanmaz çelik malzemeden yapılmış uç demiri ile  $0.76 \text{ kN}$  olarak elde edilirken en yüksek çeki kuvveti  $1 \text{ m s}^{-1}$  ilerleme hızında aynı uç demiri ile  $1.23 \text{ kN}$  olarak bulunmuştur. İlerleme hızının artmasıyla çeki kuvvetinin diğer malzemelerden yapılmış uç demirlerinde de aynı etkiyi gösterdiği belirlenmiştir. Benzer olarak ASAE D497.5 (2006) de toprak işleme aletlerinin çeki kuvvetinin belirlenmesi için verilen analitik denklemde çeki kuvvetinin hızın bir fonksiyonu olarak arttığı gösterilmiştir. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki ilerleme hızı arttıkça çeki kuvveti de artmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu hız artışına bağlı olarak elde edilen çeki kuvvetinin artış değeridir. Çalışmada, uç demirlerinden elde edilen ilerleme hızı-çeki kuvveti değerini gösteren doğrusal grafiklerin eğimlerine bakıldığında düz, sivri ve çatal uç demirlerinden elde edilen doğrusal çizginin yatayla yaptığı açının sırasıyla  $25.64^\circ$ ,  $23.74^\circ$  ve  $18.77^\circ$  olduğu bulunmuştur. Eğim açısının artması bize uç demirinin hıza karşı daha yüksek bir tepki verdiğini göstermektedir. Bu ise istenen bir durum değildir. Toprak işleme aletlerinde hızın artmasına karşın çeki kuvvetinin daha az artması beklenir. Çalışmada görülmektedir ki en düşük eğim açısı çatal uç demiri ile elde edilmiş ve bu eğim açısıyla çatal uç demiri diğer uç demirlerinden

daha iyi bir performans sağlamıştır.

### 3.2. Ağız yapısının çeki kuvvetine etkisi

Yapılan simülasyonda elde edilen sonuçlar ağız yapısındaki geometrik farklılığın çeki kuvvetini değiştirdiğini göstermiştir (Şekil 10).

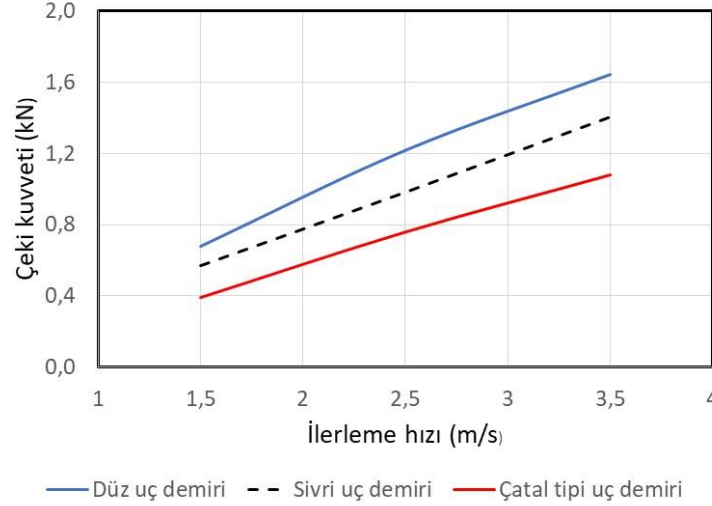


Figure 10. The effect on the draft force of the cultivator share with different mouth structures depending on the forward speed

