



BOR DERGİSİ

JOURNAL OF BORON

<http://dergipark.gov.tr/boron>



Borlu toprakların ıslahı için gerekli yıkama suyunun belirlenmesine yönelik matematiksel modellerin elde edilmesi

Seyit Ali Dursun^{1*}, Fariz Mikailsoy²

¹Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Aksaray, Türkiye, ORCID ID orcid.org/0000-0002-7260-1003

²Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, Iğdır Türkiye, ORCID ID orcid.org/0000-0003-4543-5393

MAKALE BİLGİSİ

Makale geçmişi:

İlk gönderi 28 Mart 2018
Revize gönderi 27 Ocak 2019
Kabul 01 Şubat 2019
Online 16 Mart 2019

Araştırma Makalesi

DOI: [10.30728/boron.410425](https://doi.org/10.30728/boron.410425)

Anahtar kelimeler:

Bor,
Borlu topraklar,
Yıkama,
Yıkama suyu normu,
Modelleme

ÖZET

Tuzlu toprakların ıslahında kullanılacak olan yıkama suyu miktarının belirlenmesi, yapılacak yıkamanın başarısı açısından önemlidir. Bu çalışma, Aksaray Üniversitesi Yerleşkesinde 500 ha borlu-sodyumlu alana sahip topraklarda gerçekleştirilmiştir. Bor yıkama verilerini elde etmek için dokuz adet (2 x 2 m) parsel kullanılmıştır. Parsellerin 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 cm derinlikten toprak örnekleri alınmış ve elde edilen değerlerle yıkama suyu miktarı modelleri oluşturulmuştur. Toprak pH'nın yüksek olması sebebiyle, pH'nın düşürülmesi ve yıkama etkinliğinin artırılması amacıyla yıkama parsellerine 4 ve 8 kg kükürt (S) kullanılmıştır. Yıkama suyu 30 cm olarak dört periyotta verilmiştir. Elde edilen yıkama suyu miktarının ampirik modellerinin farklı matematiksel ifadeleri olan; hiperbol, üstel, kuvvet ve logaritmik modeller ele alınmış ve her kükürt dozu için en uygun modeller tespit edilmiştir. Bu modellerin uygunluğunun tespiti için model seçim ölçütleri uygulanmıştır. Uygulamada elde edilen matematiksel modeller seçim ölçütlerine göre değerlendirildiğinde, S₁ uygulamasında deneysel verileri en başarılı logaritmik model tanımlamaktadır.

Development of mathematical models for calculating amount of leaching water for remediation of boron problematic soils

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 March 2018
Revised form 27 January 2019
Accepted 01 February 2019
Available online 16 March 2019

Research Article

DOI: [10.30728/boron.410425](https://doi.org/10.30728/boron.410425)

Keywords:

Boron,
Boron soils,
Leaching,
Leaching water norm,
Modelling

ABSTRACT

Determination of the amount of water for reclamation of salt affected soils is important for the success of the leaching. This study was carried out in Aksaray University Campus on 500 ha boron-sodium rich soils. Nine (2 x 2 m) parcels were used to obtain experimental data for leaching. Soil samples were taken from 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 cm depth of parcels and models were developed to predict amount of leaching water. Due to high pH of the soil, 4 and 8 kg of sulphur (S) were incorporated in the leaching parcels to decrease the pH and increase the leaching efficiency. The leaching process was made by given 30 cm fresh water in four periods. Analytical expressions of hyperbola, exponential, power and logarithmic models were fitted to experimental data. The most appropriate models were determined by model selection criteria. When the mathematical models obtained in the application are evaluated according to the compatibility criteria, in the application of S₁, the most successful logarithmic model describes the experimental data.

1. Giriş (Introduction)

Borlu topraklarda borun çok az miktarının bile bitki-de toksik etkiye neden olması sebebiyle bu element önemli bir yere sahiptir. Toprak çözeltisindeki bor konsantrasyonunun bitkiye yarar-zarar sınır aralığı çok dardır [1]. Borlu topraklar genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde oluşur. Bu nedenle bu topraklarda bitkinin alabileceği bor miktarı yüksektir [2]. Bu elementin toprakta başlıca kaynağını "turmalin" minerali oluşturmaktadır. Bor içeren mineraller ya fazla çözünmeyen (turmalin) ya da çözünürlüğü yüksek (hidratlaşmış bor mineralleri) halde bulunurlar. Genellikle toprak çözeltisinde bor çözünürlüğünü kontrol etmek oldukça zordur

[3,4]. Toprak oluşumunda rol oynayan kumtaşı, kireç taşı ve buzul molozlarında bulunan bor, Türkiye topraklarında oldukça farklı konsantrasyonlarda bulunur [5]. Orta Güney Anadolu bölgesi tarım topraklarında bor miktarı 0,01 mg kg⁻¹ ile 63,9 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir [6]. Borun toprakta adsorpsiyonu ile pH arasında sıkı ilişki olduğu belirlenmiştir [7,8]. Killerin bor tutma kapasitesi toprak pH'sı 8-10 arasında olduğu durumlarda maksimum seviyeye ulaşırken; toprak pH'sının 10'unu olduğu durumlarda, kil minerallerinde bor tutulmasının düştüğü belirtilmektedir [9-11]. Toprak bünyesi tuzların yıkanmasında etkili bir faktördür. Kumlu ve organik maddesi düşük topraklarda yıkanma kolay olduğu için bu topraklarda yetişen bitkilerde

