

Toprak Organik Maddesi ile Fosfor Adsorpsiyonu Arasındaki İlişkinin Langmuir Modeli ile Araştırılması

İlknur YURDAKUL^{1*}

Sadık USTA²

¹Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

²Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Ana Bilim Dalı

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail):ilknur.yurdakul@tarim.gov.tr

Geliş tarihi (Received) : 05.06.2017

Kabul tarihi (Accepted): 07.06.2017

DOI : 10.21657/topraksu.339839

Öz

Fosfor (P) bitki beslenmesinde makro besin maddesi olarak büyük bir öneme sahiptir. Toprak fosforu bünyesinde barındıran önemli bir doğal kaynaktır. Fosfor toprakta az bulunmakla birlikte çeşitli mekanizmaların da etkisindedir. Topraktaki fosforun adsorpsiyonuna etki eden özelliklerin teşhis edilmesi, fosforun bitki tarafından daha etkin kullanılmasına yardımcı olacak stratejilerin geliştirilmesine imkan sağlayacaktır. Bu amaçla, Ankara-Sarayköy (Düver Serisi) ve Şanlıurfa-Koruklu (Harran Serisi) bölgesinden alınan iki farklı toprakta, toprakların fraksiyonlarında, organik madde ile P-adsorpsiyonu arasındaki ilişki çalışılmıştır. Toprakların ve fraksiyonlarının P-adsorpsiyon maksimumları, içerisinde 0-50 mg P (KH₂PO₄) kg⁻¹ konsantrasyonları bulunan 0.01 M CaCl₂ çözeltisi ile oda sıcaklığında (25 °C) 24 saat dengeye getirilmesi ve çözeltideki P'un spektrofotometre ile okunması ile elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, P-adsorpsiyonu 124-323 mg P kg⁻¹ arasında elde edilmiştir. Her iki toprak ve bu toprakların fraksiyonlarına ait (Harran serisi kil fraksiyonu hariç) Langmuir adsorpsiyon izotermelerinde yüksek bir korelasyon (p<0.01) gözlenmiştir. Langmuir izoterminden hesaplanan yükleme enerjileri k=0.42-15.67 L mg⁻¹ P arasında ve ayırma faktörü 1-6.33x10⁻¹⁶ arasında hesaplanmış ve olayın adsorpsiyon lehinde gerçekleştiğini göstermiştir. Çalışma sonuçlarına göre organik maddenin her iki toprakta adsorpsiyon bölgelerini maskeleyerek P-adsorpsiyonunu azalttığını söylemek mümkündür. Sonuçlar ayrıca toprak mineralojisinin P adsorpsiyonunu kontrol eden önemli bir faktör olduğunu da göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, toprak fraksiyonu, fosfor, Langmuir.

Investigation of Phosphorus Adsorption and its Relationship With Soil Organic Matters, Analyzed with Langmuir Model

Abstract

Soils are a significant natural source of Phosphorus containing in macro nutrients, which is important in plant nutrition. Phosphorus is under the influence of various mechanisms with little presence in the soils. Identification of the properties that affect the adsorption of phosphorus in the soil will enable the development of strategies. This will help the plant to use phosphorus more effectively. For this purpose, Phosphorus adsorption (P-adsorption) capacity and its relationship with organic matters were studied by using two different soils (Düver and Harran series) from Ankara (Sarayköy) and Urfa (Koruklu) and fractionations of them. Adsorption values for the soil a samples and their fractionations were obtained by equilibrating the respective soil samples for 24 hours at 25°C temperature with 0.01 M CaCl₂, containing 0-50 mg kg⁻¹ of applied external P as KH₂PO₄. The results of this study showed that P-adsorption maximum of these soils and its fractionations were between 124 mg P kg⁻¹ and 323 mg P kg⁻¹. Langmuir adsorption

isotherms showed well fitness with correlation ($p < 0.01$) in all the soils and their fractionations except in removed organic matter of the Harran soil clay fractionations. The constant related to bonding energy (k) and R calculated from the Langmuir adsorption model varied from $0.42-15.67 \text{ L mg}^{-1}$ and $1-6.33 \times 10^{-16}$ which means that the event occurred in favor of adsorption. The results showed that the organic matter decreased P-adsorption, masking the adsorption sites in the soils. The further results showed that soil mineralogy is an important factor for controlling P-adsorption.

Key Words: Adsorption, soil fractions, Langmuir, phosphorus.

GİRİŞ

Doğal kaynakların tükendiği fikrinin benimsenmesi ile toprağı korumak ve verimli kullanmak önemli hale gelmiştir. Sağlıklı bitki gelişimi yeterli ve dengeli besin maddelerini barındıran toprakta olmaktadır. Fosfor (P) toprakta az bulunan ve birçok fizikokimyasal olayın etkisinde uzaklaşabilen makro besin maddesidir ve organik ve inorganik P döngüsü ile kontrol edilmektedir (Lajthal ve Harrison, 2002; Moazed vd, 2010; Wogi, 2015). Topraktaki P, adsorpsiyon/desorpsiyon, çökme/tekrar çözünme, immobilizasyon/mineralizasyon ve bitki alımı/bitki parçalanması gibi kimyasal ve biyolojik etkiler altındadır, bunların bilinmesi toprağın sürdürülebilir kullanımı için önemli olmaktadır (Campbell ve Edwards, 2001; Zhou ve Li, 2001). Sorplanmış P bitki için alınabilir forma dönebilen dolayısıyla yararlı olan P'dur, P'lu gübre ihtiyacının tahmin edilmesinde sorpsiyon izotermi anlamlı bulunmaktadır. Fosfor gübreleme yönetiminde labil ve labil olmayan fosforun bilinmesinde dolayısı ile P-adsorpsiyonunun bilinmesi yöntemin başarısında önemli olmaktadır. Yeterli gübre uygulaması yapılmadan sürekli kültüvasyon, labil P'un azalmasına ve optimum verimin elde edilmesi için daha fazla gübre uygulamasına neden olmaktadır (Fox ve Kamprath, 1970; Klages vd., 1988; Duffera ve Robarge, 1999; Khan, 2012; Tsado vd., 2012). Adsorplanan P ile çözeltideki P arasındaki ilişkiyi tarif etmek için en çok tercih edilen Langmuir ($q = k \cdot C \cdot b / (1 + k \cdot C)$) ve Freundlich ($q = K \cdot d \cdot C^{1/n}$) adsorpsiyon izotermi modelleridir (Campbell ve Edwards, 2001; Moazed vd, 2010).

