

**BAZI KIL TIPLERİNİN BOR ADSORPSİYON KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Mehmet HAMURCU H.Hüseyin ÖZAYTEKİN Farız D. MIKALSOY Sait GEZGIN

*Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Kampus, Konya*

**ÖZET**

*Bu araştırma İç Anadolu Bölgesi tarım topraklarında hakim durumda olan bazı kil tiplerinin farklı pH aralıklarındaki bor adsorpsiyon izotermelerini belirlemek üzere yürütülmüştür. Bu amaçla simektit ve paligorskit + kaolinit' ten oluşan iki farklı örnek tip kullanılmıştır.*

*Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi modellerine göre değerlendirilen bor adsorpsiyonunun Langmuir modeli ile daha iyi ifade edildiği tespit edilmiştir.*

*Her iki örnekte de çözelti pH' sinin bor adsorpsiyonu üzerine oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. pH artıkça bor adsorpsiyonunun belirli bir noktaya kadar arttığı daha sonrada düştüğü görülmüştür. Langmuir izoterminde k ve b parametrelerinden belirlenen en düşük bor adsorpsiyonu saf simektitten oluşan örnekte pH 7' de (8.60 µg B g<sup>-1</sup>) gerçekleşmiş ve buna bağlı olarak en fazla bağlanma enerjisi (k) pH 10'da (50.45 ml µg<sup>-1</sup>) görülmüştür. Paligorskit + kaolinitte en düşük bor adsorpsiyonu pH 5' de (5.58 µg B g<sup>-1</sup>), en fazla bağlanma enerjisi de pH' 10 da (51.36 ml µg<sup>-1</sup>) belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Bor adsorpsiyonu, Langmuir adsorpsiyon izotermi, Freundlich adsorpsiyon izotermi, kil

**DETERMINATION OF BORON ADSORPSİYON CAPACITY OF SOME CLAY TYPES**

**ABSTRACT**

*This research was conducted to determine boron adsorption isotherm for different pH values of some clay types where founded the most in the soils of Central Anatolia Region. For this purpose, two different samples smectit and Paligorskit + kaolinit were used.*

*Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models first were evaluated and Langmuir model was determined more appropriate comparison to Freundlich.*

*In both samples, the pH of solution was highly effective on boron adsorption and as the pH increased, boron adsorption also increased. The lowest boron adsorption determined from k and b parameters in Langmuir isotherm for pure smectit sample was obtained at pH 7 (8.60 µg B g<sup>-1</sup>) and the greatest binding energy (k) was seen at pH 10 (50.45 ml µg<sup>-1</sup>). In sample contained Paligorskit + kaolinit, the lowest boron adsorption was at pH 5 (5.58 µg B g<sup>-1</sup>) whereas, the highest energy was determined at pH 10 (51.36 ml µg<sup>-1</sup>)*

**Key Words:** Boron adsorption, Langmuir adsorption isotherm, Freundlich adsorption isotherm, clay

**GİRİS**

Bor, bitkilerin tepkilerinin çok farklı ve bitkilerde noksanlık ve toksisiteye neden olan miktarları arasındaki sınırın çok dar olduğu ve bu nedenle de bitkilerde noksanlık ve toksisite belirtileri çok yaygın olarak görülen bir bitki besin elementidir (Berger 1949; Keren ve Bingham, 1985). Bu nedenle bitkilerin bor beslenme statüsünün önceden belirlenebilmesi için topraklarda borun yayılsızlığını etkileyen reaksiyonları ortaya koymak çok önemlidir (Goldberg ve Glaubig, 1986). Bor topraklarda doğal olarak bulunabileceği gibi bor ihtiva eden sulama suları ile yapılan sulama sonucu kirlilik sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların çözülmesi ve borlu toprakların ıslah edilmesi için toprak özellikleri ile bor adsorpsiyonu ilişkisinin incelenmesi gerekmektedir.

Herhangi bir şekilde topraga ulaşan bor adsorbe edici yüzeyler tarafından adsorbe edilmekte ve sivi fazların bor kapsamları arasında bir denge oluşmaktadır. Topraklarda oluşan bu denge Langmuir (Rhoades ve ark., 1970; Griffin ve Burau, 1974) ya da Freundlich (Singh, 1971; Bhatnagar ve ark. 1979) adsorpsiyon izotermlerinden biri kullanılarak değerlendirilmektedir.