*Sorumlu yazar: sadalidursun@gmail.com

sık sık bor noksanlığı görülebilmektedir [12-14]. Borlu toprakların ıslahı oldukça güçtür zira bu toprakların ıslahında kullanılan su miktarı tuzlu toprakların yıkanmasında kullanılan su miktarının 2 veya 3 misli olduğu belirtilmektedir [15].

Borlu toprakların ıslahı maliyetli, uzun zaman ve emek gerektiren bir süreçtir. Bor problemi olan yerlerde suyun kıt olması ve giderek artan su ihtiyacı, yapılacak olan ıslahın etkinliği üzerinde önemle durulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle tatlı su kaynaklarının ıslah bölgesinde sınırlı olduğu durumlarda durum daha da önemlidir. Bu nedenle ıslahta kullanılan kimyasalların yanında yıkamada kullanılacak yıkama suyu miktarı ve özellikleri, yıkama metodu ve hangi mevsimde (sıcaklık) yıkamanın yapılacağına tespiti üzerinde birçok çalışmalar yapılmaktadır. Yıkama suyu miktarının ve uygulama süresinin hesaplanması, tuzdan etkilenmiş toprakların ıslahında önemlidir. Birçok deneysel ve teorik araştırmalardaki temel amaç, yıkama suyu miktarının hesaplanması için bilinen hidrodinamik yasalara uygun olarak fonksiyonel bir denklemin tespit edilmesidir.

Günümüze kadar araştırmacılar pek çok sayıda yıkama modeli elde etmiş ve kullanımını önermişlerdir. Bu modeller, elde edilmesinde kullanılan yaklaşımlara göre üç temel grup altında toplanabilir. Bunlar; basit-mantıksal, ampirik (deneysel) ve teorik modellerdir [16, 17]. Bu alanda ilk olarak Reeve (1957) eşitlik 1'deki bağıntıları vermiştir [18,19].

$$\frac{EC_f}{EC_i} = f \left(\frac{D_w}{D_s} \right), \quad \frac{S_f}{S_i} = f \left(\frac{N_w}{L_s} \right) \quad \text{veya}$$

$$\frac{D_w}{D_s} = f^{-1} \left(\frac{EC_f}{EC_i} \right), \quad \frac{N_w}{L_s} = f^{-1} \left(\frac{S_f}{S_i} \right) \quad (1)$$

Eşitlik 1'de: S_i (EC_i) toprağın yıkamadan önceki elektriksel iletkenliği ($dS m^{-1}$); S_f (EC_f) toprağın yıkanmadan sonraki elektriksel iletkenliği ($dS m^{-1}$); D_w (N_w) gerekli yıkama suyu miktarı (cm); D_s (L_s) yıkanması hedeflenen toprak derinliğidir (cm).

$$\frac{EC_e}{EC_0} = \frac{1}{5 \left(\frac{D_w}{D_s} - 0,15 \right)} \quad \text{veya}$$

$$\frac{D_w}{D_s} = \frac{1}{5 \left(\frac{EC_e}{EC_0} \right)} + 0,15 \quad (2)$$

Safoora ve ark. [20] İran'ın Khuzestan Bölgesi'nde tuzlu toprakların yıkanmasında model 3 ve 4'ün en uygun logaritmik modeller olduğunu belirlemiştir.

$$y = 0,07 - 0,16 \ln(x) \quad (3)$$

$$y = 0,11 - 0,16 \ln(x) \quad (4)$$

Model 3 ve 4'te: $y = (EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})$; EC_i , ve EC_f toprağın başlangıç ve yıkama sonrası

elektriksel iletkenliği ($dS m^{-1}$), EC_{eq} ise toprakta yıkama sonrası oluşan dengede ki tuzun elektriksel iletkenliğidir ($dS m^{-1}$). $x = D_{iw} / D_s$, D_{iw} uygulanan yıkama suyu derinliği (cm), D_s yıkanacak toprak derinliğidir (cm).