Ağır bünyeli toprak serisinde ve fraksiyonlarında P-adsorpsiyonuna, organik maddenin etkileri bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Toprak verimliliğinin yorumlanmasına katkı sağlayacağı düşünülen toprak P-adsorpsiyon kapasitesinin tayin edilebilmesi için bu çalışma yürütülmüştür. Toprak özelliklerinin adsorplama kapasitesinin bilinmesi, uygulama çalışmalarında, gübrelerin daha etkin

ve ekonomik kullanımında, P'la ilgili yorumların toprak yapısı bakımından açıklanmasında faydalı olmaktadır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Yeri ve Konuları

Ağır bünyeli iki toprak Ankara-Sarayköy (Düver serisi) ve Şanlıurfa-Koruklu'dan (Harran serisi) alınmıştır. Topraklar kurutulmuş 2 mm'lik elekten geçirilerek kimyasal analizlere ve organik madde (OM) giderme işlemlerine hazırlanmıştır. OM giderme işleminden sonra toprakların ve işlem görmemiş (orijinal) toprakların, kil ve silt fraksiyonları ayrılmış, elde edilen tüm topraklarda P-adsorpsiyon kapasitelerinin elde edilmesi için gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Toprakların Tanımlanması Amacıyla Yapılan Analizler

Topraklar Jackson (1962)'ye göre yüzeyden (0–30 cm) alınmıştır. Toprak tepkimesi suyla doygun toprakta cam elektrotlu pH-metre ile (Richards, 1954), % kum, silt ve kil fraksiyonları hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951), tuz saturasyon ekstraktındaki iletkenliğin iletkenlik ölçen aletle ölçülmesiyle ($dS \text{ m}^{-1}$) (Richards, 1954), KDK sodyum asetat metoduna göre ($\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$) (Polemio ve Rhoades, 1977), % kireç Scheibler kalsimetresi ile (Martin ve Reeve, 1955), % organik madde yanma kaybı ve geri titrasyon ile (Walkley ve Black, 1934), potasyum, ekstrakt çözeltisi olarak 1N Amonyum Asetat (pH 7.0) kullanılarak çözeltiye geçen potasyumum alev fotometresi ile ölçülmesi ile (Richards, 1954), P toprakta bulunan P'un 0.5M Sodyum Bikarbonat (pH 8.5) çözeltisi ile açığa çıkarılarak çözeltiye geçirilmesi ve çözeltiye geçen P'un mavi renkli ortamda bağlanıp indirgenerek elde edilen rengin yoğunluğunun spektrofotometrede okunması ile (Olsen vd., 1954), toplam demir Hidroflorik, Sülfürik ve Perklorik Asit karışımı ile yaş yakma yöntemine göre yakılıp, AAS'de okunması

ile tayin edilmiştir (Jackson, 1958). Toprakta OM giderme işlemi % 30'luk H₂O₂ kullanılarak Hartge (1971)'e göre gerçekleştirilmiştir. OM giderme işlemleri tamamlanan topraklar Bouyoucus (1951) tarafından belirtilen metoda göre fraksiyonlarına ayrılmıştır.

Denge Çözeltisi Yöntemi

KH₂PO₄ kullanılarak 0–50 mg L⁻¹ P içerikli 0.01M CaCl₂ çözeltileri hazırlanmıştır. Hava kuru topraktan 1 g ve 25 ml CaCl₂ çözeltisi alınmış, 25 °C'de 24 saat çalkalanmıştır. Dengeye gelen çözelti filtre edilip sıvı fazı ayrılıp kolorimetrik P analizi yapılmıştır. Renklendirme prosedürü için Page vd., (1982)'e göre Askorbik Asit renklendirmesi; 12 g amonyum paramolibdat ((NH₄)₆ Mo₇O₂₄ 4H₂O) 250 ml distile suda çözülmüş ve 0.2908 g potasyum antimon tartarat (KSbO C₄H₄O₆) 100 ml saf suda çözülüp, 1 L sülfürik asit ile çözeltiler karıştırılmıştır ve 2 L'ye tamamlanmıştır. 1.056 g Askorbik Asit 200 ml hazırlanan bu çözeltide eritilerek renklendirmede günlük olarak hazırlanan bu çözelti kullanılmıştır. Okumalar spektrofotometre ile 882 nm'de yapılmıştır (Pierzynski, 2000). Final P değeri ve ilave edilen P değerlerine göre yapılan hesaplama ile Langmuir izoterm grafiği oluşturulmuştur.

Langmuir İzoterm Grafiğinin Oluşturulması

Hazırlanan denge çözeltilerinden (Pierzynski, 2000) denge çözeltisi P içeriği (C) askorbik asitle renklendirme metoduna uygun olarak spektrofotometre okuması ile yapılmıştır. Toprağın adsorpladığı P değeri (S); başlangıçta topraktaki yarayıllı P (S₀) içeriğinin ve çözelti P'ü ile son P kapsamı arasındaki farkın toplamı olarak hesap yöntemi ile bulunmuştur. Deneysel yollarla elde edilen denge çözeltisi P içeriği apsiste (C), denge çözeltisindeki P içeriğinin toprak tarafından adsorplanan P içeriğine (C/S) oranı ise ordinatta yer alacak şekilde Lineer Langmuir P-adsorpsiyon izotermi (C/S = 1/kS_{max} + C/S_{max}) her bir konu için çizilmiş ve izoterm grafikleri elde edilmiştir. Toprakların Langmuir P-adsorpsiyon izoterm grafiğinin (Allen, 2002; Guilherme vd., 2000; Pant ve Reddy, 2001; Moazed vd., 2010) eğim değerleri kullanılarak (S_{max}=1/eğim) P-adsorpsiyon maksimumu, kayma değerleri kullanılarak da (k=1/(kayma*S_{max})) yükleme enerjisi hesaplamaları yapılmıştır. Langmuir izotermelerinin temel karakteristikleri ayırma faktörü (R) ile izah edilmektedir (Hall vd., 1966). İzoterm grafiklerinden elde edilen P-adsorpsiyon yükleme enerjileri, gerçekleştirilen olayın adsorpsiyon lehinde olup

olmadığının kontrolü için, R=(1+1k/Ci) formülünden (R=ayırma faktörü, Ci=denge çözeltisi P içeriği) ayırma faktörleri hesabı yapılmıştır (Nagda vd., 2006; Karthikeyan ve Ilango, 2007). Ayırma faktörü olarak bildirilen (R) değerinin adsorpsiyonun elverişliliğini bulmakta kullanılan boyutsuz bir sabit olduğu ve bu sabitin 0 ile 1 arasında değerler almasının elverişlilik durumunun sağlanmış olduğunun göstergesi olduğu bildirilmektedir. R>1 elverişli olmayan, 0<R<1 elverişli, R=1 linear, R=0 tersinmez ilişkiden söz etmektedir (Çakmak, 2007; Dada, 2012).

Langmuir izoterm grafiklerinden adsorpsiyon maksimum değerleri bulunup sonuçların organik madde miktarı ile olan ilişkileri regresyon analizi ile yorumlanmıştır. Regresyon analizinde regresyon katsayısı (r²) ve olasılık (P) hesaplanmıştır (Yurtsever, 1984).

Bulgular ve Tartışma

Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Düver serisi toprağı, killi, kuvvetli bazik reaksiyonlu, orta derecede kireç içerikli, yarayıllı potasyum miktarı yeterli, P miktarı ve organik maddesi azdır (Çizelge 1). Ağır bünyelerinden dolayı, alt katmanları son derece geçirimsizdir. Kurak dönemlerde arazi yüzeyinde oluşan hegzagonal biçimli çatlaklar ve B horizonlarındaki kayma yüzeyleri bu toprakların tipik özellikleri olarak yansımaktadır (Arcak, 2003). Harran serisi toprağı ise, killi, hafif bazik reaksiyonlu, fazla kireç içerikli, yarayıllı potasyum miktarı yeterli, P miktarı orta seviyede, organik madde miktarı azdır (Çizelge 1). Topraklar alüvyal ana materyalli düz ve düze yakın eğimli derin topraklardır. Tipik kırmızı renkli profilleri killi tekstürlüdür. Üst toprak orta köşeli blok ve granüler, alt toprak kuvvetli iri prizmatik ve kuvvetli orta köşeli blok yapıdadır (Dinç vd., 1988). Düver serisi toprağında baskın olarak 2Ø açısı 10 ve daha az olan bölgelerde (18–10 A°) yoğunlaşan montmorillonit ve illit varlığı, ayrıca 2Ø açısı 15 civarında (7 A°) olduğu bölgelerde ise kaolinit grubu minerallerin varlığı görülmektedir (Çizelge 2). Bu killerin birlikte bulunduğu topraklarda vertikal özellik görülebilmektedir. Harran serisi toprağında ise montmorillonit tipi killerin yoğunlaştığı, bunun yanında illit kil mineralinin de bulunduğu, daha az miktarda ise kaolinit grubu kil minerallerinin bulunduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 2). Kil tipi dağılımının bu şekilde olduğu topraklar genellikle vertisol olarak tanımlanabilmektedir.

