

## Traktöre Bağlanabilen Hidrolik Toprak Penetrometresi

Ercan GÜLSOYLU<sup>1</sup>

Engin ÇAKIR<sup>2</sup>

### Summary

#### Tractor Mountable Hydraulic Soil Cone Penetrometer

The soil cone index used to determine the soil strength is measured with "soil cone penetrometer". The soil cone index is defined as a force per unit base area of the cone required to push the penetrometer through a specified very small increment of soil. In this research, a new hydraulic soil cone penetrometer was designed and tested in the soil bin having sandy-loam and clay loam soils. Penetration resistance of the soil was measured with hydraulic soil cone penetrometer. The soil cone index was then calculated from the measured penetration resistance.

According to the results, it was proved that new design hydraulic soil cone penetrometer could be successfully used for measuring the soil penetration resistance accurately.

**Key words:** Cone index, penetrometer, soil mechanics

### Giriş

Toprak sıkışması, dış kuvvetler etkisiyle toprak parçacıklarının birbirine yakın şekilde istiflenmesi, diğer bir ifadeyle toprağın hacim ağırlığının artışı ve porozitesinin azalmasıdır. Bu durum bitkinin gelişmesini engelleyen, hatta durduran bir olaydır. Toprak işlemede sıkışan toprağın gevşetilmesi sırasında harcanan enerji miktarı artmakta ve işlem maliyeti yükselmektedir. Bu nedenle toprak işleme aletlerinin toprakta karşılaştıkları direnç kuvvetini belirlemede toprak sertliğini karakterize eden koni indeksinin bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca traktörlerin geliştirdikleri çeki kuvvetinin tahminlenmesinde de koni indeksinden yararlanılmaktadır (Çakır ve ark, 2004).

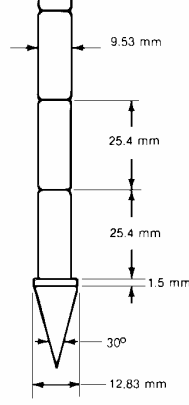
Toprak sertliğini belirlemede kullanılan koni indeksi "Toprak Penetrometresi" ile ölçülür. Standart bir penetrometre; 30° uç açılı,

---

<sup>1</sup> Yrd.Doç.Dr. E.Ü.Z.F. Tarım Makinaları Bölümü, [gulsoylu@ziraat.ege.edu.tr](mailto:gulsoylu@ziraat.ege.edu.tr)

<sup>2</sup> Doç.Dr. E.Ü.Z.F. Tarım Makinaları Bölümü, [ecakir@ziraat.ege.edu.tr](mailto:ecakir@ziraat.ege.edu.tr)

323 mm<sup>2</sup> taban alanlı konik uca sahiptir (Şekil 1). Penetrometrenin toprağı delme hızı 30 mm/s'dir (Anonim, 1994).



Şekil 1. Penetrometre çubuğı (Anonim, 1994)

Koni indeksi, konik ucun toprağı batırılması sırasında toprağın gösterdiği direnç kuvvetinin koni taban alanına bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{F}{A}$$

CI.....Koni indeksi, MPa

F.....Toprağın penetrasyon direnci, N

A.....Koni taban alanı, mm<sup>2</sup>

Toprak koni indeksi ve penetrometre konularında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Freitag (1967), toprak özelliklerinin penetrasyon ölçümleri ile olan ilişkilerini araştırmıştır. Toprak sıkışmasının toprak hacim ağırlığı ile doğrusal bir ilişkisi olduğunu belirtmiştir. Wismer ve Luth (1973), Gee-Clough (1978) ve Brixius (1987) yaptıkları araştırmalarda; koni indeksi, lastik boyutları, patinaj ve aks yüklerinden yararlanılarak traktörlerinin geliştirebileceğı çeki kuvvetini tahminleyebilecek deneysel eşitlikler ortaya koymuşlardır. Oskoui ve Witney (1982) toprak hacim ağırlığı, nem ve pulluğına ait bazı faktörlere bağılı olarak toprak koni indeksi yardımıyla pulluğun çeki kuvveti gereksiniminin tahminlenebileceğini ifade etmişlerdir. Tekin ve Okursoy (2001) yaptıkları bir çalışmada toprak sıkışıklılığını tarla koşullarında kolayca ölçmek amacıyla, hidrolik tahrikli bir penetrometre geliştirmişlerdir.