Aksaray Ovası tuzlu-sodyumlu ve borlu topraklarında yapılan çalışmada bor için gerekli yıkama suyu miktarının belirlenmesi için model 5 [21] ve model 6'yı [22] elde edilmiştir.

$$D_{iw} = 25,01 e^{-0,0617 \cdot B_f / B_i} \cdot 100 \quad (5)$$

$$D_{iw} = D_s (3,33 / B_f)^{1/1,75} \quad (6)$$

Bahçeci [23], tuzlu sodik topraklarda yaptığı yıkama sonucunda aşağıdaki logaritmik model elde etmiştir.

$$D_{iw} = D_s \exp \left[\left(-\frac{1}{0,25} \right) \left(\frac{C}{C_0} - 0,76 \right) \right] \quad (7)$$

Bu çalışmanın amacı; topraktaki boru etkili bir şekilde yıkamak için gerekli yıkama suyu miktarını bulmak ve modellemek, denemeler sonucu elde edilen verilerle yıkama eğrilerini nicelik olarak değerlendirmektir. Bununla birlikte, önceki çalışmalarda elde edilen logaritmik model yanında hiperbol, üstel, kuvvet modellerini de ilave ederek ve bu modellerden en uygununu seçmek için ölçüt kriterleri uygulamaktır. Bu kriterler sonucu seçilecek en uygun model yapılacak büyük ölçekli ıslah çalışmalarında önerilebilecek ve ıslah etkinliğine ve aynı zamanda suyun rasyonel kullanımına olanak sağlayacaktır.

2. Malzemeler ve yöntemler (Materials and methods)

Araştırma $38^\circ 32'$ kuzey enlemleri ve $34^\circ 98'$ doğu boylamları arasında yer alan Aksaray-Merkez ilçede, Aksaray Üniversitesi (ASÜ) yerleşkesinde yürütülmüştür. ASÜ 500 ha alanında yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre arazi sınıflandırma ve drenaj etütleri sonucunda alanın genelini oluşturan %85,2'lik 426 ha geçici sulanamaz arazi, %14,8'ini oluşturan 74 ha arazi ise 6. sınıf arazidir. Kampüs ağır-killi olup arazi genelinde topraklar bitki yetişmesine engel olacak düzeyde tuzlu, sodik ve borludur [24]. pH ve kirecin yüksek olması nedeniyle, suyla birlikte toprağa kükürt uygulanmıştır (Çizelge 1). Deneme parselleri 4 (2 x 2) m² olarak alınmıştır. Deneme alanından alınan toprak örnekleri analiz sonuçlarına göre 100 cm derinlikte bor yıkaması yapılmıştır.

Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de, araştırmada kullanılan yıkama suyunun bazı kimyasal özellikleri de Çizelge 3'de verilmiştir.

Yıkama, 4 (2x2) m² parsellere 4 ve 8 kg kükürt toprağa karıştırılarak, aralıklı göllendirme şeklinde 30 cm yüksekliğinde dört periyotta su verilerek, yıkama suyunun drenajını sağlamak için deneme, dört tarafı açık

Çizelge 1. Yıkamada her parsel için verilen S miktarı (Amount of S applied to each parcel in the leaching experiment).

	S (t da ⁻¹)	Uygulanan S miktarı (% 80'lik) kg parsel ⁻¹ (4 m ²)
S₀	0	0
S₁	1	4
S₂	2	8

S₀; kontrol, S₁ ve S₂ sırasıyla parsellere uygulanan 4 ve 8 kg kükürt miktarını belirtmektedir. Araştırma tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrürlü olarak yapılmıştır.

Çizelge 2. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Some physical and chemical properties of study soils).

Toprak derinlik (cm)	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	Parçacık yoğunluğu (g cm ⁻³)	Saturasyon (%)	Tarla kapasitesi (%V/V)	Solma noktası (%V/V)	Toprak bünyesi	Saturasyon ekstraktı						
							EC _e (dS m ⁻¹)	pH	DSY (%)	KDK (cmol kg ⁻¹)	Organik madde (%)	CaCO ₃ (%)	B _i (mg kg ⁻¹)
0-25	1,23	2,60	110,0	62,6	40,0	Kil	4,10	9,2	21,2	23,6	2,1	48,0	43,7
25-50	1,25	2,68	140,0	65,0	42,8	Kil	13,3	8,6	22,6	19,9	1,5	51,2	24,3
50-75	1,24	2,66	123,3	59,8	40,3	Kil	5,76	8,4	13,5	21,8	0,8	52,6	2,2
75-100	1,30	2,54	80,30	42,5	26,9	Kumlu kil	4,00	8,0	12,4	20,2	0,7	57,3	5,8

B_i: yıkamadan önce farklı toprak derinliklerde bulunan bor miktarı (mg kg⁻¹)

DSY: değişebilir sodyum yüzdesi (%)

KDK: kation değişim kapasitesi (cmol kg⁻¹)

Çizelge 3. Yıkama suyunun bazı kimyasal özellikleri (Some chemical properties of the leaching water).

pH	EC (dS m ⁻¹) (25 °C)	SAR	Sulama suyu sınıfı	B (mg L ⁻¹)	Na (%)	Suda çözünebilir									
						Anyonlar (me L ⁻¹)				Kasyonlar (me L ⁻¹)					
						CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Toplam	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Toplam
6,70	0,69	0,77	C ₂ S ₁	0,87	17,68	-	0,72	4,31	2,39	7,42	1,29	0,40	3,96	1,64	7,29

