

## Kireçli Anamateryal Üzerinde Oluşan Topraklarda Çinko Adsorpsiyonu ve Toprak Özellikleriyle İlişkileri

Bilal KAYA<sup>1</sup>, Veli UYGUR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta

Sorumlu yazar: [veliuygur@isparta.edu.tr](mailto:veliuygur@isparta.edu.tr)

Geliş tarihi: 27.06.2019, Yayına kabul tarihi:17.09.2019

**Özet:** Çinkonun (Zn) toprak bileşenleri tarafından kuvvetli şekilde adsorpsiyonu, çözünmeyen katı fazların çökmesi ve şelatlayıcı ajanların yetersizliği bitkilerin alabileceği formlarda bulunan Zn miktarının düşük olmasına neden olmaktadır. Ancak her bir toprak kendine özgü karakteristikler göstererek farklı mekanizmalarla topraklarda Zn yarayırlılığının düşük olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada farklı toprakların Zn adsorpsiyon karakteristiklerini, yarayırlı Zn içeriği düşük olan toprak örneklerinin yapılacak gübrelemeye olan tepkilerini ve potansiyel kirlilik durumlarında Zn'nin hareketliliğini Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi ile belirlemek amaçlanmıştır. Atabey Ovası'ndan yarayırlı Zn içeriği düşük olan 24 farklı toprak örneği alınarak bu topraklarda Zn adsorpsiyonu, "batch adsorpsiyon" tekniği ile belirlenmiştir. 2 g toprak örneği ile 0, 10, 25, 50, 100, 150, 200 ve 300 mg Zn L<sup>-1</sup> içeren 25 mL 0.01 M CaCl<sub>2</sub> çözeltisi 20±2°C sabit sıcaklıkta 24 saat dengeye getirilmiştir. Elde edilen adsorpsiyon verilerinin izoterm modellerine uygunluğu regresyon analizleri ile test edilmiştir. Ayrıca toprakların tanımlayıcı özellikleri ile sorpsiyon parametreleri arasındaki ilişkiler Pearson korelasyonu kullanılarak incelenmiştir. Toprakların hesaplanan Langmuir adsorpsiyon maksimumlarının 1527-3448 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Korelasyon analizleri toprakların maksimum adsorpsiyonunun organik madde, kireç, kil içeriğiyle ilgili özellikler, pH ve oksit minerallerinin farklı fraksiyonları ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak topraklarda Zn hareketliliği, yarayırlılığı ve ilave edilen Zn nin katı-sıvı faz arasındaki dağılımı toprak özelliklerinin ortak etkisi sonucu ortaya çıktığı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çinko, adsorpsiyon, toprak özellikleri, Atabey Ovası, Langmuir ve Freundlich izotermi

### Zinc Adsorption and Relations with Soil Properties in Soils Forming on Calcareous Parent Material

**Abstract:** The plant-available zinc (Zn) in soil solution remains insufficient for optimal plant growth due to the strong adsorption of zinc by the soil components, the precipitation of Zn as insoluble solid phases and the presence of inadequate chelating agents. However, each soil causes the zinc availability to be low in the soil solution by means of different mechanisms due to its own specific physicochemical characteristics. The aims of this study are: i) to determine the zinc adsorption characteristics of the experimental soils, ii) to determine the potential response of Zn-deficient soils to Zn fertilization and iii) to determine the mobility of zinc in the soils under extreme Zn loading by Langmuir and Freundlich adsorption isotherms. Zinc adsorption was determined by batch adsorption technique in 24 different Zn-deficient soil samples from Atabey Plain, Isparta, Turkey. 25 mL of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> solution containing 0, 10, 25, 50, 100, 150, 200, and 300 mg Zn L<sup>-1</sup> were equilibrated with 2 g of soils at a constant temperature of 20°C for 24 h. The appropriateness of the obtained adsorption data to the isotherm Langmuir and Freundlich models were tested by regression analysis. The relationships between the descriptive properties of the soils and the sorption parameters were revealed by Pearson correlation analysis. It was determined that the Langmuir adsorption maxima of the soils ranged between 1527-3448 mg kg<sup>-1</sup>. Correlation analyses revealed that the maximum adsorption of soils is associated with organic matter, lime, clay content, pH, and different geochemical fractions of oxide minerals. As a result, Zn mobility, availability and solid-solution partition of added Zn in the soil can be a result of the cooperative effects of soil properties.

**Keywords:** Zinc, adsorption, soil properties, Atabey plain, Langmuir and Freundlich isotherms

## Giriş

Toprak oluşumu sırasında kalsifikasyon sürecinin etkin olduğu topraklarda toplam çinko (Zn) diğer topraklarla kıyaslandığında benzer olmakla birlikte kireçli topraklarda Zn yetersizliği sık rastlanan bir bitki beslenme problemidir (Uygur, 1998; Lindsay, 2001; Hacisalihoğlu ve ark., 2003). Bu durum genellikle bu toprakların yüksek pH'lı, düşük organik maddeli, aktivitesi yüksek kil fraksiyonu ve oksit minerallerin bulunuşu ile ilişkilendirilmektedir (Tisdale ve ark., 1985). Türkiye'de yaygın olduğu gibi kireçli anamateryal üzerinde kalsifikasyon sürecinin başat etkisiyle oluşan topraklarda Zn noksanlığı önemli bir bitki besleme problemidir. Nitekim Eyüpoğlu ve ark. (1996), Ülkemizde tarım topraklarının yaklaşık % 50'sinin Zn bakımından fakir olduğunu özellikle Konya Ovası'nda söz konusu oranın % 90'a ulaştığı bildirmiştir. Bu bağlamda her bir toprak kendine özgü karakteristikler göstererek farklı mekanizmalarla topraklarda Zn yarayışlılığının düşük olmasına neden olmaktadır. Zn' nin bitkiye yarayışlılıkları farklı olan topraktaki bulunuş formlarının azalan yarayışlılık esasına göre; 1- Toprak çözeltisinde organik veya organik formda kompleksleşmiş, 2- Reaktif toprak bileşenlerinin değişim yüzeylerine bağlanmış olarak, 3- Organik maddeyle kompleksleşmiş, 4- Fe, Al, Mn oksit veya hidroksitlerce oklüde olmuş ve 5- Birincil ve ikincil minerallerin içinde tutulmuş fraksiyonlar şeklinde olduğu bildirilmiştir (Jenne, 1968).

