

# Penetrasyon Direnci İle Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Cevdet ŞEKER

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Konya - TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 27.06.1997

**Özet :** Bu çalışmanın amacı, dört farklı toprağın penetrasyon direnci ile ölçülen bazı özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koyarak, penetrasyon direncinin tahminini sağlayan regresyon denklemlerini geliştirmektir. Çalışma Konya ovasında, Entisol ordosunda yer alan üç farklı toprak üzerinde yürütülmüştür.

Çalışma sonuçlarına göre penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi arasında önemli pozitif ilişkiler tesbit edilmiştir. Penetrasyon direnci ile toplam porozite, 50 µm'den büyük ve 50-8.6 µm arası por yüzdesi ile ise önemli negatif ilişkiler olduğu bulunmuştur.

## The Relationships Between Penetration Resistance and Certain Soil Properties

**Abstract :** The purpose of this study was to determine the relationships between penetration resistance and certain soil properties, and to develop regression equations based on these relationships for predicting penetration resistance. Field studies were conducted on four different Entisol soils in plains in the Konya regions.

Below 0.2 µm, pore-size distribution was found to be positively related to soil penetration resistance and bulk density. Above 50 µm, pore-size distribution was found to be negatively related to soil penetration resistance and total porosity.

## Giriş

Bitkisel üretimde verimi ve kaliteyi yükseltmek tarımcıların temel amaçlarından biridir. Bunun için ise çeşitli çalışmalar ve sonuçlarında da tavsiyeler ortaya konulmaktadır. Toprak sıkışmasının azaltılması da bunlardan biridir. Bitki köklerinin içerisinde geliştiği toprağın mekanik direncinin düşük olması istenir. Ancak, mekanizasyondaki artış ve yoğun tarımsal faaliyetler tarım alanlarında önemli sıkışma problemleri meydana getirmektedir. Sıkışmanın derecesine bağlı olarak toprak özelliklerinde çeşitli değişimler olmaktadır.

Toprakların sıkışma derecesi arttıkça kütle yoğunluğunda artışlar olmakta (1-3) ve porozite özellikle makro porozite (> 50 µm çaplı) azalmaktadır (4-7). Sıkışmış topraklarda kök bölgesindeki oksijen difüzyonu yetersiz kalmakta, bitki kökleri ve mikrobiyal aktivite bundan olumsuz etkilenmektedir (2, 8). Bunların yanısıra toprağın kesme ve penetrasyon dirençlerinde artışlar olmaktadır (3, 5, 9, 10).

Tarımsal üretimde, toprak işlenmeye uygun rutubette iken kritik penetrasyon direnci 3 MPa olarak belirlenirken

(11), makro porozitenin % 12-14'den daha az olmaması gerektiği ifade edilmektedir (12). Ancak burada belirtilen kritik penetrasyon direnci toprak özelliklerine, toprak rutubet içeriğine ve bitki kök yapısına bağlı olarak önemli değişiklikler gösterir.

Çalışmada, penetrasyon direnci ölçümünün yapıldığı andaki, toprak katmanlarının rutubet içeriklerinin birbirine çok yakın oldukları Tablo 1'den görülmektedir. Ancak toprak katmanlarının penetrasyon dirençleri incelendiğinde birbirlerinden farklı oldukları anlaşılmaktadır. Çalışmanın amacı bu farklılığın sebeplerini belirleyerek, penetrasyon direncinin tahminini sağlayan regresyon denklemleri geliştirmektir.

## Materyal ve Metot

### Materyal

Araştırma, Konya ovasında, Çumra ilçesinin kuzey batısında, Entisol ordosunda yer alan dört farklı toprak üzerinde yapılmıştır. Araştırma bölgesinin yıllık yağışı ortalama 300 mm ve deniz seviyesinden olan yüksekliği 1013 m'dir.

