

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**AĞIR BÜNYELİ TOPRAKTA BAZI TOPRAK BİLEŞENLERİNİN FOSFOR
ADSORPSİYON KAPASİTESİNE ETKİLERİNİN LANGMUIR İZOTERMLERİ
İLE ARAŞTIRILMASI**

İlknur YURDAKUL

TOPRAK ANABİLİM DALI

ANKARA

2009

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

AĞIR BÜNYELİ TOPRAKTA BAZI TOPRAK BİLEŞENLERİNİN FOSFOR ADSORPSİYON KAPASİTESİNE ETKİLERİNİN LANGMUIR İZOTERMLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

İlknur YURDAKUL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sadık USTA

Kireç, organik madde, demir oksit, silt fraksiyonu ve kil fraksiyonunun fosfor adsorpsiyonuna etkileri ağır bünyeli iki toprakta araştırılmıştır. Birinci toprak (Ankara, Düver serisi) killi, kuvvetli alkalın reaksiyonlu, orta seviyede kireç içerikli ve organik madde ile yarayışlı fosfor içeriği azdır. İkinci toprak (Şanlıurfa, Harran serisi) killi, hafif alkalın reaksiyonlu, fazla kireç içerikli, organik madde miktarı az, yarayışlı fosfor miktarı orta seviyededir. Alınan topraklar, laboratuvarda, silt ve kil fraksiyonlarına ayrılmış ve her bir fraksiyondan CaCO₃, organik madde ve Fe-oksit uzaklaştırılmıştır. Düver ve Harran topraklarında, fraksiyonlanmamış toprakta (kum, silt ve kil fraksiyonlu toprak) silt fraksiyonunda, kil fraksiyonunda, organik madde uzaklaştırılmış silt fraksiyonunda, organik madde uzaklaştırılmış kil fraksiyonunda, CaCO₃ uzaklaştırılmış silt ve kil fraksiyonunda ve Fe-oksit uzaklaştırılmış silt ve kil fraksiyonunda adsorpsiyon izoterm testleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Langmuir adsorpsiyon izotermi ile uyumlandırılmış ve sonuçlar, Langmuir izoterm parametrelerinden elde edilen terimler, kıyaslanmıştır. Her iki toprakta da adsorpsiyon alanlarını maskelemek sureti ile CaCO₃ ve organik madde P-adsorpsiyonunu azaltmıştır. Düver toprağının P-adsorpsiyonunda Fe-oksitler önemli bir etkiye sahipken, Harran toprağında kil fraksiyonu ve Fe-oksitler P-adsorpsiyonunda baskın bir şekilde etkili olmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki, toprak mineralojisi P-adsorpsiyonunu kontrol eden önemli bir faktördür. Bu nedenle ilerki çalışmalarda, farklı bünyedeki toprakların fosfor gübrelemesi, P-adsorpsiyon kapasitesi ve fosfor saturasyon hızı arasındaki interaksiyonların hedeflenmesi fosforlu gübrelemede etkinliği yükseltebilecektir.

2009, Ekim 143 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fosfor, Langmuir, Adsorpsiyon, İzoterm, Ağır Bünye, Toprak.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SOME SOIL COMPONENTS ON P ADSORPTION CAPACITY OF HEAVY TEXTURED SOILS USING LANGMUIR ISOTHERM EQUATION

