

BATI AKDENİZ TARIMSAL ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ AKSU BİRİMİ TOPRAKLARININ TOPRAK-SU KARAKTERİSTİK EĞRİSİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Dursun BÜYÜKTAŞ Feridun HAKGÖREN
Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya

Özet

Topraklarda doymun olmayan bölgenin anlaşılması ve iyi yönetimi yeraltı sularının kirlenmesinin önlenmesi ve geliştirilmesi için büyük önem arz etmektedir. Kullanılan tarımsal gübre ve ilaçların toprağın üst tabakasından ve doymun olmayan bölgeden geçerek yer altı sularına doğru hareketi sonucu yer altı suları kirlenme problemiyle karşı karşıya kalmaktadır. Doymun olmayan poroz ortamlarda su akışı ve kirletici maddelerin hareketinin modellenmesinde nümerik modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Su içeriği ile toprak suyu basıncı arasındaki ilişkiyi gösteren toprak su karakteristik eğrilerinin bilinmesi birçok tarla çalışmalarında nümerik modellerin kullanılabilmesi için büyük önem göstermektedir. Bu çalışmada, toprak su karakteristik eğrilerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Brooks-Corey ve Van Genuchten yaklaşımları kullanılarak Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Aksu birimi (eski adıyla Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü) topraklarının su içeriği ile toprak suyu basıncı arasındaki fonksiyonel ilişkiler belirlenmiştir. Bu yaklaşımların şekil parametreleri elde edilmiş ve bunların birbiriyle olan ilişkileri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak Su Karakteristik Eğrisi, Brooks-Corey, Van Genuchten, BATEM

Determining Soil-Water Retention Parameters in the Soils of Aksu Branch of Batı Akdeniz Agricultural Research Institute

Abstract

Understanding and managing the unsaturated zone is important since it is a key factor in the improvement and protection of the quality of groundwater. The migration of pesticides and fertilizers from agricultural and domestic usage into the topsoil and through the unsaturated zone has signaled the pollution of groundwater. Numerical models are extensively used in modeling of water flow and contaminant transport in unsaturated porous media. Knowledge of the soil water retention curve, expressing the relation between water pressure head, h , and volumetric water content, θ , is of prime importance in many field studies. In this study, two widely used approaches for soil water retention curves, Brooks and Corey, and Van Genuchten, are employed to find the functional relationship between soil water and matric pressure head in the soils of formerly known as Akdeniz Agricultural Research Institute, Antalya. The fitting parameters of two approaches and their relations with each other are derived. Moreover, the constraints on these different fitting parameters are analyzed.

Keywords: Water retention curves, Brooks-Corey, Van Genuchten, BATEM

1. Giriş

Toprak ve su kaynaklarının kirliliği şimdiye kadar görülmemiş bir hızla artmaktadır. Kirletilen kaynakların yeniden temizlenebilmesi için ise önemli miktarlarda maddi kaynağa ve zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Toprak ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesi, büyük ölçüde, taban suyu ile toprak yüzeyi arasında kalan ve doymun olmayan bölge olarak adlandırılan kısımdaki aktivitelerden kaynaklanmaktadır. Kirletici kaynak yer altı sularına ulaştığında,

kirliliğin önlenmesi veya temizlenmesi neredeyse geri dönülemez bir hal almaktadır (Nielsen ve ark., 1986). Bu nedenle, toprağın doymun olmayan bölgesi, yer altı su kaynaklarının kirlenmesinin önlenmesi veya azaltılmasına yönelik çalışmalarda önemli bir yere sahiptir.

Çeşitli mühendislik ve araştırma projelerinde, doymun olmayan koşullardaki toprakta su akışının ve kimyasal madde hareketinin modellenmesinde nümerik

modellerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Nitekim Tuli ve Jury (2004), sulu tarım yapılan topraklardaki tuzlanma sorunlarının, bölgesel ve yerel ölçekte yapılacak farklı modelleme stratejileri ile önlenebileceğini belirtmektedirler. Bu tür modellerin güvenle kullanılabilmesi için, su akışı ve kirletici hareketini etkileyen toprak özelliklerinin de doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Topraktaki su akışının tanımlanmasında Richards eşitliği yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir boyutlu düşey akış için Richards eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir (Hillel, 1998).

