

## Toprak Frezelerinin Temel Dizayn Parametreleri ve L Bıçaklı Toprak Frezeleri İçin Tork Modelinin Geliştirilmesi

Rasim OKURSOY\*

### ÖZET

*Toprak frezeleri ikinci sınıf toprak işleme aletlerinden olup tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir toprak frezesi değişik boyutlarda ve değişik özelliklerde imal edilen bıçaklarla, bu bıçakların bağlandığı rotor ile rotor şaftı ve hareket iletim organlarından oluşur. Toprak frezelerinin dizayn parametrelerinin belirlenmesinde, toprak işleme sırasında bıçaklarla toprak arasında oluşan etkileşimin önemi büyüktür. Bu çalışmada, toprak frezelerinin dizayn parametreleri belirlenmiş ve bir L şeklindeki freze bıçağının toprak yüzeyinden belirli derinliğe kadar toprak işleme yörüngesi boyunca geliştirebileceği kuvvetlerin ve tork değerlerinin hesaplanabilmesine olanak tanıyabilecek temel kavramlar tanımlanmıştır. Sonuçta, model bir toprak kanalında denenmiştir.*

*Anahtar sözcükler: Toprak Frezesi, Tork*

### SUMMARY

#### Development of A Rotary Tiller Torque Model with L Type Tiller Blade and Their Basic Design Parameters

*Rotary tillers are secondary tillage equipments which are widely used in agriculture. A rotary tiller consists of tiller blades; which are manufactured in different size, shape and dimension, a rotor, where blades are fixed, and a shaft as well as its transmission units. The soil tool interaction is important in determining design parameters for rotary tillers. In this research, design parameters of rotary tillers were determined and basic definitions about torque model which is due to*

\* Dr.; U.Ü. Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü

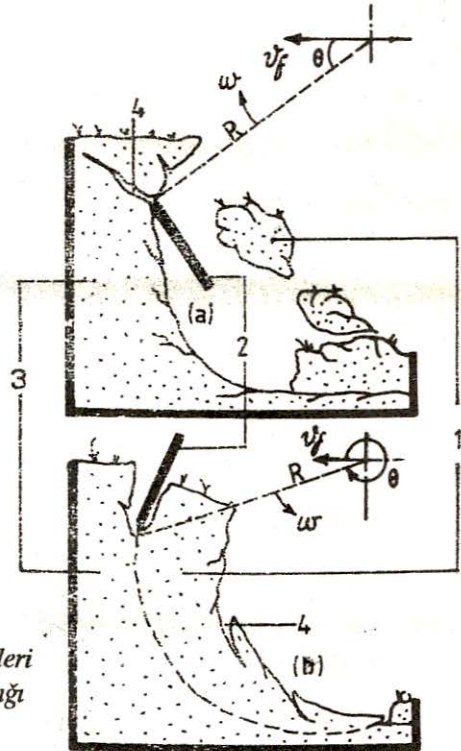
the forces acting from the soil top to a certain depth along the soil cutting path using a L type tiller blade, was developed, and as a result the model verification was performed in a soil bin.

Key words: Rotary Tiller, Torque

## GİRİŞ

Toprak işleme sırasında freze bıçaklarının bağlandığı rotorun yataklandığı shaftta gelen tork değerleri, gerek toprak gerekse makinanın parametrelerine bağlı olarak değişiklikler gösterir. İşlenen toprağın sert ve yapışkan olması torku arttırırken, kumlu ve yumuşak topraklarda bu değer küçülür. Toprak koşullarının aynı olması durumunda bıçakların boyutları ve dönme hızları büyüklüklerine bağlı olarak artış göstermektedir.

Toprak frezeleri rotor üzerindeki bıçakların, toprağı alttan yukarı doğru ya da yukarıdan aşağıya doğru kesebilecek biçimde dizayn edilirler (Okursoy, 1991). Bıçakların aşağıdan yukarı doğru toprağı kesme durumunda rotorun dönme yönünün tersine, yukarıdan aşağı kesme durumunda da rotorun dönme yönü, traktör tekerlerinin dönme yönü ile aynı olacak şekildedir. Şekil 1'de her iki durumdaki toprak işleme biçimi belirtilmiştir.