## Metot

Araştırma topraklarının üç farklı derinliklerinden (0-10, 10-20 ve 20-30 cm) bozulmuş ve bozulmamış örnekler alınarak çeşitli analizler yapılmıştır. Bozulmamış toprak örnekleri belli ebatlardaki (çapı : 5.45 cm, yüksekliği : 4.2 cm) çelik silindirler vasıtasıyla üçer tekerrürlü olarak alınmıştır. Bozulmuş örnekler laboratuvarında kurutulup, 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra analizlerde kullanılmıştır.

Mekanik analiz Day hidrometre metoduyla (13), kireç Scheibler kalsimetresiyle (14), organik madde Smith Weldon metoduyla (15), tane yoğunluğu piknometre metoduyla (16), kütle yoğunluğu bozulmamış örnek alma silindirleriyle (17), toplam porozite tane yoğunluğu ile kütle yoğunluğundan hesaplanarak (18), por büyüklüğü dağılımı bozulmamış örnekler satüre edildikten sonra değişik basınçlarda (0.058, 0.33 ve 15 atm) tutularak belirlenmiştir (19). Penetrasyon ölçümleri el ile itilerek toprağa girişi sağlanan, 30° açılı, 12.83 mm çaplı, konik uçlu, ölçüm değerleri N/cm<sup>2</sup> olarak 1 cm aralıklarla taksimatlandırılmış kağıda, derinlikteki artışla beraber grafikleme özelliğine sahip alet ile yapılmıştır. Penetrasyon direnci değerleri 10 ile çarpılarak kPa'a çevrilmiştir.

Penetrasyon ölçümleri 12 tekerrürlü olarak 0-30 cm derinlikte yapılmıştır. Penetrasyon ölçümünün yapıldığı anda üç farklı derinlikten, üç tekerrürlü olarak rutubetli

toprak örnekleri alınmış, 105°C'ye ayarlı etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup, ağırlık esasına göre rutubet içerikleri tayin edilmiştir.

Ölçümler sonucu elde edilen penetrasyon direnci grafiklerinden 2.5-5.0 ve 7.5 cm derinliklerdeki penetrasyon direnci değerlerinin ortalaması alınarak, 0-10 cm toprak derinliğinin ortalama penetrasyon direnci değerleri bulunmuştur. 10-20 cm toprak derinliğinin penetrasyon direnci değerleri 12.5-15.0 ve 17.5 cm'deki, 20-30 cm toprak derinliğinin penetrasyon direnci değerleri ise 22.5-25.0 ve 27.5 cm'deki penetrasyon direnci değerlerinin ortalamasından hesaplanmıştır.

Penetrasyon dirençleri ile seçilen diğer toprak özellikleri arasında Path analizi yapılarak korelasyon matrisi tablosu çıkarılmıştır. Bu tablodan korelasyon katsayısı ve açıklama yüzdesi yüksek olan faktörler işleme alınarak, penetrasyon direnci ile bu özellikler arasında regresyon denklemleri oluşturulmuştur (20).

## Bulgular ve Tartışma

### Toprak Özellikleri

Üzerinde çalışılan toprakların bazı özelliklerine ait değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Araştırmaya konu topraklardan 1 numaralı örneğin 10-20 ve 20-30 cm'si, 2 ve 4 numaralı örneklerin üç derinliği de kil tekstürüne sahipken, 1 numaralı örneğin

Tablo 1. Üzerinde Çalışılan Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Ait Değerler\*.