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right] \quad (1)$$

Eşitlikte; θ hacimsel su içeriğini, h basınç yükünü, K hidrolik iletkenliği, z aşağı yön pozitif olmak üzere düşey mesafeyi ve t ise zamanı göstermektedir.

Yukarıda verilen Eşitlik 1'in analitik olarak çözülebilmesi veya nümerik modellemelerde kullanılabilmesi için iki fonksiyonun bilinmesi gereklidir. Bunlar toprak su karakteristik eğrisi, $\theta(h)$, ve doymun olmayan hidrolik iletkenlik, $K(h)$, fonksiyonlarıdır.

Toprağın hidrolik karakteristik eğrilerini, basınç yükünün veya su içeriğinin bir fonksiyonu olarak ifade eden çok sayıda ampirik eşitlik geliştirilmiştir (Brooks ve Corey, 1964; Campbell, 1974; Van Genuchten, 1980; Leij ve ark., 1997). Bu eşitlikler içerisinde nümerik modellerde en yaygın olarak kullanılanları Brooks ve Corey (1964) ve Van Genuchten (1980) tarafından geliştirilmiş olanlardır.

Bu çalışmada, ileride yapılabilecek olan nümerik modellemelerde kullanılmak amacıyla, Brooks-Corey ve Van Genuchten yaklaşımları kullanılarak Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM) Aksu birimi (eski adıyla Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü) topraklarının su içeriği ile toprak suyu basıncı arasındaki fonksiyonel

ilişkiler belirlenmiş; bu yaklaşımların şekil parametreleri elde edilmiş ve bunların birbiriyle olan ilişkileri irdelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada araştırma materyali olarak kullanılan toprak örnekleri BATEM Aksu birimi topraklarında, D.S.İ (1970) tarafından yapılmış olan Aşağı Aksu Projesi Aksu ovası Detaylı Arazi Tasnif Haritasındaki toprak sınıflarına uygun olarak beş ayrı yerde açılan profillerden alınmıştır. Daha detaylı bilgi Büyüктаş (1994) ve Büyüктаş ve Hakgören (1995)'den alınabilir. Çalışmada kullanılan toprak su karakteristik eğrilerine ilişkin veriler, bozulmamış toprak örneklerinde 0.00, 0.10, 0.33, 1.00 atmosfer tansiyonlarda poroz levhalı basınç aletinde; bozulmuş toprak örneklerinde ise 5.00, 8.00 ve 15.00 atmosfer tansiyonlarda basınçlı membran aletinde belirlenmiştir.

Su içeriği ile toprak suyu basıncı arasındaki fonksiyonel ilişkileri belirlemek için kullanılan eşitliklerden Brooks-Corey (1964) eşitliği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)(\beta h)^{-\lambda}, \quad \beta h > 1 \quad (2)$$
$$\theta(h) = \theta_s, \quad \beta h \leq 1$$

Eşitlikte, θ_r hacimsel olarak kalıcı (residual) su içeriğini, θ_s doymun su içeriğini, β (metre⁻¹) ampirik şekil katsayısını, λ parçacık büyüklük dağılımını gösteren ve karakteristik eğrinin eğimini etkileyen parametreyi göstermektedir. $1/\beta$ genellikle hava giriş (h_{ae}) veya kabarcık basıncı olarak adlandırılmaktadır ($h_{ae} = 1/\beta$). Efektif doymunluk derecesi ($S_e = (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r)$) cinsinden yazılarak Logaritmik bir kağıda çizildiğinde, eşitlik 2 hava giriş (h_{ae}) değerinde kesişen iki düz çizgi oluşturmaktadır. Bu eşitliğin en büyük dezavantajı, hava giriş değerinde eşitliğin sürekli olmamasından dolayı bu noktada türevinin alınmasında

sorunların olmasıdır.

Kullanılan diğer eşitlik ise Van Genuchten (1980) tarafından önerilen aşağıdaki eşitliktir.

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-m} \quad (3)$$

Eşitlikte α (metre^{-1}), $n > 1$, ve $m = 1 - 1/n$ şekil parametreleridir. Eşitlik 2 ve 3'deki θ_r , matematiksel olarak, basınç yükü çok büyük olduğunda $d\theta/dh$ değerinin sıfır olduğu durumdaki su içeriği olup toprakta bulunan en küçük su içeriğini yansıtmayabilir (Tindall ve Kunkel, 1999).