Şekil: 1

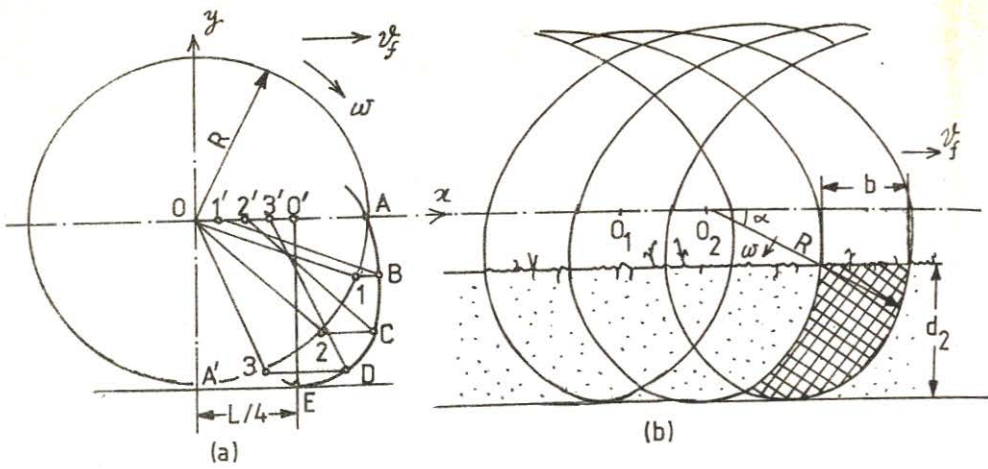
Toprak Frezelerinde Toprak İşleme Şekilleri  
(a) Aşağıdan Yukarı, (b) Yukarıdan Aşağı

Şekilde (1) parçalanmış toprak dilimini, (2) freze bıçağını, (3) işlenmemiş toprak kütlelerini ve (4) toprakta meydana gelen çatlakları göstermektedir. Toprağın aşağıdan yukarıya doğru bıçak yörüngesi boyunca kesilmesi sırasında, bıçağın toprak yüzeyine yakın olduğu bölgelerde meydana gelen çatlaklar tork değerlerini önemli derecede etkilediğinden, geliştirilebilecek matematiksel model daha çok yukarıdan aşağıya doğru kesimler için uygundur.

## MATERYAL VE METOD

### 1. Temel Parametreler ve Tork Modeli

Toprak frezelerinin temel dizayn parametrelerinin saptanarak toprak işleme enerjisinin freze torkunun bir fonksiyonu olarak belirlenmesinde freze bıçağına ilişkin temel kavramların açıklıkla ortaya konması gerekmektedir. Toprak işleme sırasında toprak frezelerinin şaftında oluşan tork değerlerine etki eden fiziksel parametrelerin başında ise aletin ilerleme hızı, bıçak boyutları ile dönme hızları ve toprağın durumu gibi çok sayıda faktörler yer alır. Bıçağın ilerleme ve dönme hızının birbirine oranı, rotorun her dönüşünde kesilen toprak diliminin büyüklüğüne direkt olarak etkide bulunduğundan, bu değer titizlikle seçilmelidir. Hız oranının optimum değerden büyük seçilmesi durumunda, bir dönüşte kesilen toprak diliminin kalınlığı küçük olacağından, freze milindeki tork değerleri de buna bağlı olarak küçülür. Bıçakların bağlandığı rotorun üzerindeki bıçak sayısı da kesilen toprak diliminin kalınlığı üzerinde etkilidir (Hendrick ve Gill, 1974). Şekil 2. (b)'de bıçakların tamamlanmış yörüngesi ve bir devirde kesilen toprak şeridi, Şekil 2. (a)'da ise rotora bağlı bir bıçağın izlediği yörüngenin nasıl elde edildiği verilmiştir. Şekilde;  $b$  toprak diliminin kalınlığı,  $d_2$  ise çalışma derinliğidir. Bıçak yörüngesinin elde edilmesi, bir dönüşte rotor merkezi olan  $O$  noktasının  $L$  kadar ilerlemesinden hareketle, bu noktanın çeyrek dönüş için  $L/4$  kadar ilerlediği düşünülerek yapılmıştır (Hendrick ve Gill, 1978). Şu halde 1, 2 ve 3 noktalarına karşılık gelen B, C ve D noktaları sinusoidal bir yörünge üzerinde gösterilmiştir. Bu noktaların analitik düzlemdeki koordinatları ise,



Şekil: 2

(a) Bıçak Yörüngesinin Elde Edilmesi, (b) Kesilen Toprak Şeridi ve Tamamlanmış Bıçak Yörüngeleri

$$\begin{aligned} x &= V_f t + R \cos \omega t \\ y &= R \sin \omega t \end{aligned} \quad (1)$$

eşitliği ile bulunabilir. Eşitlikte  $V_f$  ve rotorun ilerleme ve açısal hızları,  $R$  rotor yarıçapı,  $t$  zamandır.