Çizelge 1. Toprakların temel kimyasal ve fiziksel özellikleri
Table 1. Chemical and physical properties of soils

Analizler	Düver Serisi	Harran Serisi
Toprak tepkimesi	8.09	7.64
Bünye	Killi C	Killi C
% Kum	1.79	14.79
% Silt	28.47	28.62
% Kil	69.74	56.59
EC, (dS m ⁻¹)	1.50	1.51
Kireç, (%)	12	24
Organik madde, (%)	1.88	1.95
Yarayışlı potasyum, K ₂ O(kg da ⁻¹)	157	257
Yarayışlı P, P ₂ O ₅ (kg da ⁻¹)	2.3	6.2
Toplam P, P (%)	0.016	0.054
Toplam azot, N (%)	0.081	0.13
Toplam Fe, (%)	3.12	1.19
KDK (me 100g ⁻¹)	36.51	31.29
Çözünebilir iyonlar (meq L ⁻¹)		
Kalsiyum (Ca ⁺²)	2.42	10.83
Magnezyum (Mg ⁺²)	1.41	3.43
Sodyum (Na ⁺)	10.5	1.8
Potasyum(K ⁺)	0.3	0.5
Toplam Katyonlar	14.64	16.55
Karbonat (CO ₃ ⁻²)	0.00	0.00
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	9.50	11.52
Klorür (Cl ⁻)	3.10	3.50
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	2.03	1.53
Değişebilir katyonlar (%)		
Sodyum (Na ⁺)	13.63	2.49
Potasyum (K ⁺)	3.90	5.50
Kalsiyum (Ca ⁺²)	42.54	64.39
Magnezyum (Mg ⁺²)	39.74	27.20

Çizelge 2. Topraklardaki hakim kil mineralleri
Table 2. Dominant clay minerals in the soil

Toprak	Kil Minerali		
Düver Serisi	Montmorillonit, +++*	İllit, +++	Kaolinit, +
Harran Serisi	Montmorillonit, +++	İllit, +	Kaolinit, +

*: + işareti başatlık durumunu ifade etmektedir

Toprakların Organik Madde Miktarları

Düver serisi orijinal toprağı ve bu toprağın kil ve silt fraksiyonu organik madde içerikleri sırasıyla %1.88, %1.93 ve %1.46 olarak bulunmuştur. Harran serisi toprağı, kil ve silt fraksiyonu organik madde içeriğı %1.95, %2.79 %1.1 olarak bulunmuştur. Toprakların her ikisinde de organik

madde büyük çoğunlukla kil fraksiyonunda yer almaktadır. Özellikle Harran serisi toprağında bu değer daha baskın durumdadır (Çizelge 3). Düver serisi toprağında pH 8.09 iken, OM giderme işleminden sonra pH 7.9'a düşmüş ve Harran serisi toprağında pH 7.64 iken, OM giderme işleminden sonra pH 7.8'e yükselmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 3. Topraklar ile kil ve silt fraksiyonlarının organik madde içerikleri
Table 3. Organic matter content of soils and clay and silt fractions

Konular	Organik madde (%)	
	Düver Serisi	Harran Serisi
Toprak	1.88	1.95
Kil fraksiyonunda organik madde	1.93	2.79
Silt fraksiyonunda organik madde	1.46	1.1

Çizelge 4. OM giderme işleminden önce ve sonra toprak reaksiyonları
Table 4. Soil reactions before and after OM removal

Konular	Düver Serisi	Harran Serisi
Toprak	8.09	7.64
Organik madde giderilmiş toprak	7.90	7.80

Topraklar ve Fraksiyonlarının Langmuir P-Adsorpsiyon İzotermi

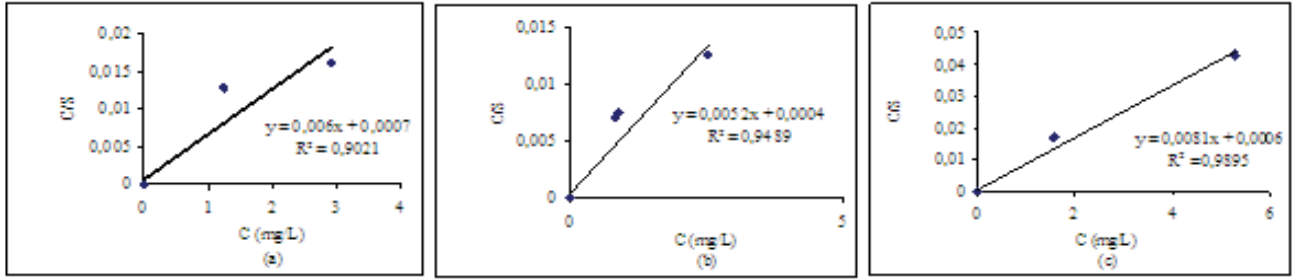
Düver serisi toprağının orijinal toprak, kil ve silt fraksiyonuna ait Langmuir P izoterm grafiklerinde eğim değerleri sırası ile 6×10^{-3} , 5.2×10^{-3} ve 8.1×10^{-3} olarak, P-adsorpsiyon maksimumu 167, 192 ve 124 mg kg^{-1} olarak, kayma değerleri 7×10^4 , 4×10^4 ve 6×10^4 olarak bulunmuştur. Toprakların P yükleme enerjisi sırası ile 8.7, 13 ve 13.5 L

$\text{mg}^{-1} \text{ P}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 5; Şekil 1). Harran serisi toprağının orijinal toprak, kil ve silt fraksiyonları için Langmuir P izoterm grafiklerinden bulunan eğim değerleri sırası ile 6.4×10^{-3} , 4.7×10^{-3} ve 7.4×10^{-3} olarak, P-adsorpsiyon maksimumları 156, 213 ve 135 mg kg^{-1} olarak, kayma değerleri ise 5×10^{-4} , 104×10^{-4} ve 1×10^{-3} olarak bulunmuştur. Toprakların P yükleme enerjileri 12.8, 0.45 ve $7.4 \text{ L mg}^{-1} \text{ P}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 5; Şekil 2).