Gübre ile ilave edilen Zn'nin toprak bileşenleri ile olan reaksiyonlarında alkali topraklarda kil ve kireç miktarının (Reyhanitabar ve ark., 2011; Ghiri ve ark., 2012), nötr karakterli topraklarda organik maddenin; asit karakterli topraklarda ise oksit minerallerinin etkin olduğu bildirilmiştir (Covelo ve ark., 2004). Diğer taraftan kireçli topraklarda yapılan adsorpsiyon ve kademeli ekstraksiyon çalışmaları Zn'nin esas itibariyle bakiye fraksiyonda bulunduğunu, bunu sırasıyla organik bağlı, demir, mangan oksitlere bağlı, karbonatlara bağlı ve değişebilir Zn

fraksiyonlarının takip ettiği belirlenmiştir (Chittamart ve ark., 2016).

Tarımsal pratik olarak yapılabilecek olan organik madde uygulamalarının zamana bağlı olarak kireçli topraklarda zamanın ve derinliğin fonksiyonu olarak Zn yarayışlılığını etkilediği bildirilmiştir (Rasheed ve ark., 2017). Benzer şekilde alkali topraktan organik maddenin uzaklaştırılması neticesinde Zn sorpsiyonunun arttığı bildirilmiştir (Azouzi ve ark., 2015) ki bu hem organik maddenin şelatlayıcı etkisini hem de organo-mineral yapıların göreceli düşük adsorpsiyon kapasitesinin bir sonucudur. Karbonatların ve oksitlerin kireçli topraklarda etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmada Zn adsorpsiyonunun kirecin uzaklaştırılmasıyla %83-98; oksitlerin uzaklaştırılmasıyla %85-99 oranında azaldığı belirlenmiştir (Antoniadis ve ark., 2018).

Zn yarayışlılığının düşük olmasında gerek toprak gerekse gübre ile uygulanan Zn' nin toprak bileşenleri tarafından kuvvetli şekilde adsorpsiyonu, çözünmeyen katı fazlar şeklinde çökmesi ve şelatlayıcı ajanların yetersizliğine bağlı olarak çözelti fazında ya da bitkilerin alabileceği formlarda az bulunmasıdır. Bu çalışmanın amacı yapılan analizler neticesinde yarayışlı Zn içeriği düşük olan toprak örneklerinin yapılacak gübrelemeye olan tepkilerini ve potansiyel kirlilik durumlarında Zn' nin hareketliliğini adsorpsiyon Langmuir and Freundlich izotermi ile belirlemektir. Aynı zamanda izoterm parametrelerinin toprak özellikleri ile olan ilişkilerini Pearson korelasyon analizleri ile ortaya koymaktır.

## Materyal ve Metot

### *Toprak örnekleme ve tanımlayıcı analizler*

Atabey Ovası kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş, farklı fizyografik ünitelerin belirli elementlerin toplam ve yarayışlı miktarlarının belirlenmesinde ve diğer özelliklerin şekillenmesinde kritik öneme sahip olduğu Entisol, İnseptisol, Mollisol ve Vertisol ordosunda sınıflandırılan (Akgül ve ark., 2001) topraklardan meydana gelmektedir. Bu

toprak gruplarından daha önce yapılan çalışmalarda (Durgun ve ark., 2017) yarayışlı Zn konsantrasyonu düşük olduğu belirlenen farklı özelliklerdeki 24 yüzey toprağı (0-20 cm) örneğı kullanılmıştır. 2 mm'den elenen hava kuru toprak örneklerinde tekstür, pH ve elektriksel iletkenlik (1:2.5 toprak su karışımı), kireç eşdeğeri, organik madde, yarayışlı fosfor, amonyum asetat ile ekstrakte edilebilen Ca, Mg, Na ve K, DTPA ile ekstrakte edilebilen Cu, Fe, Mn ve Zn gibi rutin verimlilik analizleri Kacar (2012)' de bildirilen yöntemlerle yapılmıştır. Topraklardaki seskioksit miktarları jeokimyasal olarak fraksiyonlanmış ve serbest Mn oksitler (MnOx) hidroksil amonyum klorit ekstraksiyonu ile (Shuman, 1985); amorf Fe ve Mn oksitler (AFeOx ve AMnOx) 0.2 M oksalat tamponu ile (Shuman, 1985); toplam Fe (TotFeOx), Mn (TotMnOx) ve Zn konsantre HNO<sub>3</sub>-HCl karışımı (3:1 v/v) ile çözülerek (Hossner, 1996) elde edilen süzüklerin element içerikleri ICP-OES (Perkin Elmer Optima 2100) ile belirlenmiştir.

#### Adsorpsiyon Çalışması

Adsorpsiyon çalışmasında 2 mm'den elenmiş toprak örneklerinden 2 g tartılarak üzerine 0, 10, 25, 50, 100, 150, 200 ve 300 mg L<sup>-1</sup> Zn içeren (Zn (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6.H<sub>2</sub>O'den hazırlanmıştır) 25 mL 0.01 M CaCl<sub>2</sub> çözeltisi eklenerek 20±2°C sabit sıcaklıkta 24 saat süreyle sürekli çalkalanarak dengeye getirilmiştir. Süspansiyonlar 3000 devir/dakika 10 dakika santrifüj edilmiş ve sonrasında mavi band filtre kağıdından süzülerek sıvı faz ayrılmıştır. Ekstraktların Zn konsantrasyonları ICP-OES (Spectro Arcos) cihazında belirlenmiştir. Çinkonun adsorbe edilen miktarları başlangıç konsantrasyonu ile denge konsantrasyonu arasındaki farktan aşağıda verilen denkleme hesaplanmıştır.