Tork hesaplamalarında yapılacak kabullenmelerin başında kesilen toprak diliminin içerisinde ilerleyen bıçağın yatay düzlemdeki hız bileşeni doğrultusunda hareket ettiği ve dönme açısına bağlı olarak her zaman diliminde bıçağın pozisyon açısının değiştiği gelmektedir. Bu yüzden tork değerleri, bıçağın toprağı kesme işlemi sırasında meydana getirdiği normal ve kesme gerilmelerine ait fonksiyonların aktif bıçak yüzeyi genişliğine göre alınan integralinden sayısal olarak hesaplanmıştır. Buna göre toprağı bıçak yörüngesinde kesmek için bıçağın ortasına etki eden kuvvet aşağıdaki eşitlikle belirlenir:

$$P = \delta g d_1^2 N_\delta + c d_1 N_c + q d_1 N_q + c_a d_1 N_a \quad (2)$$

Buradaki eşitlikte ise,  $\delta$  toprağın hacim ağırlığı ( $g/cm^3$ ),  $g$  yer çekimi ivmesi, ve  $c_a$  sırasıyla toprağın kohezyon ve adezyon katsayıları (kPa),  $q$  yatay düzleme gelen toprak basıncı,  $d_1$  bıçak boyunun düşey düzlemdeki izdüşüm uzunluğu,  $N_\delta$ ,  $N_c$ ,  $N_q$  ise sırasıyla toprağın bozulma mekanizmasındaki ağırlık, kohezyon ve basınç faktörleri olup toprağın içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve kohezyon katsayısına ( $c$ ) bağlıdır.  $N_a$  değeri ise adezyon faktörüdür ve adezyon

katsayısına ( $c_a$ ) bağılı olarak değişmektedir. Ne varki burada toprağın adezyon katsayısı kumlu topraklar için yaklaşık 2 kPa olarak alınmıştır (McKyes, 1985).

Kesilen toprak diliminin geometrisine bağılı olarak dilim içerisinde ilerleyen bir bıçağa etki eden kuvvetlerin yatay bileşkesi toprağı koparma, düşey bileşkesi de toprağı kesme etkisi yapmaktadır (Chang, 1985). Bıçak belirli bir zaman aralığında belirli bir açı ile kesme işlemini yaptığından, modelde hesaplanacak tork değerleri bıçağın toprağa girişinden kesme işlemi tamamlanincaya kadar geçecek zaman dilimi içerisinde bir değişim göstermektedir.

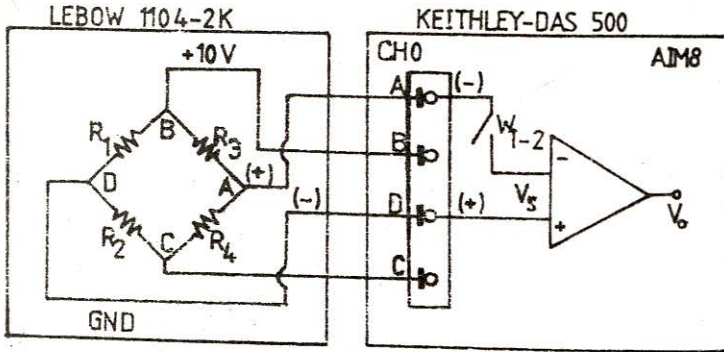
Tork modelinin sayısal çözümlemesi Fortran programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Programın temel girdileri, toprağın fiziksel parametreleri ile bıçak boyutları ve rotorun dönme hızlarıdır. Bilgisayar programı içerikleri % 9 ile % 12 oranlarında olan kumlu topraklar için geliştirilmiştir. Toprağın hacim ağırlığı  $1.4 \text{ g/cm}^3$  ile  $1.70 \text{ g/cm}^3$  arasında bir değişim gösterdiğinden, hesaplamalarda bu değerler de göz önünde bulundurulmuştur. Programlamada ilk adım, nem, yoğunluk, kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi ölçülmüş toprak parametreleri ile rotor ve bıçak parametrelerinin girdi olarak verilmesidir. Rotor parametreleri; rotor yarıçapı, üzerine bağılı bıçak sayısı, rotor devri ve rotor ilerleme hızıdır. Aynı şekilde, bıçak parametreleri ise; bıçak tipi, kesici kenar uzunluğu, kesme açısı ve toprak ile bıçak arasındaki sürtünme katsayısıdır.