İlknur YURDAKUL

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Soil

Supervisor: Prof. Dr. Sadık USTA

Effect of CaCO₃, organic matter, Fe-oxides and silt and clay fractions on phosphorus adsorption capacity of two distinct soils were investigated. The first soil (Ankara, Düver series) was a clay, strongly alkaline, and it was medium in CaCO₃; and the second one (Şanlıurfa, Harran series) was a clay, low in available phosphorus and organic matter, and it was slightly alkaline. Silt and clay fractions of the soils samples were separated and CaCO₃, organic matter, and Fe-oxides of each fraction were removed in laboratory. Adsorption isotherm tests were conducted with non-fractionated soil (soil with sand, silt and clay fractions), silt fraction, clay fraction, organic matter-removed silt fraction, organic matter-removed clay fraction, CaCO₃-removed silt and clay fractions and Fe-oxides-removed silt and clay fractions of Düver and Harran soils. Data were fit to a Langmuir adsorption isotherm and the results were compared in terms of parameters of Langmuir isotherm. Both CaCO₃ and organic matter decreased P adsorption, masking the adsorption sites in both soils. Clay fraction and Fe-oxides affected P-adsorption predominantly in Harran soil while Fe-oxides had a significant contribution in P-adsorption in Düver soil. The results further showed that soil mineralogy was an important factor controlling P adsorption. Therefore, further studies, targeting the interactions among P-fertilizers and P-adsorption capacity and P-saturation rate of soils with different texture, should be conducted to improve P-fertilizer efficiency.

October 2009, 143 pages

Key Words: Phosphorus, Langmuir, Adsorption, Isotherm, Heavy Texture, Soil.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçiminde, planlanan tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde yardım ve yol göstericiliğinden her zaman yararlandığım, araştırmanın laboratuvar çalışmalarında bana bilgi ışığı tutan, tezimin metin kısımlarının titizlikle incelenmesinde yardımlarını benden esirgemeyen danışmanım A.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Sadık USTA'ya teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışması boyunca, çok değerli katkı ve yardımlarını aldığım Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Sonay SÖZÜDOĞRU OK ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Ahmet ÖZTÜRK'e tezime katkılarından dolayı çok teşekkür ederim. Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürü Sayın Dr. Bülent SÖNMEZ'e, yardımlarını benden esirgemeyen Dr. Çetin ARCAK'a, bana her zaman manevi destek olan arkadaşlarıma, Enstitü verimlilik laboratuvarı laborantları ile elemanlarına, manevi desteklerini gördüğüm kızım İlayda YURDAKUL'a ve eşim Osman YURDAKUL'a teşekkür ederim.

Çalışmaya verilen destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederim

İlknur YURDAKUL

Ankara, Ekim 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1 Adsorpsiyon.....	5
2.2 Toprakta Fosfor Adsorpsiyonu.....	8
2.3 Fosfor Adsorpsiyon Mekanizması.....	11
2.4 Toprakta Fosfor Oluşumları.....	17
2.4.1 Kalsiyumlu topraklarda oluşumlar.....	17
2.4.2 Demir ve alüminyumlu topraklarda oluşumlar.....	18
2.4.3 Organik bileşik içeren topraklarda oluşumlar.....	18
2.4.4 Kil minerallerinde oluşumlar.....	19
2.5 Toprak Bileşenlerinin Fosfor Adsorpsiyonuna Etkisi.....	25
2.5.1 Demir.....	25
2.5.2 Kil.....	32
2.5.3 Organik madde.....	38
2.5.4 Kireç.....	44
2.6 Fosfor Adsorpsiyon İzotermi.....	50
2.6.1 Langmuir adsorpsiyon izotermi.....	51
2.6.2 Freundlich adsorpsiyon izotermi.....	52
2.7 Adsorpsiyon İzotermi Araştırma Çalışmaları.....	52
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	63
3.1 Materyal.....	63
3.1.1 Araştırmada kullanılan toprakların alındığı yerler.....	63
3.1.2 Araştırma alanlarının özellikleri.....	63
3.2 Yöntem.....	64
3.2.1 Araştırmanın konuları.....	64
3.2.1.1 Kireç uzaklaştırma yöntemi.....	64
3.2.1.2 Organik madde uzaklaştırma yöntemi.....	65
3.2.1.3 Demir oksitleri uzaklaştırma yöntemi.....	65
3.2.1.4 Fraksiyonlara ayırma işlemi.....	65
3.2.1.5 Denge çözeltisi yöntemi.....	66
3.2.1.6 Askorbik asitle renklendirme yöntemi.....	66
3.2.2 Toprakların tanımlanması amacıyla yapılan analizler.....	66
3.2.3 Langmuir izoterm yönteminin uygulanması.....	68
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	71
4.1 Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	71
4.2 Toprak Örneklerinin Kil Tipleri.....	73

