



Bazı toprak özellikleri ile kütle yoğunluğunun tahmini için pedotransfer modeller

Nutullah Özdemir, İmanverdi Ekberli *, Ö.Tebessüm Kop Durmuş

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

Özet

Bu çalışmanın amacı, toprakların kütle yoğunluğu değerleri ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek ve bu özellikleri kullanarak kütle yoğunluğu değerinin tahmin edilmesini sağlayacak bir model geliştirmektir. Çalışmada Samsun İli Bafra ve Çarşamba İlçelerinden alınan ve çoğunlukla ince bünyeli olan 78 adet yüzey (0-20 cm) toprak örneği kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, silt, pH, değişebilir sodyum ve kireç içeriği hariç diğer toprak özellikleri ile kütle yoğunluğu değeri arasında önemli istatistiksel ilişkiler ($r=0.45-0.77$) belirlenmiştir. Toprakların kütle yoğunluğu değeri üzerine toprak özelliklerinin doğrudan etkilerinin sırası ile; silt+kil, kum, kireç içeriği, kil, Ca+Mg, nem sabiteleri, katyon değişim kapasitesi ve organik madde içeriklerinin bir fonksiyonu olarak değiştiği, dolaylı etkilerin ise silt+kil ve kum üzerinden gerçekleştiği tespit edilmiştir. Veri kümesi çoklu lineer regresyon analizine tabi tutularak kütle yoğunluğunu tahmin etmede kullanılabilecek PTF (pedotransfer) oluşturulmuştur. Bilinen yöntemlerle ölçülen ve geliştirilen PTF ile tahmin edilen kütle yoğunluğu değerlerinin karşılaştırılmasında determinasyon katsayısı (r^2) kullanılmış ve en yüksek r^2 değeri 0.67 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar geliştirilen pedotransfer modellerin, Bafra ve Çarşamba ilçe topraklarında kütle yoğunluğunun tahmin edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kütle yoğunluğu, pedotransfer modeller, toprak özellikleri.

Pedotransfer models for predicting bulk density values from measured soil properties

Abstract

The purpose of this study was to determine the relationships between bulk density and some soil properties, and to develop a regression model to estimate bulk density values. In this study, generally fine textured 78 soil samples collected from the Samsun district were used. According to the results; except silt, pH, exchangeable sodium and lime content, the other soil properties were highly correlated with bulk density value ($r=0.45-0.77$). The direct effects of some soil properties on bulk density of the soils were obtained in the following order; silt+clay content, sand content, lime content, exchangeable Ca+Mg content, permanent wilting point and field capacity, cation exchange capacity and organic matter content. The Indirect effect of the soil properties were generally obtained in the following order; silt+clay content, sand content, clay content and exchangeable Ca+Mg capacity. Then, the data set was statistically evaluated and PTF were generated by multiple linear regression method to estimate bulk density. In order to compare the measured bulk density values by traditional method and predicted bulk density values with generated PTF, determination coefficient (r^2) was used, and the highest r^2 was obtained as 0.67. The results of this research pointed out that generated pedotransfer models can be used with the aim of predicting bulk density in Samsun District.

Keywords: Bulk density, pedotransfer functions, soil properties.

© 2018 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Doğal koşullar altında bulunan fırın kuru toprak ağırlığının kapladığı hacme oranı olarak tanımlanan kütle yoğunluğu değeri, toprağın parçacık büyüklük dağılımı, organik madde içeriği, değişebilir katyonların tabiatı, kireç içeriği, arazi kullanım durumu, nem içeriği, toprak işleme ve iklim gibi faktörlere bağlı olarak değişen toprağın temel dinamik fiziksel özelliklerindedir (Al-Qinna ve Jaber, 2013).