Eşitlik 2 ve 3'deki şekil parametrelerinin belirlenmesi, belirli bir toprak suyu basıncında tahmin edilen hacimsel su içeriği ile ölçülen su içeriği değeri arasındaki farkın minimize edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu amaçla çeşitli yazılımlar (Van Genuchten ve ark., 1991; Acutis ve Donatelli, 2003) geliştirilmiş olmakla beraber, nispeten kolayca ulaşılabilen MS EXCEL programı da aynı amaçla kullanılabilir. Bu çalışmada, tahmin edilen ile ölçülen su içeriği arasındaki farkın karelerinin toplamı, bir başka deyişle Hata Kareler Toplamı (HKT), minimum olacak şekilde MS EXCEL hesap tablosu hazırlanarak (Walsh ve Diamond, 1995), Brooks-Corey (θ_r , β , λ) ve Van Genuchten (θ_r , α , n) şekil parametreleri belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Toprak örneklerine ilişkin Van Genuchten ve Brooks-Corey şekil parametreleri Çizelge 1'de verilmektedir. Toprak bünyesi genellikle orta ve ağır bünyelidir. Van Genuchten parametrelerinden kalıcı su içeriği (θ_r) 0.001 ile 0.24 arasında, α (metre^{-1}) değerleri 0.339 ile 1.669 arasında ve n değerleri ise 1.090 ile 1.605 arasında değişmektedir. Brooks-Corey parametreleri incelendiğinde θ_r değerlerinin 0.001 ile 0.226,

β değerlerinin 1.183 ile 2.735, λ değerlerinin ise 0.083 ile 0.426 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 1). Hata kareler toplamı genellikle Van Genuchten eşitliği için daha küçük bulunmuştur.

Çok sayıda toprak örnekleri üzerinde çalışarak yaptıkları çalışmada, Carsel ve Parish (1988) 12 farklı toprak grubu için ortalama Van Genuchten parametrelerini çıkarmışlar ve kumlu, tınlı ve killi toprak için n parametresinin, sırasıyla 2.68, 1.56 ve 1.09; α parametresinin (cm^{-1}) 0.145, 0.036 ve 0.008 olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmada da elde edilen parametreler bu sınırlar içerisinde bulunmaktadır. Wise ve ark. (1994) α ve n 'nin gözenek büyüklüğü ile ilgili olduğunu ve α ve n küçüldükçe gözenek büyüklüğünün de küçüldüğünü belirtmektedirler. Büyüktaş ve Havgören (1995) tarafından verilen gözenek büyüklükleri de dikkate alındığında, orta ve ince gözeneklerin daha fazla kaba gözeneklerin ise az olduğu ve nispeten orta ve ağır toprak bünyesi (Çizelge 1) belirlenen parametrelerle toprak fiziksel özelliklerinin uyduğu görülmektedir.

Corey (1994), Brooks-Corey eşitliğindeki λ parametresinin gözenek büyüklük dağılımı indeksi olduğunu bildirmekte ve tipik bir gözenekli ortam için bu değer yaklaşık 2 civarında olacağını belirtmekle beraber, doğal olarak oluşmuş kumlar için bu değer 5-6 civarında ve kil ağırlıklı topraklar için 1'den de küçük olabileceğini belirtmektedir. Toprakların kil ve silt oranların yüksek ve orta ve ince gözeneklerin fazla olduğu (Büyüktaş ve Havgören, 1995) dikkate alındığında 1'den küçük λ değerlerinin bulunması (Çizelge 1) yukarıdaki açıklamalarla uyum içindedir. Ancak, Fuentes ve ark (1991), Brooks-Corey eşitliği için λ değerinin ve Van Genuchten eşitliği için ise m ve n çarpımının 1'den büyük olması gerektiğini, aksi takdirde bu eşitliklerin kuru topraklarda kapiller yükselme hesaplamalarında hatalı tahminlere yol açabileceğini bildirmektedirler.