Denkleme *S<sub>i</sub>*: adsorbe edilen miktar (mg kg<sup>-1</sup>), *C<sub>o</sub>*: Zn' nin başlangıç konsantrasyonu (mg L<sup>-1</sup>), *C<sub>e</sub>*: Zn' nin denge konsantrasyonu (mg L<sup>-1</sup>), *V*: çözelti hacmi, *W*: denemede kullanılan toprağın ağırlığı (g) dir.

$$S_i = \frac{(C_o - C_e) \times V}{W}$$

Çizelge 1. Deneme topraklarının bazı fiziko-kimyasal özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri  
Table 1. Descriptive statistics of physico-chemical parameters of the experimental soils

Toprak Özellikleri	Değişim aralığı	Min	Maks	Ort.	Std. hata	Std. Sap	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
TopZn (mg kg <sup>-1</sup> )	49.3	40.69	89.95	61.39	2.05	10.04	100.86	0.85	2.43
OM (%)	2.35	1.00	3.35	1.75	0.12	0.59	0.35	0.88	0.84
Kireç (%)	34.9	0.66	35.57	7.79	1.95	9.57	91.5	1.9	3.13
KDK (cmol kg <sup>-1</sup> )	44.2	17.1	61.3	36.25	1.97	9.64	92.98	0.74	1.23
pH	1.19	6.78	7.97	7.61	0.07	0.36	0.13	-1.22	-0.04
EC (µS cm <sup>-1</sup> )	367	123	490	286.02	23.5	115.1	13249.1	0.23	-1.23
Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	33.9	8.1	42	26.12	1.71	8.37	70.06	-0.24	-0.51
K (cmol kg <sup>-1</sup> )	2.58	0.48	3.06	1.43	0.15	0.72	0.51	0.91	-0.31
Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	11.6	1.41	13.02	4.81	0.58	2.86	8.19	1.3	1.87
Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.75	0.05	0.8	0.55	0.04	0.22	0.05	-1.48	1.11
P (mg kg <sup>-1</sup> )	64.3	2.5	66.75	17.27	3.05	14.96	223.7	1.98	4.59
Kum (g kg <sup>-1</sup> )	669	5.7	674.8	340.44	33.28	163.06	26589.4	-0.11	0.16
Silt (g kg <sup>-1</sup> )	259	136.8	395.7	223.37	15.61	76.49	5850.4	0.99	-0.23
Kil (g kg <sup>-1</sup> )	536.9	166.7	703.6	436.21	25.88	126.8	16077.4	0.22	0.52
MnOx (mg kg <sup>-1</sup> )	159	80	239	175.63	9.03	44.23	1956.3	-0.18	-0.60
AMnOx (mg kg <sup>-1</sup> )	132	36	168	89.54	6.95	34.06	1160	0.62	-0.33
TotMnOx (mg kg <sup>-1</sup> )	1922	290	2212	540.83	84.95	416.16	173193	3.45	12.35
AFeOx (mg kg <sup>-1</sup> )	5757	1017	6774	2102.1	243.2	1191.6	1419847	2.92	10.34
TotFeOx (mg kg <sup>-1</sup> )	10989	12753	23742	18750	580.9	2845.9	8099403	-0.54	0.07

N=24 için çarpıklığın standart hatası 0.47 dir

N= 24 için basıklığın standart hatası 0.92 dir.

\* Detaylı toprak analizleri için Kaya (2018)'e bakınız.

Elde edilen verilerin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerine uygunlukları regresyon analizi ile test edilmiştir. Araştırmada kullanılan Langmuir ve Freundlich modelleri sırasıyla aşağıda verilmiştir:

$$C_e/S_i = C_e/b + 1/Kl*b$$

Denklemden  $S_i$  birim miktar toprağın adsorbe ettiği Zn miktarı ( $\text{mg kg}^{-1}$ ),  $C_e$  denge koşullarındaki çözeltinin Zn konsantrasyonu ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $Kl$  ve  $b$  sırasıyla bağlanma enerjisi ve maksimum adsorpsiyonla ilgili katsayıdır.

$S_i = K_f C_e^{1/n}$  şeklinde verilen Freundlich izotermi log tabanlı olarak aşağıdaki gibi lineer hale dönüştürülebilir:

$$\log(S_i) = \log K_f + 1/n \log C_e$$

$S_i$  birim miktar toprağın adsorbe ettiği iyon miktarı ( $\text{mg kg}^{-1}$ ),  $C_e$  denge konsantrasyonu ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $K_f$  ve  $n$  ise katsayıdır.

Gerektiğinde regresyon hattının determinasyon katsayısını yükseltmek için toprakların sahip olduğu toplam Zn miktarı kullanılarak modellerde modifikasyon yapılmıştır.

### **Verilerin değerlendirilmesi ve istatistiksel analizler**

Toprakların tanımlayıcı özellikleri ve adsorpsiyon parametrelerine yapılan temel tanımlayıcı istatistiksel analizler neticesinde normal dağılım göstermeyen, çarpıklık değeri  $> 2$  Çarpıklığın standart hatası (Berkman ve Reise, 2012), pozitif çarpıklığa sahip olanlara  $\sqrt{x}$  ya da log, negatif çarpıklığa sahip olanlara  $1/\sqrt{x}$  ya da  $1/\log$  transformasyonu uygulanarak veri setlerinde çarpıklık gösteren parametreler normal dağılıma yaklaştırılmıştır. Toprak özellikleri ve adsorpsiyon parametreleri arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir.