4.3 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış ve Fraksiyonlarına Ayrılmış Toprakların Kimyasal Özellikleri.....	75
4.3.1 Toprakların kil ve silt fraksiyonlarının kireç içerikleri	76
4.3.2 Toprakların kil ve silt fraksiyonlarının organik madde içerikleri	76
4.3.3 Toprakların kil ve silt fraksiyonlarının demir içerikleri	77
4.3.4 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların toprak reaksiyonları..	77
4.4 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış Topraklar ile Bunların Kil ve Silt Fraksiyonlarında Langmuir Fosfor Adsorpsiyon İzotermi.....	78
4.5 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış Topraklar ile Bunların Kil ve Silt Fraksiyonlarında Regresyon Analizleri ve Ayırma Faktörü Değerleri.....	90
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	94
5.1 Toprakların Adsorpsiyon Maksimumlarının Genel Değerlendirmesi...	94
5.2 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış Toprakların ve Fraksiyonlarının Adsorpsiyon Maksimumlarının Kıyaslanması.....	95
5.2.1 Toprak bileşenlerinin toprakta fosfor adsorpsiyonuna etkisi	97
5.2.1.1 Toprakta organik maddenin fosfor adsorpsiyonuna etkisi....	97
5.2.1.2 Toprakta kirecin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	98
5.2.1.3 Toprakta demirin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	98
5.2.2 Kil fraksiyonunda toprak bileşenlerinin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	100
5.2.2.1 Kil fraksiyonunda organik maddenin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	101
5.2.2.2 Kil fraksiyonunda kirecin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	102
5.2.2.3 Kil fraksiyonunda demir oksitlerin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	103
5.2.3 Silt fraksiyonunda toprak bileşenlerinin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	106
5.2.3.1 Silt fraksiyonunda organik maddenin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	107
5.2.3.2 Silt fraksiyonunda kirecin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	108
5.2.3.3 Silt fraksiyonunda demir oksitlerin fosfor adsorpsiyonuna etkisi.....	108
5.3 Toprakların Fosfor Doygunluğu Değerlendirmesi.....	109
5.4 Sonuç.....	111
KAYNAKLAR.....	115
EKLER.....	128
EK 1 Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları	129
EK 2 Organik madde uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları	130
EK 3 Kireç uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları.....	131
EK 4 Organik madde ve kireç uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları.....	132

EK 5 Organik madde, kireç ve demir uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltileri sonuçları.....	133
EK 6 Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltileri sonuçları.....	134
EK 7 Organik madde uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltileri sonuçları.....	135
EK 8 Kireç uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltileri sonuçları.....	136
EK 9 Organik madde ve kireç uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltileri sonuçları.....	137
EK 10 Organik madde kireç ve demir uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltileri sonuçları.....	138
EK 11 S' ve S Değerlerinin hesaplanması.....	139
EK 12 Langmuir parametrelerinin hesaplanması	140
EK 13 Fosfor doygunluğu yüzdesinin hesaplanması	141
ÖZGEÇMİŞ.....	142

