

Penetrasyon Direncine Etki Eden Toprak Özelliklerine Ait Etki Katsayılarının Çoklu Regresyon Analizi ile Belirlenmesi

Bülent TURGUT

Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 25090 Dadaşkent-Erzurum (turgutbulent@hotmail.com)

E. Lütüf AKSAKAL

Taşkın ÖZTAŞ

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, 25240 Erzurum

G. Emel BABAGİL

Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 25090 Dadaşkent-Erzurum

Geliş Tarihi : 01.05.2008

ÖZET : Bu araştırma Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü (DATAE) Ilica Deneme İstasyonu arazisindeki hububat üretim alanlarında karşılaşılan toprak sıkışması probleminin penetrasyon ölçümleriyle belirlenmesi ve penetrasyon direnç değerlerine etki edebilecek toprak özelliklerinin saptanması amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla çalışma arazisi kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde 80 m aralıklarla hatlara bölünmüş ve hatların çakışma noktalarında penetrasyon direnç değerleri ölçülmüştür. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini (penetrasyon direncinin belirlendiği andaki nem içeriği, toprakların kum, silt ve kil içeriği, kütle yoğunluğu, agregat stabilitesi, agregat büyüklük dağılımı, pH, kireç içeriği, elektriksel iletkenlik ve organik madde miktarı) belirlemek amacıyla üst ve alt toprak katmanlarından örnekler alınmıştır. Uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda penetrasyon direnci değerlerinde etkili olan toprak özelliklerinin üst ve sıkışmış toprak katmanı nem içerikleri, sıkışmış toprak katmanı kütle yoğunluğu, sıkışmış toprak katmanı organik madde içeriği ve üst toprak katmanı silt içeriği olduğu belirlenmiştir. Üst toprak katmanı penetrasyon direnç değerlerinde etkili olan toprak özellikleri üst toprak katmanı agregat stabilitesi, nem içeriği ve kireç içeriği, sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direncinde etkili olan toprak özelliklerinin ise bu katmana ait kütle yoğunluğu ve nem içeriği olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çoklu regresyon, toprak sıkışması, penetrasyon direnci

Defining Partial Effect Coefficients of Soil Properties Affecting on Soil Penetration Resistance Using Multiple Regression Analysis

ABSTRACT : The objective of this study was to determine soil compaction problems using penetration measurements and effect of soil properties affecting on soil penetration resistance by multiple regression analysis. The research area is located at the Eastern Anatolia Agricultural Research Institute (EAARI)-Ilica Experimental field in which a severe soil compaction problem is exist in cereal production areas. The experimental field was gridded with 80 m intervals in the E-W and N-S directions, and soil penetration resistance was measured at 72 intersections using a penetrometer. Soil samples from upper and lower soil layers were also taken at the same points for determining physical and chemical soil properties. Soil moisture contents at the time of penetration measurements, sand, silt and clay contents, bulk density, aggregate stability, aggregate size distribution, soil pH, CaCO₃ content, electrical conductivity and organic matter content of soil samples were determined. The stepwise regression analysis results indicated that the most important factors affecting on the mean soil penetration resistance through 80 cm soil depth profile were moisture contents of upper soil layer and lower soil layer, bulk density and organic matter content of lower soil layer. It was also determined that the moisture content of upper soil layer, aggregate stability and clay content were the most effective factors on the penetration resistance of the surface soil layer, but moisture content and bulk density for the compacted (lower) soil layer.

Keywords: Multiple regression, soil compaction, penetration resistance

GİRİŞ

Toprak, mineral ve organik bileşenlerden meydana gelen katı faz ile toprak suyu ve havası tarafından işgal edilen gözeneklerden oluşan karmaşık bir sistemdir. Toprağın mineral fazını oluşturan farklı toprak fraksiyonlarının birim kütle içerisindeki karışım oranları ve paketlenme düzenleri, toplam gözenek hacmi ve gözenek geometrisi ile toprağın organik bileşenleri, o toprağın yapısal davranışları ve verim gücüne önemli ölçüde etki etmektedir.