### Şekil 10. Farklı ağız yapısına sahip uç demirlerinin ilerleme hızına bağlı olarak çeki kuvveti üzerine etkisi

Çatal uç demirinin aynı hızda ve şartlarda sivri uç demiri ve düz uç demirinden daha düşük bir çeki kuvveti gerektirdiği görülmüştür. Sivri uç demirinin de düz uç demirinden daha düşük çeki kuvveti değerleri göstermiştir. 1.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında düz uç demiri, çatal uç demirinden %74.35, 2.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında %19.24 ve 3.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında %34.78 daha yüksek bir çeki kuvveti meydana getirmiştir. 1.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında sivri uç demiri, çatal uç demirinden %33.33, 2.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında %28.94 ve 3.5 m s<sup>-1</sup> ilerleme hızında %29.62 daha yüksek bir çeki kuvveti meydana getirmiştir. Görülmektedir ki uç demiri kesme ağızındaki geometrik değişim çeki kuvvetinin artmasına veya azalmasına yol açmıştır. Yapılan birçok bilimsel çalışmada, toprak işleme aletlerinin geometrik yapılarının değiştirilmesi çeki kuvvetini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Salar ve ark. (2021) bir kanatlı çizel pulluğun kanat açısındaki değişimin çeki kuvvetini önemli derecede değiştirdiğini bulmuştur. Yapmış oldukları çalışmada kanata verilen yatay (10°, 20°, 30°) ve dikey (7.5°, 15°, 22.5°) açıların sırasıyla 4.53 kN, 4.74 kN, 5.50 kN, 4.67 kN, 4.87 kN, 5.23 kN' luk çeki kuvvetleri meydana getirmiştir. Boydaş (2017) çizel pullukta kullanılan farklı kanat ağız yapılarının özgül çeki kuvvetini önemli düzeyde değiştirdiğini bulmuştur. Çalışmada düz ağız yapısına sahip kanatta en yüksek özgül çeki kuvvetinin 1.25 N cm<sup>-2</sup> olduğu belirlenirken en düşük özgül çeki kuvvetinin 1.03 N cm<sup>-2</sup> olduğu belirlenmiştir. Raper (2005) eğrisel ve düz çizel pulluk ayağının çeki kuvveti değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada eğri ayağın düz çizel ayakta daha yüksek çeki kuvveti meydana getirdiğini bulmuştur.

### 4. Sonuç

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan bu simülasyon çalışması sonucunda farklı ağız yapısına sahip uç demirlerinin çeki kuvveti üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çatal şeklinde ağız yapısına sahip uç demirinin düz ve sivri uç demirinden daha düşük çeki kuvveti meydana getirdiği ve ilerleme hızındaki artıştan daha az etkilendiği belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarda çatal şeklinde ağız yapısına sahip uç demirine uygulamada rastlanmamış fakat bu ağız yapısına benzer nitelikte uç demiri tipleri görülmüştür. Bu tip uç demiri üzerine yapılacak olan daha fazla çalışma ile kültivatör çeki kuvvetinin önemli düzeyde azaltılabileceği düşünülmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışmanın yapılması için kullanılan ANSYS yazılımını Atatürk üniversitesi çalışanlarının hizmetine sunan Atatürk Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

