



Tuzlu toprakların hidrokimyasal parametrelerinin laboratuvar koşullarında belirlenmesi

Seyit Ali Dursun^{a*}, Fariz Mikailsoy^b

^aAksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aksaray, Türkiye

^bIğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Iğdır, Türkiye

*Sorumlu yazar/corresponding author: saddursun@aksaray.edu.tr

Geliş/Received 12/02/2020

Kabul/Accepted 30/04/2020

ÖZET

Bu çalışma, yıllık yağışın az, aşırı buharlaşmanın ve taban suyunun yüzeje yakın olması nedeniyle oluşan tuzluluğun, bitkinin gelişmesine, verime ve toprağın çoraklaşmasına olumsuz etkisinin yıkamayla ortadan kaldırılması amacıyla yapılmıştır. Tuzlu toprakların ıslahı, maliyetli ve zaman gerektiren bir süreçtir. Çözünebilir tuzların yıkanması amacıyla kullanılan matematiksel yöntemler, toprakların ıslahında su-tuz rejiminin modellenmesinde doğrudan ve ters problemlerin çözümü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Tuz taşınım modelinin uygulanabilirliği, modelin süreçlerini tanımlayan hidrodinamiklerin diferansiyel eşitliklerinin deneysel parametrelerinin doğruluğuna bağlıdır. Laboratuvar koşullarında yapılan çalışmada 20 cm çapında kolonlar kullanılarak toprakta tuz taşınımının hidrokimyasal göstergileri olan; konvektif difüzyon ve dispersiyon (yayılma) parametreleri, toprak gözeneklerindeki su akış hızı belirlenmiştir. Yıkama döneminde Cl^- ve SO_4^{2-} iyonları için hidrokimyasal dispersiyon parametresi (λ), değerleri sırasıyla $9.26 \cdot 10^{-2}$ m ve $9.60 \cdot 10^{-2}$ m; konvektif difüzyon parametresi (D) ise $4.51 \cdot 10^{-3}$ m² gün⁻¹ ve $4.67 \cdot 10^{-3}$ m² gün⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:
Hidrodinamik
parametre
Tuzlu toprak
Yıkama suyu normu
Yıkama

Determination of hydrochemical parameters in laboratory conditions of saline soils

ABSTRACT

This study, less annual rainfall, saltiness due to excessive evaporation and groundwater being close to the surface, negative effects on plant growth, the yield and aridification of soil was carried out to eliminate the leaching. Reclamation of saline soils is a costly and time-consuming process. Mathematical methods used for leaching soluble salts are widely used for the solution of direct and inverse problems in the modelling of the water-salt regime in the reclamation of soils. The applicability of the salt transport model depends on the accuracy of the experimental parameters of the differential equations of hydrodynamics that define the processes of the model. In the study carried out under laboratory conditions, hydrochemical indicators of salt transport in soil using 20 cm diameter columns; convective diffusion and dispersion (diffusion) parameters, water flow rate in soil pores were determined. During the leaching period, the hydrochemical dispersion parameter (λ), for Cl^- and SO_4^{2-} ions values $9.26 \cdot 10^{-2}$ m and $9.60 \cdot 10^{-2}$ m; the convective diffusion parameter (D) were determined as $4.51 \cdot 10^{-3}$ m² day⁻¹ and $4.67 \cdot 10^{-3}$ m² day⁻¹, respectively.

Keywords:
Hydrodynamic
parameter
Leaching water norm
Leaching
Saline soils

1. Giriş

Tarımsal üretimin sürdürülebilir olması, üretimin ana kaynağı olan toprağın korunmasına ve suyun rasyonel kullanılmasına bağlıdır. Özellikle yıllık yağışın az, buharlaşmanın yüksek ve taban suyunun yüzeye yakın olduğu durumlarda toprakta tuzluluk meydana gelmektedir. Bu durum tarımsal üretim dengesinin bozulmasına, toprağın çoraklaşmasına, verimliliğin ve sürdürülebilir tarım alanlarının azalmasına neden olmaktadır. Dünya genelinde 12.781 milyon hektar tarım arazisi tuzdan etkilenmiş ve üretimde sınırlanmalar meydana geldiği bildirilmektedir. Ülkemiz topraklarında ise yüzölçümün %2'sini çorak araziler oluşturmaktadır (FAO, 2008; Sönmez, 2011).