Verimi etkileyen anahtar toprak özellikleri; besin elementi içeriği, su tutma kapasitesi, organik madde içeriği, toprak reaksiyonu, üst toprak katman derinliği, tuzluluk ve toprak biyomasıdır. Zaman içerisinde bu özelliklerdeki olumsuz değişiklikler

“degradasyon” sürecini ortaya çıkarmaktadır. Degradasyon süreci erozyon, sıkışma, asitleşme, toprak organik maddesinde azalma, toprağın verimliliğinde azalma, biyolojik bozulma ve toprak kirliliğini içermektedir (Secherr, 1999).

Yirminci yüzyılın ortalarından itibaren etkili olmaya başlayan toprak degradasyonu problemi gelişmekte olan ülkelerdeki tüm tarım arazilerinin %16’sında ve tarla arazilerinin ise daha büyük bir kısmında kendini göstermektedir. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen bozulmalar verimde azalmaya ve üretim maliyetlerinde de bir artışa neden olmaktadır. Yılda yaklaşık 5–7 milyon hektarlık bir alan üretim dışı kalmaktadır. Degradasyon, özellikle gelir düzeyi

düşük üreticileri tehdit etmektedir, çünkü bu üreticilerin üretim için gerek duyulan girdileri sağlamaları son derece sınırlıdır ve üretim yaptıkları toprakların kaliteleri tarımsal üretimin temel belirleyicisidirler (Lal, 2006).

Toprak kalitesi; toprak tekstürü, derinliği, geçirgenliği, biyolojik aktivitesi, su ve besin elementi depolama kapasitesi ve organik maddesi gibi niteliklere bağlıdır. Topraklar yaşayan dinamik sistemlerdir. Yüksek kaliteli topraklar üzerinde yapılan tarımsal üretimler daha verimli olmakta ve buna bağlı olarak elde edilen fayda yüksek olmaktadır. Toprak sıkışması toprak kalitesinin düşmesinde etkili olan faktörlerden biridir. Yaygın olarak bilinenin aksine, erozyon toprak degradasyonun tek ve en önemli nedeni değildir. Toprak sıkışması ve tuzlulaşma en sık görülen ve telafisi çok güç olan toprak degradasyonu süreçlerinin başlıcalarıdır (National Research Council, 1993).

Toprak sisteminin doğal durumdaki strüktürel yapısında yağış veya mekaniksel dış kuvvetlerin etkisi altında meydana gelen bozulmalar, genellikle toprak parçacıklarının daha sıkı bir şekilde yeniden dizilimleri ile sonuçlanmaktadır. Bu durumda toprağın kütle yoğunluğundaki artış olarak tanımlanan toprak sıkışması ortaya çıkmakta ve bu da toprak-bitki-su ilişkilerini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıkışma sonucunda toprağın yoğunluğu artarken boşlukların oranı azalmaktadır. Artan toprak yoğunluğunun bir sonucu olarak daha sert bir yapı oluşmakta ve hidrolik iletkenlik değeri de buna bağlı olarak düşmektedir.

Toprak sıkışmasının iki tipinden bahsetmek mümkündür, bunlar yüzey sıkışması ve derin sıkışmadır. Yüzey toprak sıkışması toprak yüzeyine yakın yerlerde meydana gelmekte ve toprak yüzeyine uygulanan basınçlardan birincil derecede etkilenmektedir. Donma-çözülme ve ıslanma-kuruma döngüleri ve toprak işleme uygulamaları sıkışmış tabakanın kırılmasında oldukça etkilidir. Derin sıkışma olarak ta adlandırılan alt toprak katmanlarında meydana gelen sıkışma, toprak yüzeyinden yaklaşık 70 cm' ye kadar olan alt katmanlarda oluşmaktadır. Bu sıkışmanın ana nedeni toprak işleme uygulamalarında kullanılan araçların ağırlığıdır. Derin sıkışmanın meydana geldiği katman toprak işleme zonunun altında kaldığı için bu sıkışmanın giderilmesi son derece güçtür. Donma-çözülme ve ıslanma-kuruma gibi doğal süreçler bu derinlikte meydana gelen sıkışmayı çok az etkilemektedirler. Derin sıkışma sonucu toprak profilinin alt kısımlarında toprak suyu ve havasının depolanması ve hareketinin kısıtlanması bütün bitkiler için olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Yonca ve mısır gibi derin köklü bitkilerin kök gelişimleri derin sıkışmadan dolayı engellenmekte ve buna bağlı

olarak bitkilerin verim ve kalite potansiyellerinde bir azalma meydana gelmektedir (Anonymus, 1996).

