

## Bazı Toprak Özelliklerinin Penetrasyon Direnç Değerlerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri

Bülent TURGUT<sup>1\*</sup> Taşkın ÖZTAŞ<sup>2</sup> E.Lütfi AKSAKAL<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 08000 Artvin

<sup>2</sup>Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, 25240 Erzurum, ekremaksakal@hotmail.com

\*Yazışma yazarı: bturgut@artvin.edu.tr

Geliş tarihi:09.08.2010, Yayına kabul tarihi:10.11.2010

**Özet:** Bu araştırma bazı toprak özelliklerinin penetrasyon direnç değerlerine doğrudan ve dolaylı etkilerinin saptanması amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla çalışma arazisi kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde 80 m aralıklarla transektlere bölünmüş ve transektlerin çakışma noktalarında penetrasyon direnç değerleri ölçülmüştür. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla üst ve sıkışmış toprak katmanlarından örnekler alınmıştır. Çalışma sonucunda üst toprak katmanı penetrasyon direncine en yüksek doğrudan etkinin kum, silt ve kil içeriğinden olduğu belirlenmiştir. En düşük doğrudan etki değeri ise kütle yoğunluğunda saptanmıştır. Sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direncine en yüksek doğrudan etki değeri kütle yoğunluğunda ve en düşük doğrudan etki değeri ise kil içeriğinde görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Path analizi, toprak sıkışması, penetrasyon direnci

### Defining Direct and Indirect Effect of Some Soil Properties on Soil Penetration Resistance

**Abstract:** The objective of this study was to determine direct and indirect effects of some soil properties on soil penetration resistance. 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. The results of study indicated that the highest direct effect to upper soil layer compaction was sand, silt and clay content and the lowest was bulk density. On the other hand, the highest direct effect to subsoil layer compaction was bulk density and lowest was clay content.

**Keywords:** Path analysis, soil compaction, penetration resistance

### Giriş

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 ile gözenek geometrisi ve toprağın organik bileşenleri, o toprağın yapısal davranışları ve verim gücüne önemli ölçüde etki etmektedir.

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 sıklığı ve yoğunluğu; toprak tipine, bitkisel üretim sistemlerine, toprak işleme yöntemlerine ve iklime bağlıdır (Boizard et al., 2001).

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 yararlılığını azaltmakta ve toksik maddelerin oluşumunu da hızlandırmaktadır. Tüm bu olumsuz koşullar ise kaçınılmaz olarak bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Hartge and Stewart, 1995).

Korelasyon katsayısı, iki karakter arasındaki ilişkinin yani bunların beraber değişme derecesinin bir ölçüsüdür. Bir başka deyişle korelasyon, iki karakter arasındaki iki yönlü ilişkinin ortalamasıdır (Yurtsever, 1984). Ancak iki değişken arasında hesaplanan korelasyon katsayısı başka bir değişken ya da değişkenler tarafından etkileniyorsa, yani iki değişken arasındaki sebep-sonuç ilişkisi üçüncü bir değişkenin etkisine bağlı ise korelasyon katsayısı bu ilişkiyi açıklamada yeterli

değildir. Değişkenler arasında hesaplanan korelasyon katsayısında diğer değişkenler ile olan ilişkiden kaynaklanan kısımların bulunması amacıyla “Path Analizi” kullanılmaktadır (Orhan ve Kaşıkçı 2002).

Path analizi, toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Wei ve ark. (2006), uzun dönemli bitkisel üretim ve gübreleme uygulamalarının toprak özellikleri ve mikro besin elementleri üzerine etkilerini path analizi yöntemi ile belirlemişlerdir, bunun yanında Basta et al. (1993), toprak tarafından adsorbe edilen ağır metallerin tanımlanmasında path analizi yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonunda metal adsorpsiyonu üzerine toprak özelliklerinin doğrudan etki dereceleri sıralaması  $pH > OC > CEC$  şeklinde olmuştur. Araştırmacılar hem korelasyon analizi hem de path analizi sonuçlarında toprak pH’sının toprak tarafından adsorbe edilen Cd, Pb ve Cu için en önemli etkiye sahip özellik olduğunu ortaya koymuşlardır.