SAR: sodyum absorpsiyon oranı
EC: elektriksel iletkenlik (dS m⁻¹)

kanallarla askıya alınarak yapılmıştır. Her su vermeden sonra 0-25, 25-50, 50-75 ve 75-100 cm toprak katmanlarından alınan toprak örneklerinin analizleri yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak ampirik modeller elde edilmiştir. Yıkama suyu miktarında x ve y değişkenleri arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir [18,19];

$$x = \frac{D_{tw}}{D_s}, \quad (8)$$

$$y = \frac{B_f - B_{eq}}{B_i - B_{eq}}, \quad (9)$$

$$y = f(x) \quad \text{veya} \quad \frac{B_f - B_{eq}}{B_i - B_{eq}} = f\left(\frac{D_{tw}}{D_s}\right) \quad (10)$$

Burada; D_{tw}, gerekli yıkama suyu miktarı (cm), D_s, yıkanacak toprak derinliği (cm), B_i ve B_f, yıkamadan önce ve sonra farklı derinliklerdeki toprak çözeltisinde bulunan bor miktarı (mg L⁻¹) ve; B_{eq}, yıkama sonrası toprağın dengedeki bor miktarı (mg L⁻¹) dir.

Elde edilen deneysel verilere eğri tahmin yöntemi kullanılarak üstel, kuvvet, hiperbol ve logaritmik fonksiyonlar olmak üzere dört matematiksel model uygulanmıştır.

Birden fazla model dikkate alındığında karşılaştırılan

modeller arasından en iyi modelin seçilmesinde, modellerin yapısına bağlı farklı istatistiksel ölçütler kullanılabilir [25-28]. Bu modellerin uygunluğunun tespiti için aşağıdaki model seçim ölçütleri kullanılmıştır.

Hata kareler toplamı (ESS) [26], hata kareler ortalaması (RMSE) [26,29], determinasyon katsayısı (R²), eğrisel modeller için modelin gerçek verilere uyumluluk derecesini belirten korelasyon indeksi (η) [30], uyumluluk indeksi (D) [31] ve Akaike bilgi ölçütü (AIC_c) [32] uygulanmıştır. ESS'nin, RMSE'nin ve AIC_c değerlerinin en küçük, R² (η) ve D değerlerinin ise en büyük olması modellerin uyumlu olmasının göstergesidir.

Bunların matematiksel olarak ifadeleri aşağıdaki gibidir [25,28,30]:

$$ESS = \sum_{i=1}^n (u_i - \tilde{u}_i)^2 \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-p-1} ESS} \quad (12)$$

$$R^2 = 1 - \frac{ESS}{TTS} \quad \text{veya} \quad R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \tilde{u}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (13)$$

$$D = 1 - \frac{ESS}{\sum_{i=1}^n (|u_i - \bar{u}| + |\tilde{u}_i - \bar{u}|)^2} \quad (14)$$

$$AIC_c = \ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + \frac{2p}{n - (p + 1)} \quad (15)$$

Yukarıdaki eşitliklerde (11)-(15) yer alan;
 u_i -bağımlı değişkenin gözlenen değerleri,
 \hat{u}_i -bağımlı değişkenin tahmin değerleri,

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^{i=n} u_i/n - \text{gözlenen değerlerin ortalaması,}$$

n - bağımsız u_i değişkenlerinin ölçüm sayıları,
 p -yaklaşık modeldeki tahmin edilebilir parametrelerin sayısı,

TSS - gözlenen değerlerin kareler toplamı,
 $MSE = ESS/(n - p)$ - hata kareler ortalamasını ifade etmektedir. Çalışmada, model parametrelerinin hesaplanmasında STATISTICA-7 paket programı kullanılmıştır.

3. Sonuçlar ve tartışma (Results and discussion)

Üç farklı dozda kükürt uygulamaları neticesinde (Çizelge 4) yapılan bor yıkaması ile elde edilen değerlerin analiz sonuçlarına göre 8 ve 9 nolu eşitlikler kullanılarak türetilen x ve y değişkenlerinden logaritmik, kuvvet, üstel ve hiperbol ampirik modeller elde edilmiştir. Elde edilen ampirik modeller ve bu modellerin performansları (11-15) nolu eşitliklere göre hesaplanmış ve aşağıda verilmiştir (Çizelge 5,6,7).

Çizelge 4. Yıkama öncesi ve sonrasında farklı derinliklerdeki bor konsantrasyonları (Boron concentrations at different depths before and after leaching).