### **Bulgular ve Tartışma**

#### **Toprak özellikleri**

Toprakların rutin olarak belirlenen verimlilik parametreleri ile bazı jeokimyasal oksit fraksiyonlarına ait tanımlayıcı

istatistiksel analizler Çizelge 1'de verilmiştir. Toprak örneklerinin özellikleri detaylı olarak Kaya (2018)'de bildirilmiştir. Topraklarda Zn'nin yayınlılığını ve adsorpsiyonunu birincil derecede etkileyebilen pH, kireç, KDK, seskioksit fraksiyonları, kil içeriği gibi parametreler oldukça geniş sınırlar içerisinde değişim göstermektedir. Toprak özelliklerinden pH yüksek derecede negatif çarpıklık göstermektedir ki bu pH değerinin H konsantrasyonunun  $-\log$  alınmasıyla ilişkilidir. Diğer yüksek negatif çarpıklık gösteren Na ise topraklarda genelde yıkanma eğilimi göstermesiyle ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Çarpıklık değeri 0.94' ün üzerinde olan ( $2*0.47$ ) toprak özellikleri kireç, Mg, P, TotMnOx ve AFeOx'tir. Yöre topraklarında yapılan çalışmalarda toprakların P içeriğinin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir (Durgun ve ark., 2017; Akgül ve ark., 2001). Yüksek çarpıklık aşırı gübrelemeye bağlı olarak yayınlı P miktarındaki artışa işaret etmektedir. Mangan ve Fe oksitler ise toprak oluşumu sırasında göreceli olarak toprakta birikme eğilimi gösterdiğinden (Usta, 1995) ve bu elementlerle ilgili gübreleme yörede sıklıkla yapıldığından daha belirgin bir artış eğilimiyle en yüksek çarpıklık değerlerine sahip olmuştur.

#### **Adsorpsiyon İzoterm Parametreleri**

Araştırma topraklarının Zn adsorpsiyon izotermi her iki model ile başarı ile tanımlanmıştır (Çizelge 2). Ortalama  $R^2$  değerleri karşılaştırıldığında Langmuir izotermine 0.981 ile Freundlich izotermine göre bir parça daha iyi olduğu ( $R^2$  0.966) değerlendirilebilir.

Çizelge 2 incelendiğinde Freundlich  $1/n$  parametresi 0.312 ile 0.545 arasında değişmekte olup ortalamasının 0.414 olduğu görülmektedir. Çarpıklık değerinin 0.585 olması genel olarak homojen bir frekans ile simetrik bir dağılıma yakın olmakla beraber hafif sağa çarpıklığı belirtmektedir.  $K_f$  parametresi ise 3.037-2.437 arasında değişmektedir.

Çizelge 2. Toprakların Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm parametrelerinin bazı tanımlayıcı istatistikleri

Table 2. Descriptive statistics of Langmuir and Freundlich isotherms' parameters for experimental soils

Parametre	Freundlich izotermi			Langmuir izotermi			
	1/n	Kf	R <sup>2</sup>	Kl	b	R <sup>2</sup>	Mak ads (mg kg <sup>-1</sup> )
Maksimum	0.545	3.037	0.890	0.0033	0.0007	0.995	3448
Minimum	0.312	2.437	0.990	0.0002	0.0003	0.960	1527
Ortalama	0.414	2.777	0.966	0.0012	0.00046	0.981	2321
Std sapma	0.055	0.165	-	0.0009	0.0001	-	571
Varyans	0.003	0.0271	-	9.10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	-	326166
Çarpıklık	0.585	-0.608	-	1.149	0.327	-	0.445

N=24 için çarpıklığın standart hatası 0.47 dir.

N= 2 için basıklığın standart hatası 0.92 dir

\* Adsorpsiyon parametrelerinin detayı için Kaya (2018)'e bakınız.

Langmuir Kl parametresi 0.0002 ile 0.003 arasında değişmekte olup ortalamasının 0.00117 (Çizelge 2) olduğu görülmektedir. Çarpıklık değerinin 1.149 olması ayrıca çarpıklık standart hatasının iki katından büyük olması nedeniyle genel olarak normal dağılım göstermeyen ve soldan çarpık bir frekans dağılımı söz konusudur. Bu durum toprağın gerek oluşum sürecinde gerekse toprak amenajmanında Zn girdisiyle ilişkili olabilir. Zira toprakta kil ve oksit mineralleri gibi Zn' ye ilgisi yüksek yüzeylerin bulunması bağlanma enerjisi ile ilgili katsayıyı azaltırken (zira denklemde 1/kb şeklindedir); hafif bünyeli adsorpsiyon kapasitesi düşük ve organik maddesi yüksek olan topraklarda meydana gelen şelatlaşma reaksiyonları nedeniyle (Lindsay, 2001; Melo ve ark., 2015) çözeltilerindeki konsantrasyonunun artması yüksek çarpıklığa neden olabilir. Zira bu parametre Zn'nin 0 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunun Langmuir izoterm denkleminin C/Si eksenini kestiği değerdir ki bu orijinal toprakta çözeltilerine desorbe olan Zn miktarını göstermektedir. Piri et al. (2019) 200 ve 500 mg L<sup>-1</sup> humik asit uygulamasının 3 toprakta Kl parametresini kararlı bir şekilde (4-7 kata kadar) arttırdığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte organik asitlerin etkisi metallerin topraktaki konsantrasyonu ile ilişkili olarak toprak çözeltilerindeki miktarını artırma ya da azaltma yönünde olabilmektedir (Melo ve

ark., 2015; Taghliabad ve Sepehr, 2017; Piri ve ark., 2019). Bu etki genelde düşük konsantrasyonlarda pozitif yönde olurken; yüksek konsantrasyonlarda negatif yönde gerçekleşmektedir (Nascimento, 2006; Ding ve ark., 2008, 2014; Vesely ve ark., 2011).

#### *İzoterm Parametreleri ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler*

Toprak özellikleri ile Freundlich ve Langmuir izotermelerinden elde edilen izoterm parametreleri ile toprak özellikleri arasındaki korelasyon ilişkileri Çizelge 3'de verilmiştir. Adsorpsiyon izotermelerinden Freundlich n parametresinin birçok toprak özelliğiyle önemli ve çok önemli düzeyde korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Freundlich 1/n parametresi adsorpsiyon yoğunluğunu (adsorplama gücü) gösteren bir parametredir. Diğer taraftan doğrusal izotermde elde edilen doğrunun eğimini göstermesi sebebiyle eğimin büyük olması güçlü tutulmayı hatta çok yüksek eğimler çökeltmeyi ifade etmektedir.

