

Toprakların Doygun Koşullardaki Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Pedotransfer Eşitlikler İle Tahminlenmesi

Tuğrul YAKUPOĞLU¹ Ayfer Özge ŞİŞMAN^{1*} Mehmet KARAGÖKTAŞ²
Ömer Faruk DEMİR¹

¹KSÜ, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kahramanmaraş

²GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Şanlıurfa

*Yazışma adresi: ayferozgesisman@hotmail.com

Geliş tarihi: 27.03.2012, Yayına kabul tarihi: 27.06.2013

Özet: Üç fazlı ve gözenekli bir sistem olan toprakta suyun hareketinin bilinmesi S-matriksin karakteri hakkında önemli ipuçları vermektedir. Bu nedenle toprak fizikokimyasal özelliklerine doğrudan etki eden suyun toprakta iletiminin ölçümü son derece önemlidir. Laboratuvar ortamında Mariotte düzeneği ile doymuş koşullarda yapılan kullanışsız hidrolik iletkenlik testleri araştırmacı için çoğunlukla zaman alıcı ve usandırıcı olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bazı temel toprak fiziksel özellikleri ve nem sabiteleri kullanılarak oluşturulan pedotransfer eşitlikler (PTFs) yardımıyla toprakta doymuş koşullardaki düşey hidrolik iletkenlik değerinin (Ks) tahminlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda Kahramanmaraş-Narlı Ovası'ndan 25 adet yüzey toprak örneği (0-15 cm) alınmıştır. Rutin toprak özellikleri, nem sabiteleri ve Ks bilinen yöntemlerle ölçülmüştür. Daha sonra veri kümesi istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve çoklu lineer regresyon yöntemi kullanılarak Ks'yi tahminlemede kullanılacak PTFs oluşturulmuştur. Bilinen yöntemlerle ölçülen ve geliştirilen PTFs ile tahminlenen Ks değerlerinin karşılaştırılmasında determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmış ve en yüksek R^2 değeri 0,846 olarak elde edilmiştir. Bu araştırmanın sonuçları Kahramanmaraş-Narlı Ovası'nda Ks değerlerinin tahmin edilmesinde geliştirilen pedotransfer modellerin kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Hidrolik iletkenlik, Pedotransfer eşitlikler, Toprak, Toprak suyu

Predicting Of Saturated Hydraulic Conductivity Values Of Soils With Pedotransfer Functions

Abstract: Known of water movement into soil that a porous media with three-phase gives important clues about character of S-matrix. Water directly affects on soil physicochemical properties thus, measuring of water conductivity into soil is extremely important. Under laboratory conditions, cumbersome saturated hydraulic conductivity tests conducted by using Mariotte bottle which is usually time-consuming and tedious for researchers. The objective of this study was to predict of saturated vertical hydraulic conductivity values (Ks) of soils with pedotransfer functions (PTFs) generated by some basic soil physical properties and water constants. For this purpose, twenty-five surface soil samples (0-15 cm depth) were collected from Kahramanmaraş-Narlı Plain. Routine soil properties, water constants and Ks were measured. Then, the data set was statistically evaluated and PTFs were generated by multiple linear regression method to estimate Ks. In order to compare the measured Ks values by traditional method and predicted Ks values with generated PTFs, determination coefficient (R^2) was used, and the highest R^2 was obtained as 0.846. The results of this research pointed out that generated pedotransfer models can be used with the aim of predicting Ks in Kahramanmaraş-Narlı Plain.

Key words: Hydraulic conductivity, Pedotransfer functions, Soil, Soil water

Giriş

Suyun toprak içerisindeki hareketi, bir taraftan toprak oluşum prosesleri üzerine doğrudan etki ederek kil ve organik maddenin yıkanmasında dolayısıyla profilin karakter kazanmasında rol oynarken, diğer taraftan da toprakta katıların hareketini sağlayarak iyonların profilde yer değişimi yoluyla bitki kök bölgesinin kimyasına etki etmektedir. Toprakların hidrolik iletkenlik özelliğinin bilinmesi kil tipi, toprak sıkışması, toplam porozite, por büyüklük dağılımı, por geometrisi, tekstür ve strüktür gibi toprak özellikleri hakkında fikirler vermekte ve çıkarımlar yapılmasına olanak sağlamaktadır (Öztekin ve ark., 2007). Hidrolojik bilgiler dikkate alınmadan geliştirilecek olan toprak yönetim planlamaları gerçeklikten uzak olmakta ve çoğunlukla başarısız sonuçlar vermektedir.