Özdemir vd. (2000), toprak özellikleri ile bazı toprak nem sabiteleri arasındaki ilişkileri path analizi kullanarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar yarayışlı su kapasitesi üzerine toprak özelliklerinin pozitif doğrudan etki değerlerinin sırasıyla kil içeriği > kireç içeriği > kütle yoğunluğu > ekstrakte edilebilir Na > kation değişim kapasitesi > organik madde miktarı olduğunu ortaya koymuşlardır, diğer taraftan araştırmacılar dolaylı etkisi en yüksek toprak özelliklerinin kil içeriği ve kütle yoğunluğu olduğunu da belirtmişlerdir.

Şeker (1997), penetrasyon direnci ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkileri incelediği çalışmada, kütle yoğunluğunun penetrasyon direncine doğrudan etkisini %25-%56 aralığında bulmuştur. Ayrıca araştırmacı diğer toprak özelliklerinin penetrasyon direncine dolaylı etkilerini incelemiş ve tümünde en yüksek dolaylı etkinin kütle yoğunluğu üzerinden gerçekleştiğini belirlemiştir.

Kütle yoğunluğu ile parçacık büyüklük dağılımı ve organik madde miktarı arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmada, kum içeriğinin kütle yoğunluğuna doğrudan etkisinin %50.21, silt içeriğinin %29.30, kil

içeriğinin %43.82 ve organik madde içeriğinin de %23.14 olduğu belirlenmiştir. Adı geçen bu toprak özelliklerinin tümünde en yüksek dolaylı etki kum içeriği üzerinden olmuştur (Aşkın ve Özdemir 2003).

Bu çalışma, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü (DATAE) Ilica Deneme İstasyonu arazisindeki hububat üretim ve deneme alanlarında karşılaşılan toprak sıkışması probleminin penetrasyon ölçümleriyle belirlenmesi, incelenen toprak özellikleri ile penetrasyon direnç değerleri arasındaki doğrusal ilişkilerin ve değişkenlerin korelasyon katsayısı içindeki yüzdelerin saptanması amacıyla yürütülmüştür.

### Materyal ve Metot

Çalışmanın yürütüldüğü Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Ilica Deneme İstasyonu Erzurum'un 15 km batısında yer almaktadır. Deneme istasyonuna ait koordinatlar UTM olarak 37S 681000 E, 4424324 N dir.

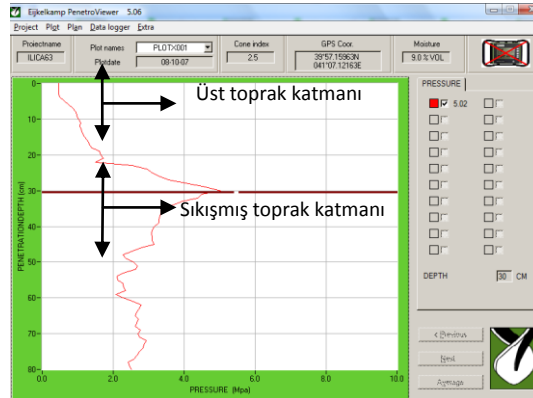
Çalışma alanı toprakları, alüviyal ana materyallerden oluşmuş topraklardır. Bu alanların tamamında toprak işlemeli tarım yapılmaktadır. Bu topraklar yakın zamana kadar yılın önemli bir kısmında suya doygun olduğundan toprak oluşumu engellenmiş, suların Karasu kanalının açılmasına bağlı olarak çekilmesi ile mineralizasyon süreci hızlanmış ve toprak oluş faktörlerinin etkinliği artmıştır.