Kütle yoğunluğu değerleri, toprak strüktürünün değerlendirilmesi, porozitenin hesaplanması, hacimsel toprak su içeriğinin tespiti, sulama suyu ve uygulanacak gübre miktarı, karbon stoklarının hesaplanması gibi

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0362 312 19 19

E-posta : iman@omu.edu.tr

Geliş Tarihi : 20 Kasım 2017

Kabul Tarihi : 30 Mayıs 2018

e-ISSN : 2146-8141

uygulamalarda bilinmesi gereken bir parametre (Blake ve Hartge, 1986; Aşkın ve Özdemir, 2003; Barros ve Fearnside, 2015) olup önemli bir kalite göstergesidir (Logsdon ve Karlen, 2004). Diğer taraftan kütle yoğunluğu değerleri, toprak sıkışmasının kontrolünde bir ölçüt (Arshad, 1996), toprak kalitesinin değerlendirilmesi ve toprak sınıflamasında ayırt edici bir kriter (Anonymous, 2014), toprak profili içerisindeki sıkışmış katmanın varlığı, sıkışmanın bitki gelişimine etkisinin yorumlanmasında veya kabuk oluşumunun testinde bir indeks (Reintam ve ark., 2009), simülasyon ve uzaktan algılama çalışmalarında önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2014).

Toprak kütle yoğunluğu değerleri, doğrudan laboratuvar yöntemleri veya dolaylı olarak tahmin yöntemleri kullanılarak belirlenmektedir. Doğrudan laboratuvar yöntemlerinin özellikle büyük veri tabanları için belirli zorlukları ve zaman alıcı oluşu, örnekleme için uygun nem aralığının yakalanma zorluğu ve kütle yoğunluğunun nem içeriğinden etkilenmesi olumsuz yönlerini oluşturmaktadır. Bu olumsuzluklardan dolayı son yıllarda kütle yoğunluğu değerlerinin dolaylı yollardan tahmin edilmesi yoluna gidilmektedir. Dolaylı yöntemler arasında pedotransfer modelleri (Tranter ve ark., 2007; Gülser ve Candemir, 2014; Barros ve Fearnside, 2015), doğrusal regresyon modelleri (Nemes ve ark., 2003; Mermoud ve Xu, 2006; Ekberli ve Dengiz, 2017), çoklu regresyon yöntemleri (Rawls ve ark., 1982; Wösten ve ark., 2001, Yakupoğlu ve ark., 2013; Ekberli ve Dengiz, 2016), sınır ağları gibi gelişmiş matematiksel modelleme teknikleri (Schaap ve ark., 2001; Nemes ve ark., 2003; Minasny ve ark., 2004) yer almaktadır.

Pedotransfer modellerin geliştirilmesinde, toprak tekstürü ve organik madde içeriği en fazla kullanılan parametreler olmuştur. Kimyasal bileşim ve parçacık büyüklüğü gibi diğer bileşenler veri tabanlarında yaygın olarak bulunmadığı için fazlaca kullanılmamışlardır (Wösten ve ark., 2001; Chaudhari ve ark., 2013). Bu çalışmada, genel olarak ince ve orta derecede ince tekstürlü topraklarda kütle yoğunluğunu etkileyen temel toprak bileşenleri incelenmiş ve pedotransfer modeller kullanılarak kütle yoğunluğu değerini tahmin edebilmek için bir model geliştirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma, Samsun ili Bafra ve Çarşamba yöresinde yürütülmüştür. Orman, mera ve tarım arazisi olarak kullanılan arazilerin, yüzey (0-20 cm) katmanlarından alınan 78 adet toprak örneği kullanılmıştır.

Toprak örneklerinin parçacık büyüklük dağılımları (tekstür), hidrometre yöntemi (Baykan ve ark., 1965), toprak reaksiyonu değerleri, 1:1 toprak-su süspansiyonunda cam elektrotlu pH-metre aleti (Bayraklı, 1987), elektriksel iletkenlik değerleri, pH ölçümü için hazırlanan (1:1 oranındaki) toprak-su süspansiyonlarında cam elektrotlu elektriksel iletkenlik aleti (Bayraklı, 1987), organik madde içeriği, Walkley-Black yöntemi ile titrimetrik olarak (Kacar, 1994), kireç içeriği, Scheibler kalsimetresi (Sağlam, 1978), değişebilir katyonlar, amonyum asetat ekstraksiyonu (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954); katyon değişim kapasitesi, Bower yöntemi (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954); tarla kapasitesi (0.33 atm), solma noktası (15 atm) ve nem yüzdesi değerleri, basınçlı tabla aleti kullanılarak belirlenmiştir. Kütle yoğunluğu değerleri, bozulmamış toprak örneklerinde silindir yöntemi kullanılarak ölçülmüştür (Demiralay, 1993). Path analizi değerleri Tarist bilgisayar programı kullanılarak belirlenmiştir (Düzgüneş ve ark., 1983). Elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde SPSS bilgisayar paket programı kullanılmış ve pedotransfer eşitlikler için Stepwise analizi ile bağımsız değişken seçimi yapılmıştır. Daha sonra çoklu lineer regresyon yöntemi ile Model 1 yapısında pedotransfer modeller oluşturulmuştur.