Toprak hidrolik özelliklerinin bilinmesi gerçekçi tarımsal planlamalar için son derece önemlidir. Herhangi bir yönetim uygulama senaryosunun toprak özelliklerinde ya da üründe meydana getireceği değişimi tahminlemek için modeller geliştirmek ziraat bilimlerinde sık başvurulan bir yoldur. Toprak bilimi ile ilgili olan bir modele girdi olacak veriler çoğunlukla etüd çalışmalarından elde edilmektedir. Fakat bu çalışmalar sadece tarla morfolojisi, tekstür, strüktür ve pH gibi temel toprak özelliklerini içerdiği için (Minasny, 2007) temel toprak özelliklerini daha zor ölçülen fonksiyonel özelliklere bağlayan eşitliklerin geliştirilmesi, toprak bilimi tahminleme mühendisliğinde esas teşkil etmektedir. Pedotransfer eşitlikler (PTFs), kolay ölçülen toprak özelliklerinden çıkarsama yolu ile zahmetli, zaman alıcı, birçoğu kullanışsız, kimi zaman da pahalı yöntemlerle ölçülen toprak özelliklerini tahminleyebilen araçlardır (McBratney et al. 2006).

Terim olarak Bouma (1989) tarafından önerilen pedotransfer eşitlikler, toprak hidrolojisinde daha çok belirli tansiyonlarda suyun tutulması ve nem karakteristik eğrisi ile ilgili çalışmalarda kullanılmış (Pachepsky et al. 1996; Cemek ve ark., 2004; Zacharias and Wessolek, 2007; Khodaverdilo et al. 2011), bununla birlikte

az sayıda olmak üzere hidrolik iletkenliğin doygun olmayan (Tamari et al. 1996; Zhuang et al. 2001; Mermoud and Xu , 2006) ve doygun koşullardaki değerlerinin tahminlenmesinde de kullanılmıştır.

Toprağın önemli bir hidrolik özelliği olan fakat laboratuvar koşullarında belirlenmesi birçok dezavantaj taşıyan doygun hidrolik iletkenlik değerinin (Ks) tahminlenmesinde başvurulan yollardan biri PTFs'in kullanımınıdır (Goncalves et al. 1997). Toprağın tekstürel özellikleri, bazı nem sabiteleri ve hacim ağırlığına ait verilerini kullanarak Ks değerlerinin tahminlendiği bir araştırmada (Gülser ve Candemir, 2008) geliştirilen PTFs'in Ks değerini tahminlemede başarıyla kullanılabileceğini açıklanmıştır. Merdun ve ark. (2006), bazı toprak fiziksel özelliklerini geliştirdikleri PTFs'i kullanarak tahminlemeyi amaçladıkları çalışmalarında, Ks'yi tahminleyen pedotransfer modelin bileşenlerinin kum içeriği (S), hacim ağırlığı (HA) ve porozite değeri (P) olduğunu ifade etmişler ancak ölçülen ve tahminlenen Ks değerlerinin karşılaştırılmasında düşük determinasyon katsayısı ve yüksek standart hata terimleri tespit etmişlerdir.

Bu çalışma ile amacı bazı temel toprak fiziksel özellikleri ve nem sabiteleri kullanılarak geliştirilen PTFs yardımıyla Kahramanmaraş-Narlı Ovası topraklarının Ks değerlerinin tahminlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan toprak örneklerinin alındığı Kahramanmaraş-Narlı Ovası aluviyal karakterli olup Fluvaquents ve Xerofluvents olarak sınıflandırılmaktadır (Gündoğan, 1998). Örneklemeler 0-15 cm derinlikten yapılmıştır. Nemli toprak örnekleri el ile ufalanarak atmosfer koşullarında kurutulduktan sonra tahta tokmakla dövülerek yapılacak analizlerin gerektirdiği eleklerden geçirilmiştir. Toprak tekstürü hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951), pH ve EC 1:1 toprak-su karışımında (w/v) sırasıyla cam elektrotlu pH ve EC-metre ile (Rowell, 1996), CaCO₃ içeriği