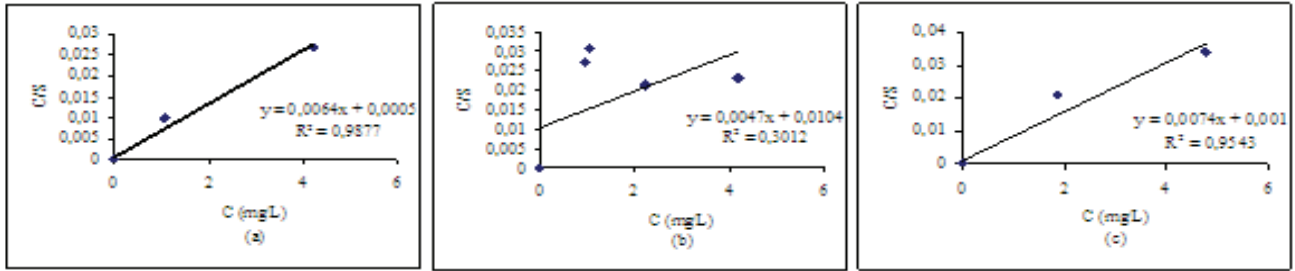
Çizelge 5. OM giderme işlemi yapılmış toprak ve toprak fraksiyonlarının Langmuir parametreleri ve regresyon analizi sonuçları
Table 5. Langmuir parameters and regression analysis results of OM removal soil and soil fractions

Konu	Olsen P mg kg^{-1}	S_{max} mg P kg^{-1}	Eğim	Kayma	k $\text{L mg}^{-1} \text{ P}$	P	R^2	r
Toprak	4.10	167	0.006	0.0007	8.57	2.31×10^{-6}	0.9021	0.949**
Kil fraksiyonu	13.26	192	0.0052	0.0004	13	8.73×10^{-8}	0.9489	0.974**
Silt fraksiyonu	6.13	124	0.0081	0.0006	13.5	3.14×10^{-11}	0.9895	0.995**
Düver Serisi								
Organik madde giderilmiş toprak	23.06	143	0.007	0.0005	14	8.91×10^{-12}	0.9918	0.996**
Organik madde giderilmiş kil frag.	36.68	213	0.0047	0.0003	15.67	1.79×10^{-9}	0.9765	0.988**
Organik madde giderilmiş silt frag.	12.44	124	0.0081	0.0007	11.57	1.79×10^{-9}	0.9873	0.995**
Harran Serisi								
Toprak	11.67	156	0.0064	0.0005	12.8	7.05×10^{-11}	0.9877	0.994**
Kil fraksiyonu	35.03	213	0.0047	0.0104	0.45	0.065	0.3012	0.549
Silt fraksiyonu	9.76	135	0.0074	0.001	7.4	5.02×10^{-8}	0.9543	0.977**
Organik madde giderilmiş toprak	17.27	154	0.0065	0.0007	9.29	1.01×10^{-8}	0.9668	0.983**
Organik madde giderilmiş kil frag.	223.33	323	0.0031	0.0073	0.42	4.67×10^{-5}	0.8227	0.907**
Organik madde giderilmiş silt frag.	38.01	149	0.0067	0.0006	11.17	1.35×10^{-10}	0.9860	0.993**

** : $p < 0.01$



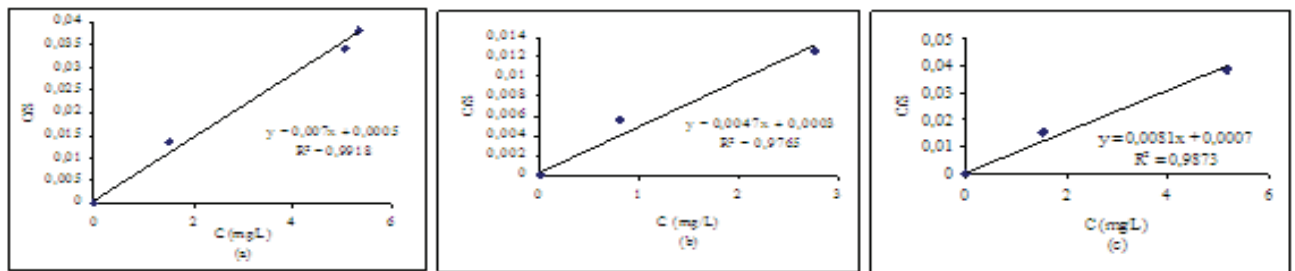
Şekil 1. Düver serisi toprağının; a) toprak, b) kil fraksiyonu, c) silt fraksiyonu Langmuir P-adsorpsiyon izotermi
Figure 1. Düver series soil; a) soil b) clay fraction, c) silt fraction Langmuir P-adsorption isotherms



Şekil 2. Harran serisi toprağının; a) toprak, b) kil fraksiyonu, c) silt fraksiyonu Langmuir P-adsorpsiyon izotermi
Figure 2. Harran series soil; a) soil b) clay fraction, c) silt fraction Langmuir P-adsorption isotherms

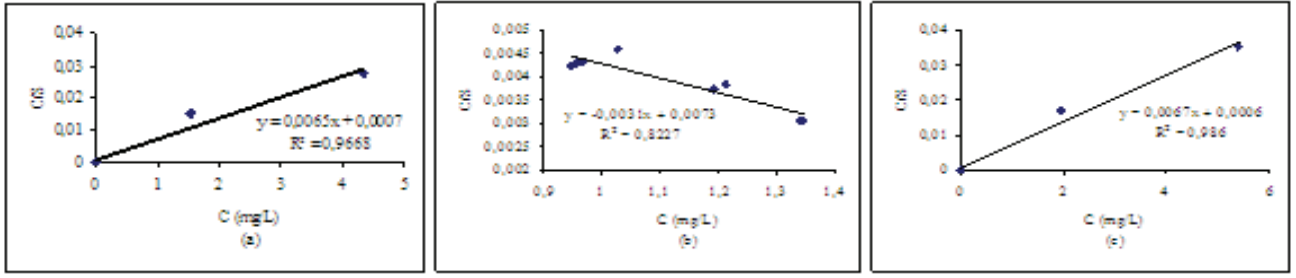
Topraklardan OM giderildiği durumda Langmuir P izoterm grafiklerinden toprak, kil ve silt fraksiyonları sırası ile Düver serisi toprağında eğim 7×10^{-3} , $4,7 \times 10^{-3}$ ve $8,1 \times 10^{-3}$ olarak, P-adsorpsiyon maksimumu 143, 213 ve 124 mg kg^{-1} olarak, kayma değerleri ise 5×10^{-4} , 3×10^{-4} ve 7×10^{-4} olarak bulunmuştur. Toprakların P yükleme enerjileri 14, 15,67 ve 11,57 L mg^{-1} P olarak bulunmuştur. Harran serisi toprağında eğim $6,5 \times 10^{-3}$, $3,1 \times 10^{-3}$ ve $6,7 \times 10^{-3}$ olarak, P-adsorpsiyon maksimumu 154, 323 ve 149 mg kg^{-1} olarak, kayma değerleri ise 7×10^{-4} , $7,3 \times 10^{-3}$ ve 6×10^{-4} olarak bulunmuştur. Toprakların P yükleme enerjileri 9,29, 0,42 ve 11,17 L mg^{-1} P olarak bulunmuştur (Çizelge 5; Şekil 3, 4). Topraklar ve fraksiyonlarında (C) denge konsantrasyonu ile konsantrasyonun adsorpsiyona oranı (C/S) arasındaki ilişkinin,

Langmuir P-adsorpsiyon izotermine uyumun araştırıldığı regresyon analizi ile yapılan istatistiki değerlendirme sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir. Harran serisi toprağının kil fraksiyonunun Langmuir P-adsorpsiyon izotermine uyumunun regresyon analizi sonucuna göre önemsiz olması ile birlikte ($r=0,549$) diğer konularda (C) ile (C/S)’in birbirlerine göre ilişkisi ve P-adsorpsiyonunun Langmuir P-adsorpsiyon izotermine uyumu önemli çıkmıştır. Regresyon analizi sonuçları $r=0,907-0,996$ arasında ve olasılık değeri $p<0,01$ olarak elde edilmiştir. Lin vd. (1991) 7 farklı çay bölgesi toprağında P statüsünü, adsorpsiyonu, fiksasyonu ve çözelti P’ünü belirlemeye çalıştıkları çalışmalarında; P-adsorpsiyon kinetiğinin en iyi Langmuir izotermi ile tariflendiğini belirtmişlerdir. Sharma vd. (1994) 0–15 cm derinlikten alınan