Toprak No.	Derinlik (cm)	Tane İriliği Dağılımı, %				Organik Madde (%)	Tane Yoğun. (g/cm <sup>3</sup> )	Kütle Yoğun. (g/cm <sup>3</sup> )	Toplam Porozite (%)	Por Büyüklüğü Dağılımı, %				Penetrasyon** (kPa)	Ölçümdeki Rutubet (g/100 g)
		Kil (<2 µm)	Silt (2-50 µm)	Kum (50-2000 µm)	CaCO <sub>3</sub> (%)					>50 µm	50-8.6 µm	8.6-0.2 µm	<0.2 µm		
1	0-10	41.52	11.05	47.43	39.13	2.26	2.63	1.28	51.40	8.46	19.47	7.75	13.37	975	20.27
	10-20	43.37	14.01	42.62	39.20	2.39	2.63	1.49	43.30	4.19	10.78	8.18	13.95	1661	21.24
	20-30	45.17	15.17	39.66	39.38	1.89	2.62	1.49	43.26	5.42	10.03	8.69	13.60	1787	21.14
2	0-10	51.00	18.91	30.09	30.50	2.41	2.61	1.26	51.79	10.09	10.35	10.91	16.54	691	27.13
	10-20	54.10	22.37	23.53	31.22	1.75	2.65	1.34	49.56	7.01	9.38	9.44	16.89	884	27.65
	20-30	56.68	22.33	20.87	32.18	1.64	2.64	1.39	47.72	7.67	6.51	10.79	17.29	1151	27.43
3	0-10	34.36	23.65	41.99	4.32	1.67	2.62	1.46	44.07	8.09	12.89	9.49	12.34	630	20.93
	10-20	36.80	23.10	40.10	4.22	0.82	2.63	1.55	41.27	4.21	10.30	9.20	13.48	881	21.73
	20-30	39.43	19.86	40.71	5.35	0.76	2.65	1.50	43.27	7.72	11.88	8.51	13.50	875	20.88
4	0-10	45.18	23.83	30.99	8.88	1.75	2.63	1.33	49.54	8.72	11.23	12.84	15.12	408	26.10
	10-20	44.67	22.93	32.40	8.88	1.51	2.63	1.48	43.92	3.82	3.85	12.18	15.72	669	26.08
	20-30	45.76	23.55	30.69	9.85	0.98	2.68	1.51	43.53	5.09	6.54	11.03	15.75	814	25.29

\* : Analizler üç tererrürlü olarak yapılmıştır. \*\* : Her bir rakam 12 tekerrürün ortalamasıdır.

0-10 cm'si ile 3 numaralı örneğin tüm derinlikleri killi-tın tekstüre sahiptir. Toprakların kireç içerikleri % 4.22 ile % 39.38 arasında, organik madde içerikleri % 0.76 ile % 2.41 arasında, tane yoğunlukları 2.61 g/cm<sup>3</sup> ile 2.68 g/cm<sup>3</sup> arasında, kütle yoğunlukları 1.26 g/cm<sup>3</sup> ile 1.55 g/cm<sup>3</sup> arasında, toplam porozite değerleri % 41.27 ile % 51.79 arasında, 50 µm'den büyük porlar % 3.82 ile % 10.09 arasında, 50-8.6 µm arasındaki porlar % 3.85 ile % 19.47 arasında, 8.6-0.2 µm arasındaki porlar % 7.75 ile % 12.84 arasında, 0.2 µm'den küçük porlar % 12.34 ile % 17.29 arasında, penetrasyon dirençleri 408 kPa ile 1787 kPa arasında ve ağırlık yüzdesi olarak rutubet içerikleri ise % 20.27 ile % 27.65 arasında değişmiştir (Tablo 1).

#### Toprak Özellikleri İle Penetrasyon Direnci Arasındaki İlişkiler

Araştırmadaki 1 numaralı toprak örneğinin penetrasyon direnci ile ölçülen bazı özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları, bu özelliklerin penetrasyon direncine doğrudan ve dolaylı etkileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde, 1 numaralı toprak örneğinin penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu arasında önemli pozitif bir ilişki, toplam porozite, 50 µm'den büyük por ve 50-8.6 µm arası por yüzdesi ile ise önemli negatif ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkilerin korelasyon katsayıları sırasıyla; 0.903\*\*, -0.860\*\*, -0.728\* ve -0.838\*\* olarak saptanmıştır.

Penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu arasındaki ilişkinin % 59.01'inin doğrudan ve % 40.99'unun ise dolaylı etkilerden, toplam porozite ile olan ilişkinin % 21.38'inin doğrudan ve % 78.62'sinin ise dolaylı etkilerden (bunun % 53.19'unun kütle yoğunluğu

üzerinden olduğu), 50 µm'den büyük por yüzdesi ile olan ilişkinin % 3.46'sının doğrudan ve % 96.54'ünün ise dolaylı etkilerden (bunun % 59.17'sinin kütle yoğunluğu üzerinden olduğu), 50-8.6 µm arası por yüzdesi ile olan ilişkinin % 18.16'sının doğrudan ve % 81.84'ünün ise dolaylı etkilerden (bunun % 58.80'inin kütle yoğunluğu üzerinden) kaynaklandığı belirlenmiştir (Tablo 2).

Diğer taraftan 1 numaralı toprağın penetrasyon direnci ile 8.6-0.2 µm por ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır (Tablo 2).

Araştırmadaki 2 numaralı toprağın penetrasyon direnci ile ölçülen bazı özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları, bu özelliklerin penetrasyon direncine doğrudan ve dolaylı etkileri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde, 2 numaralı toprak örneğinin penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi arasında, önemli pozitif ilişkiler, toplam porozite ile ise önemli negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkilerin korelasyon katsayıları sırasıyla; 0.875\*\*, 0.961\*\* ve -0.799\*\* olarak saptanmıştır.

Penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu arasındaki ilişkinin % 22.68'inin doğrudan ve % 77.32'sinin ise dolaylı etkilerden (bunun % 43.35'inin 0.2 µm'den küçük por yüzdesi üzerinden), toplam porozite ile olan ilişkinin % 19.31'inin doğrudan ve % 80.69'unun ise dolaylı etkilerden (bunun % 41.32'sinin 0.2 µm'den küçük por yüzdesi üzerinde), 0.2 µm'den küçük por yüzdesi ile olan ilişkinin % 61.82'sinin doğrudan ve % 38.18'inin ise dolaylı etkilerden (bunun % 15.82'sinin kütle yoğunluğu üzerinden) kaynaklandığı belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 2. Bir Nolu Toprak Örneğinin Penetrasyon Direnci İle Ölçülen Bazı Özellikleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Path Analizi Verileri.

İncelenen Özellikler	Sembölü	Korelas. Katsayı.	Doğrudan Etki				Dolaylı Etkiler											
			Path (P)		X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		X <sub>5</sub>		X <sub>6</sub>			
			Katsayı.	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%		
Kütle yoğunluğu	X <sub>1</sub>	0.903**	0.931	59.01	-	-	-0.750	53.19	-0.651	59.17	-0.899	58.80	0.395	50.15	0.731	59.28		
Toplam porozite	X <sub>2</sub>	-0.860**	-0.299	21.38	0.241	15.27	-	-	-0.163	14.79	-0.236	15.44	0.185	23.45	0.175	14.24		
> 50 µm por	X <sub>3</sub>	-0.728*	-0.038	3.46	0.027	1.69	-0.021	1.48	-	-	-0.020	1.29	0.024	3.03	0.018	1.49		
50-8.6 µm por	X <sub>4</sub>	-0.838**	0.278	18.16	-0.268	17.01	0.219	15.66	0.144	13.11	-	-	-0.080	10.19	-0.215	17.46		
8.6-0.2 µm por	X <sub>5</sub>	0.628	0.099	12.56	0.042	2.67	-0.06	4.37	-0.062	5.65	-0.029	1.87	-	-	-	-		
<0.2 µm por	X <sub>6</sub>	0.617	-0.087	7.08	-0.069	4.35	0.05	3.66	0.042	3.82	0.068	4.40	0.005	0.62	-0.005	0.45		

\* : P<0.05; \*\* : P<0.01

Tablo 3. İki Nolu Toprak Örneğinin Penetrasyon Direnci İle Ölçülen Bazı Özellikleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Path Analizi Verileri.