Uygulamalar	Toprak derinliği (D_s), (cm)	Bor (mg L^{-1})				
		Yıkama suyu miktarı (D_{lw}), (cm)				
		$B_i - B_{eq}$ (0)	$B_f - B_{eq}$ (30)	$B_f - B_{eq}$ (60)	$B_f - B_{eq}$ (90)	$B_f - B_{eq}$ (120)
S_0	0-25	42,19	38,32	33,86	31,65	36,98
	25-50	19,91	23,86	23,32	22,83	22,25
	50-75	6,73	6,54	4,99	5,61	6,80
	75-100	0,52	0,03	0,56	0,16	1,16
S_1	0-25	28,13	25,07	20,32	16,59	15,37
	25-50	7,22	9,52	9,30	6,90	10,40
	50-75	3,26	3,84	0,94	0,77	7,14
	75-100	0,68	1,26	1,15	0,49	1,65
S_2	0-25	43,41	36,85	34,00	29,13	31,78
	25-50	23,42	21,14	25,45	24,76	27,53
	50-75	0,69	7,30	0,83	2,10	6,80
	75-100	0,35	2,22	0,55	0,20	3,16

B_i ve B_f : yıkamadan önce ve sonra farklı derinliklerdeki toprak çözeltisinde bulunan bor miktarı (mg L^{-1})
 B_{eq} : ($1,75 \text{ mg L}^{-1}$) yıkama sonrası toprakta dengede kalan bor miktarı (mg L^{-1})

Çizelge 5. S_0 için x ve y parametrelerine ilişkin ampirik modeller ve uygunluk değerleri (Empirical models of x and y parameters and adequacy values)

		a	b	η , %	σ	D	AICc
S_0	1 $y=a+b \ln x$	0,9208	-0,0600	65,2954	0,0547	0,7692	-5,6363
	2 $y=a.e^{bx}$	0,9667	0,0394	60,1043	0,0578	0,7197	-5,5288
	3 $y=a.x^b$	0,9198	-0,0659	65,3172	0,0547	0,7698	-5,6368
	4 $y=a+b/x$	0,8554	0,0502	61,1010	0,0572	0,7306	-5,5479

Çizelge 5'te S_0 uygulamasında elde edilen matematiksel modeller uyumluluk ölçütlerine göre değerlendirildiğinde; korelasyon katsayısı (η) 65,317, ortalama standart sapma (σ) 0,054, uygunluk indeksi (D) 0,769 ve Akaike bilgi ölçütü (AIC_c) -5,636 olan kuvvet modelin diğerlerine göre daha uygun olduğu görülmektedir.

Bu modelin x ve y değişkenleri eşitlik 8 ve 9 kullanılarak aralarındaki ilişkinin kuvvet modeli şu şekilde oluşmuştur:

$$y = 0,92 (x)^{-0,066} \quad (16)$$

Model 16'da, eşitlik 8 ve 9'daki x ve y değişkenleri yerine konursa;

$$\left[\frac{B_f - B_{eq}}{B_i - B_{eq}} \right] = 0,92 \left(\frac{D_{lw}}{D_s} \right)^{-0,066} \quad (17)$$

$$D_{lw} = D_s \left[0,92 \left(\frac{B_i - B_{eq}}{B_f - B_{eq}} \right) \right]^{\frac{1}{0,066}} \quad (18)$$

modeli elde edilir.

Çizelge 6'da S_1 uygulamasında elde edilen matematiksel modeller uyumluluk ölçütlerine göre değerlendirildiğinde; η , σ , D ve AIC_c değerleri sırasıyla 77,801, 0,095, 0,865 ve -4,516 olan logaritmik modelin deneysel verileri en başarılı tanımlandığı anlaşılmaktadır.

Bu modelin x ve y değişkenleri eşitlik 8 ve 9 kullanılarak aralarındaki ilişkinin logaritmik modeli şu şekilde oluşturulmuştur:

$$y = 0,812 - 0,151 \ln(x) \quad (19)$$

Model 19'da, eşitlik 8 ve 9'daki x ve y değişkenleri yerine konursa;

$$\left[\frac{B_f - B_{eq}}{B_i - B_{eq}} \right] = 0,812 - 0,151 \ln\left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right) \quad (20)$$

$$D_{lw} = D_s \cdot \exp\left\{\left(-\frac{1}{0,151}\right)\left[\left(\frac{B_f - B_{eq}}{B_i - B_{eq}}\right) - 0,812\right]\right\} \quad (21)$$

modeli elde edilir.

Çizelge 7'de S_2 uygulamasında elde edilen matematiksel modeller uyumluluk ölçütlerine göre değerlendirildiğinde; η , σ , D ve AICc değerleri sırasıyla 71,472,

0,068, 0,815 ve -5,179 olan üstel modelin diğerlerine göre daha uygun olduğu görülmektedir.

Bu modelin x ve y değişkenleri eşitlik 8 ve 9 kullanılarak aralarındaki ilişkinin üstel modeli şu şekilde oluşturulmuştur:

$$y = 0,962 e^{-0,068(x)} \quad (22)$$

Model 22'de, eşitlik 8 ve 9'daki x ve y değişkenleri yerine konursa;

$$\left[\frac{B_f - B_{eq}}{B_i - B_{eq}} \right] = 0,962 e^{-0,068\left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)} \quad (23)$$

$$D_{lw} = -0,558 \cdot D_s + 14,70 \cdot D_s \ln\left[\frac{B_i - B_{eq}}{B_f - B_{eq}}\right] \quad (24)$$

modeli elde edilir.