Şekil 3. Düver serisi toprağının OM giderme işlemi durumunda; a) toprak, b). kil fraksiyonu, c). silt fraksiyonu Langmuir P-adsorpsiyon izotermi

Figure 3. In the case of OM removal process of the Düver series soil; a) soil, b) clay fraction, c) silt fraction Langmuir P-adsorption isotherms



Şekil 4. Harran serisi toprağının OM giderme durumunda; a) toprak, b) kil fraksiyonu, c) silt fraksiyonu Langmuir P-adsorpsiyon izotermi

Figure 4. In the case of OM removal process of the Harran series soil; a) soil, b) clay fraction, c) silt fraction Langmuir P-adsorption isotherms

topraklarda 6 farklı gübre uygulaması ile buğday ve mısır yetiştirilen topraklarda P-adsorpsiyonunun en iyi Langmuir ve Freundlich izotermi ile bulunduğunu belirtmişler, P-adsorpsiyon ve desorpsiyon değerlerinin Langmuir izotermi ile tüm saksılar için 123–498 $\mu\text{g g}^{-1}$ olduğunu bildirmişlerdir. Hesaplanan Langmuir P-adsorpsiyon izotermi ayırma faktörü (R) değerleri, Düver ve Harran serisi topraklarında $1-6 \times 10^{-3}$ ve $1-8 \times 10^{-3}$ arasında bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar ayırma faktörünün 0-1 arasında bulunduğunu ve gerçekleşen olayın adsorpsiyonun lehinde geliştiğini göstermektedir (Low ve Lee, 1995; Çakmak, 2007).

Toprakların Adsorpsiyon Maksimumlarının Genel Değerlendirilmesi

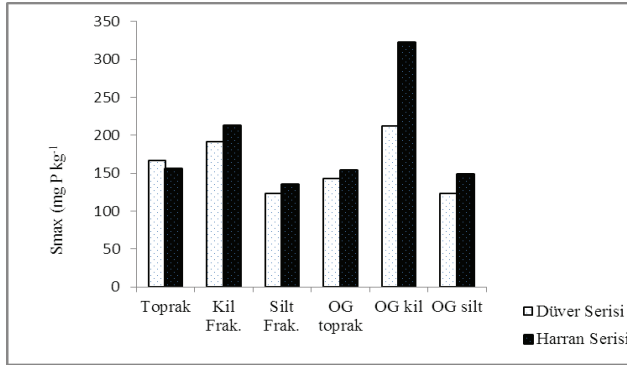
Toprak örneklerinin denge çözeltileri sonucunda, Langmuir izoterminden faydalanılarak bulunan P-adsorpsiyon maksimumları, Düver serisi toprağında (167 ppm) Harran serisi toprağından (156 ppm) biraz yüksek çıkmıştır (Çizelge 5). Ağır bünyeli iki toprak kil fraksiyonları bazında ele alındığında, büyük bir fark oluşmamakla birlikte Harran serisi toprağının kil fraksiyonunun P-adsorpsiyonu (213 ppm) Düver serisi toprağının kil fraksiyonu P-adsorpsiyonundan (192 ppm) daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Topraklar silt fraksiyonları bazında değerlendirildiğinde, yine Harran serisi toprağının silt fraksiyonu Düver serisi toprağının silt fraksiyonundan daha fazla P adsorplamaktadır. Bu toprakların kil ve silt fraksiyonları incelendiğinde; Harran serisi toprağının fraksiyonlarının P-adsorpsiyon kapasitesinin, Düver serisi toprağının fraksiyonlarının P-adsorpsiyon kapasitesinden daha fazla olduğu görülmektedir. Harran serisi toprağındaki baskın killerin montmorillonit olmasının bu olayda

etkili olduğu söylenebileceği gibi, Düver serisi toprağında Harran serisi toprağına göre yüksek Fe ve Na miktarının da P-adsorpsiyon alanlarını işgal edeceğinden dolayı bu olayda etkili olduğu söylenebilmektedir. Nitekim kil minerallerinde, adsorpsiyon yüzeyleri Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} tarafından doyurulduğunda toprak çözeltilesindeki P'da artış ortaya çıktığı belirlenmiştir (Bennani vd., 2005). Demir oksitlerin P'u bağlamadaki rolü (Zhou vd. 2001; Shen vd. 2003; McBeath vd. 2004) bilinmesine rağmen kendilerinin işgal ettiği alanın daha önemli olduğu düşünülmektedir. Gaziantep yöresi Kayacık ovasının topraklarının adsorpsiyon maksimumlarının 58–113.3 ppm arasında (Derici ve Ağca, 1999), tipik Luvisol toprakları için yapılan bir çalışmada da bu değerlerin 484–912 ppm arasında (Han vd., 2005), killi topraklardaki bir çalışmada da 48–1429 ppm arasında olduğu bulunmuştur (Valladares vd., 2003). Yine bu kapsamda yapılan incelemeler sonucunda yapılmış başka bir çalışmada yarı kurak bölge topraklarında P-adsorpsiyon kapasitelerinin 124–805 ppm arasında bulunduğu bildirilmiştir (Pereira ve De Faria, 1997). P-adsorpsiyon maksimumu, nemli tropikal topraklarında 103–460 ppm arasında (Agbenin, 2003), batı Afrika'nın kuzeyindeki topraklarda 36–230 ppm arasında bulunduğu düşünüldüğünde (Nwoke vd., 2004) her iki toprak içinde bulunan P-adsorpsiyon değerleri normal karşılanabilmektedir.

Düver serisi toprağında, OM giderildiği durumda toprağın P-adsorpsiyon maksimum değerinde azalma meydana gelmiş, bu değer 143 ppm olmuştur. Harran serisi toprağı P-adsorpsiyon maksimumu, OM giderme işleminden sonraki P-adsorpsiyon maksimumları ile kıyaslandığında, bir değişimin olmadığı görülmüştür (Çizelge 6, Şekil 5).

Çizelge 6. OM giderme işlemi yapılmış toprakların ve bunların fraksiyonlarının P-adsorpsiyon maksimum değerleri
Table 6. The P-adsorption maximum values of the OM-removed soils and their fractions

Konular	Düver Serisi			Harran Serisi		
	Toprak	Kil fraks.	Silt fraks.	Toprak	Kil fraks.	Silt fraks.
Orijinal	167	192	124	156	213	135
OG	143	213	124	154	323	149

**Şekil 5.** Düver ve Harran serisi, topraklarının, kil ve silt fraksiyonları ile OM giderme işlemi yapılmış toprak ile kil ve silt fraksiyonlarının P-adsorpsiyon ilişkisi**Figure 5.** P-adsorption relationships of soil, clay and silt fractions of Düver and Harran series soils, clay and silt fractions and the soil with OM removal