Boron çözünürlüğü ve sorpsiyonu toprak pH' si, kil mineralinin miktar ve tipi, Al ve Fe oksit içeriği, organik madde, tekstür ve kireç içeriği gibi toprak özelliklerine bağlıdır (Keren ve Bingham, 1985; Elrashidi ve O' connor, 1982). Bor adsorpsiyonuna çeşitli tabakalı silikat killerin etkisi araştırılmış ve bütün topraklarda borun tutunması üzerine tabakalı silikat killerin çok önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.(Scharrer ve ark. 1956; Harder, 1961; Hingston 1964; Fleet 1965; Sims ve Bingham 1967; Porrenga 1967; Coveh ve Grim 1968; Singin 1971; Jasmund ve Cinder 1973; Keren ve ark. 1981; Keren ve Mezuman 1981; El Rashidi ve O'connor, 1982; Keren ve Bingham 1985).

Bu araştırma İç Anadolu Bölgesi tarım topraklarında hakim durumda olan simektit ve paligorskit + kaolonit killerin farklı pH aralıklarındaki Freundlich ve Langmuir modelleri bor adsorpsiyon izotermelerini belirlemek üzere yapılmıştır.

**MATERYAL VE METOT**

Araştırmada kullanılan kil mineralleri saf simektit (1 nolu örnek) ve % 60 paligorskit + % 40 kaolinitten (2 nolu örnek) oluşmaktadır. Paligorskit ve simektit tipi kil mineralleri daha çok kireç tasi ve benzer ma-

teryaller üzerinde gelişmiş kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak görülmektedir (Singer, 1989; Borchardt, 1989). Ülkemizde de benzer özelliklere sahip Konya bölgesi topraklarında da sepiyotitle birlikte Paligorskit kil mineralleri tespit edilmiştir (Sak ve Sayin, 1989). Kullanılan örnekler az kireçli karakterde olup (sirasiyla %3.44, %1.79), düşük organik madde içeriğine (sirasiyla %0.96, %0.61) sahiptir.

Arastırma konusu örneklerde CaCO<sub>3</sub> kapsamı Scheibler kalsimetresiyle volumetrik olarak belirlenmiştir (Saglam, 1979). Organik madde Smith – Weldon metoduyla tespit edilmiştir (Saglam 1979). Kil minerallerinin analizi X – Ray Diffraction (XRD) tekniğiyle yapılmıştır. Kil preparatlarının hazırlanmasında sirasiyla giderme, kil ayırma, kilin doyurulması ve kilin serilmesi işlemleri uygulanmıştır (Jackson, 1979). Çalışmalarda 5 gr kil örneği kullanılmış, kullanılan kil örneklerine 0.01 M CaCl<sub>2</sub> temel elektrot çözeltisi içerisinde olmak üzere 0, 20, 40, 60, 80, 100 mg L<sup>-1</sup> dozlarında bor ihtiva eden 50 ml çözelti ilave edilmiştir. İlave edilen her çözeltinin pH' si 0.1 N NaOH ve 0.1 N HCl ile 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12' ye ayarlanmıştır. Hazırlanan örnekler sabit sıcaklıkta (25 °C) 23 saat çalkalanmış, daha sonra süzülerek elde edilen denge çözeltilerinin bor içerikleri ICP – AES (Varian Vista Model) de belirlenmiştir. Kil mineralleri tarafından adsorbe edilen bor miktarı, kile verilen başlangıç çözeltisi ile denge çözeltisinin bor konsantrasyonları arasındaki farktan hesaplanarak belirlenmiştir (Goldberg ve Glaubig, 1986).

#### Kil minerallerinin veya Toprakların Bor Adsorpsiyon Durumlarının Belirlenmesi

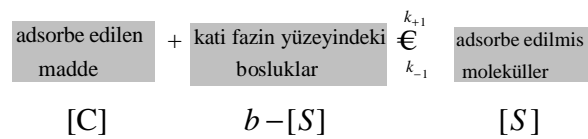
Kil minerallerindeki veya Topraklardaki iyon değişimi mekanizmasını belirlemek ve mekanizmayı ortaya koymak için çeşitli adsorpsiyon denklemleri kullanılmaktadır. Bu denklemler genel olarak üç sınıfa ayrılmaktadırlar:

- Toprak çözeltisindeki iyonların kati faz tarafından adsorpsiyon mekanizması:

$$[C] \overset{k_{+1}}{\underset{k_{-1}}{\rightleftharpoons}} [S]$$

seması ile ifade edilen ampirik (deneysel) denklem (Freundlich, 1930)

- Toprak çözeltisindeki iyonların kati faz tarafından adsorpsiyon mekanizması:



Langmuir tarafından ortaya konan ve yukarıdaki sema ile ifade edilen toprağın kati fazi ile toprak çözeltisi arasındaki etkileşimin mekanizmasını model-

lemek suretiyle gösterilen yarım-ampirik denklem; (Langmuir, 1918);

- İyon değişimli heterojen sistemlere termodinamik kanunların uygulanmasıyla ve kütle korunumu yasası kullanılmasıyla elde edilen teorik denklemler.