Freundlich 1/n parametresi ile toprakların kil (0.659\*\*), Ca (0.661\*\*), kireç (0.496\*) ve mangan oksit içeriği (0.504\*), KDK (0.560\*\*) ve elektriksel iletkenlik (0.490\*) özellikleri önemli pozitif ilişkiler; kum içeriği (-0.683\*\*), organik madde (-0.497\*) ve amorf Fe oksitlerle (0.436\*) ise negatif korelasyonlar belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. İzoterm parametreleri ile toprak özellikleri arasındaki Pearson korelasyonları  
 Table 3. Pearson correlation coefficients between the isotherm parameters and soil properties

Özellik	Freundlich		Langmuir		Özellik	Freundlich		Langmuir	
	1/n	Kf	Kl	b		1/n	Kf	Kl	b
Top-Zn	0.288	0.087	-0.045	0.105	P	-0.280	0.428*	-0.361	-0.379
OM	-0.497*	-0.413*	0.298	0.430*	Kum	-0.683**	-0.504*	0.484*	0.247
Kireç	0.496*	0.716**	-0.634**	-0.764**	Silt	0.385	0.405*	-0.424*	-0.208
KDK	0.560**	0.495*	-0.407*	-0.292	Kil	0.659**	0.401	-0.363	-0.191
pH	0.266	0.836**	-0.770**	-0.822**	MnOx	0.504*	0.267	-0.322	-0.162
EC	0.490*	0.836**	-0.735**	-0.654**	AMnOx	-0.219	0.045	-0.008	0.107
Ca	0.661**	0.849**	-0.781**	-0.734**	TotMnOx	-0.111	0.217	-0.217	-0.289
K	0.111	0.502*	-0.509*	-0.290	AmFeOx	-0.436*	-0.397	0.387	0.216
Mg	-0.052	0.469*	-0.346	-0.424*	TotFeOx	-0.086	-0.413*	0.311	0.496*
Na	-0.295	-0.325	0.201	0.136					

Benzer şekilde Davis-Carter ve Shuman (1993), Karimian ve Moafpouryan (1999), Krishnasamy ve Mathan (2001), Ghiri ve ark. (2012), Jalali ve Zinli (2012) ve Chittamart ve ark. (2016); Zn adsorpsiyonunda kil, KDK, Ca ve kireç içeriğinin önemli etkiye sahip olduğunu belirterek bu özellikleri adsorpsiyon mekanizmasının belirleyici parametreleri arasında saymışlardır.

Kil, -dolaylı olarak kil miktarı ve tipinin göstergesi olan KDK, topraklarda yüksek Ca doyumluğu, vb.- geniş yüzey alanı ile hem spesifik hem de yüksek konsantrasyonlarda iyon değişimi mekanizmaları ile Zn'yi adsorbe edebilmektedir. Amonyum asetatla ekstrakte edilebilir Ca ile yüksek ilişki, Ca'nın kireçli anamateryal üzerinde oluşan topraklarda yüksek doyumlukta bulunması nedeniyle kil içeriğini dolaylı olarak gösterirken; diğer taraftan toprak çözeltisindeki Ca miktarını tamponlayıcı etkisi nedeniyle kirecin çözünmesini baskıladığından özellikle çökeltme reaksiyonlarının oluşumunu azaltabileceği değerlendirilmektedir. Nitekim yapılan çalışmalarda kireçli topraklarda ilave edilen Zn'nin önemli bir kısmının karbonatlar/hidroksi karbonatlar şeklinde çökelebildiğini göstermektedir (Uygur, 1998; Uygur ve Rimmer, 2000). Bu durumda toprak çözeltisine karbonat iyonlarının sağlanması söz konusu çökeltme reaksiyonları açısından son derece önemlidir. Diğer taraftan kireçli topraklarda EC' nin önemli bir kısmı karbonatların çözünmesinden kaynaklandığı da bilinen bir

durumdur. Bu bağlamda Reyhanitabar ve ark. (2007) kireçli topraklarda yaptıkları Zn adsorpsiyon çalışmalarında aktif kireç ve kalsiyum karbonat eşdeğeri ile yüksek korelasyonlar belirlemiştir. Topraklarda Mn oksitler çok küçük miktarlarda bulunsalar da redoks reaksiyonları neticesinde sürekli çözünüp çökelmeleri amorf yapıda olmalarına, nispeten çok geniş yüzey alanına sahip olmalarına ve dolayısıyla yüzeydeki kararsızlıklar nedeniyle Zn vb. iyonların adsorpsiyonunda önem kazanmalarına neden olmaktadır. Alkalin topraklarda Zn, Fe ve Cu' nun Mn oksit fraksiyonlarında yüksek miktarlarda bulunduğu bildirilmiştir (Sims ve Partrick, 1978; Rivero ve ark., 1999). Hussain ve ark. (2011), redoks reaksiyonlarının organik madde ilavesi ile tetiklendiği kireçli topraklarda Zn salınımında Fe/Mn oksitlerin önemli bir kontrol mekanizması olduğunu bildirmiştir. Diğer taraftan kum içeriği yüksek toprakların değişim yüzeylerinin sınırlı olmasıyla ilişkili olarak yüksek negatif korelasyon elde edilmiştir ki adsorpsiyon yüzeylerinin az olması bu davranışta kritik öneme sahiptir. Nitekim Baghernejad ve ark. (2016) kireçli topraklarda kum içeriği ile adsorpsiyon parametreleri arasında negatif korelasyonlar bildirmiştir. Topraktaki organik madde miktarı arttıkça Zn'in çözelti konsantrasyonu da artarken ilave edilen Zn'nin adsorpsiyonu azalmaktadır. Bunun nedeni organik maddenin toprakta Zn'yi şelatlaması olabilir. Ayrıca şelatlanan Zn'nin diğer elementler ile ve yüzeylerle reaksiyona girmesi de önlenmektedir. Birçok araştırmacı,

organik madde ile Zn yarayırlılığı arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirlemiştir (Covelo ve ark., 2004; Courtney ve Mullen, 2008; Özdemir ve ark., 2016; Rasheed ve ark., 2017). Diğer taraftan organik maddenin etkisi pH'ya bağlı olarak değişim göstermekte (Azouzi ve ark., 2015), hem Zn ile hem de kil mineralleri ile oluşturduğu organo-mineral kompleksler sebebiyle adsorpsiyonu etkilemektedir (Spark ve ark., 1997).