Yıkama, tuzlu toprakların ıslahında en önemli yöntemlerden biridir. Tuzlu toprakların yıkanmasında önemli hacimde tatlı su kullanılmaktadır. Dünya'da tatlı su kaynaklarının giderek azalması nedeniyle, toprak ıslahında kullanılan yıkama suyu miktarının ve uygulama süresinin belirlenmesi, tuzlu toprakların ıslahının önemli aşamalarından biridir. Yıkama suyu miktarının ve uygulama süresinin belirlenmesinde karşılaşılan sorunların giderilmesinde farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan matematiksel metotlar, günümüzde bu sorunların çözülmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Toprakta tuz taşınım denkleminin çözümünün yıkama suyu miktarının ve uygulama süresinin hesaplanmasında kullanılmasının güvenilirliği, hidrokimyasal parametrelerin deneysel olarak belirlenmesinin doğruluğuna önemli düzeyde bağlı olmaktadır. Araştırmacılar (Mikaylov, 1981; 2007; Vaksman ve ark., 1981; Aydarov, 1985; Mikayilov ve Azizov, 1985; Verigin ve ark., 1986; Aydarov ve ark., 1988; Ekberli ve ark., 2001; Shein ve ark., 2001; Dursun, 2017;) tarafından yıkama suyu miktarının ve uygulama süresinin belirlenmesi için tuz taşınım modelinin uygulanmasına ait yapılan çalışmalarda, hidrokimyasal parametrelerin detaylı olarak değerlendirilmesinin çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışmada, tuzlu toprakların yıkanmasında tuz taşınım modeli esas alınarak, laboratuvar koşullarında metal kolonlar kullanılarak hidrokimyasal parametrelerin deneysel olarak belirlenmesi ve elde edilen sonuçların ıslah edilecek tuzlu toprakların yıkanmasında kullanılmasıyla zaman, maliyet ve su tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır.

1.1. Toprakta çözülmüş tuzların hareketinin matematiksel ifadesi

Toprak gözeneklerinde çözülmüş tuzların yıkama suyu ile ıslahının incelenmesi amacıyla kullanılan (Verigin, 1953; Pachepsky, 1990; Shein, 2005; Mikayilov, 2007) kısmi türevli diferansiyel denklem aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\theta C + \rho b_1 + b_2) \\ & = \theta D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \theta v \frac{\partial C}{\partial x} - \theta \mu C, \end{aligned} \quad (1)$$

$$b_1 = kC, \quad \frac{\partial b_2}{\partial t} = -\gamma(C_s - C)$$

Burada; $C(x, t)$ - toprağın x derinliğinde t zamanda çözülmüş tuzların konsantrasyonu (me L^{-1}); $b_1(x, t)$ - toprağın x derinliğinde t zamanda emilmiş tuzların konsantrasyonu (me L^{-1}); $b_2(x, t)$ - toprağın x derinliğinde t zamanda kristallerde veya katı fazdaki tuzların konsantrasyonu (me L^{-1}); C_s -toprak çözeltisindeki çözünebilir tuzun maksimum konsantrasyonu (me L^{-1}); ρ -toprak hacim ağırlığı (g cm^{-3}); D -konvektif difüzyon parametresi, ($\text{m}^2 \text{gün}^{-1}$); v -toprak suyu akışının ortalama hızı (m gün^{-1}); θ - yıkanması gereken toprak derinliğinde porozite (%); $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ - toprağın tuzluluk türüne, içerdiği tuzlara ve toprağın fizikokimyasal özelliklerine bağlı olan sabitler; k -lineer Freundlich adsorpsiyon izoterminin doğrusal eşitliğinin ampirik sabiti; μ -toprak çözeltisinde birinci dereceli kinetik model biçiminde olabilecek ayrışma hızı sabiti (gün^{-1}).

(1) nolu denklemler, sistemin bir tane çözümünün belirlenmesi başlangıç ve sınır koşullarının yapılması gerekmektedir. Tuzlu toprakların yıkanması sürecini en uygun ifade eden başlangıç ve sınır koşulları aşağıdaki gibi ifade olunmaktadır:

$$t = 0: \quad C(x, t) = S_0 \quad (2)$$

$$x = 0: \quad D \frac{\partial C}{\partial x} = v[C(0, t) - S_w] \quad (3)$$

$$x = L: \quad D \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

Burada; S_0 -toprak profilinin $[0, L]$ katmanındaki çözülmüş tuzların konsantrasyonu, (me L^{-1}); S_w -yıkama suyunun konsantrasyonu (me L^{-1}); L - yıkanması gereken toprak katmanı (m).