Freundlich ve Langmuir tarafından teklif edilen mekanizmalar vasıtasıyla farklı pH ortamlarında kil mineralleri tarafından borun adsorpsiyonunun iki - ampirik ve yarım - ampirik izoterm denklemleri kullanılarak araştırılmaktadır.

Yapılan çalışmada, toprak çözeltisinden borun adsorpsiyon mekanizması önce Freundlich (1930) tarafından teklif edilen ampirik:

$$S = k' C^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

denklemleriyle, daha sonra ise Langmuir (1918) tarafından önerilen yarım-ampirik:

$$S = \frac{bkC}{1 + kC} \quad (2)$$

denklemleri kullanılarak incelenmiştir. Burada;

S- toprağın her bir birim ağırlığı tarafından (toprak çözeltisinde bulunan) çözünmüş borun adsorbe edilen miktarı ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ),

C- toprağın denge çözeltisinde bulunan borun konsantrasyonu ( $\mu\text{g ml}^{-1}$ ),

b - toprağın maksimum adsorpsiyon kapasitesi ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), veya adsorbe eden yüzeyin toplam aktif merkezleri,

k - bor iyonlarının bağlanma (adsorpsiyon) enerjisini karakterize eden denge katsayısı olarak adsorpsiyon ve desorpsiyon hızı katsayılarının oranı olarak ifade edilir:  $k = k_{+1} / k_{-1}$ ;

$k'$  - 1 g toprağın bor'u tutma kapasitesidir ( $\text{mg kg}^{-1}$ ),

n - ampirik parametredir.

(2) nolu modelle kil minerallerinin maksimum bor adsorpsiyon (b) kapasitesini bulmak mümkündür. (1) nolu modelle ise 1 g kil veya toprağın adsorbe ettiği bor miktarı ( $k'$ ) hesaplanabilir.

Freundlich modelinden farklı olarak, (2) nolu model sınırlı adsorpsiyonu ifade etmektedir ki buda topraktaki gerçek durumu (herhangi bir toprağın adsorpsiyon kapasitesinin sınırlı olmasını) yansıtmaktadır.

(1) nolu denklem ile ifade edilen izoterm parametrelerinin (n ve k) bulunması için denklemin doğrusallaştırılması yapılır:

$$\lg S = \lg k + \frac{1}{n} \lg C \quad (3)$$

bağıntısı elde edilir. Burada;

$$y = \lg S, x = \lg C, A = \lg k, B = \frac{1}{n},$$

$$\left( k' = 10^A \text{ ve } n = \frac{1}{B} \right) \quad (4)$$

dönüşümü yapılarak (3) nolu doğrusal denklemi

$$y = A + Bx \quad (5)$$

biçiminde yazılabilir.

(2) nolu denklem ile ifade edilen izoterm parametrelerinin ( $b$  ve  $k$ ) bulunması için denklemin çeşitli doğrusallaştırmaları yapılabilir. Örneğin belirtilen denklemin Lineweaver - Burk (1934) biçiminde doğrusal şekilleri;

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bk} \cdot \frac{1}{C} \quad (6)$$

$$\frac{C}{S} = \frac{1}{bk} + \frac{1}{b} \cdot C \quad (7)$$

$$S = b - \frac{1}{k} \cdot \frac{S}{C} \quad (8)$$

biçimindedir.

Yapılan çalışmada elde edilen rakamlar kullanılarak (6) ve (8) nolu doğrusallaştırmaları (5) biçiminde yazarak ve elde edilen değerlerin sonuçlarının  $S$  ve  $C$  değerlerini kullanarak doğrusal regresyon analizleriyle Langmuir ve Freundlich modellerinin (3) nolu fonksiyon biçimindeki doğrusallaştırılmış şekillerinin  $A$  ve  $B$  katsayılarının değerleri bulunmuştur (Tablo 2). Burada;

(6) nolu doğrusallaştırma için,

$$y = \frac{1}{S}, x = \frac{1}{C}, A = \frac{1}{b}, B = \frac{1}{bk},$$

$$\left( b = \frac{1}{A} \text{ ve } k = \frac{A}{B} \right) \quad (9)$$

(7) nolu doğrusallaştırma için ise,

$$y = \frac{C}{S}, x = C, A = \frac{1}{bk}, B = \frac{1}{b},$$

$$\left( b = \frac{1}{B} \text{ ve } k = \frac{B}{A} \right) \quad (10)$$

(8) nolu doğrusallaştırma için ise,

$$y = S, x = \frac{S}{C}, A = b, B = -\frac{1}{k},$$

$$\left( b = A \text{ ve } k = -\frac{1}{B} \right) \quad (11)$$

dönüşümü yapılmıştır.