Programlamada ikinci adım, toprak parametreleri arasında bir çoklu regresyon denklemi geliştirerek matematik modelde kullanılmak üzere parametreler arası ilişkileri belirlemektir. Bu ilişkilerden yararlanılarak, geliştirilen bilgisayar programı, kumlu topraklarda 2.5, 7.6, 12.7 ve 17.8 cm'lik işleme derinliklerine ait L şeklindeki bir freze bıçağının toprak yüzeyinden aşağıya doğru toprağı kesmesi sırasındaki freze bıçağının kinematiğine bağılı olarak bıçak yüzeyine etki eden kuvvetler ve bu kuvvetlerin rotor şaftında meydana getirdiği tork değerlerini hesaplamaktadır. Verilen işleme derinliklerinin ara noktalarına karşılık gelen toprak parametrelerinin sayısal karşılıkları çoklu regresyon denkleminde enterpolasyonla bulunmaktadır. Buna ilaveten, bıçakların rotora bağlandığı noktalardaki bağlanma açıları ile, bıçakların dönmesi sırasında çevre hızının üzerinde etkin rol oynadıkları bıçak süpürme açısı Lukyanov'un geliştirdiği hesaplama metoduna göre yapılmıştır (Hendrick and Gill, 1978).

## 2. Model Verifikasyonu

Toprak frezelerinin tork modelinde hesaplanan değerler  $2.0 \times 4.7 \times 0.75$  m ölçülerinde bir toprak kanalında yapılan denemelerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, modelin belirli sınırlarda ve belirli koşullarda geçerliliği araştırılmıştır. Burada 3 bıçaklı rotor ve rotor şaftı bir çatı üzerine yataklanmış, rotor şaftına hareket rotor devrinin 90 d/d olacak şekilde bir zincir-dişli sistemi ile iletilmiştir. Ana çatıya sökülebilir bir şekilde bağlanan bu sistem ile, ana çatının toprak kanalının her iki kenarına monte edilmiş raylar içerisinde kendi tekerlekleri üzerinde değişik hızlarda kaydırılarak ilerleme hızının tork üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 1.0 ve 1.65 m/s lik ilerleme hızları kullanılmıştır.

Tork algılayıcısı Eaton-Lebow 1104-2K serisinden olup +10V luk giriş voltajı ile beslenmiştir. Laboratuvar koşullarında elde edilen sistem kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak ölçülen mV değerleri Nm cinsinden tork değerlerine dönüştürülmüştür. Buna göre tork algılayıcısı ve data kontrol sistemi 22.6 Nm lik tork değerine karşı 2.032 mV çıktı voltajı üretmiştir. Tork algılayıcısı aktif datanın elde edilebilmesi için Keithley-DAS 500 data kontrol sistemi ile birlikte sadece 1 kanaldan ölçüm değerlerini algılayarak sonradan analizlerini yapmak üzere bir bilgisayarın belleğine aktarmıştır. Bu işlem Basic programlama yazılım dili kullanılarak hazırlanmış bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Denemede kullanılan tork ölçüm setindeki tork algılayıcısının data kontrol kartı ile bağlantısı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil: 3

Tork Algılayıcısı (Eaton-Lebow 1104-2K) ile Data Kontrol Sisteminin (Keithley-DAS 500) Bağlantı Şeması