Çok sayıda yapılan laboratuvar ve tarla denemeleri sonuçları, konvektif difüzyon parametresi ve toprak gözeneklerindeki çözülmüş tuzların hareket hızı $v(t)$ arasındaki bağıntının aşağıdaki biçimde olduğu saptanmıştır (Collins, 1961; Bear, 1972; Verigin, 1979, 1986):

$$D = D_m + \lambda|v(t)| \quad (5)$$

Ayrıca, toprak tuzlarının yıkanması sırasında konvektif difüzyon parametresi (D) değerinin, moleküler difüzyon katsayısı (D_m) değerine göre daha büyük olduğu belirlenmiştir (Aydarov, 1985).

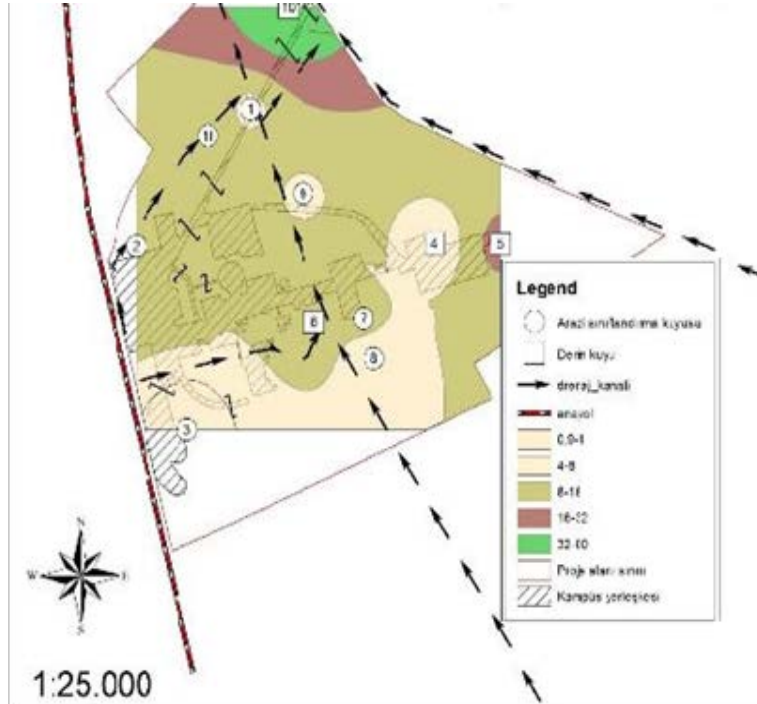
Burada; λ - hidrokimyasal dispersiyon (yayılma) veya hidrodinamik dispersiyon parametresi olarak adlanır (m) ve genelde toprağın tekstürüne, içerdiği tuzların (iyonların) tipine ve yıkama suyunun gözeneklerdeki

hızına bağlı olarak değişmektedir. Yıkama zamanı $D_m \approx 0$ ve $v > 0$ olduğundan, eşitlik (5) ifadesi daha basit bir şekilde ifade olunmaktadır.

Bu durumda konvektif difüzyon parametresi hidrodinamik dispersiyon parametresi olarak adlandırılmaktadır (Aydarov, 1985).

Araştırma, Aksaray Üniversitesi yerleşkesinde, $38^\circ 22'$ kuzey enlemleri, $34^\circ 01'$ doğu boylamları arasında yer alan Aksaray–Merkez ilçede yürütülmüştür. Topraklarının ağır-killi bir yapı ve arazi genelinde bitki yetişmesine engel olacak düzeyde tuzluluk, sodyumluluk ve borluluk durumuna sahip olduğu tespit edilmiş ve tuzluluk haritası Şekil 1’de verilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem



Şekil 1. Araştırma alanı toprağının tuzluluk hatları haritası ($dS m^{-1}$) (DSİ, 2014).

Figure 1. Salinity lines map of the study area soil ($dS m^{-1}$) (DSİ, 2014).