Toprak işleme aletlerinin boyutlarının ve tarla trafiğinin artması ve yönetim uygulamalarında ekim nöbetine yer verilmemesi gibi nedenlerden dolayı toprak sıkışması son yıllarda ciddi bir sorun olmaya başlamıştır (Kok et al., 1996). Günümüzde kullanılan tarım aletlerinin ağırlıkları bile tek başlarına toprakların ilk 10–20cm'lik kısmında sıkışma için yeterli bir sebeptir. Ağır makine kullanımından dolayı oluşmuş toprak sıkışması problemi yine toprak işleme uygulamaları ile giderilebilmektedir (National Research Council, 1993).

Sıkışmış topraklarda bitki kök gelişimi mekanik dirençten dolayı engellenmekte ve buna bağlı olarak toprak profili içerisinde kök dağılımı da düzensiz olmaktadır. Toprak sıkışması aynı zamanda gözeneklerin miktarlarını ve büyüklük dağılımlarını değiştirerek toprak içerisinde gaz değişimini de engellemektedir. Toprak havasında oksijen miktarındaki eksiklik ya da karbondioksit oranındaki fazlalık bitki köklerinin gelişimini ve fonksiyonlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Toprak havasındaki bu olumsuz durum mikrobiyal süreçle de birleşince besin elementlerinin yarayışlılığını azaltmakta ve toksik maddelerin oluşumunu hızlandırmaktadır. Tüm bu olumsuz koşullar ise kaçınılmaz olarak bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Hartge and Stewart, 1995).

Toprak penetrasyon direnci hacim ağırlığı ve tane büyüklük dağılımı tarafından önemli düzeyde etkilenmektedir (Gupta et al., 1989; Carter, 1990). Ayrıca toprak penetrasyon direncinin toprak strüktürüne ve nem içeriğine bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir (Busscher, 1990).

Akgül (1987), toprakların kum içeriklerindeki artışa bağlı olarak toprakların hacim ağırlıklarının arttığını ve kil içeriklerinin artması ile de hacim ağırlıklarının azaldığını belirtmiştir.

Bu çalışma, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü (DATAE) Ilıca Deneme İstasyonu arazisindeki hububat üretim alanlarında karşılaşılan toprak sıkışması probleminin penetrasyon ölçümleriyle belirlenmesi ve penetrasyon direnç değerlerine etki edebilecek toprak özelliklerinin saptanması amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL ve METOT

Çalışmanın yürütüldüğü Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Ilıca Deneme İstasyonu Erzurum'un 15 km batısında yer almaktadır. Deneme istasyonuna ait koordinatlar UTM olarak 37S 680578D-4424132K, 681149D-4423935K, 680822D-4424836K ve 681386D-4424643K dir.

Çalışma alanı toprakları, alüvial ana materyallerden oluşmuş topraklardır. Bu alanların tamamında toprak işlemeli tarım yapılmaktadır.

Özgül (2003) çalışma alanı topraklarında üç farklı litolojik kesiklik olduğunu saptamıştır. Yapılan profil incelemesinde sıkışmış katmanın hemen altında nispeten strüktür oluşumuna sahip 60-90 cm derinlikte tane iriliği farklı bir katman bulunmuştur. Bu katmanın altında ise yine zayıf prizmatik strüktüre sahip bir birikme katmanı mevcut olup zayıf (B) olarak nitelendirilmiştir. Çalışma alanındaki toprakların ABD toprak taksonomisine göre entisol sırası, aquent alt sırası ve flavaquent büyük grubuna dâhil olduğu belirlenmiştir.

Toplam 440 da'lık alana sahip Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü (DATAE) Ilıca Deneme İstasyonu arazisi, kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularında 80 m aralıklara sahip hatlara bölünmüş ve bu hatların kesişme yerlerindeki 72 noktanın üst ve sıkışmış toprak katmanlarından, hasattan hemen sonra toprak neminin örnekleme için uygun olduğu dönemde toprak örnekleri alınmıştır.

Penetrasyon direnç değerleri 80cm'lik profil boyunca her 1cm'de dijital olarak kaydedilmiş ve veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçümlerde taban alanı 1 cm² olan koni şeklinde uç kullanılmıştır.