### Kaynakça

- Armin, A., Fotouhi, R. and Szyszkowski, W. (2015). 3D finite element analysis for mechanics of soil-tool interaction. *Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9(5): 843-848.
- ASAE (2006) ASAE Standard D497.4: Agricultural Machinery Management Data. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.
- Avci, O. and Bhargava, A. (2020). Investigation of uplift pressures on a drainage shaft using ANSYS SOLID185 elements and Drucker–Prager Failure Criterion for the surrounding rock stratum. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34(1): 04019083.
- Bo, L., Rui, X., Fanyi, L., Jun, C., Wenting, H. and Bing, H. (2016). Determination of the draft force for different subsoiler points using discrete element method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(3): 81-87.
- Baran, M. F., Durgut, M. R., Kayhan, İ. E., Kurşun, İ., Aydın, B. and Bayhan, Y. (2014). Determination of different tillage methods in terms of technically and economically in second crop maize for silage (2<sup>nd</sup> year). *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 11(2): 11-20.
- Boydaş, M. G. (2017). Kanatlı çizel pullukta kullanılan kanatlarda farklı ağız yapılarının, ilerleme hızının ve iş derinliğinin çeki kuvveti üzerine etkisinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(3): 219-225.
- Burgess, P. J. and Morris, J. (2009). Agricultural technology and land use futures: the UK case. *Land Use Policy*, 26, 222-229.
- Celik, A., Boydas, M. G. and Turgut, N. (2007). Comparison of the energy requirements of an experimental plow, a moldboardplow and a disk plow. *The Philippine Agricultural Scientist*, 90(2): 173-178.
- Chen, Y., Cavers, C., Tessier, S., Monero, F. and Lobb, D. (2005). Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil & Tillage Research*, 82: 161-171.
- Elbashir, M. A., Zhao, Z., Hebeil, E. A. and Li, X. (2014). Comparative finite element analysis of the effects of tillage tool geometry on soil disturbance and reaction forces. *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, 7(15): 3145-3149.
- Elsheikha, A., Al-Rajhi, M. and El-Shabasy, T. M. (2021). Effect of coating chisel plow shares with some materials on draft force requirement. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 12(9):611 – 614.
- Erol, M. A. ve Yavuzcan, H. G. (1995). Toprak İşleme Aletlerine İlişkin Hesaplama Yöntemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No 1421. Ankara.
- Godwin, R. J., O’Dogherty, M. J., Saunders, C. and Balafoutis A. T. (2007). A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystems Engineering*, 97(1), 117-129.
- Hoseinian, S. H., Hemmat, A., Eshaghbeygi, A., Shahgoli, G. and Baghbanan, A. (2022). Development of a dual sideways-share subsurface tillage implement: Part 2. Effect of tool geometry on tillage forces and soil disturbance characteristics. *Soil and Tillage Research*, 215: 105200.
- Johnson, C. E. and Buchele, W. F. (1969). Energy in clod-size reduction of vibratory tillage. *Transaction of the ASAE*, 12(3): 371-374.
- Kesner, A., Choteborsky, R., Linda, M., Hromasov, M., Katinas, E. and Sutanto, H. (2021). Stress distribution on a soil tillage machine frame segment with a chisel shank simulated using discrete element and finite element methods and validate by experiment. *Biosystems Engineering*, 209: 125-138.
- Korkutal, İ., Bahar, E. ve Bayram, S. (2018). Farklı toprak işleme ve yaprak alma uygulamalarının syrah üzüm çeşidinde, sürgün ve yaprak özellikleri ile su stresi üzerine etkileri. *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 15(1): 1-13.
- Lejman, K., Owsiak, Z., Pieczarka, K. and Sekutowski, T. (2018). Vertical forces acting on cultivator tines in the aspect of shearing speed and flexibility of tines. *Agricultural Engineering*, 22(2): 39-48.
- Mamman, E. and Oni, K. C. (2005). Draught performance of a range of model chisel furrowers. *Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal. Manuscript PM 05 003. Vol. VII*.
- Moslem, N. and Hossein, G. (2014). Numerical simulation of tire/soil interaction using a verified 3D finite element model. *Journal of Central South University*, 21: 817–821.
- Owen, G. T. (1988). Subsoiling forces and tool speed in compact soils. *Canada Agriculture Engineering Research*, 28(4): 15-20.
- Peltre, C., Nyord, T., Bruun, S., Jensen, L. S. and Magid, J. (2015). Repeated soil application of organic waste amendments reduces draught force and fuel consumption for soil tillage. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211: 94-101.
- Raper, R. L. (2005). Subsoiler shapes for site-specific tillage. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(1): 25–30.
- Rouw, A., Huon, S., Souleuth, B., Jouquet, P., Pierret, A., Ribolzi, O., Valentin, C., Bourdon, E. and Chantharath, B. (2010). Possibilities of carbon and nitrogen sequestration under conventional tillage and no-till cover crop farming (Mekong valley, Laos). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136: 148-161.
- Sadek, M. S., Chen, Y. and Zeng, Z. (2021). Draft force prediction for a high-speed disc implement using discrete element modelling. *Biosystems Engineering*, 202: 133-141.
- Salar, M. R., Karparvarfar S. H., Askari, M. and Kargarpour, H. (2021). Forces and loosening characteristics of a new winged chisel plough. *Research in Agricultural Engineering*, 67(1): 17–25.
- Savrukoğlu, İ. (2016). *Kulaklı pullukların kulak–toprak ilişkisinin nümerik ve analitik yöntemler ile modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul

---

Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Katı Cisimlerin Mekanik Programı.

Shen, J. and Kushawaha, R. L. (1998). *Soil-Machine Interactions: A Finite Element Perspective*, New York: Marcel Dekker, Inc.

Shmulevich, I., Asaf, Z. and Rubinstein, D. (2007). Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. *Soil & Tillage Research*, 97: 37–50.

Skirkus, R. and Jankauskas, V. (2015). Wear model development of soil tillage element. *Agricultural Engineering, Research Papers*, 47: 1-5.

Şahin, A., Altuntaş, E. ve Güleç, U. (2018a). Kültivatör kazayağı uç demirlerinin sonlu elemanlar metodu (sem) ile mu-kavemet özelliklerinin belirlenmesi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3): 257-265.

Şahin, A., Altuntaş, E. ve Güleç, U. (2018b). Bazı firmalarca kültivatörler için üretilen dar uç demirlerinin farklı yüklenmeler altında deformasyon davranışının sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(2): 131-141.

Tan, N., Zhou, L., Zheng, W., Song, H., Sun, Z., Wang, Z., Wang, G., Wang, W., Zhang, L. and Zho, X. (2022). Using finite element method for stress-strain evaluation of commonly used buried pipelines in fault. *Energies*, 15(5): 1655.

Tong, J. and Moayad, B. Z. (2006). Effects of rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: A computer simulation. *Soil and Tillage Research*, 88(1): 55-64.

Upadhyay, F., Raheman, H. and Rasool, S. (2017). Three dimensional modelling and stress analysis of a powered single acting disc harrow using FEA. *Current Agriculture Research Journal*, 5(2): 203-219.