Scheibler kalsimetre metodu ile (Rowell, 1996), organik karbon içeriği (OC) Walkley-Black yaş yakma yöntemi ile (Nelson and Sommers, 1982), katyon değişim kapasitesi (KDK) amonyumasetat-sodyumasetat ekstraksiyon yöntemine göre (Kacar, 1994) belirlenmiştir. Topraklar 24 saatlik sürecin sonunda su ile doymun duruma getirildikten sonra, tarla kapasitesindeki toprak su içeriği (TK), doyurulan bu toprak örneklerinin 24 saat süre ile seramik tablalar üzerinde 33 kPa basınç altında bırakılmasıyla, daimi solma noktasındaki su içeriği (DSN) ise örneklerin yine seramik tablalar üzerinde 1500 kPa basınç altında 96 saat süre ile bırakılması yoluyla ölçülmüştür (Gülser ve Candemir, 2008). TK ile DSN arasındaki fark yarayışlı su kapasitesi (YSK) olarak ifade edilmiş, doymunluk durumundaki nem içeriği saturasyon çamuru hazırlanarak belirlenmiştir (Demiralay, 1993). Hacim ağırlığı (HA) 100 cm³'lük örnekleme silindirleri ile araziden alınan bozulmamış toprak örneklerinin 105 °C'de 24 saat süre ile kurutulması yoluyla belirlenmiştir (Klute, 1986).

Toprakların Ks değerleri Darcy yasası uyarınca laboratuvar koşullarında Mariotte düzeneği kurularak belirlenmiştir (Özdemir, 1998). Bu yöntemle göre, iç çapı 5.5 cm olan silindir şeklindeki sütunun içerisine yaklaşık 5.0 cm kalınlığında bozulmuş toprak örnekleri paketlenmiş ve 2 tekerrürlü olarak hazırlanan bu örnekler, kapillarite ile

doymunluğa ulaşmaları için 24 saat süre ile suda bekletilmiştir. Daha sonra kolonlardaki doymun toprakların üzerinde 3.0 ± 0.2 cm yüksekliğinde su göllendirilmiş ve Mariotte düzeneği ile su yükü sabit tutulmuştur. Akışın başlamasından itibaren akış sabitlenene kadar sistemden çıkan su zamana bağlı olarak ölçülerek kaydedilmiş ve Eşitlik 1 yardımı ile Ks hesaplanmıştır.

$$K_s = \frac{VL}{At(h+L)} \quad (E_7.1)$$

Ks: Doymun koşullardaki hidrolik iletkenlik (cm h⁻¹)

t: Zaman (h)

V: t zaman süresi içerisinde toplama kabına biriken suyun hacmi (cm³)

A: Akışın meydana getirdiği kolonun kesit alanı (cm²)

L: Toprak kesitinin kalınlığı (cm)

h: Su yükü (cm)

Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde TARİST (1994) paket programından yararlanılmış ve oluşturulacak pedotransfer eşitlikler için Path analizi yardımı ile bağımsız değişken seçimi yapılmıştır. Daha sonra çoklu lineer regresyon yöntemi ile Eşitlik 2 formatında pedotransfer modeller oluşturulmuştur.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + \dots + b_7X_7 + \dots + b_8X_1^2 + \dots + b_{14}X_7^2 + \dots + b_{15}X_1X_2 + \dots + b_{35}X_6X_7$$

Y: Ks'yi ifade eden bağımlı değişken

b₀: Denklem katsayısı

b₁...b₃₅: Regresyon katsayıları

X₁-X₇: Rutin analizlerle belirlenen temel toprak özelliklerini ifade eden bağımsız değişkenler

Geleneksel yöntemle ölçülen Ks değerinin PTFs kullanılarak tahminlenen Ks değerleri ile karşılaştırılmasında Eşitlik 3 ile hesaplanan determinasyon katsayısı (R²)

terimi kullanılmış ve R² değerleri hazırlanan grafikler üzerinde verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ix})^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - y_{iz})^2 \right]} \quad (E_7.3)$$