Çalışmada; toprak tekstürü, pH, kireç, organik madde, elektriksel iletkenlik, agregat stabilitesi, agregat büyüklük dağılımı, kütle yoğunluğu ve nem içeriği gibi temel toprak parametreleri belirlenmiştir. Tanımlayıcı istatistik analizi ile veri setinde yer alan tüm toprak örnekleri için ortalama, standart sapma, minimum, maksimum, varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmış ve incelenen toprak özelliklerinin ortalama penetrasyon direnci, üst toprak katmanı penetrasyon direnci ve sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnci üzerine etkilerini görmek için çoklu regresyon analizlerinden Stepwise yöntemi kullanılmıştır. Model oluşturulurken incelenen toprak özelliklerinin penetrasyon direncini açıklamadaki güçleri göz önünde bulundurulmuş ve ileriye doğru seçim yöntemi uygulanmıştır (Özdamar 2002).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

İncelenen toprak özelliklerine ait ortalama (\bar{x}), standart sapma (σ), varyasyon katsayısı (VK), en düşük değer (min), en yüksek değer (max), çarpıklık (skew) ve basıklık (kurt) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Arazi genelinde ortalama penetrasyon

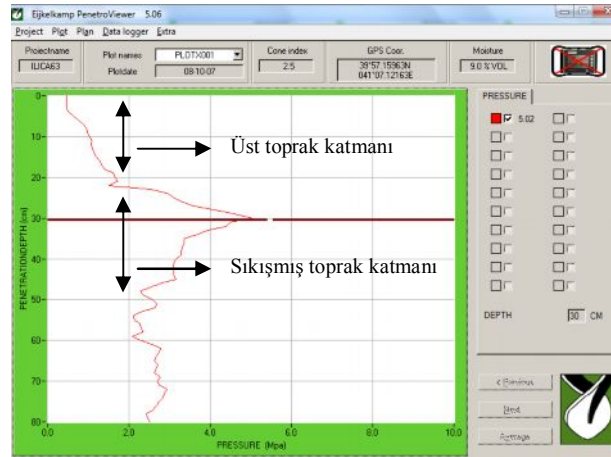
Çizelge 1 İncelenen toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları

İncelenen toprak özelliği	\bar{x}	σ	VK (%)	Min.	Max.	Skew.	Kurt.
Ortalama penetrasyon direnci (MPa)	3,58	±0,84	24	1,3	5,7	-0,26	0,43
Üst toprak penetrasyon direnci (MPa)	1,62	±0,58	36	0,2	3,2	-0,12	0,16
Sıkışmış katman penetrasyon direnci (MPa)	4,67	±1,07	23	2,0	7,1	0,01	-0,43
Üst katman toprak nemi (%)	10,3	±3,0	29	5,9	25,2	2,83	10,9
Sıkışmış katman toprak nemi (%)	20,3	±3,5	17	11,8	34,1	0,58	2,66
Üst katman kum (%)	21,3	±5,1	24	15,6	38,3	1,54	2,32
Sıkışmış katman kum (%)	23,3	±7,4	29	15,6	53,3	1,97	4,56
Üst katman silt (%)	38,7	±3,9	9	26,7	46,7	-0,41	0,21
Sıkışmış katman silt (%)	35,2	±5,7	16	17,4	50,0	-0,31	0,79
Üst katman kil (%)	40,1	±5,6	14	25,5	51,1	-0,36	0,40
Sıkışmış katman kil (%)	39,5	±7,8	20	15,6	57,1	-0,23	0,40
Üst katman kütle yoğunluğu (g cm ⁻³)	1,04	±0,08	9	0,9	1,57	0,15	0,75
Sıkışmış katman kütle yoğunluğu (g cm ⁻³)	1,40	±0,12	5	1,2	1,6	0,21	0,04
Üst katman agregat stabilitesi (%)	58	±18	31	20	94	-0,21	-0,81
Sıkışmış katman agregat stabilitesi (%)	54	±13	25	29	88	0,37	-0,34
Üst katman ortalama ağırlık çap (mm)	4,1	±0,8	18	2,7	5,9	0,26	-0,48
Sıkışmış katman ortalama ağırlık çap (mm)	5,3	±1,0	20	3,6	7,9	0,58	-0,31
Üst katman EC ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	403	±141	35	25	872	1,58	1,94
Sıkışmış katman EC ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	499	±491	98	197	3387	3,82	17,80
Üst katman organik madde (%)	1,35	±0,54	40	0,5	3,7	1,62	4,39
Sıkışmış katman organik madde (%)	2,16	±0,54	25	1,3	4,7	1,77	6,40
Üst katman kireç içeriği (%)	2,0	±1,0	52	0,7	4,8	1,09	0,41
Sıkışmış katman kireç içeriği (%)	2,3	±1,2	50	0,2	5,0	0,59	-0,15
Üst katman pH	6,96	±0,40	6	6,3	7,8	0,73	-0,78
Sıkışmış katman pH	7,61	±0,34	5	7,2	8,7	0,84	0,02

