

# Farklı Toprakların Penetrasyon Dirençleri Üzerine Su İçeriklerinin Etkisi ve Regresyon Modelleri

Cevdet ŞEKER

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Konya - TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 13.05.1997

**Özet :** Bu çalışmanın amacı, toprak su içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişkileri ortaya koyarak, farklı toprakların penetrasyon dirençlerinin birbirleri ile kıyaslanmalarını sağlayacak uygun modeller geliştirmektir. Arazi çalışması, Konya ovasında yer alan, Entisol ordosuna dahil, dört farklı toprak üzerinde yapılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre, toprak su içerikleri ile penetrasyon dirençleri arasında önemli ilişkiler olduğu belirlenmiştir ( $r^2=0.77$  ile  $0.99$ ). Bu ilişkiyi ifade etmede  $Y=a+bX^3$  regresyon denkleminin uygun olacağı, yapılan regresyon analizlerinden ortaya çıkmıştır. Buradaki Y kilopascal (kPa) olarak penetrasyon direncini, X ağırlık yüzdesi olarak toprak su içeriğini, a ve b ise regresyon analizi sonucu bulunan sabitleri ifade etmektedir. Bulunan regresyon denklemlerinden hesaplanan penetrasyon dirençleri ile ölçüm sonucu elde edilen penetrasyon dirençlerinin korelasyon katsayıları 0.94 ile 0.99 arasında değişmiştir.

## The Effect of Water Content on the Penetration Resistance of Different Soils, and Regression Models

**Abstract :** The purposes of this study were to determine the relationships between soil water content and soil penetration resistance, and to develop regression models for comparing penetration resistance in different soils. A field study was conducted on four different soils in Entisol on the Konya plain.

Significant relationships were found between soil water content and soil penetration resistance ( $r^2= 0.77$  to  $0.99$ ). The results of regression analysis showed that the regression equation was  $Y=a+bX^3$ , in which Y was penetration resistance (kPa) and X was soil water content (%), a and b were constants changing with soil and different layers of the same soil. Correlation coefficients between penetration resistance calculated from regression equations and penetration resistance from field experiment measurements varied between 0.94 and 0.99.

## Giriş

Artan mekanizasyon ve yoğun tarımsal faaliyetler, tarım topraklarında önemli sıkışma problemleri meydana getirmektedir. Toprakların su içeriklerindeki değişimler ve tekstürel farklılığı sıkışmaya karşı farklı tepki göstermelerine neden olmaktadır. Diğer taraftan, iyi bir tohum yatağı hazırlayabilmek için toprakların işlenmeye elverişli oldukları su içerikleri, tarla trafiğinden dolayı en fazla sıkışmanın olabileceği şartlardır. Bu yüzden çoğu tarım alanında toprak sıkışmayla karşı karşıya kalmaktadır (1).

Tarımsal üretim toprak sıkışmasından olumsuz yönde etkilenmektedir. Herşeyden önce, bitki köklerinin gelişimi fiziksel olarak engellenmektedir (2-5). Toprak sıkışmasıyla su hareketi azalmakta, köklere oksijen difüzyonu yetersiz kalmaktadır. Bitkinin besin elementi

alımı zorlaşarak, ürün verimi ve kalitesinde düşüşler olmaktadır (5-8).

Sıkışmış toprağın bazı fiziksel özelliklerinde değişiklikler olmaktadır. Bunlar arasında hacimsel yoğunluk artışı, gözenekliliğin özellikle makro gözeneklerin azalması, kesme ve penetrasyon dirençlerinin artması sayılabilir (9-12).