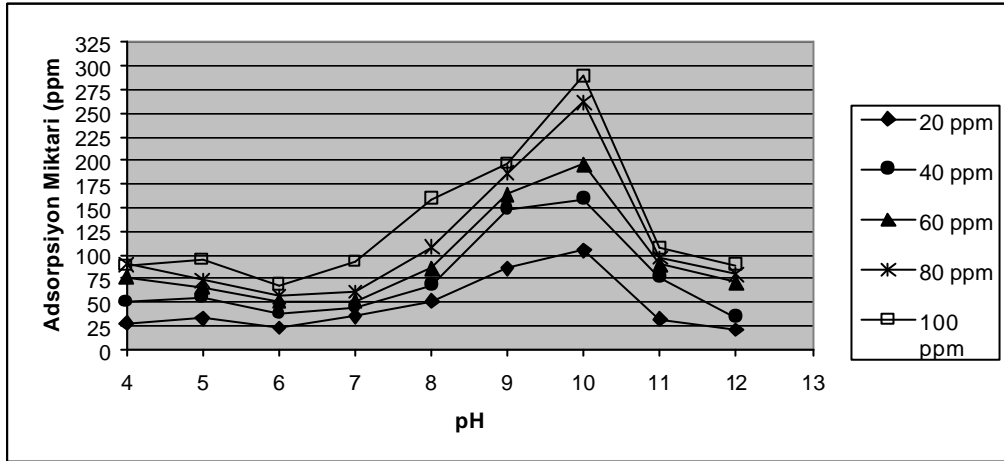
(8) nolu doğrusallaştırma sonucunda elde edilen  $A$  ve  $B$  katsayılarının değerleri, Tablo 2'den de görüldüğü gibi, diğerleri ile karşılaştırıldığında regresyon ilişkileri düşüktür. Buna göre (3), (6) ve (7) nolu doğrusallaştırmalarla bulunan  $A$  ve  $B$  parametrelerinin değerlerini kullanarak  $n$ ,  $k'$ ,  $b$  ve  $k$  izoterm parametrelerinin değerleri (4), (9) ve (10) nolu formüllerden hesaplanarak Tablo.3' de verilmiştir.

### SONUÇLAR VE TARTISMA

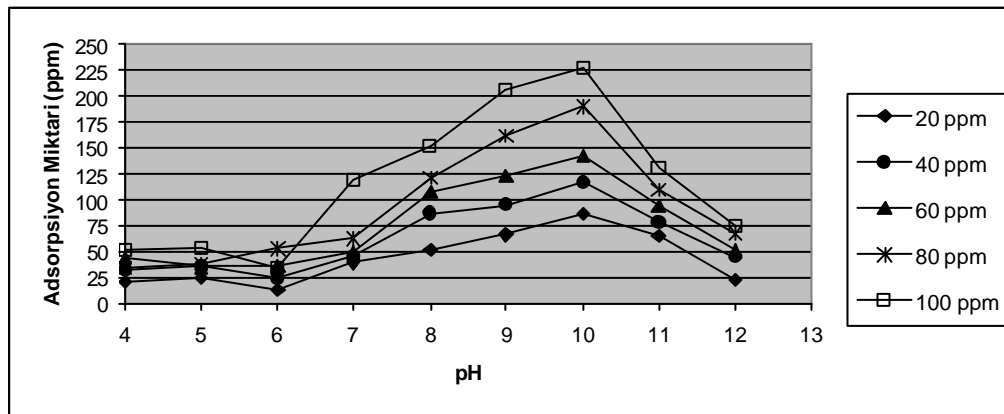
Kil minerallerine ilave edilen çözeltinin pH' sına bağlı olarak bor adsorpsiyonunun değisimi Sekil 1 ve Sekil 2' de gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi her iki kil mineralinde de bor adsorpsiyonu çözelti pH' sinin 4'den 10 kadar artışı ile artarken pH 10'dan sonra azalmıştır. pH' nin artmasıyla adsorpsiyonun artması muhtemelen H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>' in iyonize olmasından kaynaklanmaktadır. Daha yüksek pH'larda (>10) ise adsorpsiyonun azalmasının sebebi kil yüzeylerinden gelen hidroksil iyonlarının bor anyonu ile rekabete girerek bor tutulmasının azalmasıdır (Goldberg ve ark. 1996). Bingham ve ark. (1971) bor için maksimum adsorpsiyon değerlerinin alkali şartlarda olustugunu ve bu pH'da borun anyonik türleri (B(OH)<sub>4</sub> ve B(OH)<sub>3</sub>) şeklinde adsorbe edildiğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada, uygulanan bütün bor dozlarında bir numaralı örnek (smektit), iki nolu örnekten (paligorskit + kaolonit) daha yüksek adsorpsiyon göstermiştir. Bu durum 1 nolu kilin 2 nolu kile göre daha fazla yüzey alanına ve organik madde içerigine veya daha fazla kırılmış kenar yüzeyine sahip olmasından kaynaklanabilir. Bazı araştırmacılar da (Scharrer ve ark.1956; Harder, 1961; Hingston, 1964; Sims ve Bingham, 1967; Jasmund ve Lindner, 1973; Keren ve Mezuman, 1981) benzer sonuçlar bulmuşlar ve kil minerallerinin bor adsorpsiyon kapasitelerinin kaolinit < montmorillonit < illit şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Keren ve Talpaz (1984)'da bor adsorpsiyonunun killerin kırılmış kenarlarında meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bunun yanında Beckwith ve Reeve (1964) 7,5' un üzerindeki pH' larda smektit gurubu killerden kaolonite göre daha yüksek miktarlarda silikat açığa çıkması bor adsorpsiyonunun daha yüksek olmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Ampirik modeller teorik esaslar dışında deneysel bor adsorpsiyon verilerinin tanımlanmasına imkan vermektedir. Oksitler, kil mineralleri, kireç, organik madde ve ortama bağlı olarak bor adsorpsiyon reaksiyonları çeşitli izoterm