R²: Determinasyon katsayısı

y_i: Ölçülen değer

y_{ix}: Tahminlenen değer

y_{iz}: Ölçülen değerlerin ortalaması

n: Toplam ölçüm sayısı

Araştırma Bulguları

Araştırma Konusu Toprakların Genel Özellikleri

Bu araştırmaya konu olan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Anılan çizelgeye göre toprakların silt içeriği (Si) yüksek bulunmuştur (en düşük 125 g kg⁻¹ en yüksek 855 g kg⁻¹ ve ortalama 487 g kg⁻¹). Toprakların kil içerikleri (C) 75-530 g kg⁻¹ arasında kum içerikleri (S) ise 15-582 g kg⁻¹ arasında değişmektedir. C içeriğindeki değişime paralel olarak KDK değerleri de 26,8-96,2 cmol_c kg⁻¹ arasında değişmektedir. Topraklar nötr ile alkalın reaksiyon arasında pH değerlerine sahiptir. Toprakların tuzluluk durumu ve CaCO₃ içerikleri geniş bir aralıkta dağılım gösterirken (EC_{25°C}: 78-792 µS cm⁻¹; CaCO₃: % 1.8-67.5) OC içerikleri daha dar bir aralıkta (5,1-19,0 g kg⁻¹) değişmiştir. Nem sabiteleri bakımından da fazlaca değişim gösteren topraklarda TK,

DSN, YSK ve saturasyon (SAT) değerleri ortalama olarak sırasıyla 0,34, 0,18, 0,16 ve 0,47 cm³ cm⁻³ olarak belirlenmiştir. Toprakların HA değerleri 1,05-1,61 Mg m⁻³ arasında, Ks değerleri 0,59-20 cm h⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Tekstürün silt ağırlıklı olması, partikül büyüklük dağılımının ve KDK değerinin topraktan toprağa değişim göstermesi, Narlı Ovası’nın alokton materyalden oluşmasına ve pedogenik süreçlerle aluvial depozitlerin karakteristiklerini kazanmasına, ovada farklı kil minerali çeşitlerinin varlığına (Yılmaz ve ark., 2003) atfedilebilir. Nem sabiteleri, HA ve Ks değerlerinin farklı bulunmasında, tekstürel dağılım ile kireç ve OC içeriklerinin topraktan toprağa değişmesinin etkisi olabilir. Ayrıca ovanın toprak amenajmanı da büyük bir ihtimalle farklı kısımlarındaki toprakların değişik özellikler kazanmasına neden olmuştur.

Çizelge 1. Çalışma konusu toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (n= 25x2 tekerrür)

Table 1. Some physical and chemical properties of study soils (n= 25x2 replicates)

Toprak Özellikleri Soil Properties		En düşük Min.	En yüksek Max.	Ortalama Mean	Std. Sapma Standard Deviation
ISSS Kum ISSN Sand	g kg ⁻¹	15	582	240	196
ISSS Silt ISSN Silt	g kg ⁻¹	125	855	487	224
ISSS Kil ISSN Clay	g kg ⁻¹	75	530	274	105
pH / pH		6.70	9.86	8.18	0.47
EC _{25°C} EC _{25°C}	µS cm ⁻¹	78	792	283	176
CaCO ₃ CaCO ₃	%	1.8	67.5	29.4	11.6
OC / OC	g kg ⁻¹	5.1	19.0	9.5	2.9
KDK / CEC	cmol _c kg ⁻¹	26.8	96.2	55.3	18.4
TK / FC	cm ³ cm ⁻³	0.21	0.45	0.34	0.05
DSN / PWP	cm ³ cm ⁻³	0.05	0.32	0.18	0.06
YSK / AWC	cm ³ cm ⁻³	0.03	0.27	0.16	0.05
SAT / SAT	cm ³ cm ⁻³	0.36	0.62	0.47	0.06
HA / BD	Mg m ⁻³	1.05	1.61	1.40	0.11
Ks / Ks	cm h ⁻¹	0.59	20.0	8.22	5.23

Toprakların Ölçülen Ks Değerleri ile Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Çalışma konusu toprakların ölçülen Ks değerleri ile diğer bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir. Adı geçen çizelge hazırlanırken Ks değeri ile ilişki göstermeyen toprak özellikleri göz ardı edilmiştir. Çizelge 2’nin incelenmesinden de anlaşılacağı üzere, bağımlı değişken Ks ile kum içeriği (S) arasında pozitif yönde bir ilişki (0,890**) varken seçilen diğer

bağımsız değişkenler ile negatif yönde bir ilişki tespit edilmiştir. Ks ile en yüksek korelasyonu negatif yönde olmak kaydıyla silt+kil içeriği (Si+C) vermiştir (-0,892**). Ks ve HA değerleri arasındaki korelasyonun katsayısı 0,568** olarak tespit edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki ikili ilişkiler incelendiğinde YSK-HA, YSK-SAT ve TK-Si korelasyonları istatistiksel açıdan önemsiz (ns) bulunmuş, diğer ilişkiler ise pozitif ya da negatif yönde önemli (P<0,01) bulunmuştur.