Freundlich  $K_f$  parametresi izoterm  $X$  eksenini yani adsorpsiyon eksenini kestiği değer olup adsorbent adsorplama kapasitesiyle ilişkilidir. Toprakların pH (0.836\*\*), EC (0.836\*\*), Ca içeriği (0.849\*\*), silt içeriği (0.405\*) ve KDK (0.495\*) ile  $K_f$  değeri arasında önemli pozitif ilişki bulunmaktadır. Bu durum adsorpsiyon kapasitesini belirleyen başlıca etmenlerin pH, EC, kalsiyum içeriği ve katyon değişim kapasitesi olduğuna işaret etmekte ve bu değerlerin artması adsorpsiyonu da artıracağı, çinkonun çözelti yarayırlılığının azalmasında etkili olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca toprakların kireç içeriği (0.716\*\*), magnezyum (0.469\*\*), potasyum (0.502\*) ve fosfor içerikleriyle (0.428\*) de  $K_f$  parametresinin  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemli pozitif ilişki bulunmuştur. Değişebilir iyonların miktarının izoterm parametreleri üzerine etkisinin KDK ve kil minerallerinin miktarı üzerinden dolaylı olduğu düşünülmektedir. Zira söz konusu elementlerden K'nın direk olarak Zn ile herhangi bir reaksiyonu bildirilmemiştir. Ancak Krisnasamy ve Mathan (2001) yaptıkları çalışmada iz (path) analizi ile adsorpsiyon parametrelerine kil minerallerinin direk etkiye sahip olduğu, KDK'nın ise dolaylı etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Nitekim mevcut çalışmada kil miktarının yüksek olması KDK'nın yüksek olmasını, KDK'nın yüksek olması değişebilir Ca, Mg ve K'nın da yüksek olmasını beraberinde getirmektedir. Diğer taraftan toprakların kum (-0.504\*), organik madde (-0.413\*) ve toplam demir oksit (-0.413\*) içerikleriyle Freundlich  $K_f$  değeri arasında  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemli negatif ilişki bulunmuştur.

Adsorpsiyon izotermelerinden Langmuir  $K_l$  (bağlanma enerjisi) parametresi ile pH (-

0.770\*\*), EC (-0.735\*\*), Ca içeriği (-0.781\*\*) ve kireç içeriği (-0.634\*\*) arasında  $p \leq 0.01$  seviyesinde önemli negatif ilişkiler belirlenmiştir. Bu durum Langmuir  $K_l$  değeri bağlanma enerjisi ile ilgili bir katsayı olup sisteme herhangi bir Zn ilavesi olmadığı durumda  $Y$  eksenini kestiği noktadaki adsorpsiyon değeriyle ters orantılıdır. Bu durumda söz konusu değer Zn'in kuvvetli bir şekilde bağlanmasında etkin olan ya da toprak çözeltisindeki bulunan Zn miktarını azaltan faktörlerle pozitif korelasyon ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde toprak çözeltisindeki konsantrasyonu azaltan Zn'ye karşı ilgisi yüksek olan toprak özellikleriyle de negatif korelasyonlar söz konusudur. Nitekim katyon değişim kapasitesi (-0.407\*), potasyum içeriği (-0.509\*) ve silt miktarı (-0.424\*) ile de  $K_l$  parametresinin  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemli negatif ilişki bulunmuştur. Singh ve Takkar (1981) Zn çözünürlüğünün büyük ölçüde, bu çalışmadaki bulgulara benzer şekilde, pH ve kil içeriği ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. İlâveten, özellikle alkalın pH'larda da söz konusu kil ve kirecin etkisinin daha da belirgin olduğunu rapor etmişlerdir. Diğer taraftan toprakların kum içerikleriyle (0.484\*) Langmuir  $K_l$  değeri arasında  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemli pozitif ilişki bulunmuştur. Bu durum kum fraksiyonunun Zn adsorpsiyon yüzeyi olarak önemsiz olduğuna ancak Zn'ye ilgisi fazla olan yüzeylerle olan sistematik ters ilişkisi nedeniyle, kum fraksiyonun topraklardaki miktarının dolaylı bir etkiye sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Toprakların pH (-0.822\*\*), EC (-0.654\*\*), Ca (-0.734\*\*) ve kireç içeriği (-0.764\*\*) ile Langmuir  $b$  değeri arasında  $p \leq 0.01$  seviyesinde önemli negatif ilişki bulunmaktadır. Bu durum  $b$  parametresinin, ki toprağın maksimum adsorpsiyon kapasitesinin hesaplanmasında  $1/b$  olarak kullanılır, yüksek pH, EC, Ca ve kireç içeriği koşullarında küçüldüğünü ya da toprağın maksimum adsorpsiyon kapasitesinin arttığını göstermektedir. Yüksek pH koşullarında yüksek miktarlarda bulunan Ca, Mg gibi katyonların yüksek olması aslında toprağın kil içeriğinin yüksek olmasını da beraberinde getirmektedir. Bu