Toprakların sıkışma durumları çeşitli yöntemlerle ölçülebilir. Bunlar arasında hacimsel yoğunluk, gözeneklilik, kesme direnci, hava ve su geçirgenliği ölçümleri sayılabilir. Bu özellikler toprağın sıkışma durumuna göre değişiklik gösterirler. Ancak, bu yöntemlerin pratikte çeşitli uygulama güçlükleri bulunmaktadır. Son yıllarda uygulanması kolay, çok sayıda ve çeşitli derinliklerin aynı anda ölçülmesini sağlayan penetrasyon ölçümlerinden faydalanılarak

toprak sıkışması hakkında bilgiler elde edilmektedir (13). Penetrasyon ölçümleri konik ve düz uçlu penetrometreler ile yapılabilmektedir (13, 14). Bir penetrometre ile yapılan ölçümler, toprağın su içeriği, hacimsel yoğunluğu, agregasyon durumu, parçacık büyüklükleri ve şekilleri tarafından etkilenirler (15, 16). Özellikle konik uçlu penetrometrelerin kullanımı daha yaygın durumdadır.

Penetrasyon ölçümlerinde karşılaşılan en önemli sorun elde edilen değerlerin birbirleri ile kıyaslanmalarında ortaya çıkmaktadır. Çünkü penetrasyon direnci toprak su içeriklerindeki değişiklikten önemli ölçüde etkilenmektedir. Bitkisel üretim açısından, tamamen kuru, sıkışmış bir toprağın penetrasyon direnci sonsuz ve su ile doymuş toprağın penetrasyon direnci ise sıfır kabul edilmektedir (13). Bu durumda herhangi bir toprağın penetrasyon direncini değişik zamanlarda ölçtüğümüzde, ortaya çıkacak farklılığın su içeriğinden mi yoksa diğer faktörlerden mi kaynaklandığını belirlemek çoğu zaman güç olmaktadır. Aynı zorluk farklı toprakların sıkışma durumlarını kıyaslamada da karşımıza çıkmaktadır. Bu problemi giderebilmek için toprakların su içerikleri ile penetrasyon dirençleri arasında regresyon modelleri geliştirilip, standart kabul edilebilecek bir su içeriğindeki penetrasyon dirençlerini belirleyip, kıyaslamalara gidilebilecektir. Bu çalışmadan amaç, yukarıda bahsedilen ilişkileri ortaya koyacak uygun modeller geliştirebilmek ve kıyaslamalar yapılmasını sağlamaktır.

## Materyal ve Metot

### Materyal

Araştırma, Konya Ovasında, Çumra ilçesinin kuzey-batısında, Enstisol ordosunda yer alan dört farklı toprak üzerinde yapılmıştır. Araştırma bölgesinin yıllık yağışı ortalama 325 mm, yıllık ortalama sıcaklığı 11.5°C, yıllık ortalama buharlaşması 1325.3 mm ve deniz seviyesinden olan yüksekliği ise 1013 m'dir. Araştırmada kullanılan toprakların bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

### Metot

Toprak örneklerinin mekanik analizleri Day hidrometre metodu (17), kireç Scheibler kalsimetresi (18), organik madde Smith-Weldon metodu (19) ve tarla kapasitesi ise basınç tablası aleti (20) ile yapılmıştır.

Penetrometre 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 kilopascal (kPa) çevrilmiştir.

Toprakların penetrasyon direnci ölçümleri, şeker pancarı yetiştirme sezonu içerisinde, üçüncü sulamadan 1 gün sonra, 12 tekerrürlü olarak, 0-30 cm derinlikte yapılmıştır. Penetrasyon ölçümleri yapıldığı anda 3 farklı

Toprak No.	Derinlik Cm	Tane İriliği Dağılımı, %			CaCO <sub>3</sub> (%)	Organik Madde (%)	Tarla Kapasitesi (0.33 atm. nem yüzdesi)
		Kil (<2µm)	Silt (2-50 µm)	Kum (50-2000 µm)			
1	0-10	41.52	11.05	47.03	39.13	2.26	21.12
	10-10	43.37	14.01	42.62	39.20	2.39	22.13
	20-30	45.17	15.17	39.66	39.38	1.86	22.29
2	0-10	51.00	18.91	30.09	30.50	2.41	27.45
	10-20	54.10	23.37	23.53	31.22	1.75	26.33
	20-30	56.80	22.33	20.87	32.18	1.64	28.08
3	0-10	34.36	23.65	41.99	4.32	1.67	21.84
	10-10	36.80	23.10	40.10	4.44	0.86	22.28
	20-30	39.43	19.86	40.71	5.35	0.76	22.01
4	0-10	45.18	23.83	30.99	8.88	1.75	27.96
	10-10	44.18	22.93	32.40	8.88	1.51	27.90
	20-30	45.76	23.55	30.69	9.85	0.96	26.78

Tablo 1. Araştırma Yapılan Toprakların Farklı Katmanlarının Bazı Özellikleri\*.