Toprağın penetrasyon direnci ölçümleri özellikle toprak sertliğinin yüksek olduğu şartlarda hem zor hem de zaman almaktadır.

Toprak işleme araştırmalarında bu ölçümlerin doğru ve kısa zamanda yapılması önemlidir. Bu amaçla, traktörün üç nokta asma düzenine bağlanabilen hidrolik bir penetrometre cihazı geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın kaynağını oluşturan proje, Ege Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince desteklenmiştir.

### Materyal

Toprağın penetrasyon direncini ölçmek amacıyla dizayn edilen penetrometre cihazı *mekanik*, *hidrolik* ve *elektronik* olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Çatı ve bazı parçalar E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atelyelerinde imal edilmiştir. Hidrolik sistemi oluşturan elemanların bazı özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir..

Çizelge 1. Hidrolik sistemde kullanılan elemanların bazı özellikleri

Parça Adı	Teknik Özellikler
1 – Hidrolik silindir	40/28 H:600 mm önden flans bağlantılı
2 – Yön kontrol valfi	4/3 Yön kontrol valfi, kumanda kollu
3 – Akış kontrol valfi	Germany MNA NDPV 10
4 – Manometre	250 Bar
5 – Hidrolik hortumlar	SAE 100 R 2 AT

Çift etkili hidrolik silindir; penetrometre çubuğunun aşağı ve yukarı hareketini ve toprağa batırılmasında gerekli kuvveti sağlar. Yön kontrol valfi ile basınçlı yağ, isteğe bağlı olarak, çift etkili hidrolik silindirin üst ya da alt kısmına gönderilir.

Penetrometre ucunun toprağa batma derinliğini ölçmek amacıyla OPKON LPT 600 marka derinlik ölçer (LVDT “Linear Variable Displacement Transducer”) kullanılmıştır.

Hidrolik silindirde piston ile penetrometre çubuğu arasına dikey olarak yerleştirilmiş olan kuvvet ölçer ile toprağın direnç kuvveti ölçülmektedir. S tipi TEDEA, Huntleigh model (No: 614) kuvvet ölçer 2000-N çeki veya basıyı ölçebilmektedir. Yükleme sırasında oluşan sinyal değeri, Hottinger marka MC3 konvertörden geçtikten sonra ADAM 5000 veri toplama ve depolama ünitesine ulaşmaktadır. Sinyal işleme ve değerlendirme ünitesi olarak *Advantech* firmasının ürettiği ADAM 5000 veri toplama ve kontrol sistemi kullanılmıştır Sinyal işleme ve değerlendirme ünitesinin çalışmasında bilgisayar programı (VisiDAQ) kullanılarak strateji oluşturulmuş ve verilerin hangi sırada okunacağı ve depolanacağı bu program yardımıyla kontrol edilmiştir. Ölçüm için gerekli programın çalışması ve verilerin depolanması için Fujitsu Siemens C-4345 bilgisayarı kullanılmıştır.

Hidrolik toprak penetrometresinin toprak koşullarındaki denemeleri, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünün toprak kanalında yapılmıştır. Denemeler, bölgeyi karakterize eden iki farklı toprak tipinde; kumlu-tın (%19.6 kil, %22.96 mil ve %57.44 kum) ve killi-tın (%33.6 kil, %38.96 mil ve %27.44 kum) da yürütülmüştür.

### **Yöntem**

Kuvvet ölçerin kalibrasyonu; laboratuvarında 0.5, 2.5, 10 ve 20 kg ağırlıklarla yüklemelere tabi tutularak yapılmıştır. Veriler bilgisayara kaydedilmiş ve regresyon analizi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Derinlik ölçerin kalibrasyonu; yatay bir zeminde 1 cm'den 60 cm'e kadar 1'er cm aralıklarla çekilerek elde edilen değişimler volt değeri olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Daha sonra regresyon analizi yapılarak kalibrasyon sonuçları elde edilmiştir.