denklemleri kullanılarak tanımlanmıştır (Choi ve Chen, 1979; Elrashidive O'Connor, 1982; Goldberg ve Forster, 1991; Singh, 1971). Bu denklemlerden en popüler olanları bu çalışmada da kullanılan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm denklemleridir. Çalışmamızda her iki model de adsorpsiyon izoterm denklemlerine ait parametrelerin ( $n$ ,  $k'$ ,  $b$ ,  $k$ ) belirlenmesi için Langmuir modelinde (6), (7) ve (8), Freundlich modelinde ise (3) nolu eşitlikler kullanılarak doğrusalastırma yapılmış ve elde edilen doğru denklemleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi Langmuir modelinin parametreleri için (6) nolu formülle yapılmış doğrusalastırmanın belirleme katsayısı ( $R^2$ ) değerleri (7) ve (8) nolu doğrusalastırmaların belirleme katsayısı ( $R^2$ ) değerlerine göre daha yüksek olduğu bulunmuş ve bu nedenle (6) nolu doğrusalastırma denklemleri kullanılarak modelin parametre değerleri hesaplanmış ve Tablo 3' de verilmiştir. Çalışmada kullanılan adsorpsiyon izoterm denklemlerinden biri olan Freundlich izoterm denklemine göre yapılan değerlendirmede Tablo 3' den görüldüğü gibi bir numaralı örnekte de en düşük bor adsorpsiyonu pH 12' de ( $0.0719 \mu\text{g g}^{-1}$ ), iki nolu örnekte ise pH 6' da ( $0.1382 \mu\text{g g}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Her iki örnekte de en yüksek bor adsorpsiyonu pH 10' da

(sirasıyla 3.1897; 2.3718 ) olmuştur., Topraktaki adsorpsiyon prosesini açıklayan diğer bir izoterm olan Langmuir izotermine Tablo 3' de görülen  $k$  ve  $b$  parametrelerinden anlaşıldığı gibi en düşük bor adsorpsiyon kapasitesi bir numaralı örnekte pH 7' de ( $8.60 \mu\text{g B g}^{-1}$ ) en yüksek bor adsorpsiyon kapasitesi pH 11' de ( $78.13 \mu\text{g B g}^{-1}$ ), iki nolu örnekte ise en düşük bor adsorpsiyon kapasitesi pH 5' de ( $5.58 \mu\text{g B g}^{-1}$ ) en yüksek bor adsorpsiyon kapasitesi ise pH 12' de ( $31.65 \mu\text{g B g}^{-1}$ ) görülmüştür. Her iki örnekte de en düşük bağlanma enerjisi pH 12' de (sirasıyla  $0.01 \text{ml } \mu\text{g}^{-1}$ ,  $3.21 \text{ml } \mu\text{g}^{-1}$ ), en yüksek bağlanma enerjisi pH 10' da (sirasıyla  $50.45 \text{ml } \mu\text{g}^{-1}$ ,  $51.36 \text{ml } \mu\text{g}^{-1}$ ) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bazı araştırmacılar tarafından açıklanan (Bingham ve ark. 1971, Keren ve ark. 1981, Goldberg ve Glaubig 1986, Eraydin ve Sözüdoğruok, 2001) sonuçlara benzerlik göstermektedir. Benzer çalışmada Goldberg ve Glaubig (1985), kil mineralleri için maksimum adsorpsiyonun pH 8 ile pH 10 arasında olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada bazı benzer çalışmalarda (Su ve Suarez (1997) ve Eraydin ve Sözüdoğruok, 2001) belirlendiği gibi başlangıç çözeltisinin bor konsantrasyonundaki artışa paralel olarak kil mineralleri yüzeyinde bor adsorpsiyonu da artmıştır.