ise toprağın daha fazla Zn adsorbe etmesi sonucunu doğurmakta ve daha küçük *b* değerlerinin elde edilmesine neden olmaktadır. Ayrıca toprakların magnezyum içerikleriyle (-0.424\*) de *b* parametresinin  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemli negatif ilişki bu bağlamda değerlendirilebilir. Bu elementlerle ilgili potansiyel çökeltme reaksiyonları da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Diğer taraftan toprakların organik madde (0.430\*) ve toplam demir oksit (0.496\*) içerikleriyle Langmuir *b* değeri arasında  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemli pozitif ilişki bulunmuştur. Bu durum organik madde arttıkça adsorpsiyon azalmakta ve *b* değeri yükselmektedir. Demir oksitler aslında son derece yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip toprak bileşenleridir. Ancak bunların topraklarda bulunuş şekline bağlı olarak Zn adsorpsiyonu farklılıklar gösterebilmektedir (Uygur, 1998). Oksit mineralleri fazla olduğu zaman kil ve karbonatların yüzeyini kaplayabilmektedir (Uygur ve Rimmer, 2000). Bu da *b* değerinin artması sonucunu doğurmaktadır. Zira Fe oksitlerin kil taneciklerinin agregatlaşmasında ve yüzey alanının azalmasında önemli bir etkisi bulunmaktadır. Diğer taraftan Fe (II ve III) iyonunun kireçli topraklara dahil olması kireç yüzeyinde Fe oksit kaplamasına neden olmakta bu durum ilave edilen (Loeppert ve Hossner, 1984) Zn' nin adsorpsiyonu sırasında açığa çıkan H iyonlarının tamponlanmasının önüne geçmekte ve bu şekilde adsorpsiyonu azaltıp *b* değerini yükseltebilmektedir.

### Sonuç

Toprak özelliklerinin değişken olduğu kireçli anamateryal üzerinde oluşmuş Mollisol, Vertisol, Entisol ve İnceptisol büyük toprak grubuna ait toprakların Zn adsorpsiyon verilerinin hem Langmuir hem de Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri ile başarılı bir şekilde tanımlanabildiği her iki modelin de bir birine oldukça yakın performans gösterdiği belirlenmiştir.

Toprakların Langmuir adsorpsiyon izoterminden elde edilen maksimum Zn adsorpsiyon miktarlarının 1527 ile 3448 mg/kg arasında değişim gösterdiği

belirlenmiştir. Toprakların maksimum Zn adsorpsiyonu hesaplanmasında kullanılan Langmuir *b* parametresiyle organik madde ve toplam Fe oksit miktarı pozitif ilişkili; pH, EC ve Ca miktarı ile ise negatif ilişkili olduğu belirlenmiştir. Çinko izoterm parametrelerinde belirleyici toprak özelliklerinin organik madde, kireç, kil miktarı ve ilgili diğer toprak özellikleri, Fe/Al oksit minerallerinin miktar ve fraksiyonlarının olduğu gözlenmiştir. Bu durum topraklarda Zn'nin yararışlılığının kontrol edilmesinde, diğer özelliklerin değiştirilebilmesinin çok zor olması nedeniyle, özellikle Zn gübrelemesi ile organik madde uygulamalarının kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından 5066-YL1-17 nolu yüksek lisans projesi kapsamında desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- Akgül, M., Başayığit, L., Uçar, Y., Mücdeci M., 2001. Atabey Ovası Toprakları. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, 15 (1), 71, Isparta.
- Antoniadis, V., Shaheen, S.M., Tsadilas, C.D., Selim, M.H., Rinklebe, J., 2018. Zinc Sorption by Different Soils as Affected by Selective Removal of Carbonates and Hydrous Oxides. Applied Geochemistry 88: 49-58.
- Azouzi, R., Charef, A., Hamzaoui, A.H., 2015. Assessment of Effect of pH, Temperature and Organic Matter on Zinc Mobility in a Hydromorphic Soil. Environmental Earth Sciences 74: 2967-2980.
- Baghernejad, M., Javaheri, F., Moosavi, A.A., 2016. Adsorption Isotherms of Some Heavy Metals under Conditions of their Competitive Adsorption onto Highly Calcareous Soils of Southern Iran. Archives of Agronomy and Soil Science 62: 1462-1473.