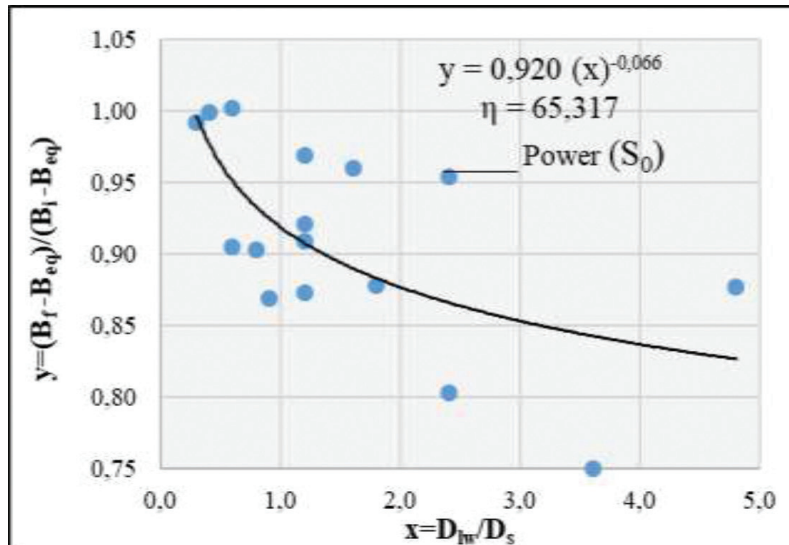
S_0 , S_1 ve S_3 için elde edilen 16,19 ve 22 modellerinin D_{lw}/D_s ve $B_f - B_{eq}/B_i - B_{eq}$ arasındaki ilişkisinin grafiksel olarak ifadesi aşağıda verilmiştir (Şekil 1,2,3)

Çizelge 6. S_1 için x ve y parametrelerine ilişkin ampirik modeller ve uygunluk değerleri (Empirical models of x and y parameters and adequacy values).

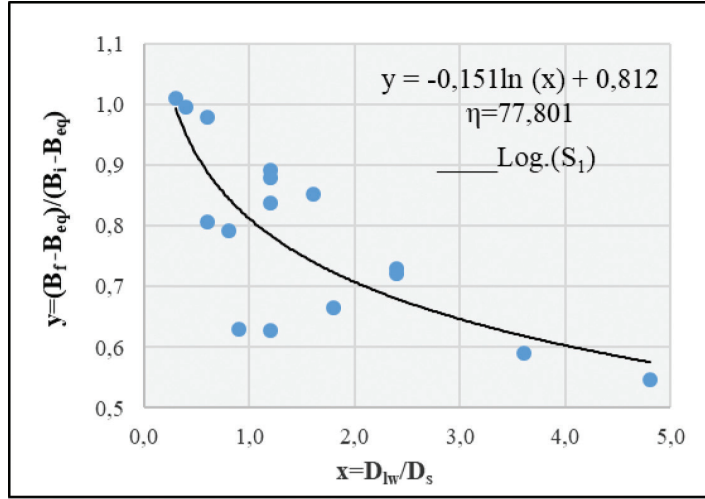
		a	b	η , %	σ	D	AICc
S_1	1 $y=a+b \ln x$	0,8121	-0,1508	77,8010	0,0958	0,8655	-4,5163
	2 $y=a \cdot e^{bx}$	0,9486	0,1286	74,2174	0,1022	0,8435	-4,3870
	3 $y=a \cdot x^b$	0,8045	-0,1908	77,6910	0,0960	0,8649	-4,5119
	4 $y=a+b/x$	0,6462	0,1276	73,5499	0,1033	0,8348	-4,3652

Çizelge 7. S_2 için x ve y parametrelerine ilişkin ampirik modeller ve uygunluk değerleri (Empirical models of x and y parameters and adequacy values).

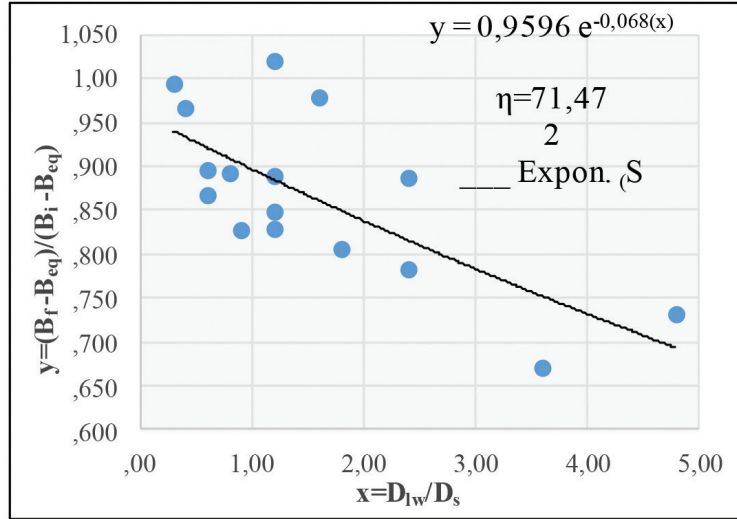
		a	b	η , %	σ	D	AICc
S_2	1 $y=a+b \ln x$	0,8840	-0,0859	68,7613	0,0714	0,7944	-5,1041
	2 $y=a \cdot e^{bx}$	0,9623	-0,0677	71,4723	0,0688	0,8159	-5,1790
	3 $y=a \cdot x^b$	0,8816	-0,0967	68,0176	0,0721	0,7871	-5,0850
	4 $y=a+b/x$	0,7964	0,0664	59,3235	0,0792	0,7144	-4,8977