Penetrometrenin çalışma koşullarındaki durumunu belirlemek amacıyla denemeler toprak kanalında yapılmıştır. Toprak önce 5 ayaklı çizelle 30 cm derinlikte işlenmiş daha sonra freze ile kabartılmıştır. Toprak kanalında farklı hacim ağırlıkları elde etmek amacıyla toprak silindir geçirilerek sıkıştırılmıştır. İlk deneme için bir kez, ikinci deneme için ise üç kez silindir geçirilmiştir. İki farklı toprakta iki farklı nem ve hacim ağırlığında toprağın penetrasyon direnci hidrolik penetrometre ile ölçülmüştür.

Penetrasyon direnci ölçümleri her bir denemede üç tekerrürlü olarak uygulanmış ve denemeler sonunda kaydedilen veriler Microsoft Excel bilgisayar programıyla değerlendirilmiştir.

Toprağın fiziksel özelliklerinin (nem, hacim ağırlığı, porozite) ölçümleri için EijelKamp marka toprak örnek alma kapları kullanılarak toprak örnekleri alınmıştır.

### **Bulgular ve Tartışma**

#### **Hidrolik Penetrometre Cihazının Oluşturulması**

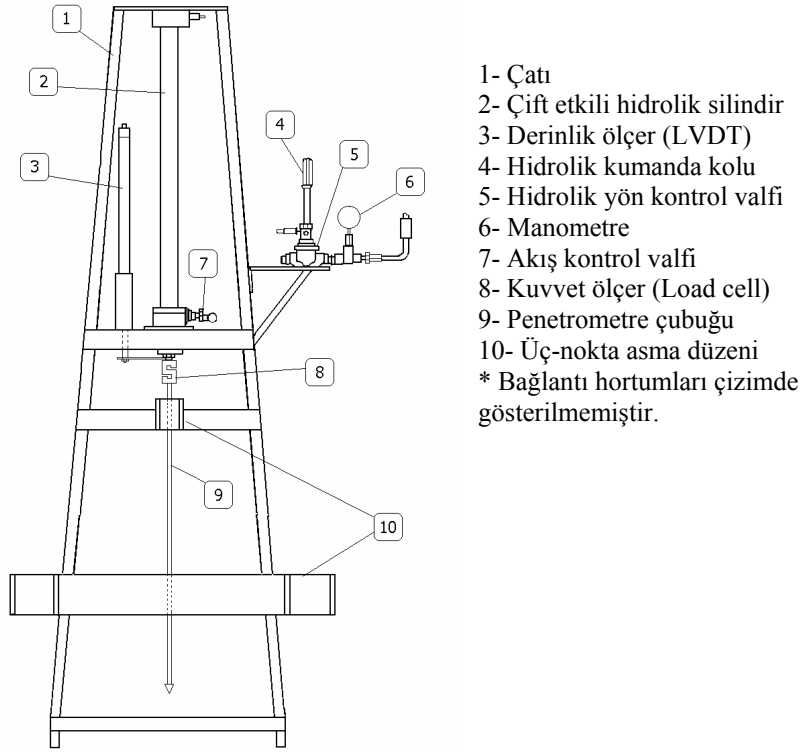
Hidrolik penetrometre cihazı üç bölümden oluşmaktadır;

- a) Çatı ve bağlantı elemanlarının bulunduğu MEKANİK kısım,
- b) Penetrometre çubuğunun hareketini sağlayan HİDROLİK kısım,
- c) Deneme esnasında ölçülen kuvvet ve derinlik verilerinin ölçülüp depolandığı ELEKTRONİK kısım.

Hidrolik penetrometrenin çatısı, 50x30 mm kutu profilden dört taşıyıcı sütunun üst ve alt kısmı 30x30 mm köşebentten çerçeve

yapılarak birbirine kaynaklanmasıyla oluşturulmuştur. Çatı üç nokta asma düzeni ile traktöre bağlanabilmektedir. Çatının genel boyutları yükseklik genişlik ve derinlik olarak 187 x 81 x 67 cm dir.