$$KY = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + u \quad (1)$$

KY: Kütle yoğunluğu değeri

b₀: Regresyon sabiti

b₁...b_n: Regresyon katsayıları

x₁-x_n: Toprak özelliklerini ifade eden değişkenler

n: Değişken sayısı

u: KY değerine ait hata değişkeni

Ölçülen kütle yoğunluğu değerleri, pedotransfer eşitliği kullanılarak tahmin edilen kütle yoğunluğu değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Model 2 ile hesaplanan determinasyon katsayısı (r²) kullanılmıştır.

$$r^2 = 1 - \frac{[\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ix})^2]}{[\sum_{i=1}^n (y_i - y_{iz})^2]} \quad (2)$$

r²: Determinasyon katsayısı; y_i: Ölçülen değer; y_{ix}: Tahmin edilen değer; y_{iz}: Ölçülen değerlerin ortalaması;

n: Toplam değişken sayısı

Bulgular ve Tartışma

Toprak özellikleri

Toprak örneklerinde belirlenen fiziksel ve kimyasal özelliklere ait istatistiksel değerler Tablo 1'de verilmiştir. Değerlendirmeye alınan toprakların kil içerikleri, %14.40-57.64, silt içerikleri %9.90-51.80 ve kum içerikleri %14.03-64.90 arasında değişmiştir. Toprakların, genel olarak ince ve orta derecede ince tekstürlü bir yapıya sahip oldukları belirlenmiştir.

Toprak örneklerinin pH değerleri 5.70-8.50, organik madde içerikleri %1.20-5.55, kireç kapsamaları %0.60-13.80, katyon değişim kapasiteleri 16.00-57.80 me/100 g, tarla kapasitesi değerleri %19.51-51.39; solma noktası değerleri %11.26-36.70 arasında değişim göstermektedir. Toprakların, organik madde yönünden orta, kireç açısından orta ve zengin, pH bakımından ise hafif alkalın karakterde olduğu belirlenmiştir. Topraklarda değişebilir sodyum yüzdesi 15'in altında olup alkalilik problemi bulunmamaktadır ([Soil Survey Staff, 1993](#)).

Tablo 1. Çalışma konusu toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (n= 78)

Toprak özellikleri	En düşük	En yüksek	Ortalama	Standart Sapma	Vary. Kat., %	Çarp.	Basık.
Kütle yoğunluğu, g/cm ³	1.14	1.45	1.30	0.07	0.05	-0.92	0.40
Kil, %	14.40	57.64	35.53	11.73	0.33	0.11	0.80
Silt, %	9.90	51.80	28.46	7.15	0.25	0.61	0.85
Kum, %	14.03	64.90	36.01	12.98	0.36	0.33	-0.54
Silt+kil, %	35.10	86.87	64.01	13.07	0.20	-0.29	-0.52
Organik madde, %	1.20	5.55	2.33	1.14	0.49	1.18	0.62
Kireç, %	0.60	13.80	3.59	2.96	0.82	1.53	2.24
Tarla kapasitesi, %	19.51	51.39	36.12	6.77	0.19	-0.17	0.01
Solma noktası, %	11.26	36.70	25.53	5.88	0.23	-0.44	-0.26
Katyon değişim kapasitesi, me/100g	16.00	57.80	37.73	9.32	0.24	-0.17	0.39
Değişebilir Ca+Mg, me/100g	8.00	53.84	31.52	10.13	0.32	0.28	-0.21
Değişebilir Na, me/100g	0.40	1.91	0.76	0.32	0.42	1.58	2.73
pH (1:1)	5.70	8.50	7.27	0.73	0.10	-0.21	-0.77

Kütle yoğunluğu ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkiler

Ölçülen kütle yoğunluğu değerleri ile diğer bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları Tablo 2'de verilmiştir. Silt, pH, kireç ve değişebilir sodyum içerikleri ile kütle yoğunluğu değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir ilişki tespit edilmemiştir. Kütle yoğunluğu ile kum içeriği (S) arasında pozitif yönde bir ilişki bulunurken diğer değişkenler ile kütle yoğunluğu değerleri arasında negatif yönde bir ilişki tespit edilmiştir. Kütle yoğunluğu en yüksek ilişki (-0.768**), kil içeriği ile elde edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki ikili ilişkiler, pozitif veya negatif yönlü olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Kütle yoğunluğu ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları.