Çizelge 2. Hidrolik iletkenlik (Ks, bağımlı değişken) ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları

Table 2. Correlation coefficients of interactions between hydraulic conductivity(Ks, dependent variable) and some soil properties

	TK FC	YSK AWC	SAT SAT	S S	Si Si	Si+C Si+C	HA BD
Ks Ks	-0,367**	-0,401**	-0,475**	0,890**	-0,776**	-0,892**	0,568**
TK FC		0,365**	0,484**	-0,418**	0,114ns	0,424**	-0,460**
YSK AWC			0,227ns	-0,500**	0,668**	0,503**	-0,118ns
SAT SAT				-0,555**	0,397**	0,564**	-0,656**
S S					-0,883**	-0,999**	0,579**
Si Si						0,882**	-0,399**
Si+C Si+C							-0,579**

**P<0,01; ns: istatistiksel olarak önemsiz

Oluşturulacak PTFs’in elemanlarının seçimini yapabilmek için Ks ile önemli ilişkiler veren temel toprak özelliklerine uygulanan Path analizi sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre bağımsız değişkenler Ks üzerine doğrudan etkileri bakımından Si+C > S > HA > SAT > TK > Si > YSK şeklinde sıralanmıştır. Si+C’nin Ks üzerine doğrudan etkisi % 63,52 ile en yüksek bulunurken bunu % 27,51 ile S izlemiş, YSK’nın doğrudan etkisi ise % 0,15 ile en düşük bulunmuştur. Toprak özelliklerinin Ks üzerine en yüksek dolaylı etkileri Si+C üzerinden gerçekleşmiştir. Net bir şekilde toprak nem sabitelerinin Ks üzerine etkileri, partikül büyüklük dağılımı

ve HA’nın etkilerinden daha düşük seviyede kalmıştır.

Toprakların hacim ağırlıkları kum içeriğinin artmasıyla artmakta ve bu artış por çapı ile ilişkili olarak hidrolik iletkenliğin artışı sonuçlamaktadır (Özdemir, 1998). Diğer taraftan toprakta suyun tutulma gücü de gözenek büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olduğundan (Iwata et al. 1995) belirli negatif basınçlarla toprakta tutulan su miktarını ifade eden toprak nem sabiteleri hidrolik iletkenlik değeri ile önemli ilişkiler verebilmektedir. Bu çalışmada toprakların Ks değerleri ile bazı temel toprak özellikleri ve nem sabiteleri arasında saptanan istatistiksel ilişkiler temel toprak fiziki kurallarına uymaktadır.

Çizelge 3. Path analizi sonuçları
Table 3. Path analysis results

Bağımlı değişken <i>Depended variable</i>	Toprak Özellikleri <i>Soil properties</i>	Doğrudan etki, % <i>Direct effect, %</i>	Dolaylı etkiler, % <i>Indirect effects, %</i>						
			TK <i>FC</i>	YSK <i>AWC</i>	SAT <i>SAT</i>	S <i>S</i>	Si <i>Si</i>	Si+C <i>Si+C</i>	HA <i>BD</i>
Ks <i>Ks</i>	TK <i>FC</i>	4,36	-	0,06	4,35	25,46	0,85	59,81	5,11
	YSK <i>AWC</i>	0,15	1,42	-	2,23	27,25	4,45	63,32	1,18
	SAT <i>SAT</i>	6,68	1,57	0,04	-	25,12	2,20	58,98	5,41
	S <i>S</i>	27,51	0,82	0,04	2,25	-	2,97	63,50	2,91
	Si <i>Si</i>	3,84	0,26	0,06	1,84	27,71	-	64,01	2,29
	Si+C <i>Si+C</i>	63,52	0,84	0,04	2,29	27,45	2,97	-	2,90
	HA <i>BD</i>	8,0	1,45	0,02	4,24	25,43	2,14	58,72	-

Ks Değerini Tahminlemek için Geliştirilen Pedotransfer Modeller

Korelasyon ve Path analizi sonuçlarına göre seçilen toprak özellikleri kullanılarak çoklu lineer regresyon yoluyla oluşturulan

farklı PTFs Çizelge 4'de verilmiştir. Geliştirilen PTFs'in hepsi 0,001 alfa seviyesinde önemli bulunmuş fakat modellerin *Ks*'i tahminleme gücü farklılık göstermiştir.