Kolonda yıkama öncesi deneme alanı içerisinde 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır.

Araziden alınan toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1’de, toprakların yıkama

öncesi anyon ve kation değerleri ise Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’den görüldüğü gibi, alınan örneklerde suda çözünebilir iyonlardan klorür (Cl^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) toprakta tuz oluşumunu meydana getiren esas unsurlar olmaktadır.

Çizelge 1. Toprakların tuz yıkama katmanlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri
Table 1. Physical and chemical properties of salt leaching layers of soils

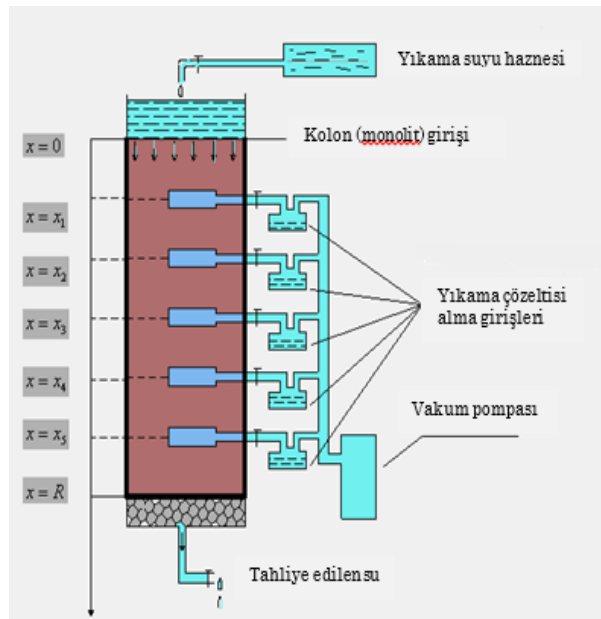
Toprak derinliği (cm)	pH	Hacim ağırlığı ($g cm^{-3}$)	Parçacık yoğunluğu ($g cm^{-3}$)	Porozite (%)	Toprak bünyesi (%)		
					Kil	Silt	Kum
0-10	9.21	13.2	1.23	2.59	69	22	9
10-20	8.76	13.1	1.23	2.55	83	12	5
20-30	8.13	17.1	1.25	2.60	55	32	13
Ortalama	8.70	14.5	1.24	2.58	69	22	9

Çizelge 2. Toprakların kolonda tuz yıkama öncesi anyon ve katyon değerleri
Table 2. Anion and cation values of soils before salt leaching in the column

Toprak derinliği (cm)	Suda çözünebilir iyonlar									
	Anyonlar (me L ⁻¹) S ₀					Katyonlar (me L ⁻¹) S ₀				
	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	Σ	Na ⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Σ
0-10	94.31	26.70	6.50	2.30	129.81	101.74	0.60	28.62	0.15	131.10
10-20	89.60	32.45	4.00	0	126.05	99.50	0.92	22.19	0.84	123.45
20-30	129.32	34.15	3.47	0	166.94	132.17	0.54	28.82	5.63	167.16
Ortalama	104.41	31.10	4.66	0.77	140.93	111.14	0.68	26.54	2.21	140.57

Laboratuvarda tuz yıkaması için kullanılan kolon, 60 cm yüksekliğinde 20 cm genişliğinde kare şekilli, 2 mm'lik saçtan, sızdırmaz ve antipas boyası ile boyanmış metalden yapılmıştır. Ayrıca kolondan gerekli ölçümlerin yapılması için alınacak süzük

örneği için vakum pompası kullanılmıştır. Vakum pompası plastik hortumlarla kolondaki katmanlara bağlanmıştır. Yıkama kolonu şeması Şekil 2'de, kolon yıkama suyu özellikleri ise Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Laboratuvar ortamında tuzlu toprak yıkama kolonu şeması
Figure 2. Saline soil leaching column scheme in the laboratory

Çizelge 3. Yıkama suyu içeriği
Table 3. Leaching water content

Suda çözünebilir iyonlar										
Anyonlar (me L ⁻¹)					Katyonlar (me L ⁻¹)					Toplam
Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃	CO ₃	Σ _A	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Σ _K	Σ _{A+K}
4.32	2.54	0.74	0.00	7.60	1.25	0.41	4.48	1.58	7.72	15.32

Tuz yıkama kolonuna araziden 30 cm derinlikten alınan bozulmamış toprak örneği konulmuştur. Laboratuvarda kolon yıkamaya geçmeden önce topraktaki çözünebilir tuzların toprak profili içerisinde çözünmeye başlaması, üniform bir şekilde

dağılması ve yıkama suyunun verilmesiyle birlikte bütün toprak katmanında daha iyi yıkanma sağlanması amacıyla toprağa doygunluk suyu verilmiştir. Doygunluk suyu miktarı; toprağın hacmi (m³) ve porozite'nin (%) çarpımı ile hesaplanmıştır.