Top. Özel.	S	Si	C	Si+C	pH	Kireç	OM	Ca+Mg	Na	KDK	TK	SN
KY	0,728*	-0.079	-0.768**	-0.734**	0.064	-0.056	-0.574**	-0.673**	-0.146	-0.722**	-0.450**	-0.527**
S		-0.454**	-0.837**	-1.000**	0.165	0.024	-0.655**	-0.679**	0.030	-0.781**	-0.548**	-0.601**
Si			-0.106	0.451**	-0.122	-0.082	0.138	0.051	-0.006	-0.016	-0.140	-0.064
C				0.840**	-0.109	0.024	0.648**	0.728**	-0.026	0.882**	0.693**	0.707**
Si+C					-0.165	-0.023	0.657**	0.682**	-0.025	0.783**	0.543**	0.598**
pH						0.551**	-0.439**	-0.431**	0.181	-0.303**	-0.185	-0.417**
Kireç							-0.302**	-0.266*	0.116	-0.117	-0.209	-0.337**
OM								0.818**	0.082	0.761**	0.321**	0.543**
Ca+Mg									.059	.890**	0.466**	0.657**
Na										0.053	-0.182	-0.097
KDK											0.604**	0.728**
TK												0.909**
SN												-

*; %5 düzeyinde önemli, **; % 1 düzeyinde önemli

Kütle yoğunluğu ile istatistiksel olarak önemli ilişkiler veren temel toprak özelliklerine uygulanan Path analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin, kütle yoğunluğu üzerine doğrudan etkileri

bakımından Si+C>S>Kireç>C>Ca+Mg>SN>TK>KDK>OM şeklinde sıralandıkları belirlenmiştir. Kütle yoğunluğu üzerine Si+C'nin doğrudan etkisi % 46.38 ile en yüksek olarak bulunurken OM'nin etkisi % 0.90 ile en düşük bulunmuştur. Toprak özelliklerinin KY üzerine dolaylı etkileri, en yüksek Si+C üzerinden gerçekleşmiştir. Candemir ve Gülser (2012) alkali topraklarda yaptıkları bir çalışmada doygun hidrolik iletkenliğin kil içeriği ile en yüksek ilişki vermesine karşılık, path analizi sonucunda hidrolik iletkenlik üzerine en yüksek doğrudan etkiyi Na içeriğinin gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada da OM değeri ve kil içeriği KY ile yüksek ilişkiler göstermesine rağmen path analizinde KY üzerine en yüksek doğrudan etkilerin Si+C, S ve kireç içerikleri üzerinden belirlenmiştir.

Çizelge 3. Kütle yoğunluğu ve toprak özelliklerine ait Path analizi sonuçları

Bağımlı değişken	Toprak özellikleri	Doğrudan etkiler, %	Dolaylı etkiler, %									
			S	C	Si+C	Kireç	OM	Ca+Mg	KDK	TK	SN	
KY	S	43.66	-									
	C	4.99	42.01	-								
	Si+C	46.38	43.64	3.65	-							
	Kireç	21.58	17.36	1.94	17.89	-						
	OM	0.91	41.69	4.10	44.40	0.55	-					
	Ca+Mg	4.30	40.97	4.37	43.73	0.46	0.70	-				
	KDK	2.20	41.49	4.66	44.12	0.18	0.57	3.37	-			
	TK	3.25	40.52	5.09	42.66	0.44	0.34	2.46	1.85	-		
SN	3.38	40.31	4.72	42.59	0.65	0.52	3.14	2.02	2.68	-		