SİMGELER DİZİNİ

AAS	Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresi
Alo	Amorf Alüminyum Oksit
B	Bor
Ca	Kalsiyum
DPS	Saturasyon Derecesi
EDTA	Etilen Diamin Tetra Asetik asit
Feo	Amorf Demir Oksit
FSD	Fosfor Saturasyon Derecesi
FSI	Fosfor Saturasyon İndeksi
HAS	Hidroksialüminasilikat
HyA	Hidroksialüminyum
HM	Humik Asit
K	Potasyum
KDK	Katyon Değişim Kapasitesi
MBC	Maksimum P Buffer Kapasitesi
Mg	Magnezyum
MPAC	Maksimum Fosfor Adsorpsiyon kapasitesi
Na	Sodyum
NPK	Azot Fosfor Potasyum
OM	Organik Madde
P	Fosfor
pH	Toprak Reaksiyonu
Smax	Adsorpsiyon maksimumu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TSP	Triple Süper Fosfat
XRD	X Işınları Diyagramı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Toprak bileşenleri (v/v).....	10
Şekil 2.2 Lithosferin elementel kompozisyonu (w/w).....	11
Şekil 2.3 Asidik topraklarda fosfor adsorpsiyon mekanizması.....	14
Şekil 2.4 Toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonu absorplanan fosfor konsantrasyonu ilişkisi.....	16
Şekil 4.1.a. Düver serisi toprağının toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	80
Şekil 4.2.a. Harran serisi toprağının toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	81
Şekil 4.3.a. Düver serisi toprağının organik madde uzaklaştırıldığı durumda toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	82
Şekil 4.4.a. Harran serisi toprağının organik madde uzaklaştırıldığı durumda, toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	83
Şekil 4.5.a. Düver serisi toprağının kireçsiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	84
Şekil 4.6.a. Harran serisi toprağının kireç uzaklaştırıldığı durumda toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	85
Şekil 4.7.a. Düver serisi toprağının kireçsiz ve organik maddesiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	86
Şekil 4.8.a. Harran serisi toprağının kireçsiz ve organik maddesiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	87
Şekil 4.9a. Düver serisi toprağının kireçsiz, organik maddesiz ve demirsiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	88
Şekil 4.10.a. Harran serisi toprağının kireçsiz, organik maddesiz ve demirsiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermleri.....	89
Şekil 5.1 Düver ve Harran serisi topraklarının bazı toprak bileşenlerinin P-adsorpsiyon maksimumuna etkileri.....	96
Şekil 5.2 Düver ve Harran serisi topraklarının bazı toprak bileşenlerinin kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumuna etkileri.....	101
Şekil 5.3 Düver ve Harran serisi topraklarının bazı toprak bileşenlerinin silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumuna etkileri.....	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Araştırma topraklarının temel kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	72
Çizelge 4.2 Araştırma topraklarının içerdiği kil mineralleri.....	74
Çizelge 4.3 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların ve bunların kil ve silt fraksiyonlarının kireç, organik madde ve toplam demir içerikleri.....	75
Çizelge 4.4 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış topraklarının toprak reaksiyonları.....	78
Çizelge 4.5 Bazı toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprak ve toprak fraksiyonlarının Langmuir parametreleri ve fosfor değerleri.....	79
Çizelge 4.6 Toprakların ve fraksiyonların Langmuir P-adsorpsiyon izotermelerinin regresyon analizi sonuçları.....	91
Çizelge 4.7 Toprakların ve fraksiyonlarının ayırma faktörü değerleri.....	93
Çizelge 5.1 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların ve bunların fraksiyonlarının fosfor adsorpsiyon maksimum değerleri	97
Çizelge 5.2 Toprakların ve fraksiyonların P-doygunluk değerleri.....	110

1. GİRİŞ

Toprakta kalite kaybını önleyebilmek için, toprağın iyi tanınması gereklidir. Günümüzde sınırlı ve önemli doğal kaynaklardan biri olan toprağı korumak, daha etkin ve verimli kullanmak son derece önemli hale gelmiştir. Bitki yetiştiriciliğinde amaç bol ve kaliteli ürün elde etmektir. Bu da bitkinin yetişeceği ortamın iyi hazırlanmasına bağlıdır. Bitki yetiştiriciliğinde toprakla ilgili tarımsal çalışmaların tümünün birleştiğı nokta, toprakların verimlilik özelliklerinin korunması ve artırılması ile ilgili önlemleri almak ve toprağı üretkenlik kazandırmaktır. Önlemlerin en önde gelenlerinden birisi de devamlı bitki yetiştirilmesi ile besin element dengesi bozulan topraklara organik veya inorganik kaynaklı besin elementleri ilavesi yani gübreleme olduğu belirtilmektedir (Hatipoğlu 1981, Sezen 1995).