Hesaplanan doygunluk suyu miktarı kolona üstten yavaş yavaş verilerek suyun infiltre olması sağlanmıştır. Doygunluk suyunun alttaki süzük alma yerinden damlaların görülmesiyle birlikte yıkama suyu kolona üstten eşit miktarda olacak şekilde verilmeye başlanmıştır. Profil katmanlarından alınan süzük örneklerinden, toprakta tuz oluşumunun da rol oynayan Cl^- ve SO_4^{2-} iyonlarının IC okuması yapılmıştır.

2.1. Tuz taşınım modeli parametresinin belirlenmesi

Toprak gözeneklerinde çözülmüş tuzların yıkama suyu ile ıslahının incelenmesi için, (1) kısmi türevli diferansiyel denkleminin analitik veya sayısal yöntemlerle çözümünün bulunması gerekir. Bunun için denklemin başlangıç ve sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Toprakların yıkama sürecinde, kararsız rejim ortamında tuz taşınım sürecini tanımlayan, konvektif-difüzyon denkleminin ortalamalı - integral çözümü aşağıda gibi ifade olunmaktadır (Verigin ve ark.,1986):

$$\frac{S_\tau - S_w}{S_0 - S_w} = \varphi_2(\tau, \eta) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} x \left[\frac{\sin^2(2h_n)}{2(h_n^2 + \eta^2 + \eta)} \right] \exp[2\eta - (h_n^2 + \eta^2)Fo] \quad (6)$$

Burada;

$$\tau = \frac{N_{ys}}{\theta \cdot L}, \quad \eta = \frac{L}{4\lambda}, \quad r = \sqrt{\frac{\eta}{\tau}}, \quad Fo = \frac{\tau}{\eta} \quad (7)$$

$$S(L, t) = L^{-1} \int_0^L C(x, t) dx, \quad N_{ys} = \frac{N}{Q}, \quad v = \frac{N_{ys}}{\theta \cdot t}, \quad \Xi = \frac{S_\tau - S_w}{S_0 - S_w} \quad (8)$$

S_0 , S_τ -yıkamadan önce ve sonra toprak gözeneklerindeki çözülmüş tuzların ortalama konsantrasyonu (me L^{-1}), S_w -yıkama suyunun konsantrasyonu (me L^{-1}), Q -yıkama kolonuna verilen su yüzey alanı (m^2), L -kolon yıkama yüksekliği (m), θ -porozite (gözeneklik) (%), t -yıkama süresi (gün), N -yıkama için verilen su (m^3), N_{ys} -yıkama suyu normu (m) (Mikayilov, 2007).

$\varphi_2(\eta, \tau)$ fonksiyonlarının η ve τ parametrelerinin tipik değerleri önceden hesaplanmıştır (Mikailov ve ark., 1985). Bu değerleri kullanılarak toprak gözeneklerinde tuz taşınım miktarını tahmin etmekle birlikte, ayrıca hidrokimyasal parametrenin de değerinin hesaplanması mümkündür.

Yıkama zamanı (5) ifadesi aşağıdaki biçimde ifade olunmaktadır:

Aşağıdaki eşitlik:

$$D = \lambda v \quad (9)$$

Burada; D -konvektif difüzyon parametresi [$m^2 \text{ gün}^{-1}$], λ - dispersiyon (yayılma) parametresi (m), v -gözeneklerdeki su hızı [$m \text{ gün}^{-1}$]. η ve τ parametrelerine bağlı olarak hesaplanan λ değerine göre D değeri hesaplanır. Hidrokimyasal parametrelerin geçerliliğinin belirlenmesi için yapılan sayısal işlemler Fortran VI paket programında yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Kolonda toprak yıkama sonucu tuz Cl^- ve SO_4^{2-} iyonlarının değerleri Çizelge 4 ve 5'te verilmiştir.