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 ayırt edici horizonun albik horizon olduğu, 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) Ilica Deneme İstasyonu arazisi, kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularında 80 m aralıklara sahip transektlere bölünmüş ve bu transektlerin kesişme yerlerindeki 72 noktanın üst ve sıkışmış toprak katmanlarından, hasattan hemen sonra toprak neminin örnekleme için uygun olduğu dönemde toprak örnekleri alınmıştır.

Penetrologger yardımıyla elde edilen grafikte toprak yüzeyi ile penetrasyon direncinin yükselmeye başladığı nokta arasındaki mesafe üst toprak katmanı olarak tanımlanmıştır. 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)



Şekil 1 Penetrasyon direnç grafiğinde üst ve sıkışmış katmanların belirlenmesi

Penetrasyon direnç değerleri 80cm'lik profil boyunca her 1cm'de dijital ortamda kaydedilmiş bu veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçümlerde taban alanı 1 cm<sup>2</sup> olan koni şeklindeki uç kullanılmıştır.

Orta bünyeli toprakların penetrasyon direnç değerlerini %10 nem içeriğine göre kalibre etmek için kullanılan eşitlik (Aksakal et al., 2008), tekstür bakımından benzerlik gösterdiğinden bu çalışmada da kullanılmıştır.

$$PR_a = PR_o \exp((x-0,1)/0,716)$$

Eşitlikte:

$PR_a$  : Düzeltilmiş penetrasyon direnç değeri (MPa)

$PR_o$  : Ölçülen penetrasyon direnci, (MPa)

X : Örneklem anındaki nem içeriği, (kg/kg)

0.1: Standardizasyon için kullanılan nem içeriği, (0.1 kg/kg)

Çalışmada toprakların tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemiyle (Gee and Bauder, 1986), kireç içerikleri volümetrik olarak Scheibler kalsimetresiyle (Nelson,

1982), organik madde miktarları Smith-Weldon yöntemiyle (Nelson and Sommers, 1982), agregat stabilitesi değerleri hava kuru 4 g. 1-2 mm. büyüklüğündeki agregat fraksiyonunun 0.25 mm. elek açıklığında, 12.7 mm. darbe uzunluğu ve 42 devir/dak. darbe frekansına sahip Yoder tipi ıslak eleme aletiyle (Kemper and Rosenau, 1986), agregat büyüklük dağılımı Rotary eleğiyle (Demiralay, 1981), kütle yoğunluğu ise kesek yöntemiyle (Demiralay, 1981) belirlenmiştir.

Tanımlayıcı istatistiksel analiz ile veri setinde yer alan tüm toprak örnekleri için ortalama, standart sapma, en düşük ve en yüksek değerler ile varyasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. İncelenen toprak özelliklerinin üst toprak katmanı penetrasyon direnci üzerine ve sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnci üzerine doğrudan ve dolaylı etkilerini görmek için path analizi yapılmış ve korelasyon matris tablosu çıkarılmıştır.

**Çizelge 1** İncelenen toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları

İncelenen toprak özelliği	$\bar{x}$	$\sigma$	VK (%)	En düşük.	En yüksek.
Üst toprak penetrasyon direnci (MPa)	1,62	±0,58	36	0,2	3,2
Sıkışmış katman penetrasyon direnci (MPa)	4,67	±1,07	23	2,0	7,1
Üst katman toprak nemi (%)	10,3	±3,0	29	5,9	25,2
Sıkışmış katman toprak nemi (%)	20,3	±3,5	17	11,8	34,1
Üst katman kum (%)	21,3	±5,1	24	15,6	38,3
Sıkışmış katman kum (%)	23,3	±7,4	29	15,6	53,3
Üst katman silt (%)	38,7	±3,9	9	26,7	46,7
Sıkışmış katman silt (%)	35,2	±5,7	16	17,4	50,0
Üst katman kil (%)	40,1	±5,6	14	25,5	51,1
Sıkışmış katman kil (%)	39,5	±7,8	20	15,6	57,1
Üst katman kütle yoğunluğu (g cm <sup>-3</sup> )	1,04	±0,08	9	0,9	1,57
Sıkışmış katman kütle yoğunluğu (gcm <sup>-3</sup> )	1,40	±0,12	5	1,2	1,6
Üst katman agregat stabilitesi (%)	58	±18	31	20	94
Sıkışmış katman agregat stabilitesi (%)	54	±13	25	29	88
Üst katman ortalama ağırlık çap (mm)	4,1	±0,8	18	2,7	5,9
Sıkışmış katman ortalama ağırlık çap (mm)	5,3	±1,0	20	3,6	7,9
Üst katman organik madde (%)	1,35	±0,54	40	0,5	3,7
Sıkışmış katman organik madde (%)	2,16	±0,54	25	1,3	4,7
Üst katman kireç içeriği (%)	2,0	±1,0	52	0,7	4,8
Sıkışmış katman kireç içeriği (%)	2,3	±1,2	50	0,2	5,0