Gübrelemenin başarılı olması için, bitkilerin ihtiyaç duydukları bitki besin maddesi miktarlarının ve topraktan sağlanabilecek besin maddesi miktarının iyi bir şekilde tesbit edilmesi gereklidir. Bitkinin sağlıklı bir gelişim periyodu sürdürebilmesi için, kendisine sağlanacak elementler, yeterli ve dengeli olmalıdır. Bu nedenle topraktaki besin elementlerinin kompozisyonu son derece önemlidir. Bitki besin elementlerinin fazlalığı, azlığı yada dengesizliği gelişim dönemi boyunca bitkide farklı bozukluklara neden olmaktadır.

Agronomist ve ekolojistler yıllardır fosfor döngüsünü ve onun yararışlılığını çalışmışlardır. Fosfor toprakta çok az bulunduğu gibi, bir çok fizikokimyasal olayın etkisinde topraktan uzaklaşmaktadır. Fosfor döngüsü inorganik kimyasal olaylar tarafından kontrol edilmektedir. Bazı sistemlerde de organik maddenin parçalanması sonucu mikrobiyal depodan serbest kalan fosfor, bitkilerin faydalanacağı fosfor, organik fosfor döngüsü ile de kontrol edilmektedir (Lajthal and Harrison 2002).

Fosforun bitki metabolizmasındaki en önemli işlevi, enerjinin kimyasal biçimde depolanmasına olanak sağlayan pirofosfat bağlarını oluşturmaktır. Ayrıca fosfor biyolojik zarlarda yapı elementi olarak da görev almaktadır (Aydemir 1992, Aktaş 1998).

Bitkiler fosfora bağlı olarak gelişmelerini, topraktaki yarayışlı fosfor miktarına göre ayarlamak zorundadırlar. Topraktaki miktar bitki ihtiyacının altında ise, toprağın doğal olarak gübrelenmesi gereklidir. Uygulanacak gübre miktarının belirlenmesinde topraktaki fosfor miktarının bilinmesinin yararı vardır (Sezen 1995).

Araştırmacılar tarafından çiftçi tarlalarında, minimum gübre uygulaması ile sürekli kültüvasyona devam edilmesinin labil fosforu azalttığı ve optimum ürün için bu alanlarda yüksek seviyede gübrelemeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Duffera and Robarge 1999).

Topraktaki fosfor dinamiği, adsorpsiyon/desorpsiyon, çökme/tekrar çözünme, immobilizasyon/mineralizasyon ve bitki alımı/bitki parçalanması gibi kimyasal ve biyolojik etkiler altındadır (Campbell ve Edwards 2001). Topraklar tarafından fosforun adsorpsiyon ve desorpsiyonunu bilmek, toprak kalitesi ve gübrelemenin idaresinde önemlidir (Zhou ve Li 2001). Topraktaki yarayışlı fosforun kontrol edilmesinde fosfor sorpsiyonu çok önemli bir olaydır. Sorplanan fosforun geriye dönme özelliğinden dolayı kısa ya da uzun zamanda sorplanmış fosfor, bitkiye yarayışlı fosfor kaynağıdır.

Fosfor izoterm grafiğinden faydalanılarak toprak çözeltilisindeki fosforun bulunabileceği, bunun da ürün yetiştirmede bitkinin ihtiyacı olan fosforun tesbitinde kullanılacağı belirtilmiştir (Fox ve Kamprath 1970). Örneğin, kuru şartlarda buğday yetiştiriciliğinde, fosforlu gübre ihtiyacının tahmininin fosfor sorpsiyon izoterminden, Olsen fosfor testi ile yapılan tahmine göre daha iyi olduğu belirtilmiştir (Klages vd. 1988). Toprağın, solusyondan fosfor sorplama yeteneği kontrollü şartlarda (kontrollü sıcaklık, toprak-solusyon oranı, kontrollü steril ortam altında iyon değişimi) laboratuvarında, içeriği belirli