Toprakta Organik Maddenin Fosfor Adsorpsiyonuna Etkisi

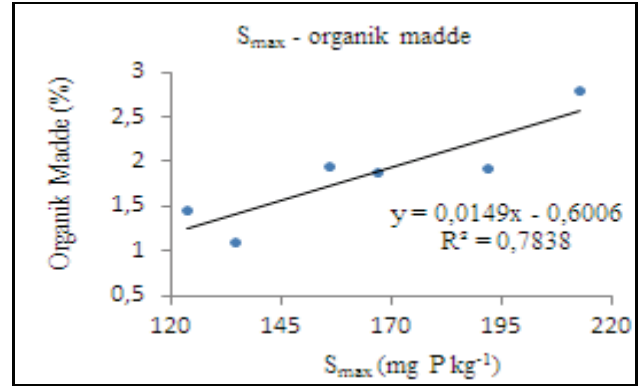
Toprakların ve fraksiyonlarının organik madde (%) içerikleri 1.1-2.79 arasında P-adsorpsiyon maksimumları ise 124-213 mg P kg⁻¹ arasında değişmiştir. Organik madde değişimi ile P-adsorpsiyon maksimumu arasında iyi bir korelasyon olduğu görülmekte ve korelasyon katsayısı $r=0.885$ ($P<0.01$) olarak bulunmaktadır (Şekil 6). Düver serisine ait deneme toprağının 167 ppm olan P-adsorpsiyon maksimum değeri, topraktaki organik maddenin uzaklaştırılması ile 143 ppm seviyesine inmiştir. Harran serisine ait toprağın 156 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu, organik maddenin uzaklaştırılması ile 154 ppm seviyesine inmiştir (Çizelge 6, Şekil 5). Bu olay organik maddenin kendisinin P-adsorplama kabiliyetinde olduğunu veya adsorpsiyon olayını teşvik ettiğini ortaya koymaktadır. Nitekim, bazı araştırmacılar, siğir gübresinin uygulandığı durumu, toprak organik madde seviyesi ile kontrol etmişler ve bu durumda da P-adsorpsiyonunun artışı organik madde artışı sonucu oluştuğunu bulmuşlardır (Potarzycki vd., 2004). Ayrıca Brasil ve Muraoka (1995) tarafından killi ve orta tekstürlü

Latosollerde gerçekleştirilen bir çalışmada da P sorpsiyon indeksi ile kil ve organik madde içeriği arasında iyi bir korelasyon bulunduğu bildirilmiştir. Ni vd. (1995) organo-inorganik gübrelemenin ve organik materyalin adsorpsiyon maksimumunu artırırken, mineral P ilavesinin bu değerlere çok az bir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Sardı ve Csatho (2002) toprak pH'sı 4.46–7.27 arasında değişen topraklardaki çalışmalarında, toprak özelliklerindeki farklılıkların, gübrelerle uygulanan P ve toprakta önceden bulunan P'un durumunda etken olduğunu bildirerek, uzun süreli P uygulamasının, saksı denemelerindeki toprakların P-adsorpsiyonuna etkisinde pH ve humus içeriğinin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Kordlaghari (2006), düşük organik madde içerikli kalkerli topraklardaki P-adsorpsiyon kapasitelerini üç farklı modelle (basit Langmuir, Ferundlich ve İki-yüzey Langmuir eşitliği) kıyaslamıştır. P sorpsiyonunun organik maddeden etkilendiğini belirtmiştir. Harran serisinin toprağı ile organik maddesi uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı kıyaslandığında düşük P uygulamalarında adsorpsiyon gelişmezken, yüksek P uygulamalarında da denge çözeltisi P konsantrasyonları (0.4 mg L⁻¹) çok küçük bir aralıkta farklılık göstermiştir. Bu değerler şekilsel olarak değişim var gibi görünmekle birlikte değer olarak çok fark bulunmamaktadır. Bu konudaki yüzey P'unun yüksekliği nedeniyle olayın bu şekilde gerçekleşmiş olduğu söylenebilir. Düşük konsantrasyonlarda P ilavesinde adsorpsiyonun gelişmemesine neden olarak organik madde (organik C) ile P'un adsorpsiyon alanları için yarış halinde olduğu bildirilmektedir (Ayaz vd. 2010; Zhuan-xi vd. 2009).

Kil Fraksiyonunda Organik Maddenin Fosfor Adsorpsiyonuna Etkisi

Düver serisine ait toprağın kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 192 ppm iken OG ile bu değer 213 ppm seviyesine yükselmiştir. Harran serisi toprağının 213 ppm olan P-adsorpsiyon maksimum değeri, kil fraksiyonundan organik maddenin uzaklaştırılması ile 323 ppm seviyesine

yükselmektedir (Çizelge 6, Şekil 5). Organik madde kil fraksiyonunda, P-adsorpsiyon maksimumunu azaltma yönünde etkilemiştir. Her iki toprağın kil fraksiyonunda organik maddenin olmadığı durumda P-adsorpsiyon maksimum değeri artmıştır. Düver ve Harran topraklarının kil fraksiyonlarında sırası ile orjinal kil fraksiyonundaki toplam organik maddenin %71.82 ve %81.02'si bulunmaktadır. Bu olayda muhtemelen fraksiyonlarda bulunan organik maddenin, kil fraksiyonlarını oluşturan bileşenlerin P-adsorpsiyon alanlarını işgal ederek, kil fraksiyonunun daha az P adsorplaması neticesinde P-adsorpsiyon maksimumunu azaltmış olabileceği sonucuna gidilebilmektedir. Nitekim araştırmacılar organik madde ilavesinin (pH 5.0) monokalsiyum fosfatın yayıllığına, Fe^{+3} , Al^{+3} ve kil mineralojisinin etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, demir ve alüminyumun humik maddelerle chelat oluşturmak (ortamdaki Fe^{+3} ve Al^{+3} lerle P'un bitkilerce alımı daha kolay hale gelen Fe'li ve Al'lu bileşiklere dönüşümü) suretiyle P'un daha yayıllı forma dönüşümünün engellenmiş olduğunu bildirmiştir. Sahu ve Sahu (1991) tek başına kilin kil-organik kompleksinden daha fazla P adsorpladığını bildirmiştir. Kil minerallerinde (smektit), adsorpsiyon özellikleri Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} tarafından doyurulduğunda, toprak solusyonundaki P'da artış ortaya çıktığı bildirilmiştir (Bennani vd., 2005). Araştırmacılar yaptıkları çalışmada, organik gübre ilavesi ile toprakta kalan P azalırken, toprak çözeltisine salınan P miktarında artış bulduklarını belirtmişlerdir (Zhang ve Sun, 1995, Jiao vd., 2007). Bazaltik kahverengi ve kırmızı ferrik latosollerden yüzey toprakları; kil içerikleri ve demir içerikleri yüksek topraklarda oksitlerin ve organik maddenin P sorpsiyonuna etkilerinin araştırıldığı çalışmada, organik maddenin P-adsorpsiyonunu oksitlerin bireysel etkisini maskeleyerek yaptığı bildirilmiştir (Almeida vd., 2004). Yu vd. (2013) organik gübre ilavesinin ana toprak materyalinde P-adsorpsiyonunun azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu azalmanın oluşan organik asitlerin P-adsorpsiyon alanlarını işgal ederek, çözünen organik maddenin P'un daha fazla açığa çıkmasını teşvik ederek, topraktaki seski oksitlerin organik madde ile kombine olup P-adsorpsiyonunu engelleyerek yani organik maddenin P-adsorpsiyonunu maskeleyerek oluştuğunu bildirmişlerdir. Lateritik topraklarda organik madde ilavesinin organik karbonun P-adsorpsiyon alanlarını işgal ederek adsorpsiyonunun azaltıldığı bildirilmektedir (Yusran, 2010).