Sekil 1. Smektit (bir nolu kil) örneğinde doza ve pH' ya bağlı olarak adsorpsiyon değişimleri.



Sekil 2. Paligorskit+kaolinit (iki nolu kil) örneğinde doza ve pH' ya bağlı olarak adsorpsiyon değişimleri.

Tablo 2. Bir ve İki Nolu Kil Örneğinin Langmuir ve Freundlich İzoterm Denklemlerinin Doğrusal Biçimdeki İfadeleri.

1 Nolu Kil Örneği (Smektit)								
Ph	Langmuir Modeli				Freundlich Modeli,			
	(6) Doğrusallaştırma - I		(7) Doğrusallaştırma - II		(8) Doğrusallaştırma - III		(3) Doğrusallaştırma	
	$y = A + Bx$	%, $R^2$	$y = A + Bx$	%, $R^2$	$y = A + Bx$	%, $R^2$	$y = A + Bx$	%, $R^2$
4	$y = 0,0369 + 5,421x$	<b>99,23</b>	$y = 5,052 + 0,0448x$	<b>80,93</b>	$y = 19,934 - 95,071x$	<b>62,58</b>	$y = 1,7592 + 0,0964x$	<b>90,34</b>
5	$y = 0,0723 + 3,8012x$	<b>98,67</b>	$y = 4,1661 + 0,0644x$	<b>88,43</b>	$y = 13,906 - 52,56x$	<b>79,83</b>	$y = 2,1441 + 0,0844x$	<b>96,11</b>
6	$y = 0,0869 + 6,1456x$	<b>99,75</b>	$y = 6,4722 + 0,0802x$	<b>96,71</b>	$y = 11,833 - 73,825x$	<b>94,49</b>	$y = 1,4319 + 0,0606x$	<b>98,72</b>
7	$y = 0,1163 + 2,8856x$	<b>80,87</b>	$y = 4,7554 + 0,0748x$	<b>58,59</b>	$y = 8,6212 - 22,638x$	<b>28,63</b>	$y = 1,6968 + 0,0785x$	<b>85,19</b>
8	$y = 0,0622 + 2,0227x$	<b>85,72</b>	$y = 3,15 + 0,035x$	<b>47,84</b>	$y = 15,607 - 27,435x$	<b>25,67</b>	$y = 1,7512 + 0,1633x$	<b>89,67</b>
9	$y = 0,0387 + 0,8275x$	<b>99,15</b>	$y = 0,7877 + 0,0399x$	<b>99,43</b>	$y = 25,195 - 20,018x$	<b>95,53</b>	$y = 8,7049 + 0,1691x$	<b>87,30</b>
10	$y = 0,0304 + 0,6026x$	<b>94,17</b>	$y = 0,8255 + 0,0231x$	<b>86,67</b>	$y = 34,636 - 21,55x$	<b>69,50</b>	$y = 7,3158 + 0,3538x$	<b>96,65</b>
11	$y = 0,0128 + 6,3971x$	<b>90,55</b>	$y = 4,9381 + 0,0403x$	<b>59,22</b>	$y = 12,009 - 28,014x$	<b>11,13</b>	$y = 2,8243 + 0,0853x$	<b>82,50</b>
12	$y = -0,0129 + 11,826x$	<b>97,86</b>	$y = 11,648 - 0,0102x$	<b>05,96</b>	$y = -3,8824 + 106,35x$	<b>17,79</b>	$y = 0,012 + 0,0927x$	<b>94,59</b>
2 Nolu Kil Örneği (Paligorskit+kaolinit)								
4	$y = 0,1221 + 6,6017x$	<b>99,47</b>	$y = 6,7844 + 0,1181x$	<b>98,31</b>	$y = 8,2671 - 54,832x$	<b>95,15</b>	$y = 1,4891 + 0,044x$	<b>95,79</b>
5	$y = 0,1791 + 4,0623x$	<b>89,34</b>	$y = 5,2562 + 0,1546x$	<b>85,06</b>	$y = 5,6023 - 22,15x$	<b>59,44</b>	$y = 1,9067 + 0,0343x$	<b>86,49</b>
6	$y = 0,0687 + 13,411x$	<b>95,87</b>	$y = 10,838 + 0,1197x$	<b>45,16</b>	$y = 3,2256 - 0,7962x$	<b>0,001</b>	$y = 0,9609 + 0,0395x$	<b>60,50</b>
7	$y = 0,1196 + 2,4275x$	<b>58,29</b>	$y = 5,0573 + 0,0608x$	<b>27,78</b>	$y = 7,2132 - 6,7573x$	<b>0,018</b>	$y = 0,9945 + 0,1044x$	<b>66,36</b>
8	$y = 0,0456 + 2,1219x$	<b>99,18</b>	$y = 2,3767 + 0,0393x$	<b>93,27</b>	$y = 22,863 - 49,771x$	<b>87,59</b>	$y = 3,3312 + 0,1516x$	<b>98,76</b>
9	$y = 0,0408 + 1,504x$	<b>91,89</b>	$y = 2,1158 + 0,0248x$	<b>61,62</b>	$y = 25,112 - 36,597x$	<b>45,23</b>	$y = 2,6007 + 0,2381x$	<b>96,82</b>
10	$y = 0,0432 + 0,8411x$	<b>87,38</b>	$y = 1,3314 + 0,0294x$	<b>75,69</b>	$y = 24,307 - 20,654x$	<b>5,27</b>	$y = 5,0459 + 0,2456x$	<b>96,34</b>
11	$y = 0,0711 + 1,7404x$	<b>90,72</b>	$y = 2,3705 + 0,059x$	<b>92,74</b>	$y = 14,503 - 26,111x$	<b>72,28</b>	$y = 4,7577 + 0,0798x$	<b>97,85</b>
12	$y = 0,0316 + 9,8511x$	<b>96,79</b>	$y = 9,1599 + 0,0442x$	<b>66,84</b>	$y = 13,63 - 99,472x$	<b>40,41</b>	$y = 1,0709 + 0,0641x$	<b>95,89</b>