Çizelge 4. Kolon tuz yıkama değerleri
Table 4. Colon salt leaching values

Kolon	Q (m^2)	L (m)	θ (%)	t (gün)	N (m^3)	N_{ys} (m)	v ($10^{-2} m \text{ gün}^{-1}$)
	0.04	0.30	0.5233	1.2083	0.0123	0.3075	4.6830

Çizelge 5. Kolon tuz yıkama sonucu kolay çözünebilir anyonların değer girdileri
Table 5. Value inputs of easily soluble anions as a result of column salt leaching

Kolon	Anyonlar	S_w	S_0	S_t	τ	Ξ
		me l^{-1}			$\frac{N_{ys}}{\theta \cdot L}$	$\frac{S_\tau - S_w}{S_0 - S_w}$
	Cl^-	4.3210	104.4107	9.6557	1.9587	0.0533
	SO_4^{2-}	2.5430	31.0983	4.1143	1.9587	0.0550

Cl⁻ ve SO₄⁼ iyonları için elde edilen λ ve D parametreleri hesaplanarak Çizelge 6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; hidrokimyasal dispersiyon parametresi (λ), Cl⁻ iyonu için $9.26 \cdot 10^{-2}$ m; SO₄⁼ iyonu için ise $9.60 \cdot 10^{-2}$ m olarak hesaplanmıştır.

Konvektif difüzyon parametresi (D) değerleri ise Cl⁻ iyonu için $4.51 \cdot 10^{-3}$ m² gün⁻¹; SO₄⁼ iyonu için ise $4.67 \cdot 10^{-3}$ m² gün⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6. Kolon yıkamada λ ve D değerleri
Table 6. λ and D values in column leaching

	Anyonlar	Parametre değerleri
Hidrokinamik dispersiyon parametresi (λ), (10 ⁻² m)	Cl ⁻	9.260
	SO ₄ ⁼	9.600
Konvektif difüzyon parametresi (D), (10 ⁻³ m ² gün ⁻¹)	Cl ⁻	4.505
	SO ₄ ⁼	4.672

Kolon yıkamada hesaplanmış parametre değerleri Çizelge 7'de, okuma sayısı değerleri ise Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 7. Kolon yıkamada hesaplanmış λ ve D parametre değerleri
Table 7. Calculated λ and D parameter values in column leaching

	Porozite	Yıkama suyu normu	Yıkama süresi	Yıkama suyu konsantrasyonu	Toprağın 0-30 cm katmanında mevcut ortalama Anyon konsantrasyonu		
					Yıkamadan önceki	Yıkamadan sonraki	
	θ	N_{ys}	T	S_w	S_0	S_t	
Anyonlar	%	m	gün		me L ⁻¹		
Kolon	Cl ⁻	0.5233	0.3075	1.20833	4.3210	104.4107	9.6557
	SO ₄ ⁼	0.5233	0.3075	1.20833	2.5430	31.0983	4.1143

Çizelge 7. Devamı
Table 7. Continue

	[7]-[9]Nolu denklemin çözümünün Parametresi	Boyutsuz ortalama konsantrasyon	Dispersiyon parametresi	Difüzyon parametresi	
					$\tau = \frac{N_{ys}}{\theta \cdot L}$
Anyonlar		m	m ² ·gün ⁻¹	m ² ·gün ⁻¹	
Kolon	Cl ⁻	1.9587	0.0533	9.2600	4.5050
	SO ₄ ⁼	1.9587	0.0550	9.6000	4.6720

Çizelge 8. Okuma sayısı değerleri
Table 8. Readings values

No	θ	N_{ys}	t	L	v	τ	η	ΘPr
8099	0.523	0.307	1.21	0.30	0.048	1.959	0.809	0.053
7809	0.523	0.307	1.21	0.30	0.048	1.959	0.780	0.055

Çizelge 8. Devamı
Table 8. Continue

No	ΘEk	Z2	λ	D	S_0	S_t
8099	0.053	0.0001	0.092	0.0045	104.41	9.655
7809	0.055	0.000095	0.096	0.0046	31.09	4.114

4. Sonuç

Tuz taşınım probleminin çözümünün pratikte kullanılabilirliği ve güvenilirliği önemli ölçüde modelin parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Tuz taşınım modelinin hidrokimyasal parametrelerinin tespit yöntemleri çoğu zaman “ters problemin” (modelin parametrelerinin belirlenmesi) çözümü esasında gerçekleştirilir. Elde edilen klor ve sülfat değerlerin birbirine yakın çıkması arazi şartlarının yıkama da önemli bir etken olacağı öngörülmektedir.