Hidrolik silindir, bağlantı flanşlarıyla çatının üst ve orta kısmındaki saç plakalar arasına cıvatalarla bağlanmıştır. Hidrolik yön valfinin çatıya bağlanması için çatının yan tarafına sactan bir platform oluşturulmuştur. Penetrometre cihazının genel görünüşü Şekil 2’de verilmiştir.

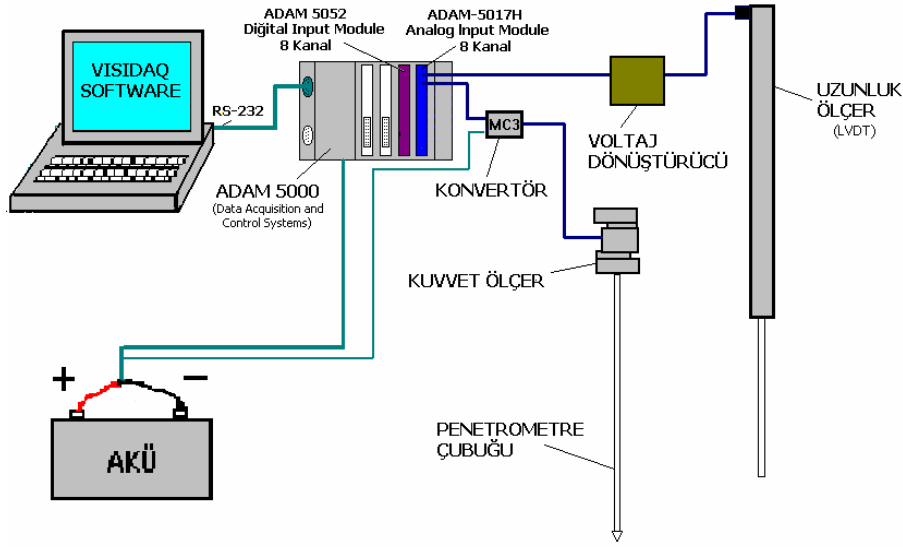


Şekil 2. Hidrolik penetrometreyi oluşturan parçalar (Çakır ve ark, 2004)

Derinlik ölçer hidrolik silindir piston ucuna bir bağlantı parçası yardımıyla bağlanmıştır. Bu parçanın hemen altına “S tipi” kuvvet ölçer takılmıştır. En son olarak penetrometre ucu pasolu bir şekilde kuvvet ölçere bağlanmıştır. Hidrolik yağ akışının sağlandığı hortumlar, uçlarındaki hızlı kavrama ile traktör arkasındaki hidrolik güç çıkış prizlerine kolayca takılıp sökülebilmektedir.

Hidrolik penetrometrenin elektronik kısmını oluşturan parçalar Şekil 3’de verilmiştir. Sistemde kuvvet; “S tipi” 2000 N luk bir kuvvet ölçer ile, derinlik 0-60 cm uzama aralığında çalışan bir derinlik ölçer

ile algılanmıştır. Elde edilen sinyaller ADAM 5000 veri toplama ve kontrol sistemi yardımıyla her bir ölçüm cihazından saniyede 40 veri okuyacak şekilde bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayardaki VisiDAQ programından yararlanılarak hazırlanan ölçme stratejisi yardımıyla veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Bilgisayardaki kayıt dosyaları Microsoft Excel programında açılarak matematiksel değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 3. Elektronik ölçme sisteminin bağlantı şeması (Çakır ve ark, 2004)

Yöntemde açıklandığı gibi kuvvet ölçerin kalibrasyonu yapılmış ve değerler regresyon analizine tabi tutulmuştur.