## Bulgular ve Tartışma

İncelenen toprak özelliklerine ait ortalama ( $\bar{x}$ ), standart sapma ( $\sigma$ ), varyasyon katsayısı (VK), en düşük ve en yüksek değer Tablo 1’de görülmektedir. Arazi genelinde 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

### *İncelenen Toprak Özelliklerinin Üst Toprak Katmanı Penetrasyon Direncine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri*

Üst toprak katmanı penetrasyon direnci ile incelenen toprak özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde üst toprak katmanına ait kütle yoğunluğu ve agregat stabilitesi ile üst toprak katmanı penetrasyon direnç değerleri arasında önemli seviyede pozitif bir ilişkinin olduğu

görülmüştür. Bunun yanında incelenen diğer toprak özellikleri ile üst toprak katmanı penetrasyon direnç değerleri arasında önemli seviyede bir doğrusal ilişkiye rastlanılmamıştır (Tablo 2).

Toprakların kum içerikleri ile penetrasyon direnç değerleri arasında doğrusal bir ilişkiye rastlanılmazken, kütle yoğunluğu ile arasında önemli seviyede pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Yine kil içeriği ve organik madde içeriği ile penetrasyon direnç değerleri arasında önemli seviyede doğrusal bir ilişki belirlenemezken kütle yoğunluğu ile negatif doğrusal bir ilişkinin var olduğu ortaya konulmuştur. Penetrasyon direnç değeri ile doğrusal bir ilişkisi belirlenemeyen kireç içeriği ile kütle yoğunluğu arasında da pozitif bir ilişkinin var olduğu dikkat çekmiştir.

**Çizelge 2** Üst toprak katmanı penetrasyon direnci ile toprak özellikleri arasındaki basit korelasyonlar.

	Direnç	Kütle Yoğunluğu	Agregat Stabilitesi	Kum İçeriği	Silt İçeriği	Kil İçeriği	Organik Madde	Kireç İçeriği
<b>Kütle Yoğunluğu</b>	0,28*							
<b>Agregat Stabilitesi</b>	0,26*	0,06ns						
<b>Kum İçeriği</b>	0,04	0,50**	0,00					
<b>Silt İçeriği</b>	0,06	0,10	-0,08	-0,25*				
<b>Kil İçeriği</b>	-0,08	-0,53**	0,05	-0,74**	-0,47**			
<b>Organik Madde</b>	0,07	-0,24*	0,30	-0,24*	-0,01	-0,23*		
<b>Kireç İçeriği</b>	-0,11	0,32*	0,06	0,41*	-0,03	-0,36**	-0,13	
<b>Ortalama Ağırlık Çap</b>	-0,14	-0,22	0,02	-0,15	-0,08	0,20	0,32**	0,38**

Üst toprak katmanına ait incelenen toprak özelliklerinin üst toprak katmanı penetrasyon direncine doğrudan ve dolaylı etkileri Tablo 3’te verilmiştir. Üst toprak katmanı kütle yoğunluğu değerlerinin penetrasyon direncine etkisinin %0,07’si doğrudan geriye kalan kısmı ise dolaylı olmuştur. Dolaylı etkilere bakıldığında kütle yoğunluğunun toprakların kil içerikleri üzerinden dolaylı etkisi, toplam

etkinin %49,94’ünü oluşturmaktadır. Üst toprak katmanı agregat stabilitesinin penetrasyon direncine doğrudan etkisinin oranı %0,54 olmuştur. En yüksek dolaylı etki ise %49,58 ile silt içeriği üzerinden olmuştur.