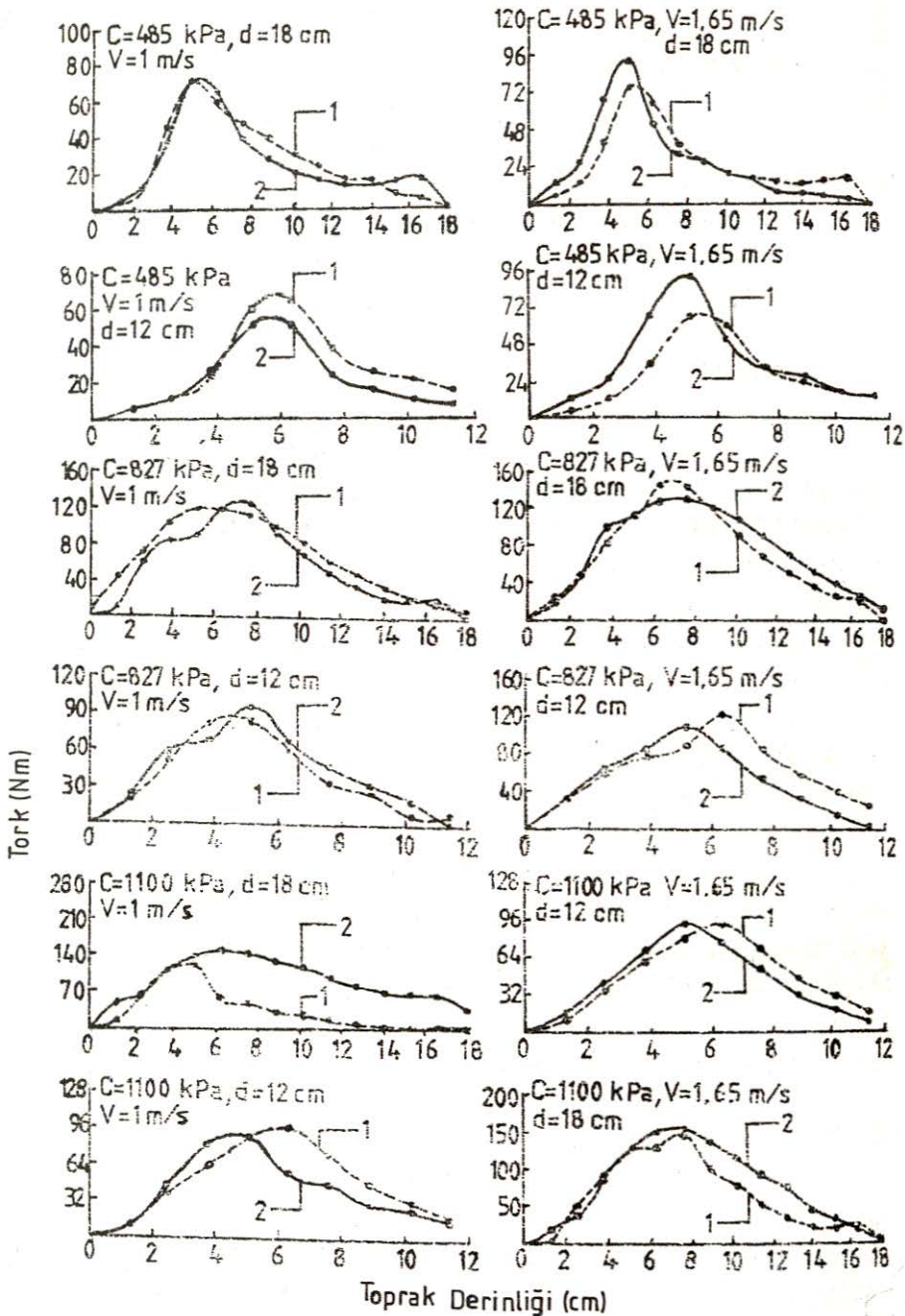
## TARTIŞMA VE SONUÇ

Tork algılayıcısı her 5 ms de ölçüm sonuçlarını elde ettiğinden 90 d/d da dönen bir bıçak için toprak yüzeyinden kesilen toprak dilimi boyunca yaklaşık 40 adet data elde edilmiştir. Bu değerlerden her 2.5 derecelik dönmeye karşılık gelen tork değerleri ölçülmüştür. Toprağın üç değişik kompaksiyon derecesinde ve iki farklı ilerleme hızında ve iki değişik toprak derinliğinde ölçülen tork değerleri ile tork modelinde hesaplanan değerler karşılaştırılmalı olarak Şekil 4'te verilmiştir.

Hesaplanan ve ortalama ölçülen tork değerleri bıçakların toprak yüzeyine yakın olduğu bölgelerde düşük değerlerdedir. Derinliğin artması ile belirli bir noktaya kadar tork değerleri artmakta ve bir maksimum değerden sonra hızla düşmektedir. İdealde aynı koşullar için ölçülen ve hesaplanan tork değerleri birbirine eşit bulunması gerektiğinden, ölçülen ve hesaplanan tork değerlerinin birbirinin fonksiyonu olarak ele alındığında bulunabilecek regresyon katsayısına ait korelasyon katsayısı bu yüzden yaklaşık 1 bulunması gerekirken gerçekte bu 0.84 olarak hesaplanmıştır. Bu sapmanın temel nedenlerinden birisi deneysel hatalara ve tork modelindeki hesaplamalarda yapılan kabullenmelere bağlanabilir.