İncelenen Özellikler	Sembölü	Doğrudan Etki			Dolaylı Etkiler											
		Korelas. Katsayı.	Path (P)		X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		X <sub>5</sub>		X <sub>6</sub>	
			Katsayı.	Katsayı.	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	
Kütle yoğunluğu	X <sub>1</sub>	0.845**	0.275	22.68	—	—	-0.269	23.28	-0.221	20.76	-0.149	17.41	-0.056	19.57	0.192	15.82
Toplam porozite	X <sub>2</sub>	-0.799**	-0.223	19.31	0.218	18.00	—	—	-0.174	16.33	-0.113	13.25	-0.048	16.62	0.141	11.60
>50 µm por	X <sub>3</sub>	-0.607	0.228	21.47	-0.183	15.14	0.178	15.40	—	—	0.081	9.49	0.121	42.26	-0.127	10.47
50-8.6 µm por	X <sub>4</sub>	-0.657	-0.004	0.44	0.002	0.17	-0.002	0.16	-0.001	0.13	—	—	0.020	0.59	0.002	0.20
8.6-0.2 µm por	X <sub>5</sub>	-0.041	-0.039	13.80	0.008	0.66	-0.008	0.73	-0.021	1.96	0.018	2.07	—	—	0.001	0.09
< 0.2 µm por	X <sub>6</sub>	0.961**	0.751	61.82	0.525	43.35	-0.475	41.12	-0.419	39.35	-0.490	57.34	-0.020	7.16	—	—

\* : P<0.05; \*\* : P<0.01

Diğer taraftan 2 numaralı toprağın penetrasyon direnci ile 50 µm'den büyük por, 50-8.6 µm por ve 8.6-0.2 µm por yüzdesi arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır (Tablo 3).

Araştırmadaki 3 numaralı toprağın penetrasyon direnci ile ölçülen bazı özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları, bu özelliklerin penetrasyon direncine doğrudan ve dolaylı etkileri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 incelendiğinde, 3 numaralı toprak örneğinin penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu ve 2 µm'den küçük por yüzdesi arasında, önemli pozitif ilişkiler, toplam porozite ile ise önemli negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkilerin korelasyon katsayıları sırasıyla; 0.798\*\*, 0.966\*\* ve -0.673\* olarak saptanmıştır.

Penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu arasındaki ilişkinin % 25.37'sinin doğrudan ve % 74.63'ünün ise dolaylı etkilerden (bunun % 35.64'ünün toplam porozite üzerinden), toplam porozite ile olan ilişkinin % 38.83'ünün doğrudan ve % 61.17'sinin ise dolaylı

etkilerden (bunun % 26.04'ünün kütle yoğunluğu üzerinden), 0.2 µm'den küçük por yüzdesi ile olan ilişkinin % 39.94'ünün doğrudan ve % 60.06'sinin ise dolaylı etkilerden (bunun % 23.83'ünün toplam porozite üzerinden) kaynaklandığı belirlenmiştir (Tablo 4).

Diğer taraftan 3 numaralı toprağın penetrasyon direnci ile 50 µm'den büyük por, 50-8.6 µm por ve 8.6-0.2 µm por yüzdesi arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır (Tablo 4).

Araştırmadaki 4 numaralı toprağın penetrasyon direnci ile ölçülen bazı özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları, bu özelliklerin penetrasyon direncine doğrudan ve dolaylı etkileri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde, 4 numaralı toprak örneğinin penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi arasında, önemli pozitif ilişkiler, toplam porozite ile ise önemli negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkilerin korelasyon katsayıları sırasıyla; 0.822\*, 0.759\* ve -0.807\*\* olarak saptanmıştır.

Tablo 4. Üç Nolu Toprak Örneğinin Penetrasyon Direnci İle Ölçülen Bazı Özellikleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Path Analizi Verileri.