çözeltilerle, örneklenmiş toprağın dengeye getirilmesi ile ölçülebilir. Sorplanan fosfor miktarı ve denge çözeltisindeki fosfor konsantrasyonu kullanılarak, adsorpsiyon izoterminden bulunan fosfor adsorpsiyon maksimumu ile yüzey fosforu arasındaki ilişki fosfat tampon kapasitesi tayin edilmektedir (Allen 2002). Sabit sıcaklıkta adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge konsantrasyonu arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilmektedir. Diğer bir ifadeyle, izoterm ile adsorban ve adsorplanacak madde arasındaki ilişki anlaşılmaktadır. İzoterm eğrileri ampirik olarak belirlenmekte fakat matematiksel olarak ifade edilmektedirler. İzotermler, sabit sıcaklıkta adsorbanın birim kütlede, adsorbe olan maddenin bağıl konsantrasyonuna karşı çizilmektedir (Dağlı ve Akça 2007).

Adsorpsiyon hem mineral yüzeylerine seçimli bağlanma hemde çökeltme reaksiyonlarını kapsamaktadır (Johanson 1999). Adsorpsiyon ve desorpsiyon toprağın mineral bileşikleri ve organik maddesindeki kimyasal bağlı fosforun miktarının kontrolünün gerçekleştirildiği birbirine zıt proseslerdir. Fosfor adsorpsiyonu farklı değişkenlerle kontrol edilmektedir. Bunlar toprağın tekstür durumu, Fe, Al, CaCO₃ ve organik madde konsantrasyonu ve pH'dır. Adsorplanan fosfor ile çözeltideki fosfor arasındaki ilişkiyi tarif etmek için bazı modeller kullanılmaktadır. Langmuir ($q = k \cdot C \cdot b / (1 + k \cdot C)$) ve Freundlich ($q = K \cdot d \cdot C^{1/n}$) en yaygın kullanılan modellerdendir. Bu denklemlerin lineer formları tercih edilmektedir. Langmuir için, $C/q = (1/kb) + C/b$ Freundlich için, $\text{Log}q = \text{Log}Kd + 1/n \text{ Log} C$ kullanılmaktadır (Champbell ve Edwards 2001).

Bu çalışma ile Türkiye'de ilk defa toprak fraksiyonları bazında, ağır bünyeli toprakta çalışılarak, fosfor adsorpsiyonuna, kil, kireç, organik madde ve demir oksitin etkileri ortaya konmuştur. Ağır bünye özelliklerine sahip olan toprağın, toprak verimliliği açısından yorumlanmasına katkılar sağlayacağı düşünülen fosfor adsorpsiyon kapasitesinin tayin edilebilmesi için bu çalışma yürütülmüştür. Toprak özelliklerinin adsorplama kapasitesinin bilinmesi, uygulama çalışmalarında, gübrelerin daha etkin ve ekonomik kullanımına,

fosforla ilgili yorumların, toprak yapısı bakımından açıklanmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

Toprakların organik ve inorganik fosfor rezervlerinin seviyelerinde farklılıklar bulunmaktadır. Bitkilerin yararlı fosforunu desteklemede, yönetim stratejileri için toprakların fosfor adsorpsiyon ve desorpsiyon kapasitelerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Ürün yetiştirmede, topraklara fosfor takviyesinde, toprakların adsorpsiyon kapasitelerinden daha fazlası yani ilaveten bitkinin ihtiyacı kadar daha fosfor yüklemesi yapılmalıdır (Nwoke vd. 2004).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprakta adsorpsiyon konusu günümüzde üzerinde en çok çalışılan konulardan birisidir. Tarımda kullanılan gübrelerin veya çevresel atık ve girdilerin topraktaki davranışları, verimlilik durumları, çevreye ve insana olan etkileri son derece önemlidir. Bu çalışma ile adsorpsiyonda etkili olabilecek toprak bileşenlerinden kireç, organik madde ve demir oksit, toprakta, toprağın kil ve silt fraksiyonlarında fosfor adsorpsiyonuna etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Fraksiyonlama ve toprak bileşenlerinin ayrılması üzerinde yapılmış çalışmalar Türkiye’de son derece azdır. Topraktaki fosfor adsorpsiyonunun, toprak verimliliği açısından yorumlanmasına katkılar sağlayacağı düşünülen fosfor adsorpsiyon kapasitesinin tayin edilebilmesi için; toprak bileşenlerinden her birinin ayrı ayrı uzaklaştırıldığı ortamlarda kil ve silt fraksiyonlarını ayırma ve bu fraksiyonları belirli fosfor çözeltileri ile dengeye getirme, denge durumunu Langmuir izoterm eğrileri ile değerlendirme adımları uygulanmıştır. Toprak bileşenlerinin fosfor adsorplama kapasitesine etkilerinin bilinmesi, pratik çalışmalarda, gübrelerin daha etkin kullanımında, olayın toprak yapısı bakımından açıklanmasında önemli yorumlar katacağı gibi ülkemizde de bu yönde yeni bilgilere ulaşma fırsatı verecektir. Fosfor adsorpsiyonu konusunda yapılmış ve araştırma konusu ile ilgili olan araştırmalara bu bölümde yer verilmiştir.