Brooks-Corey parametresi λ ile Van Genuchten parametresi n arasında $n = \lambda + 1$

şeklinde bir ilişki bulunmaktadır (Tindall ve Kunkel, 1999). Birbirinden bağımsız olarak belirlenen ve Çizelge 1’de verilen λ ve n parametreleri incelendiğinde, bu ilişkinin % 5’den daha düşük bir hatayla gerçekleştiği görülmektedir. Bu da belirlenen parametrelerin tutarlı ve doğru olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1’de verilen ilgili parametreler, eşitlik 2 ve 3’de yerine konularak elde edilen toprak su karakteristik eğrileri, farklı toprak tipleri için Şekil 1’de verilmektedir. Elde edilen eğrilerin ölçülen toprak su içeriği değerleri ile uyduğu görülmektedir. Basınç yükünün 1 m’den büyük olduğu durumlarda iki yöntem arasında hemen hiç fark olmadığı, iki yöntem arasındaki farkın basınç yükünün 1 m’den küçük olduğu, başka bir deyişle toprağın doymun veya doymuna yakın olduğu durumlarda oluştuğu görülmektedir (Şekil 1). Vogel ve ark., (2001), toprak su karakteristik eğrisinin doymunluğa yakın olduğu kısmında, eğrinin şeklindeki küçük değişikliklerin nümerik simülasyon sonuçlarını ve kullanılan nümerik metodun kararlılığını önemli

derecede etkilediğini ve bu durumun ince bünyeli topraklar için daha da önemli olduğunu belirtmektedirler. BATEM Aksu araştırma alanı topraklarının da ince bünyeli olduğu göz önüne alındığında, uygun bir toprak su karakteristik eğrisinin belirlenmesinin önemli olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Russo (1988), Brooks-Corey ve Van Genuchten yöntemlerini karşılaştırdığı çalışmada, Van Genuchten yönteminin verilerle daha tutarlı sonuçlar verdiğini belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen düşük HKT değerleri de bunu desteklemektedir (Çizelge 1).