Üst toprak katmanı kum içeriğinin üst toprak katmanı penetrasyon direncine doğrudan etkisi %49,98 olarak gerçekleşmiştir, dolaylı etkilerine

bakıldığında ise en yüksek değeri kili içeriği üzerinden olan dolaylı etkisi vermiştir (%40,39). Aynı katmana ait silt içeriğinin penetrasyon direncine olan doğrudan etkisi %49,99 olarak gerçekleşirken kil içeriği üzerinden olan etkisi de en yüksek dolaylı etki oranı olarak belirlenmiştir (%33,44). Bu katmana ait kil içeriğinin doğrudan etkisi kum içeriği gibi olmuştur (%49,98). Kil içeriğinin kum içeriği üzerinden dolaylı etkisi (%33,78) olarak belirlenmiştir.

Üst toprak katmanına ait organik madde miktarının penetrasyon direncine doğrudan etkisi %0,09 olarak belirlenmiştir. Organik

madde miktarının kil içeriği üzerinden olan etkisi en yüksek dolaylı etki olarak belirlenmiştir (%49,89). Bu katmana ait kireç içeriğinin penetrasyon direncine olan doğrudan etki oranı %0,10 olarak belirlenirken en yüksek dolaylı etki ise kum içeriği üzerinden olan etkisinde görülmüştür (%49,91). Aynı katmanın ortalama ağırlık çap değerlerinin penetrasyon direncine olan doğrudan etkisi ise %0,12 olarak belirlenmiş ve bu özelliğin kil içeriği üzerinden olan etkisi de en yüksek dolaylı etki değeri olarak saptanmıştır (%49,88).

**Çizelge 3** Üst toprak katmanının penetrasyon direnci ile ölçülen toprak özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları ve path analizi verileri

İncelenen Özellikler	Sembolü	Korelasyon katsayısı	Doğrudan etki		Dolaylı etkiler							
			Path Katsayısı	%	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
				%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Kütle Yoğunluğu</b>	X <sub>1</sub>	0,28*	0.3176	0,07	-	0.0	43.0	6.7	<b>49.9</b>	0.01	0.02	0.01
<b>Agregat Stabilitesi</b>	X <sub>2</sub>	0,26*	0.2510	0,54	0.04	-	3.0	<b>49.6</b>	46.7	0.1	0.0	0.0
<b>Kum İçeriği</b>	X <sub>3</sub>	0,04		50.00	0.0	0.0	-	9.6	<b>40.4</b>	0.0	0.0	0.0
<b>Silt İçeriği</b>	X <sub>4</sub>	0,06		50.00	0.0	0.0	16.6	-	<b>33.4</b>	0.0	0.0	0.0
<b>Kil İçeriği</b>	X <sub>5</sub>	-0,08		50.00	0.0	0.0	<b>33.8</b>	16.2	-	0.0	0.0	0.0
<b>Organik Madde</b>	X <sub>6</sub>	0,07	0.1866	0,09	0.0	0.0	47.9	2.0	<b>49.9</b>	-	0.0	0.0
<b>Kireç İçeriği</b>	X <sub>7</sub>	-0,11	-0.3039	0,09	0.0	0.0	<b>49.9</b>	2.4	47.5	0.0	-	0.0
<b>Ortalama Ağırlık Çap</b>	X <sub>8</sub>	-0,14	-0.2091	0,01	0.0	0.0	35.4	14.5	<b>49.9</b>	0.0	0.1	-

#### *İncelenen Toprak Özelliklerinin Sıkışmış Toprak Katmanı Penetrasyon Direncine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri*

Sıkışmış toprak katmanı toprak özelliklerine ait korelasyon katsayıları tablo 4'te görülmektedir. Sıkışmış toprak katmanı kütle yoğunluğu ile bu katmana ait penetrasyon direnç değerleri arasında önemli seviyede pozitif bir ilişkinin var olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında toprakların agregat stabilitesi değerleri ile kil içerikleri arasında pozitif, ortalama ağırlık çap değerleri ile de negatif bir ilişki tanımlanmıştır.

Sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direncine toprak özelliklerinin doğrudan ve dolaylı etkileri tablo 5'te verilmiştir. İncelenen toprak özelliklerinden kütle

yoğunlu en yüksek doğrudan etkiye sahipken en düşük doğrudan etki kil içeriğinde gerçekleşmiştir. Sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direncine kütle yoğunluğunun doğrudan etkisi %84,3 olarak hesaplanmış ve en yüksek dolaylı etki de organik madde miktarı üzerinden olmuştur. Agregat stabilitesinin penetrasyon direncine doğrudan etkisi %44,6 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında en yüksek dolaylı etki ortalama ağırlık çap üzerinden (%19,8) gerçekleşmiştir. Toprakların kum içeriğinin penetrasyon direncine doğrudan etkisi %18,4 olmuştur, kütle yoğunluğu üzerinden dolaylı etkisi %31,3 olarak hesaplanmıştır. Silt içeriğinin doğrudan etkisi %56,4 ve kütle yoğunluğu üzerinden dolaylı etkisi de %13,2 olarak

hesaplanmıştır. Kil içeriğinin doğrudan etkisi %0, kütle yoğunluğu üzerinden dolaylı etkisi ise %34,6 olarak belirlenmiştir.

Toprakların organik madde miktarının penetrasyon direncine doğrudan etkisi %57,7 ve kütle yoğunluğu üzerinden dolaylı etkisi ise %29 olarak hesaplanmıştır. Kireç

içeriğinin penetrasyon direncine doğrudan etkisi %10,5 ve kütle yoğunluğu üzerinden dolaylı etkisi de %46,5 şeklinde belirlenmiştir. Ortalama ağırlık çapın doğrudan etkisi ise %58,4 olarak hesaplanırken kütle yoğunluğu üzerinden dolaylı etkisi de %24,5 şeklinde belirlenmiştir.

Çizelge 4. Sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnci ile toprak özellikleri arasındaki basit korelasyonlar

	Direnç	Kütle Yoğunluğu	Agregat Stabilitesi	Kum İçeriği	Silt İçeriği	Kil İçeriği	Organik Madde	Kireç İçeriği
<b>Kütle Yoğunluğu</b>	0,38**							
<b>Agregat Stabilitesi</b>	-0,10	-0,09						
<b>Kum İçeriği</b>	0,05	0,18	-0,21					
<b>Silt İçeriği</b>	0,13	0,05	-0,16	-0,32**				
<b>Kil İçeriği</b>	-0,15	-0,21	0,32**	-0,72**	-0,43**			
<b>Organik Madde Mik.</b>	0,05	-0,21	0,18	-0,27*	-0,01	0,27*		
<b>Kireç İçeriği</b>	0,11	0,20	-0,18	0,16	0,09	-0,23	-0,20	
<b>Ortalama Ağırlık Çap</b>	-0,06	0,11	-0,37**	0,10	-0,09	-0,03	-0,01	-0,04

Çizelge 4 Sıkışmış toprak katmanının penetrasyon direnci ile ölçülen toprak özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları ve path analizi verileri