Çizelge 4. *Ks*'yi tahminlemek için geliştirilen pedotransfer modeller
Table 4. Generated pedotransfer models for predicting *Ks*

Pedotransfer modeller <i>Pedotransfer functions</i>	r^2 ve α önem seviyesi r^2 ve α level	
Tahminlenen $K_{sat} = 33,666 - 0,007S + 0,001Si - 0,032(Si + C)$	0,797***	Eş. 4
Tahminlenen $K_{sat} = 28,910 - 0,009S - 0,031(Si + C) + 3,745HA$	0,801***	Eş. 5
Tahminlenen $K_{sat} = 30,396 - 0,019S - 0,042(Si + C) + 6,501HA + 10,738SAT$	0,807***	Eş. 6
Tahminlenen $K_{sat} = 30,702 - 0,020S - 0,043(Si + C) + 6,753HA + 10,168SAT + 2,519TK$	0,808***	Eş. 7
Tahminlenen $K_{sat} = 31,278 - 0,020S + 0,002Si - 0,046(Si + C) + 10,233SAT + 5,092TK + 6,470HA$	0,809***	Eş. 8

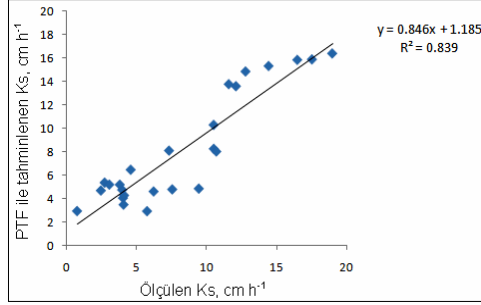
*** $P < 0,001$

Ölçüm yoluyla elde edilen ve Eşitlik 4, 5, 6, 7 ve 8 ile tahminlenen *Ks* değerlerinin karşılaştırılması sırasıyla Şekil 1, 2, 3, 4 ve 5'de verilmiştir. Bileşenlerini yalnızca tekstürel özelliklerin oluşturduğu Eşitlik 4 ile tahminlenen ve ölçülen *Ks* değerleri arasındaki ilişkinin R^2 değeri 0,839 olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Partikül büyüklük özellikleri ve HA değerleri kullanılarak

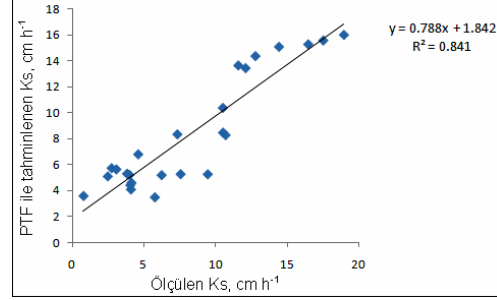
geliştirilen PTF (Eşitlik 5) ile tahminlenen ve standart yöntemle ölçülen *Ks* değerlerine ait ilişki grafiği R^2 değerini 0,841 olarak vermiştir (Şekil 2). Eşitlik 5'e SAT değerinin eleman olarak eklenmesiyle Eşitlik 6 oluşturulmuş ve modelin tahminleme gücünü değerlendirmede kullanılan R^2 değeri 0,846'ya yükselmiştir. Eşitlik 7 ve Eşitlik 8, bazı toprak nem sabitelerinin temel

toprak özellikleriyle birlikte denklem elemanı olarak kullanılmasıyla oluşturulmuş fakat bu eşitlikler ile K_s 'i tahminlemede

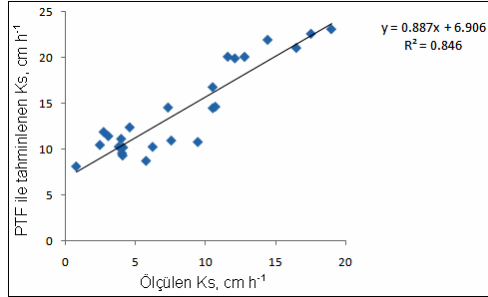
Eşitlik 6 ile olduğu kadar başarı sağlanamamıştır (Şekil 4 ve Şekil 5).