Yapılan analizler, tork modelinin toprağın düşük kompaksiyon derecelerinde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Yine aynı şekilde bu modelin, bıçakların maksimum torku yaratmadan önceki tork değerlerinin, maksimum tork değerlerinden sonraki tork değerlerine kıyasla daha iyi hesaplamalar yapabildiğini göstermiştir. Yapılan istatistiksel analizlerin sonucunda toprak derinliği dikkate alındığında, 17.8 cm derinlikteki toprak işleme sırasında freze şaftına gelen tork değerleri, 11.4 cm derinliğe kıyasla daha kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Diğer koşullar sabit bırakılmak suretiyle ilerleme hızının 1.0 m/s den 1.65 m/s ye çıkarılması ise istatistiksel yönden önemli bir farklılığa neden olmamaktadır.

Maksimum tork değerleri incelendiğinde ise derinliğin ve toprağın kompaksiyon derecesinin önemi büyüktür. Derinlik ve kompaksiyon derecesi birlikte arttıkça maksimum tork değeri artmaktadır. Aynı şekilde ilerleme hızının 1.0 m/s den 1.65 m/s ye çıkarılması sonucu elde edilebilecek maksimum tork değeri üzerinde ilerleme hızının fazlaca önemli bir etkisi yoktur. Tablo 1'de derinliğe, ilerleme hızına ve toprağın kompaksiyon derecesine bağlı olarak hesaplanan ve ölçülen maksimum tork değerleri verilmiştir.



Şekil: 4  
Ortalama Ölçülen (1) ve Hesaplanan (2) Tork Değerleri



**Tablo: 1**  
**Üç Değişik Kompaksiyon Derecesi (KD) İçin Ölçülen ve**  
**Hesaplanan Maksimum Tork Değerleri**

		Ölçülen (Nm)		Hesaplanan (Nm)	
KD	Hız (m/s)	Derinlik (cm)		Derinlik (cm)	
		11.4	17.8	11.4	17.8
1	1.00	62.4	70.7	51.0	71.3
	1.65	65.0	74.3	91.4	88.4
2	1.00	82.2	119.7	95.4	124.6
	1.65	83.2	143.4	91.6	130.0
3	1.00	89.5	146.2	97.0	146.9
	1.65	93.6	155.2	92.0	148.5

Buradaki KD sırasıyla toprağın 485, 827 ve 1100 kPa değerindeki penetrometre ölçüm sonuçlarına karşılık gelmektedir.

Sonuç olarak, L şeklindeki bir freze bıçağının toprağı yukarıdan aşağıya doğru belirli bir yörünge boyunca kesmesi durumunda bu bıçağın bağlandığı rotorun miline gelen tork değerleri geliştirilen model aracılığı ile saptanabilir. Özellikle tarımsal üretimde çok büyük bir enerji kaybına neden olan toprak işleminin minimize edilebilmesi herşeyden önce toprak işlemede enerji tüketiminin modellenmesine bağlıdır. Model, gerek bütün tork değerlerini gerekse sadece maksimum torku % 90 ve % 95 güven sınırları içerisinde kalacak doğrulukta hesaplayabildiğinden, bu sistem toprağın kompaksiyon derecesinin algılayıcısının geliştirilebilmesinde temel bir yaklaşım olarak önerilebilir. Bu bağlamda, söz konusu model, toprak frezelerinde toprak işleme için sarfedilebilecek enerji miktarını, freze miline gelen tork değerlerinden hareketle kolayca hesaplayabildiğinden, bu konuda yapılabilecek başka çalışmalara ışık tutabilmesi açısından önemli olabilecektir. İlerisi için bu konuda yapılabilecek çalışmaların başında söz konusu modelin kohezyonun etkili olduğu killi topraklar için geliştirilmesidir.

## KAYNAKLAR

- CHANG, C. 1985. The soil Reactional Forces for Rotary Tiller Performance in forward and Reverse Direction of Rotation. International Conference on soil Dynamics, June 1985. Auburn University, Alabama.
- HENDRICK, J.G. and W.R. Gill, 1974. Rotary Tiller Design Parameters Part IV - Blade Clearance Angle. Transaction of the ASAE, Sayfa: 4-7.
- HENDRICK, J.G. and W.R. Gill, 1978. Rotary Tiller Design Parameters Part I - Kinematics, Transaction of the ASAE, Sayfa: 658-661.
- MCKYES, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York.
- OKURSOY, R. 1991. Development of a Soil Mechanical Impedance Sensor Using a Rotary Tiller Blade. Doktora Tezi, North Carolina State University, Biological and Agricultural Engineering Department, Raleigh, USA.