Regresyon sonuçlarına göre aşağıdaki formülle penetrasyon direnç kuvveti tahminlenmiştir ( $r^2=0.997$ ).

$$F = 9.934 + 386.329 X$$

F.....Penetrasyon direnç kuvveti, N  
X.....Ölçülen volt değeri, v

Yöntemde açıklandığı gibi derinlik ölçerin kalibrasyonu yapılmış ve değerler regresyon analizine tabi tutulmuştur Regresyon sonuçlarına göre penetrometre çubuğunun batma derinliği aşağıdaki formülle tahminlenmiştir ( $r^2=0.999$ ).

$$h = 0.647 + 15.927 X$$

h..... Batma derinliği, (cm)

X.....Ölçülen volt değeri, (v)

### Toprak Kanalındaki Denemeler

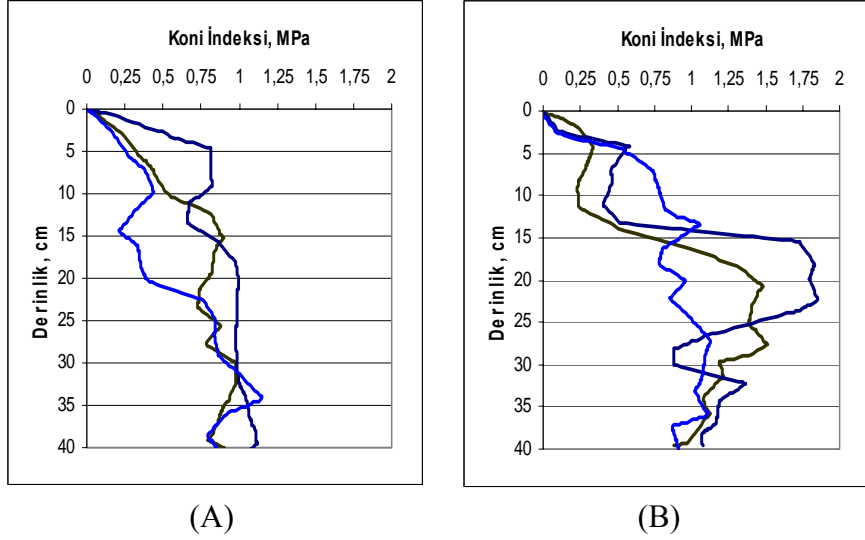
Hidrolik penetrometre ile penetrasyon direnci materyal bölümünde açıklandığı gibi hazırlanmış toprak kanalında ölçülmüştür. Veriler Microsoft Excel programında kalibrasyon eşitlikleri kullanılarak, ölçülen volt değerleri kuvvet ve uzama değerlerine dönüştürülmüştür. Yöntemde açıklandığı gibi farklı toprak şartlarında derinliğe bağlı koni indeksi değerleri belirlenmiştir. Denemelerin yürütüldüğü topraklara ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneme topraklarının bazı fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Kumlu-Tın		Killi-Tın	
	1 Kez Silindir	3 Kez Silindir	1 Kez Silindir	3 Kez Silindir
Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	1.31	1.42	1.46	1.62
Nem (%)	15.3	13.4	13.5	16.9

Toprak kanalında, iki farklı toprak ve sıkıştırma basınçlarında hazırlanmış olan toprakta yapılan penetrasyon direnci ölçüm sonuçlarından önemli görünen ikisi, Şekil 4'de verilmiştir. Derinlik değişimine bağlı olarak toprak kanalında farklı nem ve basınçtaki koni indeksi değerleri 40 cm'lik toprak profilinde görülmektedir.

Genel olarak toprağın koni indeksi değerleri kumlu-tınlı toprakta ilk 15 cm derinliğine kadar artmakta daha sonra 1 MPa değerinde kalmaktadır. Killi-tın bünyeye sahip toprakta ise koni indeksi 15 cm derinlikte 0.75 MPa, daha sonraki derinliklerde ise 1.75 MPa'a kadar ulaşmaktadır. Bu değer derinlere gidildikçe 1 MPa değerlerine kadar azalmaktadır. Freze ile toprağın ilk 15 cm derinliği işlendiği için toprak sıkışmasının bu derinlikten sonra bariz bir şekilde ortaya çıktığı görülmüştür.