2.1 Adsorpsiyon

Katı veya akışkanlar içinde moleküller her yönden çekildikleri için, bu çekim kuvvetleri dengededir. Oysa, fazlar arası yüzeyde, moleküllere etki eden çekim kuvvetleri farklılık göstermekte olup, bu yüzden maddenin derişimi, ara yüzeye yakın bölgede ara yüzeyi oluşturan fazlar içerisindeki yığın derişiminden farklıdır. Dolayısı ile katı ve sıvı yüzeylerine değmekte olan gazlar, sıvılar veya bunların içerisinde çözünmüş olan maddeler bu yüzeyler tarafından tutulurlar. Yüzey tarafından tutunma, moleküller arası kuvvetlerin ani değışiminden dolayı her türlü ara yüzeyde (katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-gaz, sıvı-sıvı) meydana gelebilir. Tutucu yüzey, katı veya sıvı olabilirken, yüzey tarafından tutulan, gaz

veya sıvı olabilir. Böylece gaz veya sıvı fazdan, katı faz veya sıvı ara yüzeyine adsorpsiyon meydana gelmektedir. Genellikle bu tutunma sıvı ara yüzeyine olur ise, sıvı içerisinde difüzyon taşınımı ile tutunan madde sıvı yığını içerisinde yayılabilir. Bu olay absorpsiyon olarak adlandırılmaktadır. Adsorpsiyon olayı genellikle katı yüzeyine sıvı veya gaz moleküllerinin tutunması şeklinde tanımlanmaktadır. Adsorpsiyon, malzeme derişiminin katı yüzeyinde yığın derişimine göre artışı şeklinde tanımlanmaktadır. Yüzeyde tutunan malzemeye “adsorplanan” ve üzerinde adsorpsiyonun gerçekleştiği katıya da adsorbent ismi verilmektedir. Adsorpsiyon bir yüzey olayıdır. Bu terim absorpsiyon ile karıştırılmamalıdır. Adsorpsiyonda madde, yüzey (katı yüzey) üzerinde tutulurken, absorpsiyonda çözünen madde çözücü yığını içerisinde (sıvı içerisinde) çözünmektedir. Adsorplanan iyon ve moleküller, adsorplayıcı katı üzerinde dengesiz olan kuvvetlerin bir kısmını doyurarak, yüzey gerilimini düşürürler. Yüzey geriliminin düşmesi, yüzey serbest enerjisinin azalması demektir. Genellikle yüzey serbest enerjisini düşüren maddeler adsorpsiyon işlemi ile yüzey tarafından tutulurlar. Adsorpsiyon esnasında serbest enerji değişimi negatiftir. Serbest enerjinin azalmasının olduğu olaylar kendiliğinden yürüme eğilimi gösteren olaylar olduğundan, adsorpsiyon işlemi de kendiliğinden meydana gelmektedir. Üç boyutlu olarak hareket eden akışkan molekülleri bir katı yüzeyde adsorlandıkları zaman, düzensiz bir durumdan daha düzenli bir duruma geçerek iki boyutlu hareket etmek zorunda kalırlar. Düzenli bir duruma gelme olaylarında da işlemin entropi değişimi negatiftir (Şenvar 1981).