Şekil 1. S_0 uygulamasının x ve y arasındaki ilişkisi (Relationship between x and y for the application S_0).



Şekil 2. S_1 uygulamasının x ve y arasındaki ilişkisi (Relationship between x and y for the application S_1).



Şekil 3. S_2 uygulamasının x ve y arasındaki ilişkisi (Relationship between x and y for the application S_2).

4. Sonuçların değerlendirilmesi (Conclusions)

Yapılan araştırmada 0-50 cm'lik toprak profilinde toprağın ağır killi, kireçli ve DSY'un yüksek olması borun bu bölgede daha güçlü adsorpsiyonuna neden olduğu, buna bağlı olarak yıkama etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, her kükürt uygulamasında kuvvet, logaritmik ve üstel modellerin diğerlerine göre yıkama verilerini daha iyi tanımladığı görülmüştür. Elde edilen bor yıkama modelleri (16, 19 ve 22), daha önce Aksaray ovasında Sönmez [21] tarafından yapılan çalışmada elde edilen model (5) ile karşılaştırıldığında şu sonuçlar ortaya çıkmıştır. Her iki çalışmada da logaritmik modeller yıkama verilerini en iyi yansıtan ampirik modeller olduğu ve toprakta asit karakterli ıslah maddesi kullanıldığı görülmüştür. Ancak Sönmez [21]'in çalışmasında gerekli yıkama suyu miktarının daha düşük hesaplandığı görülmektedir. Bunun nedeni çalışma alanı toprak özelliklerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şöyle ki; model (5)'in elde edildiği çalışma alanında kireç %11,85 ve bünye kumlu-killi iken, modellerin (16, 19 ve 22) elde edildiği alanda ise kireç %52,3 ve bünye killi bir toprak yapısına sahiptir.

Bunun sonucu olarak, borun kireç tarafından çözünmez halde ya da çok az çözünür halde fikse olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kil miktarının yüksek olması da borun topraktan yıkanmasını güçleştirmektedir. Çalışmada, 120 cm yıkama suyuyla S_0 'da 0-25cm'lik katmanda %11,2'lik yıkama sağlanırken, S_1 'de %61 ve S_2 'de ise %23,7'lik yıkama gerçekleşmiştir. Üst katmanlarda yıkanan bor alt katmanlarda biriktiği görülmüştür. Yıkamada kükürt kullanımının yıkama etkinliği üzerinde etkisinin olduğu S_1 ve S_2 dozlarında görülmüştür. Ancak S_1 dozunda daha fazla görülmüştür. S_1 için elde edilen logaritmik modelin diğer uygulamalarda elde edilen modellerden yıkama için daha uygun olduğu görülmektedir. Bu nedenle logaritmik modelin büyük ölçekli ıslah çalışmalarında kullanılması durumunda, toprak pH'sının düşürülmesi ve bor adsorpsiyonunu azaltılması amacıyla, mutlaka yıkama suyu ile birlikte asit karakterli ıslah maddesi kullanılmalıdır. Bununla birlikte DSY yüksek olması toprağın dispers olmasına, dolayısıyla suyun geçirgenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Yapılacak çalışmada bu sınırlayıcı faktörlerin ortadan kaldırılması ve/veya azaltılması için toprağın fiziksel ve kimyasal

yapısının iyileştirilmesi yıkama etkinliğine önemli katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar (References)