Şekil 4. (A) Bir kez silindirle sıkıştırılmış kumlu-tın toprağın penetrasyon direnci  
(B) Bir kez silindirle sıkıştırılmış killi-tın toprağın penetrasyon direnci  
(Çakır ve ark, 2004)

Daha çok sıkıştırılmış (3 kez silindir geçirilerek) olan kumlu-tın toprağının ilk 15 cm derinlikteki koni indeksi 1 MPa ölçülürken bu değer daha az sıkıştırılmış (1 kez silindir geçirilerek) kumlu-tın toprakta 0.75 MPa değerinde değişmektedir. Benzer sonuçlar aynı şekilde killi-tın bünyeli toprakta da bulunmuştur.

### Sonuç

Hidrolik penetrometre traktörün üç nokta askı düzenine bağlanmakta ve hidrolik yağ gücünü traktörün ana hidroliğinden almaktadır. Veri toplama ve kontrol sistemi yardımıyla her bir ölçüm cihazından saniyede 40 veri bilgisayara aktarılabilir.

Penetrometre çubuğu toprağa standartlara uygun olarak 30 mm/s hızla toprağa batırılmakta ve işlem sonucunda çok daha hızlı bir şekilde geri çekilerek bir sonraki ölçüme hazır hale getirilebilmektedir.

Toprağın farklı nem ve sıkışma basıncına bağlı olarak elde edilen kuru hacim ağırlığı arttıkça, toprağın penetrasyon direnci dolayısıyla ölçülen koni indeksi değerleri de artmaktadır.

Hidrolik penetrometre toprağın 50 cm derinliğine kadar penetrasyon direncini hızlı ve doğru bir şekilde ölçebilmektedir.



## Özet

Toprak sertliğini belirlemede kullanılan koni indeksi ”*Toprak Penetrometresi*” ile ölçülür. Koni indeksi; toprak penetrometresi ile toprağı delme kuvvetinin penetrometre konisinin taban alanına oranıdır. Bu araştırmada, yeni bir hidrolik penetrometre dizayn edilmiş ve toprak kanalında kumlu ve killi-tınlı olmak üzere iki farklı toprakta denlenmiştir. Hidrolik toprak penetrometresi ile toprak penetrasyon direnci ölçülmüştür. Penetrasyon dirençlerinden toprağın koni indeksi değerleri hesaplanmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre, yeni dizayn edilen hidrolik toprak penetrometresinin toprağın penetrasyon direncini başarıyla ölçebileceği görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Koni indeksi, penetrometre, toprak mekanięi.

## Kaynaklar

- Anonim. 1994. ASAE Standards. Soil Cone Penetrometer. ASAE S313.1 Page.687.
- Brixius, W. 1987. Traction Prediction Equation for Bias Ply Tires. ASAE Paper No.87-1622. St.Joseph. Michigan, USA.
- Çakır, E., E. Gülsoylu ve G. Keçecioglu. 2004. Farklı Toprak Koşullarında Koni İndeksi, Nem ve Hacim Ağırlığı Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, E.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi (2001/ZRF/013) Kesin sonuç Raporu, 27 s. Bornova, İzmir.
- Freitag, D.R. 1967. Penetration Tests for Soil Measurements. ASAE Paper No.67-652. St.Joseph. Michigan, USA.
- Gee-Clough, D., M. McAllister, G. Pearson and D.W. Evarnden. 1978. The Empirical Prediction of Tractor-Implement Field Performance. Journal of Terramechanics. Vol.15. No.2, 81-94.
- Oskoui, K.E. and B.D. Witney. 1982. The Determination of Plough Draught- Part I. Prediction From Soil and Meteorological Data With Cone Index As The Soil Strength Parameter. Journal of Terramechanics. Vol.19 No. 2 pp.97-106.
- Tekin Y. and R. Okursoy. 2001. Toprak Sıkışıklığının Belirlenmesinde Kullanılan Bir Elektronik Veri Toplama Cihazı. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Sayfa: 134-139, şanlıurfa.
- Wisner, R.D. and H.J. Luth. 1973. Off-Road Traction Prediction for Wheeled Vehicles. Journal of Terramechanics, Vol.10. No.2, 49-61.