- Berkman, E.T. and Reise, S.P., 2012. A Conceptual Guide to Statistics Using SPSS. Sage ISO 690.
- Chittamart, N., Inkam, J., Ketrot, D., Darunsontaya, T., 2016. Geochemical Fractionation and Adsorption Characteristics of Zinc in Thai Major Calcareous Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47: 2348-2363.
- Courtney, R. and Mullen, G., 2008. Application of High Copper and Zinc Compost and its Effects on Soil Properties and Growth of Barley. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 82-95.
- Covelo, E.F., Alvarez, N., Couce, M.L.A., Vega, F.A., Marcet, P., 2004. Zn Adsorption by Different Fractions of Galician Soils. *Journal of Colloid and Interface Science* 280: 343-349.
- Davis-Carter, J.G. and Shuman, L.M., 1993. Influence of Texture and pH of Kaolinitic Soil on Zn Fraction and Uptake by Peanuts. *Soil Science Society of American Journal* 55 (6): 376-384.
- Ding, Y.Z., Song, Z.G., Feng, R.W., Guo, J.K., 2014. Interaction of Organic Acids and pH on Multi-heavy Metal Extraction from Alkaline and Acid Mine Soils. *International Journal of Environmental Science and Technology* 11: 33-42.
- Ding, Y.Z., Tang, S.R., Li, Z.A., Murray, M., 2008. Effects of Low Molecule Weight Organic Acids on Cd Solubility in Paddy and Red Soils in South China. *Research Journal of Chemistry and Environmental Sciences* 12 (1): 7-16.
- Durgun, B., Uygur, V., Durgun, B., Sukuşu, E., 2017. Isparta-Atabey Ovası Topraklarında Mikro Element Yarıyışlılığı ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Temel Bileşen Analizi ile Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi/Anadolu Journal of Agricultural Sciences* 32: 258-268.
- Eyüpoğlu, B., Kurucu, N., Talaz, S., 1996. Türkiye Topraklarının Bitkiye Yarıyışlı Bazı Mikro Element (Fe, Cu, Zn, Mn) Bakımından Genel Durumu. *Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü, Genel yayın no:127, Seri no: R-133, Ankara.*
- Ghiri, M.N., Rezaei, M., Sameni, A., 2012. Zinc Sorption-Desorption by Sand, Silt and Clay Fractions in Calcareous Soils of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58: 945-957.
- Hacisalihoglu, G., Hart, J.J., Wang, Y.H., Cakmak, I., Kochian, L.V., 2003. Zinc Efficiency Is Correlated with Enhanced Expression and Activity of Zinc- Requiring Enzymes in Wheat. *Plant Physiology* 131: 595-602.
- Hossner, L.R., 1996. Dissolution for Total Elemental Analysis. In: *Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Journal, Series No:5, Wisconsin, USA, pp. 49-64.*
- Hussain, S., Maqsood, M., Rahmatullah, A., 2011. Zinc Release Characteristics from Calcareous Soils using Diethylenetriaminepentaacetic Acid and Other Organic Acids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42: 1870-1881.
- Jalali, M. and Zinli, N.A.M., 2012. Effects of Common Ions on Zn Sorption in Some Calcareous Soils of Western Iran. *Pedosphere* 22 (2): 190-200.
- Jenne, E.A., 1968. Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn Concentration in Soils and Water: The Significant Role of Hydrous Mn and Fe oxides. In: R.A. Baker (Ed.), *Trace Organics in Water, Advances in Chemistry Series 73, pp. 337-387.*
- Kacar, B. 2012. *Toprak Analizleri. Nobel Yayınevi, Ankara.*
- Karimian, N. and Moafpouryan, G.R., 1999. Zinc Adsorption Characteristics of Selected Calcareous Soils of Iran and their Relationship with Soil Properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30 (11-12): 1721-1731.
- Kaya, B. 2018. Kireçli Anamateryal Üzerinde Oluşmuş Topraklarda Çinko Adsorbsiyonu ve Toprak Özellikleri ile İlişkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Isparta.*
- Krishnasamy, R. and Mathan, K.K., 2001.

- Path Coefficient Analysis of Zinc and Boron Adsorption in Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 465-475.
- Lindsay, W.L. and Norwell, W.A., 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of American Journal* 42: 421-428.
- Lindsay, W.L., 2001. *Chemical Equilibria in Soils*. The Blackburn Press, USA.
- Loeppert, R.H. and Hossner, L.R., 1984. Reaction of  $Fe^{+2}$  and  $Fe^{+3}$  with Calcite. *Clay and Clay Minerals* 32: 213-222.
- Melo, B.A.G., Motta, F.L., Santana, M.H.A., 2015. Humic Acids: Structural Properties and Multiple Functionalities for Novel Technological Developments. *Material Science Engineering-C* 62: 967-974.
- Nascimento, C.W.A., 2006. Organic Acids Effects on Desorption of Heavy Metals from a Contaminated Soil. *Journal of Agricultural Sciences* 63: 276-280.
- Özdemir N., Ö.T.K. Durmuş., Durmuş, M., Ekberli, İ., 2016. Organik Düzenleyici Uygulamalarının Farklı pH Düzeylerine Sahip Topraklarda Yarayışlı Çinko İçeriğine Etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 4 (2): 83 – 88.
- Piri, M., Sepehra, E., Rengelb, Z., 2019. Citric Acid Decreased and Humic Acid Increased Zn Sorption in Soils. *Geoderma* 341: 39-45.
- Rasheed, A. G., Razaq, I. B. A., Al-Kaysi, S. C. S., 2017. Organic Matter Addition and Zinc Status in Calcareous Soil of Iraq. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 48, 71-79.
- Reyhanitabar, A., Karimian, N., Ardalan, M., Savaghebi, G., Ghannadha, M., 2007. Comparison of Five Adsorption Isotherms for Prediction of Zinc Retention in Calcareous Soils and the Relationship of their Coefficients with Soil Characteristics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 147-158.
- Rivero, V.C., Masedo, M.D., De la Villa, R.V., 1999. Effect of Soil Properties on Zinc Retention in Agricultural Calcareous Soils. *Agrochimica* 43: 46-54.
- Shuman, L.M., 1985. Fractionation Method for Soil Microelements. *Soil Science* 140 (1): 11-22.
- Sims, J.L. and Patrick, Jr. W.T., 1978. The Distribution of Micronutrient Cations in Soil under Conditions of Varying Redox Potential and pH. *Soil Science Society of American Journal* 42: 258-262.
- Singh, H.G. and Takkar, P.N., 1981. Evaluation of Efficient Soil Test Methods for Zn and Their Critical Values in Salt Affected Soil for Rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 12 (4): 383-406.
- Spark, K.M., Wells, J.D., Johnson, B.B., 1997. Sorption of Heavy Metals by Mineral-Humic Acid Substrates. *Australian Journal of Soil Science* 35: 113-122.
- Taghlidabad, R.H. and Sepehr, E., 2017. Heavy Metals Immobilization in Contaminated Soil by Rape-Pruning-Residue Biochar. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64 (8): 1041-1052.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D., 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. 4th ed, Macmillan Publishing Company, New York.
- Usta, S. 1995. *Toprak Kimyası*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Uygur, V., 1998. The Sorption/Desorption Chemistry of Zn and Calcareous Soil from Turkey . Ph.D. Thesis, The Universty of Newcastle upon Tyne, UK.
- Uygur, V., Rimmer, D.L., 2000. Reactions of Zinc with Iron Oxide Coated Calcite Surfaces at Alkaline pH. *European Journal of Soil Science* 51: 511-516.
- Vesely, T., Tlustos, P., Szakova, J., 2011. Organic Salts Enhanced Soil Risk Elements Leaching and Bioaccumulation in *Pistia stratiotes*. *Plant and Soil Environmnet* 57: 166-172.