direncine ait genel ortalama 3,58 MPa ve standart sapma ise 0,84 olarak hesaplanmıştır, bunun yanında üst toprak katmanı penetrasyon direnç değerleri ortalamasının 1,62 MPa ve standart sapmasının da 0,58 olduğu belirlenmiştir. Sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnç değerleri genel ortalamasının ise 4,67 MPa ve standart sapmasının da 1,07 olduğu saptanmıştır.

Penetrologger yardımıyla elde edilen grafikte toprak yüzeyi ile penetrasyon direncinin yükselmeye

başladığı nokta arasındaki mesafe üst toprak katmanı olarak tanımlanmıştır (Şekil 1). Bu katmanda ölçülen penetrasyon direnç değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak üst toprak katmanı penetrasyon direnç değerleri belirlenmiştir. Sıkışmış toprak katmanı, penetrasyon direnci-toprak derinliği grafiğinde penetrasyon direncinin yükselmeye başladığı nokta ile sabit bir durum aldığı nokta arasındaki katman olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1 Penetrasyon direnç grafiğinde üst ve sıkışmış katmanların belirlenmesi

Ortalama Penetrasyon Direncine Toprak Özelliklerinin Etkileri

Stepwise regresyon modeli oluşturulurken hem üst toprak katmanına ait özellikler hem de sıkışmış toprak katmanına ait özellikler modele konularak ortalama penetrasyon direnci üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. İlk aşamada modele girmeden önce incelenen değişkenlerin F değerleri hesaplanmış ve bunlardan 0,250'nin üzerinde olanlar

modele alınmıştır. Modelde yer alacak değişkenler belirlendikten sonra model çalıştırılmış ve modele ait belirleme katsayısı 0,51 olarak hesaplanmıştır. Standart formda oluşturulan varyans analiz çizelgesinde modelin F değerinin 6,45 olduğu ve istatistikî açıdan anlamlı ($p < 0,0001$) olduğu görülmüştür. Modelde yer alan toprak özelliklerinin F değerlerine bakılarak istatistikî anlamda önemli olanlar regresyon modeline alınmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2 Modele ve incelenen toprak özelliklerine ait varyans analiz çizelgesi

Varyasyon kaynağı	SD	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Değeri
Model	10	25,81	2,58	6,45
Hata	61	25,26	0,41	Prob > F
Kütle yoğunluğu alt	1	3,96	9,73	0,003
Nem üst	1	7,15	17,57	0,000
Nem alt	1	4,64	11,40	0,001
Kil alt	1	0,82	2,03	0,159
Silt üst	1	1,56	3,85	0,054
Organik madde alt	1	1,87	4,60	0,036
Ortalama ağırlık çap üst	1	1,20	2,95	0,091
Ortalama ağırlık çap alt	1	1,47	3,61	0,062
Kireç üst	1	1,12	2,74	0,103
pH üst	1	1,55	3,81	0,055

Varyans analiz çizelgesi incelendiğinde ortalama penetrasyon direncine etki eden toprak özelliklerinin

önem sırasına göre üst toprak katmanı nem içeriği, sıkışmış toprak katmanı nem içeriği, sıkışmış toprak

katmanı kütle yoğunluğu ve sıkışmış toprak katmanı organik madde miktarı olduğu görülmektedir. Modele ait tahmini etki değerleri de incelenerek

ortalama penetrasyon direncini etkileyen toprak özelliklerinin etki katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3 Modele ait tahmini etki değerleri

Özellik	Katsayılar	Standart hata	t değeri	Prob> t
Nem üst	-0,138	0,03	-4,19	0,0001
Nem alt	-0,089	0,03	-3,38	0,0013
Kütle yoğunluğu alt	3,36	1,07	3,12	0,0028
Organik madde alt	0,32	0,15	2,14	0,0360