Toprakların kütle yoğunluğu değerleri ile kum içerikleri arasında % 1 düzeyinde önemli pozitif (.728**), kil içerikleri ile kütle yoğunluğu değerleri arasında ise yine %1 düzeyinde önemli negatif (-.768) korelasyonlar belirlenmiştir (Tablo 2). Bu ilişkiler kum ve kilin toprağın boşluk oranı üzerine yaptıkları etkinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Tekstürel fraksiyonlar ve organik maddenin kütle yoğunluğu üzerine etkilerini araştıran Chaudhari ve ark. (2013) kumun kütle yoğunluğu üzerindeki etkisinin diğer tekstürel fraksiyonlardan daha yüksek olduğunu ve killi toprakların daha düşük kütle yoğunluğu oluşturma eğiliminde olduklarını belirlemişlerdir. Toprakta kireç, OM, Ca+Mg, KDK ile kütle yoğunluğu değeri arasında önemli istatistiksel ilişkilerin bulunması (Tablo 2) bu bileşenlerin toprak strüktürü üzerine olan etkilerden kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan toprakta tutulan su miktarı da gözenek büyüklüğü ve dağılımının bir fonksiyonu olup belirli nem sabitelerinde tutulan su miktarı ile kütle yoğunluğu değerleri arasında önemli ilişkileri ortaya çıkmaktadır (Gülser, 2004; Gülser ve ark, 2007; Yakupoğlu ve ark., 2013).

Kütle yoğunluğunu belirlemek için geliştirilen pedotransfer modeller

Toprakların kütle yoğunluğu değerlerini ölçülen bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinden yararlanarak belirlemek üzere Path analizi ile çoklu lineer regresyon ve Stepwise analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre oluşturulan modeller Tablo 4 'de verilmiştir. Tablo 4'ün incelenmesinden de anlaşılacağı üzere geliştirilen PTF modellerinin hepsi istatistiksel olarak önemli bulunmuş fakat modellerin KY değerini tahmin etmede r² değerleri farklılık göstermiştir.

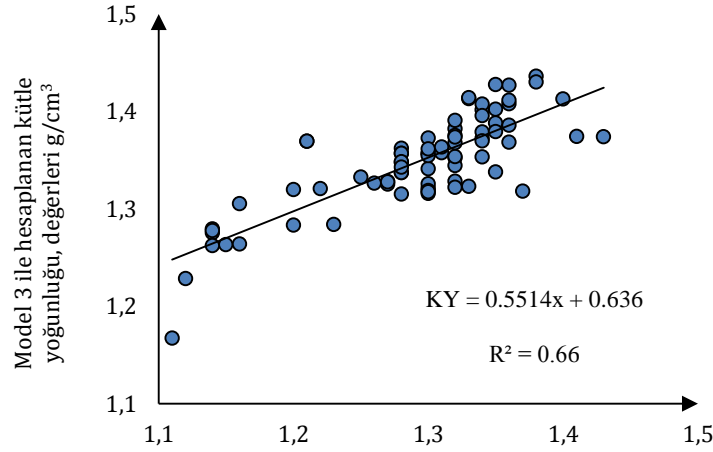
Tablo 4. Kütle yoğunluğunu (KY) tahmin etmek için geliştirilen pedotransfer modeller

Pedotransfer modeller	r ²	Model no
KY=1.472-0.004*C-0.002*(Ca+Mg)	0.618***	Model1
KY=1.383-0.003*C-0.001*(Ca+Mg)+0.001*S	0.634***	Model2
KY=4.317-0.002*C-0.001*(Ca+Mg)-0.028*S-0.029*(C+Si)	0.662***	Model3
KY=4.053-0.003*C-0.001*(Ca+Mg)-0.026*S-0.027*(Si+C)-0.0011*TK	0.664***	Model4
KY=3.96-0.003*C-0.002*(Ca+Mg)-0.025*S-0.026*(Si+C)+0.001*TK+0.006*OM	0.666***	Model5
KY=3.892-0.003*C-0.002*(Ca+Mg)-0.024*S-0.026*(C+Si)+0.002*TK+0.008*OM*-0.002*SN	0.668***	Model6
KY=3.809-0.003*C-0.002*(Ca+Mg)-0.023*S-0.025*(C+Si)+0.003*TK+0.008*OM+0.001*KDK+0.001*SN	0.670***	Model7

***p<0.0001

Çalışmadan elde edilen bulgular dikkate alındığında (Çizelge 4) kütle yoğunluğunu belirlemek üzere model seçerken yüksek r² (0.662) değerini veren Model (3) KY=4.317-0.002*C-0.001*(Ca+Mg)-0.028*S-0.029*(C+Si) tercih edilebilir. Bu modelden daha yüksek r² değerini veren modellerde (Model 4, 5, 6, 7), r² değerindeki artış çok küçük olup kütle yoğunluğundaki değişimi açıklama oranına katkısı düşük seviyededir. Değişken sayısının artması diğer taraftan standart hatanın da büyümesine neden olmaktadır.