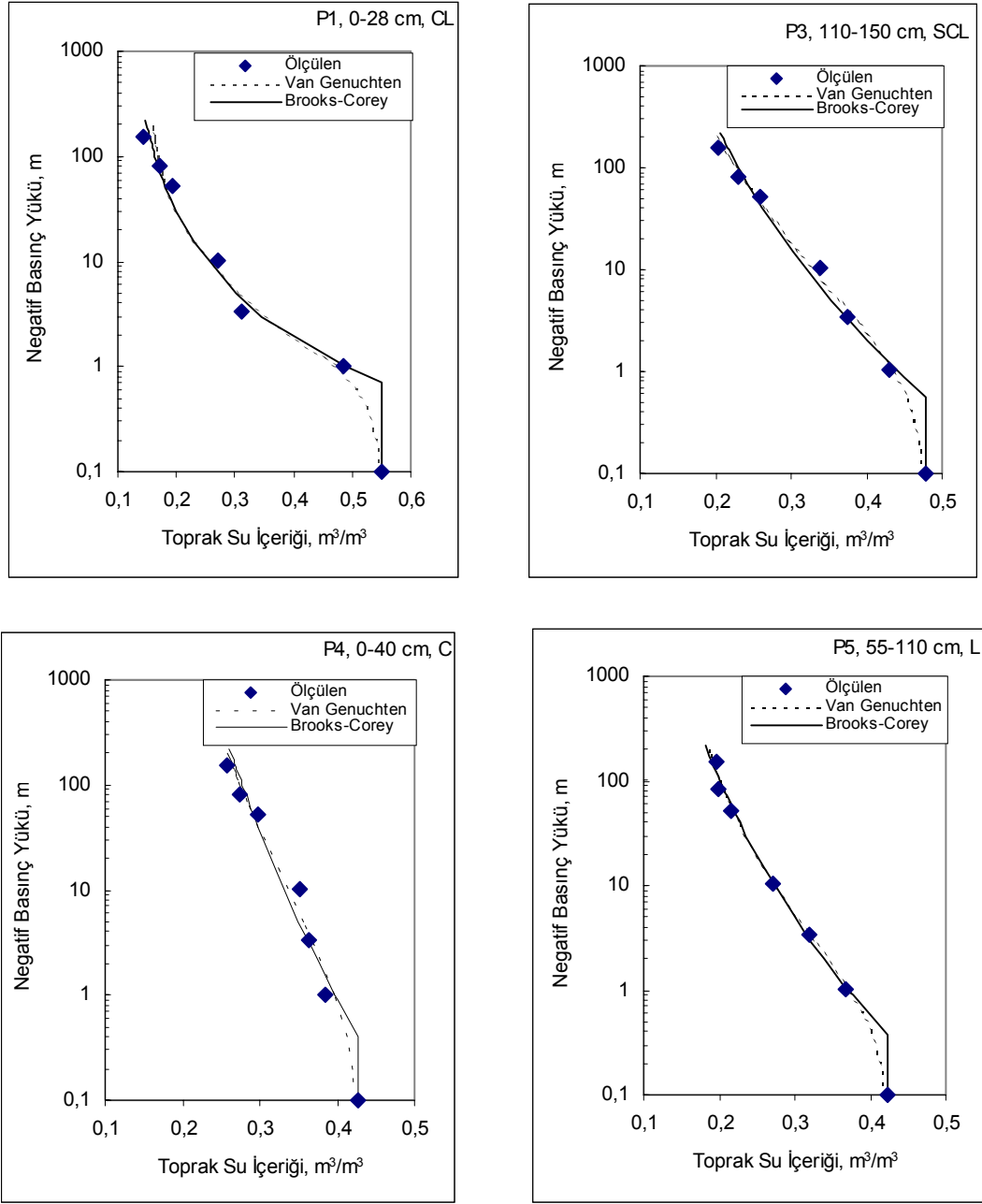
4. Sonuç

BATEM Aksu birimi topraklarının karakteristik eğrilerinin belirlenmesinde, nümerik modellerde yaygın olarak kullanılan Brooks-Corey ve Van Genuchten eşitliklerinin parametreleri belirlenerek, ileride bu topraklarda yapılması muhtemel nümerik simülasyonlar için gerekli model giriş parametreleri belirlenmiştir. Van Genuchten

Çizelge 1. Toprak Su Karakteristik Eğrilerinin Şekil Parametreleri.

Profil No	Katman Derinliği, cm	Bünye	Doymun Su İçeriği, θ_s	Van Genuchten (VG)			Brooks-Corey (BC)			HKT	
				θ_r	α 1/metr e	n	θ_r	β	λ	VG	BC
1	0-28	CL	0.550	0.139	0.859	1.605	0.110	1.428	0.426	0.00226	0.00135
	28-70	SCL	0.412	0.001	0.717	1.120	0.001	1.686	0.099	0.00143	0.00180
	70-120	C	0.412	0.001	0.719	1.164	0.001	1.534	0.135	0.00025	0.00078
	120-150	C	0.418	0.001	0.806	1.155	0.001	1.641	0.129	0.00034	0.00080
2	0-40	CL	0.536	0.134	1.298	1.433	0.112	1.973	0.341	0.00200	0.00146
	40-85	CL	0.415	0.001	0.765	1.162	0.001	1.574	0.135	0.00027	0.00074
	85-105	L	0.394	0.001	0.877	1.162	0.001	1.623	0.139	0.00007	0.00030
	105-150	L	0.426	0.086	1.146	1.285	0.001	2.223	0.166	0.00006	0.00007
3	0-43	C	0.439	0.001	0.339	1.117	0.001	1.183	0.083	0.00035	0.00111
	43-110	SC	0.488	0.001	1.669	1.136	0.001	2.735	0.121	0.00116	0.00147
	110-150	SCL	0.478	0.001	0.943	1.165	0.001	1.732	0.142	0.00036	0.00076
4	0-40	C	0.426	0.001	1.273	1.090	0.001	2.434	0.078	0.00054	0.00078
	40-80	SCL	0.447	0.001	1.614	1.142	0.001	2.722	0.126	0.00106	0.00140
	80-137	SCL	0.425	0.036	1.589	1.147	0.001	2.483	0.118	0.00023	0.00020
	137-150	SCL	0.459	0.001	1.552	1.133	0.001	2.564	0.118	0.00064	0.00090
5	0-55	CL	0.458	0.240	1.295	1.499	0.226	2.134	0.364	0.00005	0.00003
	55-110	L	0.423	0.109	1.338	1.251	0.001	2.678	0.134	0.00009	0.00012

$$\text{HKT: Hata Kareler Toplamı, HKT} = \sum_1^N (\theta_{\text{ölçülen}} - \theta_{\text{tahmin}})^2$$



Şekil 1. Farklı Toprak Bünyeleri için Brooks-Corey ve Van Genuchten Parametrelerinin Karşılaştırılması.