İncelenen Özellikler	Sembolü	Korelasyon katsayısı	Doğrudan etki		Dolaylı etkiler							
			Path Katsayısı	%	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
<b>Kütle yoğunluğu</b>	X <sub>1</sub>	0,38**	0.4050	84,3		2.2	1.5	1.0	0.0	<b>7.1</b>	0.8	3.2
<b>Agregat stabilitesi</b>	X <sub>2</sub>	-0,10	-0.1164	44.6	14.2		3.4	0.0	5.6	11.2	1.3	<b>19.8</b>
<b>Kum İçeriği</b>	X <sub>3</sub>	0,05	0.0420	18.5	<b>31.3</b>	10.7		0.0	12.8	19.6	1.3	5.9
<b>Silt İçeriği</b>	X <sub>4</sub>	0,13	0.0901	56.4	<b>13.2</b>	11.8	8.5		0,0	1.4	1.1	7.6
<b>Kil İçeriği</b>	X <sub>5</sub>	-0,15	0	0.00	<b>34.6</b>	15.3	12.5	15.9		18.4	1.7	1.6
<b>Organik Madde</b>	X <sub>6</sub>	0,05	0.1653	57.7	<b>29.0</b>	7.2	3.9	0.4	0.0		1.2	0.5
<b>Kireç İçeriği</b>	X <sub>7</sub>	0,11	0.0182	10.5	<b>46.5</b>	12.2	3.9	5.1	0.0	18.5		3.3
<b>Ortalama Ağırlık Çap</b>	X <sub>8</sub>	-0,06	-0.1413	58.4	<b>18.2</b>	17.6	1.6	3.2	0.0	0.7	0.3	

Elde edilen bulgular toplu olarak incelendiğinde üst toprak katmanı penetrasyon direncine etki eden toprak özelliklerinin doğrudan etki değerleri; silt içeriği=kum içeriği=kil içeriği>agregat stabilitesi>ortalama ağırlık çap>kireç içeriği>organik madde miktarı>kütle

yoğunluğu şeklinde sıralanmıştır. Bu özelliklerden agregat stabilitesinin, kil içeriğinin ve ortalama ağırlık çap değerlerinin penetrasyon direncine etkisi negatif iken diğer özelliklerin etkileri pozitif olmuştur. Penetrasyon direnci değerlerine kütle yoğunluğunun, kum

içeriğinin, silt içeriğinin, organik madde miktarının ve ortalama ağırlık çap değerlerinin dolaylı etkileri kil içeriği üzerinden, kil içeriğinin ve kireç içeriğinin dolaylı etkisi kum içeriği üzerinden ve agregat stabilitesinin dolaylı etkisi de silt içeriği üzerinden gerçekleşmiştir.

Doğrudan etki değerleri göz önünde bulundurulduğunda sıkışmış toprak katmanındaki toprak özelliklerinin sıralaması kütle yoğunluğu>ortalama ağırlık çap>organik madde miktarı>silt >agregat stabilitesi>kum içeriği>kireç içeriği>kil içeriği şeklinde olmuştur. Şeker (1997) yaptığı çalışmada da benzer olarak penetrasyon direnç değerine en yüksek doğrudan etkinin kütle yoğunluğuna ait olduğunu bildirmiştir. Dolaylı etkiler incelendiğinde kütle yoğunluğunun, organik madde üzerinden ve agregat stabilitesinin de ortalama ağırlık çap değerleri üzerinden dolaylı etkisi en yüksek değerlerde gerçekleşirken, kum içeriğinin, silt içeriğinin, kil içeriğinin, organik madde miktarının, kireç içeriğinin ve ortalama ağırlık çap değerlerinin kütle yoğunluğu üzerinden dolaylı etkisi en yüksek değerlerde gerçekleşmiştir. Üst toprak katmanı penetrasyon direnci için kil içeriği en fazla tekrar eden dolaylı etki olurken, sıkışmış toprak katmanında ise kütle yoğunluğu olmuştur.

Çalışma alanındaki üst toprak katmanı ortalama penetrasyon direnç değerleri ile sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnç değerleri arasında istatistiki anlamda bir farklılığın olduğu daha önce ortaya konulmuştur (Turgut vd., 2010). Üst toprak katmanında sıkışma probleminin olmadığı, bu nedenle penetrasyon direnç değerlerinin kütle yoğunluğundan ziyade büyük ölçüde toprağın tekstürü tarafından etkilendiği açıkça görülmektedir. Sıkışmış toprak katmanında penetrasyon direnç değerleri ortalamasının 4.67 MPa olduğu göz önünde bulundurulduğunda, önemli derecede bir sıkışma sorununun varlığı göze çarpmaktadır. Sıkışmış toprak katmanı penetrasyon direnç değerine en yüksek doğrudan etkinin kütle yoğunluğu tarafından olması da bu koşullarda beklenen bir durumdur.