Laboratuvar koşullarında kolon için hesaplanmış λ , D ve v parametreleri optimize edilerek, toprak-su-tuz rejiminin tahmininin yapılmasına ve bu tahminlerin büyük ölçekli tuzlu arazilerin yıkanmasında ve ıslahında kullanılabilir. Bu da su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına ve ıslah maliyetiyle birlikte zaman tasarrufuna da önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca, hidrokimyasal parametrelerin belirlenmesi, yıkanan arazilerin su-tuz dengesinin düzenlenmesinde de gerekli olmaktadır.

Kaynaklar

- Aydarov, I.P., 1985. Regulation of water salt and nutrient regime of irrigated soils. Moscow, Press Agropromizdat, 304 p. (in Russian).
- Aydarov, I.P., Korol'kov A.I., Khachatur'yan V.K., 1988. Calculation of water-salt regime of soils. Pochvovedenie, 5: 62-69.
- Bear, J., 1972. Dynamics of fluid in porous media. Elsevier Science, New York, 764 p.

- Collins, R.E., 1961. Flow of fluids through porous materials. New York, Reinhold Publishing Corp, 270 p.
- DSİ Genel Müdürlüğü, 4. Bölge Müdürlüğü, 2014. Aksaray Üniversitesi Kampüs Alanı Planlama Arazi Sınıflandırma ve Drenaj Raporu. Konya, Türkiye, 1601, 14s.
- Dursun, S.A., 2017. Tuzlu-sodyumlu-borlu toprakların ıslahı ve matematiksel modellenmesi. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 49-55s, Konya.
- Ekberli, İ., Gülser, C., Bayraklı, F., 2001. Sulanan toprakta hidrokimyasal dispersiyon parametresinin tayini. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16 (1): 21-26.
- FAO, 2008. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>, Land and plant nutrition management service, (erişim tarihi: 2008).
- Mikayilov, F.D., 1981. Method of lines in the solution of one-dimensional equation for salt diffusion in the soil in the absence of evaporation and water movement. Izv. Akad. Nauk Azerb. SSR, Ser. Biol. Nauk, 3: 117-120.
- Mikayilov, F.D., Azizov, K.Z., 1985. Determination of the hydrochemical parameter of salt transfer during the leaching of water-saturated saline soils. Pochvovedenie, 5: 84-90.
- Mikayilov, F.D., 2007. Determination of salt-transport model parameters for leaching of saturated superficially salted soils. Eurasian Soil Science, 40 (5): 544-554.
- Pachepsky, Y.A., 1990. Mathematical models of physico-chemical processes in soils. Nauka, Moscow, Russian.
- Shein, E.V., Arkhangel'skaya, T.A., Goncharov, V.M., et al., 2001. Field and laboratory methods of studying the physical properties and regimes of soils. Mosk. Gos. Univ., Moscow, (in Russian).

- Shein, E.V., 2005. Course of Soil Physics. Mosk. Gos. Univ., Moscow, Russian.
- Sönmez, B., 2011. Çorak toprakların ıslahı ve yönetimi. Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, 134: 52-56.
- Vaksman, E.G., Mironenko, E.V. and Pachepsky, Y.A., 1981. Method of determining salt-transfer parameter under leaching. Gidrotehnika i Melioratsiya, 11: 83–84.
- Verigin, N.N., 1953. Some Chemical Hydrodynamics Problems of Interest for Land Reclamation and Hydraulic Engineering. Izv. Akad. Nauk, SSSR, 7: 1369–1382.
- Verigin, N.N., 1979. Toprakların ve Taban Sularının Tuz Rejiminin Tahminin Metotları. (Rusça), Moskova, 336p.
- Verigin, N.N., Azizov, K.Z. and Mikayilov, F.D., 1986. Effect of boundary conditions in the simulation of salt transfer in soils under leaching. Pochvovedenie, 6: 67–73.