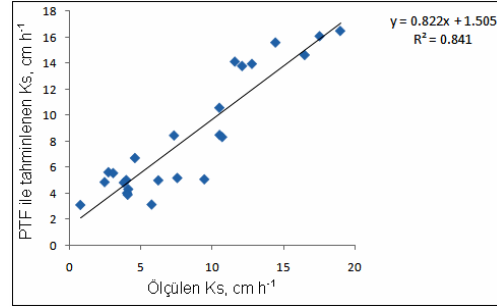
Şekil 1. Ölçülen ve Eşitlik 4 ile tahminlenen K_s değerleri arasındaki ilişki
Figure 1. Interaction between K_s values measured and predicted by Equation 4



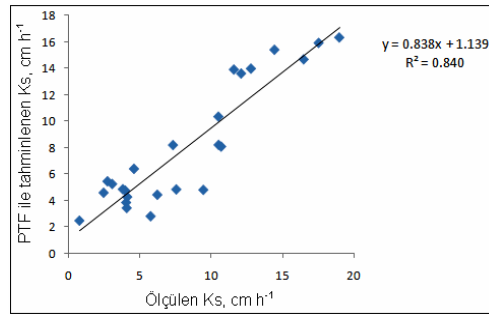
Şekil 2. Ölçülen ve Eşitlik 5 ile tahminlenen K_s değerleri arasındaki ilişki
Figure 2. Interaction between K_s values measured and predicted by Equation 5



Şekil 3. Ölçülen ve Eşitlik 6 ile tahminlenen K_s değerleri arasındaki ilişki
Figure 3. Interaction between K_s values measured and predicted by Equation 6



Şekil 4. Ölçülen ve Eşitlik 7 ile tahminlenen K_s değerleri arasındaki ilişki
Figure 4. Interaction between K_s values measured and predicted by Equation 7



Şekil 5. Ölçülen ve Eşitlik 8 ile tahminlenen K_s değerleri arasındaki ilişki
Figure 5. Interaction between K_s values measured and predicted by Equation 8

Pedotransfer konsept çerçevesinde Ks'i tahminlemek için yürütülen önceki çalışmaların sonuçları birbirlerinden farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmaların birinde (Merdun ve ark., 2006), kum içeriği, hacim ağırlığı ve 30 µm'den büyük gözenek miktarı, Ks değerini tahminleyen PTF için en uygun elemanlar olarak tespit edilmiş fakat geliştirilen model düşük determinasyon katsayısı ($R^2= 0,524$) ve yüksek standart hata terimi vermiştir. Gülser ve Candemir (2008) yürüttükleri bir çalışmada, Çarşamba ve Bafra ovaları topraklarının Ks değerlerini pedotransfer yaklaşım yardımıyla tahminlemeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar yalnızca toprak nem sabiteleri kullanılarak geliştirilen PTF'in tahminleme gücünü düşük bulurken toprak nem sabitelerinin yanında HA değeri ve tekstürel verilerin denklem bileşeni olarak kullanılmasıyla oluşturulan PTF'in tahminleme gücünü yüksek ($R^2= 0,955$) bulmuşlardır.

Bizim çalışmamızda Ks'i tahminlemek üzere geliştirilen PTFs'de en yüksek R^2 değeri 0,846 olarak tespit edilmiş (Eşitlik 6) ve ölçülen Ks değerine yaklaşabilme bakımından modelimiz yukarıdaki iki çalışmada geliştirilen modellerin arasında yer almıştır. Ayrıca bu çalışmada tahmin gücü en yüksek modelin (Eşitlik 6) bileşenlerini S, Si+C, HA ve SAT'ın oluşturması, toprak hidrolik özelliklerinin anılan özelliklerle yakından ilişkili olduğu (Wösten et al. 1995; Minasny et al. 2004) gerçeği ile örtüşmektedir.

Sonuç

Bu çalışmanın sonuçları Kahramanmaraş-Narlı Ovası topraklarının Ks değerlerinin uygun pedotransfer modelleri ile tahminlenebileceğini göstermektedir. Geliştirilen PTFs'in kullanımı, özellikle örnek sayısı çok fazla olduğunda, araştırmacıyı zahmetli, zaman alıcı ve kullanışsız Ks belirleme yöntemlerinden kurtarabilir. Ancak toprakların Ks değerlerinin pedotransfer eşitlikler yardımıyla tahminlenmesine yönelik olarak yürütülen çalışmaların sonuçlarının birbirinden çok farklı olabileceği unutulmamalıdır. Bu farklılığın temelinde

yatan neden toprakların karmaşık doğasına ve ölçüm tekniklerine bağımlı olarak veri kümelerinin farklı özellikler taşımasıdır. Bu nedenle geliştirilen eşitlikler farklı veri kümeleri üzerinde test edilmeli, örnek sayısı artırılmalı ve pedotransfer eşitlikleri oluşturmada bir standarda uyulmalıdır. Ayrıca PTFs yardımıyla tahminlemeler yapıldıktan sonra ova boyutunda Ks'in uzamsal dağılımına ait haritaların üretilmesi yönetim planlamalarının şekillendirilmesine yardımcı olabilir.