\* : Tüm analizler üç tekerrürlü olarak yapılmıştır.

derinlikten (0-10, 10-20 ve 20-30 cm), 3 tekerrürlü olarak nemli toprak örnekleri alınarak, 105°C'ye ayarlı fırında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve ağırlık esasına göre su içerikleri tayin edilmiştir. Bundan sonra, toprağın nem kaybetmesi için beklenerek, 4 gün aralıklarla iki defa daha penetrasyon ölçümleri ile bunların karşılığı olan su içeriği tayinleri tekrar 3 farklı derinlikte yapılmıştır.

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 penetrasyon direnci değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. 20-30 cm toprak derinliğinin penetrasyon direnci değerleri ise 22.5-25.0 ve 27.5 cm derinliklerdeki penetrasyon direnci değerlerinin ortalamasından hesaplanmıştır. Belirlenen toprak penetrasyon direnci değerlerinin toprak su içeriğine bağlı olarak değişimi regresyon analizine tabi tutularak regresyon modelleri oluşturulmuştur. Uygun regresyon modelinin belirlenmesinde Table Curve programı kullanılmıştır (21).

Uygun regresyon modelleri belirlendikten sonra, ölçülen penetrasyon dirençleri ile denklemlerden hesaplanan penetrasyon dirençleri arasında, korelasyon analizi yapılarak, korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri belirlenmiştir.

## Bulgular ve Tartışma

### Toprak Su İçerikleri ve Penetrasyon Dirençleri

Denemede kullanılan toprakların farklı zamanlardaki su içerikleri ve bunların karşılığı olan penetrasyon dirençleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablonun incelenmesinden anlaşılacağı üzere, toprak su içerikleri azaldıkça her 4 toprakta da penetrasyon dirençleri artış göstermiştir. Ancak penetrasyon dirençlerindeki artış topraktan toprağa ve aynı toprağın farklı derinliklerinde birbirinden farklı değişim göstermiştir. Toprakların yüzey katmanlarının (0-10 cm) penetrasyon dirençleri alt katmanların (10-20 ve 20-30 cm) penetrasyon dirençlerinden her üç ölçümde de daha düşük bulunmuştur. Elde edilen verilerin bu şekliyle, penetrasyon dirençlerinin birbirinden ne ölçüde farklı olduğunu söylememiz çok güçtür. Çünkü toprakların su içerikleri birbirinden farklıdır. Toprak su içeriğinin penetrasyon direnci üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır (13). Bu sebeple toprakları ve aynı toprağın farklı katmanlarının penetrasyon dirençlerini kıyaslayabilmek için aynı su içeriğinde olmaları gereklidir. Bunu da doğada oluşturmak çoğu zaman güçtür. Çünkü penetrasyon ölçümleri toprakların herhangi bir su içeriklerinde yapılır. Bu ölçümlerin standart olarak kabul edilebilecek bir su içeriğine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için, toprak su içerikleri ile buna bağlı olarak değişen penetrasyon dirençlerinin regresyon modellerinin çıkarılması gerekmektedir. Yapılan istatistiki analizler neticesinde Tablo 3'deki regresyon denklemleri elde edilmiştir. Ayrıca bu tabloda, regresyon denkleminde ve

Tablo 2. Toprak Su İçerikleri (Si) ve Penetrasyon Dirençleri (PD).