Bu değerler göre sıkışmış toprak katmanı kütle yoğunluğunun ortalama penetrasyon direncine etkisi en yüksek pozitif etki olarak görülmüştür, bunu sıkışmış toprak katmanı organik madde içeriği takip etmiştir. Ortalama penetrasyon direncine negatif etkileri olan toprak özellikleri ise etki katsayılarına göre sırasıyla üst toprak katmanı nem içeriği ve sıkışmış toprak katmanı nem içeriği şeklinde belirlenmiştir.

Üst Toprak Katmanı Penetrasyon Direncine Toprak Özelliklerinin Etkileri

Üst toprak katmanı penetrasyon direncine etki eden özellikler belirlenirken yöntem gereği yine

modelde yer alacak toprak özellikleri belirlenmiştir, burada farklı olarak sadece üst toprak katmanına ait toprak özellikleri incelenmiş ve bu özelliklerden modelde yer alacaklar belirlenmiştir.

Modele ait belirleme katsayısı 0,33 olarak hesaplanmıştır. Modele ait varyans analiz çizelgesi incelendiğinde modelin F değerinin 5,42 olduğu ve istatistikî açıdan anlamlı olduğu görülmüştür. Modelde yer alan toprak özelliklerinin F değerlerine bakılarak istatistikî anlamda önemli olanlar regresyon modeline alınmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4 Modele ait varyans analiz çizelgesi

Varyasyon kaynağı	SD	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Değeri
Model	6	7,91	1,32	5,4164
Hata	65	15,82	0,24	Prob > F
Toplam	71	23,73		0,0001
Kütle yoğunluğu	1	0,70	2,89	0,093
Agregat stabilitesi	1	2,35	9,66	0,003
Nem	1	1,68	6,90	0,010
Ortalama ağırlık çap	1	0,64	2,61	0,111
Elektriki iletkenlik	1	1,09	4,46	0,039
Kireç	1	1,71	7,03	0,010

Önem sırasına göre üst toprak katmanı penetrasyon direncine etki eden toprak özellikleri toprağın agregat stabilitesi, nem içeriği, kireç içeriği ve elektriki iletkenlik değerleridir. Modele ait

tahmini etki değerleri de incelenerek penetrasyon direncini etkileyen toprak özelliklerinin etki katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5 Modele ait tahmini etki değerleri

Özellik	Katsayı	Standart hata	t değeri	Prob> t
Agregat stabilitesi	0,01	0,00	3,11	0,0028
Nem	-0,06	0,02	-2,63	0,0107
Elektriki iletkenlik	-0,0009	0,00	-2,11	0,0385
Kireç	-0,17	0,06	-2,65	0,0101

Buna göre üst toprak katmanı penetrasyon direncine pozitif etkisi bulunan tek toprak özelliği üst toprak katmanı agregat stabilitesi olmuştur. Etki

katsayıları dikkate alınarak üst toprak katmanı penetrasyon direncinde negatif etkiye sahip toprak özellikleri ise sırasıyla üst toprak katmanı kireç

içeriği, nem içeriği ve elektriki iletkenlik değeri şeklinde belirlenmiştir.

Sıkışmış Toprak Katmanı Penetrasyon Direncine Toprak Özelliklerinin Etkileri

Sıkışmış toprak katmanında profil boyunca 1 cm'lik mesafelerde ölçülen penetrasyon direnç değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnci değerleri hesaplanmıştır. Benzer yaklaşımla modelde yer alacak toprak özellikleri belirlenmiş, burada da sadece sıkışmış toprak katmanına ait toprak

özellikleri incelenmiş ve bu özelliklerden modelde yer alacaklar belirlenmiştir.

Modele ait belirleme katsayısı 0,40 olarak hesaplanmıştır. Varyans analiz çizelgesi incelendiğinde modele ait F değerinin 7,08 olduğu ve istatistikî anlamda önemlilik ($p < 0,0001$) gösterdiği görülmüştür. İncelenen toprak özelliklerinden F değeri istatistikî anlamda yüksek olanlar regresyon modeline dâhil edilmişlerdir (Çizelge 6).