## Teşekkür

Bu araştırma TÜBİTAK tarafından desteklenen TOVAG-107 O 640 no'lu projeden üretilmiştir. Desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederiz

## Kaynaklar

- Aksakal, E. L., T. Öztaş, M. Özgül, 2008. Time-Dependent Changes in Distribution Patterns of Soil Penetration Resistance in a Rangeland under Overgrazing. International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. p:65-72
- Aşkın, T., N. Özdemir, 2003. Soil Bulk Density As Related To Soil Particle Size Distribution And Organic Matter Content. [http://www.pfos.hr/~poljo/sites/default/data/2003\\_2/8\\_ASKIN.pdf](http://www.pfos.hr/~poljo/sites/default/data/2003_2/8_ASKIN.pdf)
- Basta, N.T., D.J. Pantone, M.A. Tabatabai, 1993. Path Analysis of Heavy Metal Adsorption by Soil. Agronomy Journal, 85: 1054-1057.
- Boizard, H., Richard, G., Roger-Estrade, J., Durier, C., Boiffin, J., 2001. Cumulative effect of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. Soil and Tillage Research 64, 149– 164.
- Demiralay, İ., 1981. Toprakta Bazı Fiziksel Analiz Yöntemleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Erzurum
- Gee, G.W., Bauder, J.V., 1986. Particle Size Analysis, Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd edition. Agronomy no:9. 383-411, 1188 p, Madison, Wisconsin USA
- 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](http://www.oznet.ksu.edu/library/CRPSL2/AF115.pdf)



- Kemper, W.D., R.C. Rosenau, 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. In A. Klute et al., Methods of Soil Analysis, part 1, Physical and Mineralogical Methods, pp.425-442. 2d ed. Agronomy Monograph 9. Soil Science Society of America. Madison.
- Kok, H., R.K. Taylor, R.E. Lamond, S. Kessen, 1996. Soil Compaction Problems and Solutions. [www.oznet.ksu.edu/library/CRPSL2/AF115.pdf](http://www.oznet.ksu.edu/library/CRPSL2/AF115.pdf)
- National Research Council, 1993. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. National Academic Press, Washington DC
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and Gypsum. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd. edition. Agronomy no:9. 181-197, 1159 p, Madison, Wisconsin USA
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edition. Agronomy no:9. 539-579, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.
- Orhan, H., D. Kaşıkçı, 2002. Path, Korelasyon ve Kısmi Regresyon Katsayılarının karşılaştırılmaları Olarak İncelenmesi. Hayvansal Üretim 43(2):68-78.
- Özdemir, N., C. Gülser, T. Aşkın, 2000. Determination of Relations between Some Soil Properties and Some Soil Moisture Constants Using Path Analysis. International Symposium on Desertification, Konya.
- Özgül, M., 2003. Erzurum Yöresinde Yaygın Olarak Bulunan Büyük Toprak Gruplarının Sınıflandırılması ve Haritalanması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Şeker, C., 1997. Penetrasyon Direnci ile Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler. Journal of Agriculture and Forestry (23), s:583-588
- Turgut, B., E.L. Aksakal, T. Öztaş, 2010. Toprak Sıkışmasına Bağlı Fiziksel Ortam Özelliklerindeki Etkileşimler, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Cilt: IV S: 1439-1446
- Yurtsever, N., 1984. Deneysel İstatistik Metodlar. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara
- Wei, X., M. Hao, M. Shao, W.J. Gale, 2006. Changes in Soil Peoperties and the avaibility of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. Soil & Tillage Research 91 (2006), 120-130.