İncelenen Özellikler	Sembölü	Doğrudan Etki			Dolaylı Etkiler											
		Korelas. Katsayı.	Path (P)		X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		X <sub>5</sub>		X <sub>6</sub>	
			Katsayı.	Katsayı.	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	
Kütle yoğunluğu	X <sub>1</sub>	0.798**	-1.043	25.37	—	—	1.013	26.04	0.849	24.74	0.549	22.68	0.149	9.82	-0.740	21.17
Toplam porozite	X <sub>2</sub>	-0.673*	-1.509	38.83	1.465	35.64	—	—	-1.198	34.91	-0.813	33.56	-0.177	11.67	0.834	23.83
> 50 µm por	X <sub>3</sub>	-0.503	0.552	16.11	-0.450	10.94	0.438	11.28	—	—	0.170	7.02	-0.176	11.63	-0.254	7.27
50-8.6 µm por	X <sub>4</sub>	-0.542	0.203	8.38	-0.107	2.60	0.109	2.81	0.062	1.82	—	—	0.009	0.60	-0.097	2.78
8.6-0.2 µm por	X <sub>5</sub>	-0.396	0.401	26.51	-0.057	1.39	0.047	1.21	-0.128	3.72	0.018	0.74	—	—	-0.173	4.96
<0.2 µm por	X <sub>6</sub>	0.966**	1.395	39.94	0.989	24.06	-0.771	19.83	-0.641	18.70	-0.669	27.62	-0.602	39.77	—	—

\* : P<0.05; \*\* : P<0.01

Tablo 5. Dört Nolu Toprak Örneğinin Penetrasyon Direnci İle Ölçülen Bazı Özellikleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Path Analizi Verileri.

İncelenen Özellikler	Sembölü	Korelas. Katsayı.	Doğrudan Etki			Dolaylı Etkiler											
			Path (P)			X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		X <sub>5</sub>		X <sub>6</sub>	
			Katsayı.	%	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%
Kütle yoğunluğu	X <sub>1</sub>	0.822**	-0.912	26.70	—	—	0.890	26.19	0.546	18.02	0.367	15.62	0.339	20.46	-0.451	17.41	
Toplam porozite	X <sub>2</sub>	-0.807**	-1.571	46.22	1.535	45.02	—	—	-0.995	32.89	-0.644	27.44	-0.452	27.32	0.700	27.03	
>50 µm por	X <sub>3</sub>	-0.655	0.640	21.16	-0.383	11.24	0.406	11.94	—	—	0.530	22.55	0.118	7.13	-0.464	17.95	
50-8.6 µm por	X <sub>4</sub>	-0.481	-0.569	24.23	0.229	6.72	-0.233	6.87	-0.471	15.55	—	—	0.054	3.29	0.274	10.57	
8.6-0.2 µm por	X <sub>5</sub>	-0.633	-0.338	23.45	0.144	4.24	-0.112	3.29	-0.072	2.36	0.037	1.58	—	—	0.282	10.89	
<0.2 µm por	X <sub>6</sub>	0.759**	0.419	16.17	0.207	6.08	-0.187	5.49	-0.303	10.02	-0.201	8.58	-0.304	18.35	—	—	

\* : P&lt;0.05; \*\* : P&lt;0.01

Penetrasyon direnci ile kütle yoğunluğu arasındaki ilişkinin % 26.70'inin doğrudan ve % 73.30'unun ise dolaylı etkilerden (bunun % 45.02'sinin toplam porozite üzerinden), toplam porozite olan ilişkinin % 46.22'sinin doğrudan ve % 53.78'inin ise dolaylı etkilerden (bunun % 26.19'unun kütle yoğunluğu üzerinden), 0.2 µm'den küçük por yüzdesi ile olan ilişkinin % 16.17'sinin doğrudan ve % 83.83'ünün ise dolaylı etkilerden (bunun % 27.03'ünün toplam porozite üzerinde) kaynaklandığı belirlenmiştir (Tablo 5).

Diğer taraftan 4 numaralı toprağın penetrasyon direnci ile 50 µm'den büyük por, 50-8.6 µm por ve 8.6-0.2 µm por yüzdesi arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır (Tablo 5).