Hesaplanan kütle yoğunluğu değerleri ile seçilen modelle tahmin edilen yoğunluk değerleri arasındaki ilişki Şekil 1'de verilmiştir. Bu bulgular incelendiğinde seçilen modelin kütle yoğunluğunu tahmin etme düzeyinin %66 olduğu anlaşılmaktadır. Benzer doğrultuda Erzurum yöresi toprakları üzerinde bir çalışma yapan Canbolat (1999) tarla kapasitesindeki değişimin basit regresyon modelleri ile % 79.3'ü çoklu regresyon modeli ile de % 96'sı, devamlı solma noktasındaki değişimin basit regresyon modelleri ile % 89.5'i çoklu regresyon modeli ile de % 97'si, yarıyışlı nem kapasitesindeki değişimin de basit regresyon modelleri ile % 59'u çoklu regresyon modeli ile de % 78'i temsil edilebileceğini belirlemiştir.



Şekil 1. Ölçülen ve kullanılması önerilen kütle yoğunluğu değerleri arasındaki ilişkiler.

Sonuç

Kütle yoğunluğu değeri ile ilişkisi aranan toprak bileşenleri arasında tek başına kütle yoğunluğundaki değişimi en iyi açıklayan bileşenin kil içeriği olduğu saptanmıştır (Tablo 2). Çalışmadan elde edilen bulgular dikkate alındığında (Tablo 4) kütle yoğunluğunu belirlemek üzere oluşturulan modellerden (3) numaralı model $KY=4.317-0.002*C-0.001*(Ca+Mg)-0.028*S-0.029*(C+Si)$ yöre topraklarının kütle yoğunluğunu tahmin etmek üzere kullanılabilir. Bu modelden daha yüksek r² değerini veren modellerde (Model 4, 5, 6, 7), r² değerindeki artış çok küçük olup kütle yoğunluğundaki değişimi açıklama oranına katkısı düşük seviyededir. Toprakların kütle yoğunluklarının pedotransfer eşitlikler kullanılarak belirlenmesine yönelik olarak yürütülen çalışmalarda, toprakların karmaşık doğası ve ölçüm tekniklerine bağımlı olarak veri kümelerinin farklı özellikler taşıması nedeniyle değişik sonuçlarla karşılaşılabilirliği görülmektedir (Akgül ve Özdemir, 1996; Yakupoğlu ve ark., 2013). Bu nedenle oluşturulan modellerin farklı koşullarda kullanılmak istenmesi durumunda geçerliliklerinin kontrol edilmesi uygun olacaktır.

Kaynaklar

- Akgül M, Özdemir N, 1996. Regression models for predicting bulk density from measured soil properties. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 20: 407-413.
- Al-Qinna MI, Jaber SM, 2013. Predicting soil bulk density using advanced pedotransfer functions in an arid environment. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 56: 963-976.
- Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy. By Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Twelfth Edition
- Arshad MA, Lowery B, Grossman B, 1996. Physical tests for monitoring soil quality. pp. 123-142. In: J.W. Doran and A.J. Jones (Eds.) *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Aşkın T, Özdemir N, 2003. Soil bulk density related to soil particle size distribution and organic matter content. *Agriculture* 9 (2): 52-55.
- Barros HS, Fearnside PM, 2015. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density in central Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39:397-407.
- Baykan ÖL, Berkman İ, Ögüş L, 1965. Toprak laboratuvar tatbikat kitabı Atatürk Üniv. Ziraat Fak., Erzurum.
- Bayraklı F, 1987. Toprak ve bitki analizleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, No:17, Samsun.
- Blake GR, Hartge KH, 1986. Bulk density. pp. 363-375. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Canbolat MY, 1999. Bazı toprak nem karakteristiklerinin tane büyüklük dağılımı ve organik karbon içeriğinden tahmin edilmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 30 (2): 113-119.
- Candemir F, Gülser C, 2012. Influencing factors and prediction of hydraulic conductivity in fine textured-alkaline soils. *Arid Land Research Management* 26: 15-31.