- [1] Reisenauer H. M., Walsh L. M., Hoefft R. G., Testing Soils for Sulphur, Boron, Molybdenum, and Chlorine, In: Soil Testing and Plant Analysis, Rev. Ed. L. M. Walsh and J. D. Beaton (eds.), Soil Sci. Soc. Am. , Madison, WI, pp. 173–200, 1973.
- [2] Keren R., Bingham F.T., Boron in water, soils and plants, Adv. Soil Sci., 1, 229, 1985.
- [3] Eaton F. M., Wilcox C. V., The behavior of boron in soil, USDA Bulletin, 696, 1-57, 1939.
- [4] Goldberg S., Chemistry and Mineralogy of Boron in Soils, In: Boron and Its Role in Crop Production, Ed. U. C. Gupta, CRC Press, Boca Raton, USA, pp, 3–44, 1993.
- [5] Sönmez B., Beyazgül M., Türkiye’de tuzlu ve sodyumlu toprakların ıslahı ve yönetimi, Sulama ve Tuzlanma Konferansı, 12-13 Haziran, Şanlıurfa, s. 269-286, 2008.
- [6] Gezgin S., Gökmen F., Dursun N., Babaoğlu M., Hakkı E. E., I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Ankara, P. 460, 2005.
- [7] Evans L. J., Retention of boron by agricultural soils from Ontario, Can. J. Soil Sci., 67, 33–42, 1987.
- [8] Dursun S. A., Mikailsoy F. D., Borlu toprakların ıslahında kükürtün etkisi, NWSAELS, pp. 1-10. April, 5A0076, 10. (2), 2015.
- [9] Goldberg S., Reactions of Boron with Soil, USDA-ARS Salinity Laboratory, Plant and Soil, 193, 35-48, 1997.
- [10] Hingston F. J., Reaction between boron and clays, Aust., J. Soil Res., 2, 83-95, 1964.
- [11] Xu J. M., Wang K., Bell R. W., Yang Y. A., Huang L. B., Soil boron fractions and their relationships to soil properties, SSSAJ, 65, 133–138, 2001.
- [12] Güneş A., Gezgin S., Kalınbacak K., Özcan H., Çakmak İ., Bor elementinin bitkiler için önemi, Bor Dergisi, 2(3), 168-174, 2017.
- [13] Fleming G. A., Essential Micronutrients-I: Boron and Molybdenum, In: Applied Soil Trace Elements, B. E. Davies, John Wiley and Sons, New York, pp. 155-197, 1980.
- [14] Gupta U. C., Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of Podzol soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32, 45–48, 1968.
- [15] Sönmez B., Türkiye Çoraklık Kontrol Rehberi, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hiz. Gen. Müd., Toprak ve Gübre Araş. Ens. Müd., Ankara, 33, 2003.
- [16] Mikailsoy F. D., Tuzlu toprakların yıkanmasının matematiksel modellenmesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 2 (1), 33-37, 2014.
- [17] Dursun S. A., Tuzlu-sodyumlu-borlu toprakların ıslahı ve matematiksel modellenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2017.
- [18] Reeve R. C., Pillsbury A. F., Wilcox L. V., Reclamation of saline and high boron soil in the Coachella Valley of California, Hilgardia, Berkeley, 24, 69–91, 1955.
- [19] Reeve R. C., The relation of salinity to irrigation and drainage requirements, 3rd Congress, ICID, 10, p. 10:175-10.187, 1957.
- [20] Safoora A. K., Homae M., Pazira E., A Parametric desalinization model for large scale saline soil reclamation, J. Basic. Appl. Sci. Res., 3(3), 774-783, 2013.
- [21] Sönmez B., Açar A., Bahçeci İ., Mavi A., Yarpuzlu A., Türkiye Çorak Islahı Rehberi, Köy Hizmetleri Gen. Müd., A.P.K. Dairesi Baş., Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müd., Ankara, Yayın No: 93, Rehber No:12, 1996.
- [22] Omar M. S., Karaca A., Sözüdoğru S., The simulation model of salt boron transport in surface soil, J. Engineer. Sci., 3, 829-836, 1998.
- [23] Bahçeci İ., Determination of salt leaching and gypsum requirements with field tests of saline-sodic soils in central Turkey, Irrig. Drain., 58, 332-345, 2009.
- [24] Anonim, Aksaray Üniversitesi Kampüs Alanı Planlama Arazi Sınıflandırma ve Drenaj Raporu, Orman ve Su İşleri Bakanlığı DSİ Genel Müd., 4. Bölge Müd., Konya, Proje No: 1601, s, 12-16, 2014.
- [25] Burnham K. P., Anderson D. R., Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach, 2nd Edition. Springer-Verlag, New York, 488 p., 2002.
- [26] Hoffmann J. P., Linear Regression Analysis: Applications and Assumptions. 2nd Edition, Brigham Young Uni., 285 p., 2010.
- [27] Lewis F., Butler, A., Gilbert L., A unified approach to model selection using the likelihood ratio test, Methods Ecol. Evol., 2, 155–162, 2011.
- [28] Mikailsoy F., Carman K., Ozbek O., Non-linear modeling to describe the wind erosion rate in different tillage practices, Fres. Environ. Bul., 27 (3), 1604-1612, 2018.
- [29] Montgomery D. C., Peck E. A., Vining G. G., Introduction to linear regression analysis, 5th Edition, John Wiley & Sons, New York, 645 p., 2012.
- [30] Nash J. E., Sutcliffe J. V., River flow forecasting through conceptual models, Part I – A discussion of principles, J. Hydrol., 10, 282-290, 1970.
- [31] Willmott C. J., On the validation of models. Physical Geography, 2, 184–194, 1981.
- [32] Akaike H., Information Theory as an extension of the maximum likelihood principle, 2nd International Symposium on Information Theory, Akademia Kiado, Budapest, 1973.