#### Toprak Özelliklerinden Penetrasyon Direncinin Tahmini

Toprakların penetrasyon dirençleri ile ölçülen bazı özellikleri arasındaki regresyon denklemleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'dan da görüleceği gibi, penetrasyon direncinin; 1 numaralı toprak örneğinde kütle yoğunluğu ve toplam porozite üzerinden, 2 numaralı toprak örneğinde kütle yoğunluğu, toplam porozite ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi üzerinden, 3 ve 4 numaralı toprak örneklerinde ise toplam porozite ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi üzerinden istatistiki olarak % 1 ve % 5 önemli seviyelerinde tahmin edilebileceği anlaşılmaktadır. Yine aynı tablodan belirtilen özellikler ile penetrasyon dirençleri arasındaki belirleme katsayılarının (r<sup>2</sup>) sırasıyla; 0.82, 0.93, 0.92 ve 0.74 olduğu saptanmıştır.

#### Sonuçlar

Çalışma sonuçlarından görüleceği gibi, toprakların penetrasyon dirençleri derinlikle birlikte artış göstermektedir. Bunun çeşitli sebepleri bulunmaktadır. Alt katmanlardaki toprak, üstteki toprakların kütle yükü altında bulunmaktadır. Bu da toprakta doğal olarak

Toprak No.	Bağımlı Değişken (Y)	Bağımsız Değişkenler	Sembölü	Regresyon Denklemi	r <sup>2</sup>
1	Penetrasyon Direnci	Kütle Yoğunluğu	X <sub>1</sub>	Y= 2159.67** X <sub>1</sub> -35.41**X <sub>2</sub>	0.82
		Toplam Porozite	X <sub>2</sub>		
2	Penetrasyon Direnci	Kütle Yoğunluğu	X <sub>1</sub>	Y= -2225.12*X <sub>1</sub> -88.62**X <sub>2</sub> +488**X <sub>6</sub>	0.93
		Toplam Porozite	X <sub>2</sub>		
		< 0.2 µm Por	X <sub>6</sub>		
3	Penetrasyon Direnci	Toplam Porozite	X <sub>2</sub>	Y= -29.03**X <sub>2</sub> +155.60**X <sub>6</sub>	0.92
		< 0.2 µm Por	X <sub>6</sub>		
4	Penetrasyon Direnci	Toplam Porozite	X <sub>2</sub>	Y= -34.54**X <sub>2</sub> +142.19**X <sub>6</sub>	0.74
		< 0.2 µm Por	X <sub>6</sub>		

\* : P&lt;0.05; \*\* : P&lt;0.01

Tablo 6. Üzerinde Çalışılan Toprakların Penetrasyon Direnci İle Ölçülen Bazı Özellikleri Arasındaki Regresyon Denklemleri.

sıkışmaya yol açar. Ayrıca profil içerisindeki yıkanma birikme olayları alt katmanlardaki gözenekleri azaltarak toprakların kütleli yoğunluklarının artmasına sebep olurlar. Diğer taraftan, tarla trafiği de toprakların sıkışmasına sebep olan önemli faktörlerdendir. Bu faktörlerin etkisine bağlı olarak toprakların sıkışma durumları ve penetrasyon dirençleri de değişiklikler gösterir. Penetrometre ile yapılan ölçümler yukarıda bahsedilen faktörlerle toprak rutubeti tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Toprakların rutubet içerikleri arttıkça penetrasyon dirençleri düşer. Ancak aynı rutubet seviyelerinde aynı toprağın farklı katmanlarının veya farklı toprakların değişik penetrasyon direnci değerleri

göstermesi çeşitli toprak özelliklerine bağlı bulunmaktadır. Bu çalışmayla penetrasyon direnci üzerinde etkili olabilecek toprak özellikleri belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Üzerinde çalışılan toprakların penetrasyon dirençleri hacim ağırlığı ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi artışına bağlı olarak önemli artış göstermiştir. Bu durum ise toprak sıkışmasının artışının bir göstergesidir. Toplam porozite ve iri porlardaki artış ise penetrasyon direncini azaltıcı etki göstermektedir. Toplam porozite ve iri porlardaki artış toprak gevşekliğinin bir ifadesidir. Benzer sonuçlar bir çok araştırmacı tarafından da ortaya konulmuştur (1-10).