Tablo 3. Arastırma Topraklarının Langmuir ve Freundlich parametreleri

Modeller							
Örn. No	pH	Yarım- Teorik Langmuir Modeli $S = \frac{kbC}{1+kC}$			Ampirik Freundlich Modeli $S = k' C^{1/n}$		
		$b, \mu\text{g B g}^{-1}$	$k \cdot 10^{-3}, \text{ml } \mu\text{g}^{-1}$	%, $R^2$	$1/n$	$k' \mu\text{g g}^{-1}$	%, $R^2$
1 Nolu Kil (Smektit)	4	27,10	6,81	99,23	0,7720	0,3276	96,69
	5	13,83	19,02	98,67	0,6044	0,6167	97,57
	6	11,51	14,14	99,75	0,6520	0,3597	99,58
	7	8,60	40,30	80,87	0,5110	0,7781	82,26
	8	16,08	30,75	85,72	0,6117	0,9079	87,25
	9	25,84	46,77	99,15	0,4316	3,1830	95,30
	10	32,89	50,45	94,17	0,5237	3,1897	96,29
	11	78,13	2,00	90,55	0,7588	0,3609	85,47
2 Nolu Kil (Paligorskit+kaolinit)	4	8,19	18,50	99,47	0,5865	0,3888	98,82
	5	5,58	44,09	89,34	0,4053	0,7669	87,19
	6	14,56	19,91	95,87	0,7795	0,1382	84,08
	7	8,36	49,27	58,29	0,5310	0,7709	60,89
	8	21,93	21,49	99,18	0,6114	1,0231	99,28
	9	24,51	27,13	91,89	0,6422	1,1737	94,00
	10	23,15	51,36	87,38	0,5072	2,3718	91,64
	11	14,06	40,85	90,72	0,4108	1,8286	95,35
12	31,65	3,21	96,79	0,8078	0,1827	95,71	

Sonuç olarak yapılan çalışma sonucunda kil minerallerindeki bor adsorpsiyonu, regresyon denklemlerinin belirleme katsayılarına ( $R^2$ ) göre karşılaştırıldığında kullanılan izoterm modellerinden Langmuir izoterm modelinin (6)' nolu doğrusallaştırmasının belirleme katsayısı ( $R^2$ ) değerleri Freundlich' in (3)' nolu doğrusallaştırma sonucunda elde edilen belirleme katsayısı ( $R^2$ ) değerlerine göre genel olarak daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir (Tablo 2). İç Anadolu kurak ve yarı kurak ekosistemlerinde yaygın olarak bulunan smektit ve paligorskit kil minerallerine sahip topraklarda bor adsorpsiyonunun herhangi bir deneysel ölçümünden bağımsız olarak daha kolay bulunabilen parametreler kullanılarak adsorpsiyon tahminlerine ulaşılmıştır.