Şekil 6. Düver ve Harran serisi, toprakları ile kil ve silt fraksiyonlarının P-adsorpsiyonu ile organik madde arasındaki ilişki

Figure 6. Relationship between P-adsorption and OM of Düver and Harran series, soil and clay and silt fractions

Silt Fraksiyonunda Organik Maddenin Fosfor Adsorpsiyonuna Etkisi

Düver serisine ait toprağın silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 124 ppm iken OM giderme işleminden sonra, P-adsorpsiyon maksimumu değişmeden 124 ppm seviyesinde kalmıştır. Harran serisi toprağının silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 135 ppm iken OM giderme işleminden sonra bu değer 149 ppm seviyesinde az da olsa yükselmiştir (Çizelge 6, Şekil 5). Bu durum organik maddenin P-adsorpsiyon alanlarındaki maskeleyme etkisinin, kil fraksiyonunda olduğu gibi devam ettiğini göstermektedir. Organik maddenin P-adsorpsiyonuna etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda sonuçlar bahsedilen bulguyu destekler niteliktedir. Örneğin; organik madde uygulaması ile P'lu gübreleme birlikte yapıldığında, P'un bitkiye yayıllılığının artmasının nedeninin bozulan organik madde sebebiyle P sorpsiyonundaki azalmanın olduğu ve fosfor aktivitesinin organik asitlerden etkilendiği belirtilmiştir (Guppy vd., 2005; Yu vd., 2013). Ayrıca organik madde ve humusun, fosforun yayıllılığını arttırdığı göz önüne alınarak, özellikle organik madde içeriği düşük alanlarda organik madde kaynaklarının kullanılmasının alınabilir fosforu artırarak gübre etkinliğini artıracak da belirtilmektedir (Ceylan, 2003).

Sonuçlar

Düver ve Harran serisinin ağır bünyeli topraklarındaki Langmuir P-adsorpsiyon izotermi gerçekleşen olayın adsorpsiyonun lehinde geliştiğini göstermektedir. Ortamda organik maddenin bulunması P-adsorpsiyonunu

artıran bir etki olarak görülmekte bu durum organik maddenin kendisinin de P-adsorplama kabiliyetinin olduğunu göstermektedir. Toprakların kil fraksiyonunda bulunan organik maddenin, kil fraksiyonlarını oluşturan bileşenlerin P-adsorpsiyon alanlarını işgal ederek, kil fraksiyonunun daha az P adsorplaması neticesinde P-adsorpsiyon maksimumunu azaltmıştır. Organik maddenin toprağın kil fraksiyonundaki P adsorpsiyon alanlarını işgal etmesi nedeni ile toprağın daha az fosfor adsorplanması, toprakların fosfor bakımından fakirleşmesine neden olabilmekte ve bu da rizosfer bölgesindeki labil fosfor desteğinin azalmasını beraberinde getirmektedir. Bu durum organik maddenin çok fazla olduğu topraklarda toprak çözeltisinde yeterince fosforun olabilmesi için daha fazla fosforlu gübre uygulamasına ihtiyaç olacağını göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kullanılan veriler Ağır Bünyeli Toprakta Bazı Toprak Bileşenlerinin Fosfor Adsorpsiyon Kapasitesine Etkilerinin Langmuir İzotermi ile Araştırılması (TOVAG-106O300) projesinin bir bölümünden alınmıştır. Proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

Kaynaklar

Agbenin OJ (2003). Extractable Iron and Aluminium Effects on Phosphate Sorption in a Savanna Alfisol. *Soil Science of America Journal*, (67): 589–595

Almeida JA, Torrent J and Barron V (2004). Soil Colorphosphorus Pools and Phosphate Adsorption in Latosols Developed from Basalt in the South of Brazil. *Agroveterinarias. Universidade Do Estado De Santa Catarina, desc. Caixa Postal 281*

Allen D (2002). Standarditaion of Soil Test for Phosphorus. *Chemistry Centere (Wa), Grains Research and Development Corporation: Part 1 Sorption.*

Arcak Ç (2003). Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Sarayköy Araştırma ve Deneme İstasyonu Toprakları. *Tarım ve Köyışleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü, Teknik Rapor No: 3, Ankara.*

Ayaz M, Saleem A and Memon M (2010). Phosphorus adsorption parameters in relation to soil characteristics. *Journal Chemical Society of Pakistan*, 32:129-139

Bennani F, Badraoui M and Mikou M (2005). Monocalcium Phosphota Monohydrate Concentration in Soil Suspension Amended with Organic Matter. *Phys. Iv. France*, 12: 159–163

Bouyoucus GJ (1951). A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soil.

Brasil EC and Muraoka T (1995). Phosphorus Adsorption Capacity of Yellow Latosol and Red Yellow Podzolic Soil from Eastern Amazonia. *Boletim Da Faculdate De Ciencias Agrarias Do Para*, 24: 81–91

Campbell KL and Edwards DR (2001). Phosphorus and water quality. In: W F Ritter and A Shirmonhammadi (Eds.), *Agricultural nonpoint source pollution, waterahed management and hydrology*, Boca Raton, New York. Washington. D.C. pp. 91-107

Ceylan Ş, Kılınc R ve Karakaş D (2003). Bitlis Yöresi Topraklarının Fosfor Adsorpsiyon ve Fiksasyon Durumlarının Nükleer Yöntem ile Belirlenmesi *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 40(1):71-78

Çakmak M E (2007). Adsorpsiyon Teorisi. Available: <http://www.odevarsivi.com>.

Dada AO, Olalekan AP, Olatunya AM ve Dada O (2012). Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. *Journal of Applied Chemistry*, 3(1): 38-45

Derici MR and Ağca N (1999). Phosphorus Adsorption of the Soils of the Gaziantep Kayacık Plain. *Tr. J. Agriculture and Forestry, Tübitak*, 23(2): 395–400

Diñç U, Şenol S, Sayın M, Kapur S, Güzel N, Derici R, Yeşilsoy N Ş, Yeğingil İ, Sarı M, Kaya Z, Aydın M, Kettaş F, Berkman A, Çolak AK, Yılmaz K, Tunçgöğüs B, Çavuşgil V, Özbek H, Gülüt KY, Karaman C, Diñç O, Öztürk N, Kara EE (1988). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) 1. Harran Ovası. TÜBİTAK Tarım ve Ormanlık Grubu Güdümlü Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, Proje TOAG-534

Duffera M and Robarge WP (1999). Soil Characteristics and Management Effects on Phosphorus Sorption by Highland Plateau Soils of Ethiopia. *Soil Science Society of America Journal*, 63(14): 551–462

Fox RL and Kamprath EG (1970). Phosphate Sorption Isotherm for Evaluating the Phosphate Requirements of Soil. *Soil Science. Soc. Am. Proc.*, 34: 383–411

Guilherme LRG, Curi N, Silva MLN, Reno NB and Machado RAF (2000). Phosphorus Adsorption in Lowland Soils From Minas Gerais State Brazil. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 24(1): 27–34

Guppy CN, Menzies NW, Blamey FPC and Moody PW (2005). Do Decomposing Organic Matter Residues Reduce Phosphorus Sorption in Highly Weathered Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 1405–1411

Hall KR, Eagleton, LC, Arcivos A and Vermeulen T (1966). Pore and Solid Diffusion Kinetics in Fixed Bed Adsorption Under Constant Pattern Conditions. *Ind. Eng. Chem*, 5: 1212–1219

Han X, Tang C, Song C, Wang S and Qiao Y (2005). Phosphorus Characteristics Correlate With Soil Fertility of Albic Luvisols. *Plant and Soil*, 270(1): 47–56

Hartge KH (1971). *Die Physikalische Untersuchung Von Böden.* Enke Verlag Stuttgart. pp. 31–50

Jackson ML (1958). *Soil Chemical Analysis.* Prentice-Hall. Inc. Eng. Cliffs. New Jersey, USA.