parametrelerinden kalıcı su içeriği (θ_r) 0.001 ile 0.24 arasında, α (metre⁻¹) değerleri 0.339 ile 1.669 arasında ve n değerlerinin ise 1.090 ile 1.605 arasında değiştiği belirlenmiştir. Brooks-Corey parametreleri incelendiğinde θ_r

değerlerinin 0.001 ile 0.226, β değerlerinin 1.183 ile 2.735, λ değerlerinin ise 0.083 ile 0.426 arasında değiştiği görülmektedir. Hata kareler toplamı genellikle Van Genuchten eşitliği için daha küçük bulunmuştur. Toprak

bünyesi genellikle ince olduğundan, anılan parametrelerin kullanımında dikkatli olunması, Fuentes ve ark., (1991) tarafından verilen kısıtları sağlamadığından, nümerik modelleme sonuçlarında az da olsa bir hataya neden olabileceği unutulmamalıdır.

Kaynaklar

- Acutis, M., Donatelli, M. 2003. SOILPAR 2.00: Software to Estimate Soil Hydrological Parameters and Functions. *European J. Agronomy*, 18: 373-377.
- Büyükaş, D. 1994. Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Topraklarının Sulama Yönünden Bazı Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniv., Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, 77 s, Antalya.
- Büyükaş, D., Hakgören, F. 1995. Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Topraklarının Sulama Yönünden Bazı Fiziksel ve Hidrolik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Akdeniz Üniv. Zir. Fak. Dergisi*, 8(1): 156-168.
- Brooks, R.H., Corey, A.T. 1964. Hydraulic Properties of Porous Media. *Colorado State University Hydrology Paper No. 3*, 27 s.
- Campbell, G.S. 1974. A Simple Method for Determining Unsaturated Conductivity from Moisture Retention Data. *Soil Science*, 117: 311-314.
- Corey, A.T. 1994. Mechanics of Immiscible Fluids in Porous Media. *Water Resources Publications*, 252 s.
- Carsel, R.F., Parrish, R.S. 1988. Developing Joint Probability Distributions of Soil Water Retention Characteristics. *Water Resources Research*, 24(5): 755-769.
- D.S.İ. 1970. Aşağı Aksu Projesi Aksu Ovası Detaylı Arazi Tasnif ve Sağ Sahil Drenaj Raporu Cilt II. DSI Gn. Md. Etüd Raporları No:17-569, Ankara.
- Fuentes, C., Haverkamp, R., Parlange, J.Y., Brutsaert, W., Zayani, K., Vachaud, G. 1991. Constraints on Parameters in Three Soil-Water Capillary Retention Equations. *Transport in Porous Media*, 6: 445-449.
- Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, London, 771 s.
- Leij, F.J., Russel, W.B., Lesch, S.M. 1997. Closed-form Expressions for Water Retention and Conductivity Data. *Ground Water*, 35: 848-858.
- Nielsen, D.R., Van Genuchten, M.Th., Biggar, J.W. 1986. Water Flow and Solute Transport Processes in the Unsaturated Zone. *Water Resources Research*, 22(9): 89S-108S.
- Russo, D. 1988. Determining Soil Hydraulic Properties by Parameter Estimation: On the Selection of a Model for the Hydraulic properties. *Water Resources Research*, 24: 453-459.
- Tindall, J.A., Kunkel, J.R. 1999. *Unsaturated Zone Hydrology for Scientists and Engineers*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 624 s.
- Tuli, A., Jury, W.A. 2004. Modeling Approaches to Salt Management Problems in Irrigated Agriculture: A Review. *Turk. J. of Agric. and For.*, 28: 211-222.
- Van Genuchten, M.Th. 1980. A Closed Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 892-898.
- Van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Yates, S.R. 1991. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. *USDA-ARS, Riverside*, 85 s.
- Vogel, T., Van Genuchten, M.Th., Cislerova, M. 2001. Effect of the Shape of the Soil Hydraulic Functions near Saturation on Variably-Saturated Flow Predictions. *Advances in Water Resources*, 24: 133-144.
- Walsh, S., Diamond, D. 1995. Non-linear Curve Fitting Using Microsoft Excel Solver. *Talanta*, 42: 561-571.
- Wise, W.R., Clement, T.P., Molz, F.J. 1994. Variably Saturated Modeling of Transient Drainage: Sensitivity to Soil Properties. *J. of Hydrology*, 161: 91-108.