Kaynaklar

- Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Sciences*, 1989, 9: 177-213.
- Bouyoucos, G.J. 1951. A calibration of the hydrometer method for making mechanical analyses of soils. *Agron J.* 1951, 43: 434-438.
- Cemek, B., Meral, R., Apan, M. and Merdun, H. 2004. Pedotransfer functions for the estimation of the field capacity and permanent wilting point. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2004, 7(4): 535-541.
- Demiralay, İ. 1993. *Toprak Fiziksel Analizleri*. Atatürk Üniv. Zir. Fak. Yayınları, No: 143, Erzurum.
- Goncalves, M.C., Pereira, L.S. and Leij, F.J. 1997. Pedo-transfer functions for estimating unsaturated hydraulic properties of Portuguese soils. *Euro. J. Soil. Sci.* 1997, 48: 387-400.
- Gülser, C. and Candemir, F. 2008. Prediction of saturated hydraulic conductivity using some moisture constants and soil physical properties. *BALWOIS*, 27-31 May, 2008, Macedonia.
- Gündoğan, R. 1998. Land use interpretations at the taxonomic category level for Kahramanmaraş Province, Turkey. *M.Şefik Yeşilsoy Int. Sym. on Arid Region Soils*, 21-24 September, 1998, Menemen, İzmir, Turkey.
- Iwata, S., Tabuchi, T. and Warkentin, B.P. 1995. *Soil-Water Interactions*. Marcel Dekker Inc. 2nd edn. NY.

- Kacar, B. 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. (Toprak Analizleri). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Fonu Yayınları, No. 3, Ankara.
- Khodaverdiloo, H., Homae, M., van Genuchten, M. Th. and Dashtaki, S.G. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for calcareous soils. *Journal of Hydrology*, 2011, 399: 93-99.
- Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Methods*. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
- McBratney, A.B., Minasny, B. and Rossel, R.V. 2006. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. *Geoderma*, 2006, 136: 272-278.
- Merdun, H., Çınar, Ö., Meral, R. and Apan, M. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Till. Res.* 2006, 90: 108-116.
- Mermoud, A. and Xu, D. 2006. Comparative analysis of three methods to generate soil hydraulic functions. *Soil Till. Res.* 2006, 87: 89-100.
- Minasny, B., Hopmans, J.W., Harter, T., Eching, S.O., Tuli, A. and Denton, M.A. 2004. Neural networks prediction of soil hydraulic functions for alluvial soils using multistep outflow data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2004, 68: 417-429.
- Minasny, B. 2007. Predicting soil properties. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 2007, 7(1): 54-67.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part II*, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 539-580.
- Özdemir, N., 1998. *Toprak Fiziki*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Samsun.
- Öztekin, T., Cemek, B. and Brown, L. 2007. Pedotransfer functions for the hydraulic properties of layered soils. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2007, 24(2): 77-86.
- Pachepsky, Y.A., Timlin, D. and Varallyay, G. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996, 60: 727-733.
- Rowell, D.L. 1996. *Soil Science: Methods and Applications*. 3rd edn., Longman. London.
- Tamari, S., Wösten, J.H.M. and Ruiz-Suarez, J.C. 1996. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996, 60: 1732-1741.
- TARİST, 1994. *İstatistik Programı*. Ege Üniversitesi Tarım ve Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, İzmir.
- Wösten, J.H.M., Finke, P.A. and Jansen, M.J.W. 1995. Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*, 1995, 66: 227-237.
- Yılmaz, K., Hall, N. and Coscan, P.K. 2003. An evaluation of soil compaction on the Narlı Plain irrigation area, Kahramanmaraş, Turkey. *Soil Science*, 2003, 168(7): 516-528.
- Zacharias, S. and Wessolek, G. 2007. Excluding organic matter content from pedotransfer predictors of soil water retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2007, 71: 43-50.
- Zhuang, J., Nakayama, K., Yu, G.R. and Miyazaki, T. 2001. Predicting unsaturated hydraulic conductivity of soil based on some basic soil properties. *Soil Till. Res.* 2001, 59: 143-154.