- Chaudhari PR, Ahire DV, Ahire VD, Chkravarty M, Maity S, 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore Soil. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3 (2): 1-8.
- Demiralay İ, 1993. Toprak fiziksel analizleri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Erzurum.
- Düzgüneş O, Kesici T, Gürbüz F, 1983. İstatistik metodları I. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları :861, Ders Kitabı: 229, Ankara.
- Ekberli İ, Dengiz O, 2016. Bazı inceptisol ve entisol alt grup topraklarının fizikokimyasal özellikleriyle ısısal yayılım katsayısı arasındaki regresyon ilişkilerinin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi* 5 (2): 1-10.
- Ekberli İ, Dengiz O, 2017. Bazalt ana materyali ve farklı topografik pozisyonlar üzerinde oluşmuş toprakların bazı topografik ve fiziko- kimyasal özellikleri arasındaki doğrusal regresyon modellerinin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi* 6 (1): 15-27.
- Gülser C, 2004. Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktasının toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilişkili pedotransfer eşitliklerle belirlenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 19(3): 19-23.
- Gülser C, Candemir F, 2014. Using soil moisture constants and physical properties to predict saturated hydraulic conductivity. *Eurasian Journal of Soil Science* 3(1): 77 - 81.
- Gülser C, Candemir F, İç S, Demir Z, 2007. Pedotransfer modellerle ince bünyeli topraklarda doymun hidrolik iletkenliğin tahmini. V. Ulusal Hidroloji Kongresi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Ankara. 5-7 Eylül 2007, s. 563-569.
- Kacar B, 1994. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri: III. Toprak analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı yayınları, No:3, 1-705.
- Logsdon SD, Karlen DL, 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil and Tillage Research* 78(2): 143-149.
- Mermoud A, Xu D, 2006. Comparative analysis of three methods to generate soil hydraulic functions. *Soil and Tillage Research* 87: 89-100.
- Minasny B, Hopmans JW, Harter T, Eching SO, Tuli A, Denton M, 2004. Neural networks prediction of soil hydraulic functions from multi-step outflow data. *Soil Science Society of America Journal* 68: 417-429.
- Nemes A, Schaap MG, Wosten JHM, 2003. Functional evaluation of pedotransfer functions derived from different scales of data collection. *Soil Science Society of America Journal* 67:1093-1102.
- Rawls WJ, Brakensiek DL, 1982. Estimating soil water retention from soil properties. *Journal of Irrigation and Drainage* 108 (2): 166-171.
- Reintam E, Tükman K, Kuht J, Nugis E, Edesi L, Astover A, Noormets M, Kauer K, Krebstein K, Rannik K, 2009. Soil compaction effect on soil bulk density and penetration resistance and growth of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 59: 265-272.
- Sağlam MT, 1978. Toprak kimyası tatbikat notları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Erzurum.
- Schaap MG, Leij FJ, van Genuchten MT, 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251: 163-176.
- Soil Survey Staff, 1993. Soil survey manuel. United States Department of Agronomy, Handbook No: 18, Washington, USA.
- Tranter G, Minasny B, McBratney AB, Murphy B, McKenzie NJ, Grundy M, Brough D, 2007. Building and testing conceptual and empirical models for predicting soil bulk density. *Soil Use and Management* 23:437-43.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook No: 60, 1954.
- Wösten JHM, Pachepsky YA, Rawls WJ, 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology* 251: 123-150.
- Yakupoğlu T, Şişman AÖ, Karagöktaş M, Demir ÖF, 2013. Toprakların doymun koşullardaki hidrolik iletkenlik değerlerinin pedotransfer eşitliklerle tahminlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 8(1): 84-92.
- Zhang L, Yu D, Shi X, Xu S, Xing S, Zhao Y, 2014. Effects of soil data and simulation unit resolution on quantifying changes of soil organic carbon at regional scale with a biogeochemical process model. *PLoS ONE* 9(2): e88622.