- Jackson ML (1962). Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall. Inc. Eng. Cliffs. N. J., USA.
- Jiao Y, Whalen JK and Hendershot WH (2007). Phosphate Sorption and Release in a Sady-Loam Soil as Influenced by Fertilizer Sources. *Soil Science Soc. Am. J.*, 71: 118–124
- Karthikeyan G and Ilango SS (2007). Fluoride Sorption Using Moringa Indica-Based Activated Carbon. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 4(1): 21–28
- Khan OU, Khan MJ, Rehman S ve Khan SU (2012). Impact of equilibrating time on phosphate adsorption and desorption behaviour in some selected saline sodic soils. *Journal- Chemical Society of Pakistan* 34(1):33-37
- Klages MG, Olsen RA and Haby VA (1988). Relationship of Phosphorus Isotherm to Nahco₃-Extractable Phosphorus as Affected by Soil Properties. *Soil Science*, 146: 85–91
- Kordlaghari KP (2006). Sorption-Desorption Behavior of Phosphorus and Potassium in Four Soil Series of Isfahan. 18. World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Lajthal K and Harrison AF (2002). Strategies of Phosphorus Acquisition and Conservation by Plant Species and Communities. Phosphorus in the Global Environment. Institute of Terrestrial Ecology, Merlewood Research Station, Grange Over Sands, Cumbria LA11 6JU.UK.
- Lin Z, Wu X, Wang XP and Yu YM (1991). Phosphorus Nutrition in Tea Soil in Red Earth Region of China. *Proceeding of The International Symposium on Tea Science Shizuoka, Japan*, pp. 722–726
- Low KS and Lee CK (1995). Crome Waste as Adsorbent for the Removal of Arsenic (V) from Aqueous Solution. *Environ. Technol.*, 16: 65–71
- Martin A E and Reeve R (1955). A Rapid Manometric Method for Determining Soil Carbonate. *Soil Sci.* 79: 187-197
- Mcbeath TM, Lombi E and Mclaughlin M (2004). Sorption of Orthophosphate and Pyrophosphate in Australian soils. 3rd Australian New Zealand Soils Conference, 5 – 9
- Moazed H, Hoseini Y, Naseri AA ve Abbasi F (2010). Determining Phosphorus Adsorption Isotherm in Soil and its Relation Soil Characteristics. *International Journal of Soil Sciences*, 5(3):131-139
- Nagda GK, Ghole VS and Diwan AM (2006). Tendu Levels Refuse as a Biosorbent for Cod Removal From Molasses Fermentation Based Bulk Drug Industry Effluent. *Journal of Applied Science and Environmental Management*, 10(3): 15–20
- Ni WZ, Zhang YS and Sun X (1995). Effect of Organic Manure on Phosphorus Adsorption-Desorption and Availability in Paddy Soil Derived From Red Earth. *Pedosphere*, 5(4): 357–361
- Nwoke OC, Vanlauwe B, Diels J, Sanginga N and Osonubi O (2004). The Distribution of Phosphorus Fractions and Desorption Characteristics of Some Soils in Te Moist Savanna Zone of West Africa. *Nutrient Cyling in Agroecosystems*, 69(2): 127–141
- Olsen SR, Cole V, Watanable FS and Dean LA (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate. U. S. Dept. of Agr. Cir., 939, Washington. D.C.
- Page AL Miller RH and Keeney DR (1982). *Methods of Soil Analysis. Chemical and Mikrobiological Properties. Second Edition.* American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA.
- Pant HK and Reddy KR (2001). Phosphorus Sorption Characteristics of Estuarine Sediments Under Different Redox Conditions. *Journal of Environmental Quality*, 30: 1474–1480
- Pereira JR and De Faria CMB (1997). Phosphorus Sorption in Some Soils of the Semi-Arid Region of the Brazilian Northeast. *Aceito Para Publicaçao, Cptsaa.*
- Pierzynski GM (2000). *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters.* Department of Agronomy, Southern Cooperative Series Bulletin No: 396, 2004 Throckmorton Plant Sciences Ctr. Kansas State University, Ks 66506–5501, Manhattan.
- Polemio M and Rhoades J D (1977). Determining Cation Exchange Capacity: New Procedure for Calcareous and Gypsiferous Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 524-528
- Potarzycki J, Gaj R and Schnug E (2004). Phosphorus Adsorption in Soils After 20 Years of Organic and Mineral Fertilization. *Landbauforschung Volkenrode*, 54: 13–20
- Richards LA (1954). *Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils.* U. S. Dep. Agr. Handbook 60.
- Sahu NC and Sahu SS (1991). Adsorption of Phosphorus and Potassium by Clays and Clay-Organic Complexes of Some Soils of West Bengal. *Environment and Ecology*, 9(4): 959–962
- Sardi K and Csatho H (2002). *Studies on The Phosphorus Adsorption of Diffrent Soil Types and Nutrient Levels.* 17.Wcss., Thailand.
- Sharma KN, Harjit S, Vig AC and Singh H (1994). Influence of Continuous Cropping and Fertilization on Adsorption and Desorption of Soil Phosphorus. *Fertilizer Research*, 40(2): 121–128
- Shen J, Rengel Z, Tang C, and Zhang F (2003). Role of Phosphorus Nutrition in Development of Cluster Roots and Release of Carboxylates in Soil-Grown Lupinus Albus. *Plant and Soil* 248:199-206
- Tsado PA, Osunde OA, Igwe CA, Deboye MKA ve Lawal BA (2012). Phosphorus sorption characteristics of some selected soil of the Nigerian Guinea Savanna. *Int. J. Agr. Sci.* 2(7): 613-618.
- Valladares GS, Pereira MG and Dos Anjos UHC (2003). Phosphate Sorption in Low Activity Clay Soils. *Bragantia Campinas*, 62(1): 111–118
- Walkley A and Black IA (1934). An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Cromic Acid Titration Method. *Soil Sci.* 37: 29-38
- Wogi L, Msaky JJ, Rwehumbiza FBR ve Kibret K (2015). Phosphorus Adsorption Isotherm: A Key Aspect for Soil Phosphorus Fertility Management. *American Journal of Experimental Agriculture* 6(2): 74-82.

Yu W, X Ding X, Xue S, Li S, Liao X ve Wang R (2013). Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. [online], 13(4): 1003-1017, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000079>.

Yurtsever N (1984). *Deneysel İstatistik Metotlar. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Yayın No:121. Ankara.*

Yusran FH (2010). The Relationship between Phosphate Adsorption and Soil Organic Carbon from Organic Matter Addition. *J. Trop. Soils*, 15(1): 1-10

Zhang NWZ and Sun X (1995). Effect of Organic Manure on Phosphorus Adsorption-Desorption and Availability in Paddy Soil Derived from Earth. *Pedosphere*, 5(4): 357-361

Zhou M and Li Y (2001). Phosphorus Sorption Characteristics of Calcareous Soils and Limestone from the Southern Everglades and Adjacent Farmlands. *Soil Science Society of America Journal*, 65(5): 1404-1412

Zhuan-xi L, Bo Z, Jia-liang T and Tao W (2009). *Ecological Engineering*. pp 35-57