## Kaynaklar

1. Gameda, S., Raghavan, G.S.V, McKyes, E., Relationship Between Soil Structure and Compactibility, International Summer Meeting, Charlotte, North Carolina, (1992).
2. Busscher, W.J., Adjustment of Flat-Tipped Penetrometre Resistance Data to a Common Water Content, Transactions of the ASAE, 33 (2), 519-524, (1990).
3. Karakaplan, S., Değişik Nem ve Basınçta Sıkıştırmanın Toprakların Hacim Ağırlığı Penetrasyon ve Permabilite Değerlerine Etkileri, Atatürk Üniv. Basımevi, Erzurum, (1982).
4. Tanner, C.B., Mamaril, C.P., Pasture Soil Compaction by Animal Traffic, Agronomy, J. 51, 329-331, (1959).
5. Lipiec, J., Szustak, A., Tarkiewicz, S., Soil Compaction Responses of Soil Physical Properties and Crop Growth, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 398, 113-117, (1992).
6. Carter, M.R., Relative Measures of Soil Bulk Density to Characterize Compaction in Tillage Studies on Fine Sandy Loams. Can. J. Soil Sci. 70, 425-433, (1990).
7. Gupta, S.C., Allmaras, R.R., Models to Assess the Susceptibility of Soil With Excessive Compaction, Adv. Soil Sci. 6, 65-100, (1987).
8. Cannell, R. Q., Soil Aeration and Compaction in Relation to Root Growth and Soil Management, Appl. Biol., 2, 1-86, (1977).
9. Handerson, C.W.L., Using a Penetrometer to Predit the Effects of Soil Compaction on the Growth and Yield of Wheat on Uniform Sandy Soils, Aust. J. Agric. Res., 40, 497-508, (1989).
10. Çarman, K., Tractor Forward Volocity and Tine Load Effects on Soil Compaction, J. of Terramechanics, 31 (1), 11-20, (1994).
11. Bussches, W.J., Sojka, R.E. Enhancement of Subsoiling Effect on Soil Strength by Conservation Tillage, Transactions of the ASAE, 30 (4), 888-892, (1987).
12. Carter, M.R., Temporal Variability of Soil Macroporosity in a Fine Sandy Loam under Mouldboard Ploughing and Direct Drilling, Soil Tillage Res. 12, 37-51, (1988).
13. Gee, G.W., Bauder, J.W., Particle-size Analysis, In Klute, A. et. al. (ed), Methods of Soil Analysis Part I, Agronomy 9, 383-409, (1986).
14. Hızalan, E., ve Ünal, H., Toprakta Önemli Kimyasal Analizler. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, 278, (1966).
15. Hocaoğlu, Ö.L., Toprakta Organik Madde, Nitrojen ve Nitrat Tayini, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Zirai Araştırma Enst. Teknik Bülten No : 9, (1966).
16. Blake, G.R., Hartge, K.H., Particle Density, In Klute, A. et. al. (ed), Methods of Soil Analysis Part I, Agronomy 9, 377-381, (1986).
17. Blake, G.R., Hartge, K.H., Bulk Density, In Klute, A. et. al. (ed), Methods of Soil Analysis Part I, Agronomy 9, 363-375, (1986).
18. Denielson, R.E., Sutherland, P.L., Porosity, In Klute, A. et. al. (ed), Methods of Soil Analysis Part I, Agronomy 9, 443-460, (1986).
19. Demiralay, İ., Toprak Fiziksel Analizleri, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yay. No. 143, Erzurum, 132, (1993).
20. Açıkgöz, N. Deneme Değerlendirme Paketi, Seri No : A1001, Ege Üniv. Ziraat Fak., İzmir.