Toprak No.	Derinlik (cm)	İlk Si	Standart Hata (SH)	İkinci Si	SH	Üçüncü Si	SH	İlk PD	SH	İkinci PD	SH	Üçüncü PD	SH
		(g/100 g)	(g/100 g)	(g/100 g)		(kPa)		(kPa)		(kPa)			
1	0-10	23.07	±0.374	20.27	±0.443	1757	±0.531	345	±5.92	975	±21.73	1117	±16.76
	10-20	23.39	±0.284	21.24	±0.298	18.62	±0.363	819	±22.37	1661	±23.21	1844	±72.06
	20-30	22.91	±0.240	21.14	±0.373	18.82	±0.292	954	±37.16	1787	±67.54	2265	±88.15
2	0-10	30.53	±0.836	27.13	±0.237	24.08	±0.414	271	±35.53	691	±41.74	772	±24.17
	10-20	29.57	±0.514	27.65	±0.274	25.79	±0.544	552	±52.52	884	±22.10	1434	±56.96
	20-30	29.64	±0.697	27.43	±0.645	26.02	±0.418	763	±68.08	1151	±41.53	1505	±51.42
3	0-10	24.50	±0.716	20.93	±0.037	16.33	±0.379	203	±15.50	630	±33.29	982	±21.62
	10-20	24.30	±0.323	21.73	±0.288	17.24	±0.300	449	±31.63	881	±2.73	1569	±24.34
	20-30	24.38	±0.831	20.88	±0.539	17.16	±0.491	538	±53.80	875	±2.52	1515	±83.92
4	0-10	27.76	±0.350	26.10	±0.534	23.40	±0.220	198	±14.25	408	±25.33	716	±44.91
	10-20	28.85	±0.583	26.08	±1.240	24.84	±0.120	416	±27.47	669	±31.26	980	±33.71
	20-30	26.39	±0.293	25.29	±0.739	24.59	±0.383	622	±11.85	814	±51.22	1026	±31.33

arazi uygulamasından elde edilen penetrasyon dirençlerinin korelasyon katsayıları ve bunların önem seviyeleri bulunmaktadır.

Tablo 3'ün incelenmesinden de görüleceği üzere, toprak su içerikleri ile penetrasyon dirençleri arasında  $Y = a + bX^3$  denklemi geliştirmiştir. Denklemlerdeki Y toprak su içeriğine bağlı olarak değişen penetrasyon direncini (kPa), X ise toprak su içeriğini (g/100 g) ifade etmektedir. Denklemlerdeki a ve b topraktan toprağa, aynı toprağın farklı katmanlarına göre değişen sabitlerdir. Geliştirilen modelin kullanılabilmesi için her toprakta a ve b sabitlerinin bulunması gerekmektedir. Üzerinde çalışılan toprakların a sabiti 1314 ile 3954 arasında, b sabiti -0.036 ile -0.244 arasında değişmiştir. Regresyon katsayıları ( $r^2$ ) 0.77 ile 0.99 arasında bulunmuştur. Üç ayrı toprak su içeriğinden geliştirilen regresyon denkleminde yerine konularak teorik penetrasyon dirençleri elde edildi. Hesapla bulunan penetrasyon dirençleri ile ölçüm sonucu bulunan penetrasyon dirençleri arasında korelasyon analizi yapılarak, korelasyon katsayılarının 0.94 ile 0.99 arasında olduğu saptandı. Ayrıca bulunan korelasyon katsayılarının istatistiki olarak önemli olduğu belirlendi.

#### Penetrasyon Dirençlerinin Kıyaslanması

Uygun regresyon denklemi geliştirildikten sonra, toprakların penetrasyon dirençlerinin kıyaslanması, standart kabul edilebilecek toprak su içeriğinin belirlenmesine bağlıdır. Yapılan çalışmada, toprakların tarla kapasitesinde tuttıkları su içerikleri standart su içeriği olarak kabul edilmiştir. Toprakların tarla kapasitesi

değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tarla kapasitesi değerleri regresyon denklemlerinde yerine konularak, farklı özelliklere sahip her bir toprak ve toprak katmanları için ayrı ayrı penetrasyon dirençleri hesaplanmıştır. Hesaplanan penetrasyon dirençleri önce varyans analizine, sonra gruplandırılmalar için LSD testine tabi tutulmuştur (22). Bulunan sonuçlar Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4'den görüleceği gibi, her üç derinlikte de en düşük penetrasyon dirençleri 4 nolu toprakta meydana gelmiştir. En yüksek penetrasyon dirençleri ise, 0-10 cm derinlikte 1 nolu toprakta, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerde 1 ve 2 nolu topraklarda bulunmuştur. Diğer taraftan 3 nolu toprak ise bunların arasında yer almıştır. Tüm topraklar ve derinlikler birlikte varyans analizine tabi tutulup gruplandırıldıklarında, en düşük penetrasyon direnci 4 nolu toprağın 0-10 cm'sinde, en yüksek penetrasyon direnci ise 2 nolu toprağın 10-20 cm'sinde ölçülmüştür.

#### Sonuç

Çalışma sonucunda, toprak penetrasyon direnci üzerine toprak su içeriğinin önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Toprak su içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişkinin  $Y = a + bX^3$  denklemiyle ifade edilebileceği saptanmıştır. Standart su içeriği olarak tarla kapasitesi dikkate alındığında, toprakların penetrasyon dirençlerini kıyaslamının mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Araştırma bulguları toprakların sıkışma durumlarının belirlenmesinde ve kıyaslanmalarında kullanılabilecek niteliktedir.

Tablo 3. Toprak Su İçerikleri ve Penetrasyon Dirençleri Arasındaki Regresyon Modelleri ile Denklemden ve Uygulamadan Elde Edilen Değerlerin Korelasyon Katsayıları.

Toprak No.	Derinlik (cm)	Regresyon Denlemi Sabitleri		Regresyon Katsayıları $r^2$	Regresyon Denklemi	Denklemin Korelasyon Katsayısı (r)	Korelasyon Katsayısının (SH)	Önem Seviyesi
		a	b					
1	0-10	1813	-0.115	0.87	$Y = a + bX^3$	0.94	$\pm 0.06$	$P < 0.05$
	10-20	2999	-0.162	0.77	$Y = a + bX^3$	0.94	$\pm 0.06$	$P < 0.05$
	20-30	3954	-0.244	0.94	$Y = a + bX^3$	0.98	$\pm 0.02$	$P < 0.01$
2	0-10	1317	-0.036	0.85	$Y = a + bX^3$	0.96	$\pm 0.04$	$P < 0.05$
	10-20	3104	-0.101	0.93	$Y = a + bX^3$	0.98	$\pm 0.02$	$P < 0.01$
	20-30	3262	-0.097	0.85	$Y = a + bX^3$	0.96	$\pm 0.04$	$P < 0.05$
3	0-10	1314	-0.075	0.99	$Y = a + bX^3$	0.99	$\pm 0.01$	$P < 0.01$
	10-20	2175	-0.122	0.99	$Y = a + bX^3$	0.99	$\pm 0.01$	$P < 0.01$
	20-30	1943	-0.101	0.87	$Y = a + bX^3$	0.97	$\pm 0.03$	$P < 0.05$
4	0-10	1489	-0.060	0.99	$Y = a + bX^3$	0.99	$\pm 0.01$	$P < 0.01$
	10-10	1830	-0.060	0.81	$Y = a + bX^3$	0.95	$\pm 0.05$	$P < 0.05$
	20-30	2669	-0.112	0.94	$Y = a + bX^3$	0.98	$\pm 0.02$	$P < 0.01$

\* : Y = Penetrasyon direnci (kPa), X = Toprak su içeriği (g/100 g)

Toprak No.	Tarla Kapasitesindeki Penetrasyon Dirençleri (kPa) ve Standart Hataları**					
	0-10 cm	SH	10-20 cm	SH	20-30 cm	SH
1	725 c*** bc****	±46	1243 c cd	±38	1249 c cd	±108
2	568 b b	±67	1255 c cd	±121	1109 c bc	±113
3	532 b ab	±32	742 b bc	±42	861 b bc	±91
4	173 a a	±84	525 a ab	±64	518 a ab	±51

\* : P<0.01

\*\* : Aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak fark yoktur.

\*\*\* : Aynı derinlikler için gruplandırma.

\*\*\*\* : Tüm derinlikler ve topraklar için gruplandırma.