Sıkışmış toprak direncine etki eden özellikler önem sırasına göre kütle yoğunluğu ve nem olarak belirlenmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 6 Modele ait varyans analiz çizelgesi

Varyasyon kaynağı	SD	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F Değeri
Model	6	31,93	5,32	7,08
Hata	65	48,83	0,75	Prob > F
Toplam	71	80,76		<.0001
Kütle yoğunluğu	1	11,52	15,33	0,0002
Nem	1	9,58	11,69	0,0007

Çizelge 7 Modele ait tahmini etki değerleri

Özellik	Katsayı	Standart hata	t değeri	Prob> t
Kütle yoğunluğu	5,57	1,42	3,92	0,0002
Nem	-0,11	0,03	-3,57	0,0007

Modele ait tahmini etki değerlerine göre sıkışmış toprak katmanı kütle yoğunluğunun etkisi pozitif, nem içeriğinin etkisi ise negatif olmuştur.

Ortalama penetrasyon direnci ile ilişkili olabilecek toprak özellikleri incelenirken bu özelliklerin birbirleriyle etkileşimlerinin çok etkili olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle penetrasyon direnci birden fazla toprak özelliği tarafından şekillendirilmektedir. Örneğin, kütle yoğunluğu ile penetrasyon direnci arasında doğrusal pozitif bir ilişki olmasına rağmen çok yüksek kütle yoğunluğuna sahip bazı noktalarda penetrasyon direncinin beklenilenin aksine düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedenleri araştırıldığında bu noktalara ait nem içerik değerlerinin çok yüksek olduğu bunun yanında silt içeriğinin ise çok düşük olduğu belirlenmiştir.

Stepwise çoklu regresyon analiz sonuçları toplu olarak değerlendirildiğinde ortalama penetrasyon direncini etkileyen toprak özelliklerinin üst toprak katmanı toprak nemi, sıkışmış toprak katmanı toprak nemi, sıkışmış toprak katmanı kütle yoğunluğu ve sıkışmış toprak katmanı organik madde miktarı olduğu görülmüştür. Üst toprak katmanı penetrasyon direnci ile ilişkisi belirlenen ve regresyon modeline giren toprak özellikleri ise bu katmana ait agregat stabilitesi, nem içeriği, kireç içeriği ve elektriki iletkenlik değerleri olmuştur. Bunun yanında sıkışmış

toprak katmanı kütle yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin ise sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnç değerlerini önemli ölçüde etkilediği ve bu yüzden regresyon modelinde sadece bu özelliklerin yer aldığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma TÜBİTAK tarafından desteklenen TOVAG-107 O 640 no'lu projeden üretilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akgül, 1987. Atatürk Üniversitesi Çiftliği Topraklarında Pulluk Tabanı Oluşumu Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Yüksek Lisans Tezi
- Anonymus, 1996. Soil Compaction and Conservation Tillage <http://cropsoil.psu.edu/extension/ct/uc125.pdf>
- Busscher, W.J., (1990). Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. Transactions ASAE 33: 519 - 524.
- Carter, M.R., (1990). Relative measures of soil bulk density to characterise compaction in tillage studies on fine sandy loams. Can. J. Soil Sci. 70: 425-433.
- Gupta, S.C., Sharma, P.P. DeFranchi, S.A., (1989). Compaction effects on soil structure. Adv. Agron. 42: 311-338.
- Hartge, K.H., B.A. Stewart, 1995. Soil Structure, Its Development and Function, p:393. Lewis Publisher, New York.

- Kok, H., R.K. Taylor, R.E. Lamond, S. Kessen, 1996. Soil Compaction Problems and Solutions. www.oznet.ksu.edu/library/CRPSL2/AF115.pdf
- Lal, R., 2006. Encyclopedia of Soil Science. Second Edition, Volume 1, S:384. CRC Pres, Madison, New York.
- National Research Council, 1993. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. National Academic Press, Washington DC
- Özdamar, K., 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, s: 576. Kaan Kitabevi, Eskişehir
- Özgül, M., 2003. Erzurum Yöresinde Yaygın Olarak Bulunan Büyük Toprak Gruplarının Sınıflandırılması ve Haritalanması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Secherr, S.J., 1999. Soil Degradation. A Threat to Developing-Country Food Security by 2020. <http://www.ifpri.org/2020/dp/dp27.pdf>