### KAYNAKLAR

- Beckwith, R.S., and Reeve, R., 1964. Studies on soluble silica in soils. II. The release of monosilicic acid from soils. *Aust. J. Soil res.* 2:33 - 45
- Berger, K.C., 1949. Boron in soils and crops. *Adv. Argon* 1: 321-351.
- Bhatnagar, R.S., Attri, S.C., Mathar, G.S., and Chaudhary, R.S., 1979. Boron adsorption equilibrium in soils. *Ann. Arid. Zone* 18:86-95.
- Bingham, F.T., Page, A.L., Coleman, N.T., and Flach, K., 1971. boron adsorption characteristics of selected soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35:546-550
- Borchardt, G., 1989. Minerals in Soil Environment Soil Science Society at America Book series. 2. Edition
- Choi, W.W., and Chen, K.Y., 1979. Evaluation of boron removal by adsorption on solids. *Environ. Sci. Techno.* 13:189-196.
- Couch, E. L., and Grim, R. E. 1968. Boron fixation by illites. *Clays clay miner.* 16, 249-256.
- Elrashidi, M. A., and O'connor G. A., 1982. Boron sorption and desorption in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:27-31.
- Eraydin, E., ve Sözüdogru, S., 2001. Topraklarda bor adsorpsiyonu üzerine bazı anyonların etkileri. *S. Ü. Ziraat Fak. Dergisi* 15 (26): 106-115
- Fleet, M. E. L., 1965. Preliminary investigations into the sorption of boron by clay mineral. *Clay Miner.* 6:3-16.
- Freundlich H. 1930. *Fine deratellungder Chemie der Kolloid und verwanfer gabiet Lepizig.* Acad. Verl.-ges. 560 s.
- Goldberg, S., and Glaubig, R. A., 1985. Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1374-1379.
- Goldberg, S., and Glaubig, R.A., 1986. Boron adsorption and silicon release by the clay minerals kaolinite, montmorillonite and illite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1442-1448.
- Goldberg, S., Forster. H. S., Lesch, S. M., and Heick, E. C., 1996. Influence of anion competition an boron adsorption by clays and soils. *Soil Sci.* 161. 99-103
- Goldberg,S., Forster, H.S., 1991. Boron sorption on calcareous soils and reference calcites. *Soil Sci.* 152:304 – 310.
- Griffin, R. A., and Burau, R.G., 1974. Kinetic and equilibrium studies of boron desorption from. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:892-897.
- Harder, H., 1961. Einbau von Bor in detritische Tonminerale. Experimente zur Erklärung des Borgehaltes toniger Sedimente. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 21:284-294
- Hingston, F.J., 1964. Reactions between boron ad. Clays. *Aust. J. Soil Res.* 2:83-95.
- Jackson, M. L., 1979. Soil Chemical Analysis. Advanced Course. Department of Soil Science University of Wisconsin, Madison, Wis. 53706, 468-509.
- Jasmund, K., and Lindner, B., 1973. Experiments on the fixation of boron by clay minerals. *Proc. Int. Clay Conf.* 1972: 399-412
- Keren, R., and Bingham, F.T., 1985. Boron in water, soil and plants. *Adv. Soil Sci.* 1: 229-276.
- Keren, R., and Mezuman, U., 1981. Boron adsorption by clay minerals using a phenomenological equation clays clay miner 29: 198-204
- Keren, R., and Talpaz, H., 1984. Boron adsorption by montmorillonite as affected by particle size. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 48:555-559
- Langmuir, I., 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass. Mica and Platin, *J. Am. Chem. Soc.*, 40, 1361-1402.
- Lineweaver,H. and Burk,D.,1934. *J. Amer. Chem. Soc.*, 56, 658-666.
- Mezuman, V., and Keren, R., 1981. Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:722-726
- Porrenga, D. H., 1967. Influence of grinding and heating of layer silicates on boron sorption. *Geochim. Cosmochim. Acta* 31, 309-312
- Rhoades, J. D., Ingvalson and Hacher, J.T., 1970. Laboratory determination of leachable soil boron. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 871-875.
- Saglam, M. T. , 1979. Toprak Kimyasi Uygulama Notlari. Atatürk Ün. Yayinlari, Erzurum.

- Sak, O., Sayin, M., 1989. Aktif kireç yolu ile kil Iriligindeki kirecin tahmini. Doga Bilim Dergisi.
- Scharrer, K., Kühn, H., and Lüttmer, J., 1956. Untersuchungen über die Bindung des Bors durch anorganische Bodenbestandteile. Z. Pflernahr. Düng. 73:40-48.
- Sims, J. R. And Bingham, F.T., 1967. Retention of Boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: I. Layer silicates. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 728-732
- Singer, A., 1989. Minerals in Soil Environment Soil Science Society at America Book series. 2. Edition
- Singh, M., 1971. Equilibrium adsorption of boron in soils and clays Geoderma 5:209-217.
- Su, C., ve Suarez, D.L., 1997. Boron Sorption and Release by allophone. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:69-77
- Tüzüner, A., 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuarları El Kitabı. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Gen. Müd. Ankara.