Tablo 4. Tarla Kapasitesinde Hesaplanan Penetrasyon Dirençleri ve Gruplandırmalar\*.

## Kaynaklar

- Karakaplan, S., Değişik Nem ve Basınçta Sıkıştırmanın Toprakların Hacim Ağırlığı, Penetrasyon ve Permeabilite Değerlerine Etkileri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak., 40, Erzurum, 1982.
- Ehlers, W., Köpke, V., Hesse, F., and Böhm, W., Penetration Resistance and Root Growth of Oats in Tilled and Untilled Loess Soil. Soil Tillage Res. 3, 262-275, 1983.
- Scholefield, D., and Hall, D.M., Constricted Growth of Grass Roots Through Rigid Pores. Plant Soil 85, 153-162, 1985.
- Richards, B.G., and Green, E.L. Mechanical Stresses on an Expanding Cylindrical Root Analogue in Granular Media. Aust. J. Soil Res., 24, 393-404, 1986.
- Willatt, S.T., Root Growth of Winter Barley in a Soil Compacted by the Passage of Tractors. Soil and Tillage Res. 7, 41-50, 1986.
- Cassel, D.K., Bowen, N.D., and Nelson, L.A., An Evaluation of Mechanical Impedance for Three Tillage Treatments of Norfolk Sandy Loam. Soil Sci. Soc. J. 42, 116-120, 1978.
- Graham, J.P., Blackwell, P.S., Armstrong, J.V., Christian, D.G., Howse, K.R., Dawson, C.J., and Butler, A.P., Compaction of a Silty Loam by Wheeled Agricultural Vehicles. II. Effects on Growth and Yield of Direct-Drilled Winter Wheat. Soil Tillage Res. 7, 189-203, 1986.
- Vales, J., and Strnad, P., Effect of Deep Loosening and Manuring on Sugarbeet Yields and Quality. Rostlinna-Vyroba, 36 : 6, 643-652, 1990.
- Lipiec, J., Szustak, A., and Tarkiewicz, S., Soil Compaction : Responses of Soil Physical Properties and Crop Growth. Zeszyty Problemowe Potępow Nauk Rolniczych, 398, 113-117, 1992.
- Henderson, C.W.L., Using a Penetrometer to Predict the Effects of Soil Compaction on the Growth and Yield of Wheat on uniform Sandy Soils. Aust. J. Agric. Res., 40, 497-508, 1989.
- 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.
- Çarman K., Tractor Forward Velocity and Tire Load Effects on Soil Compaction. J. of Terramechanics, 31 (1) 11-20, 1994.
- Busscher, W.I., Adjustment of Flat-Tipped Penetrometer Resistance Data to a Common Water Content. Transactions of the ASAE, 33 (2), 519-524, 1990.
- Ohu, J.O., Raghavan, G.S.V., and McKyes, E., Cone Index Prediction of Compacted Soils. Transactions of the ASAE, 31 (2), 306-310, 1988.
- Gilli, W.R., Influence of Compaction Hardening on Penetration Resistance. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 11, 741-743, 1968.
- Whiteley, G.M., and Dexter, A.R., The Dependence of Soil Penetrometer Pressure on Penetrometer Size. J. Agric. Eng. 26, 467-476, 1981.
- Day, P.R., Particle Fractionation and Particle-Size Analysis in C.A. Black et al. (ed.) Methods of Soil Analysis, Part I. Agronomy 9 : 545-567, 1965.
- Hızalan, E., ve Ünal, H., Toprakta Önemli Kimyasal Analizler. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, 278, 1966.
- Hocaoğlu, Ö.L., Toprakta Organik Madde, Nitrojen ve Nitrat Tayini. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Ziraat Araştırma Ens. Teknik Bülten No : 9, 1966.
- Demiralay, İ., Toprak Fiziksel Analizleri, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yay. No : 143, Erzurum, 132, 1993.
- AISSN Software, Jandel Scientific Table Curve, 1991.
- Snedecor, G.W., and Cochran, W.G., Statistical Methods 7th ed., The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 1980.