Bir katı tarafından adsorplanan akışkanın miktarı:

A- Adsorbe eden ve edilenin yapısına,

B- Adsorbe edenin yüzey özelliklerine,

C- Tepkime sıcaklığı ve basıncına,

D- Adsorbe edilenin yığın derişimine bağlı olarak değişmektedir.

Adsorpsiyon işlemi bir yüzey işlemi olduğu için, adsorplama gücü, yüzey özelliklerinin önemli bir fonksiyonudur. Adsorbantın yüzey özellikleri arasında adsorpsiyon işlemi etkileyen en önemli parametre yüzey alan değeridir. Artan yüzey alan değeri ile

adsorpsiyon miktarında da artış görülmektedir. Dolayısı ile gözenekli maddeler ve çok ufak parçalara bölünmüş katılar yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadırlar (Şenvar 1981).

Sıkça kullanılan adsorbentler arasında;

- A- aktif kömür,
- B- silisyum dioksit,
- C- alüminyum oksit,
- D- zeolit ve
- E- moleküler elekler yer almaktadır.

Adsorpsiyon, adsorbe edilenin yüzeyde tutulmasını sağlayan kuvvet çeşitlerine göre;

- A- Fiziksel Adsorpsiyon,
- B- Kimyasal Adsorpsiyon olarak ikiye ayrılmaktadır.

Fiziksel adsorpsiyonda, adsorbe edilen madde, zayıf van der Waals kuvvetleri yardımı ile yüzeyde tutulmaktadır. Bu adsorpsiyonun ısısı genellikle düşük olmaktadır, bu değer 5 000–10 000 cal/mol'dir. İşlem tersinirdir ve işlem şartlarının (basınç, sıcaklık, derişim) değiştirilmesi ile adsorbe edilen madde kolaylıkla yüzeyden uzaklaştırılabilir, desorpsiyon meydana gelebilir. Kimyasal adsorpsiyon; adsorplanan taneciklerin, adsorplanan yüzeyine rastlayan atomlar tarafından kimyasal bağ ile tutunması ile oluşan adsorpsiyon şeklidir. Kimyasal bağın dayanıklılığı farklılık göstermektedir. Bunun yanında oluşan bağlar fiziksel adsorpsiyonda oluşan bağlardan kuvvetlidir. Ör: Klorür iyonlarının gümüş üzerine adsorpsiyonunda iyonik bağ (AgCl) veya metal üzerine oksijen gazının adsorplanmasında metal–oksijen bağı (kovalent bağ) oluşumu şeklindedir (Şenvar 1981).

Adsorpsiyon enerjisi, adsorbe edilenin molü başına 20 000–100 000 cal arasındadır. Bu değer kimyasal olaylardaki reaksiyon ısısı ile yaklaşık aynıdır. Kimyasal adsorpsiyon aktif adsorpsiyon olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal adsorpsiyon yalnızca tek tabaka olarak gerçekleşmektedir. Fiziksel adsorpsiyon tek veya çok tabakalı olarak

gerçekleşebilmektedir. Kimyasal adsorpsiyonda kuvvetli bağ oluşumu söz konusu olduğu için tek yönlü bir olaydır. Fiziksel adsorpsiyon sıcaklık yükseltilmesi ile azalırken kimyasal adsorpsiyon aktivasyon enerjisine bağlı olarak sıcaklık yükseltilmesi ile artmaktadır. Sabit sıcaklıkta birim adsorbent miktarı tarafından adsorplanan miktarın denge çözeltisi derişimi ile ilişkisi “adsorpsiyon izotermi” olarak adlandırılmaktadır (Şenvar 1981).

2.2 Toprakta Fosfor Adsorpsiyonu

Bitkiler gereksinim duydukları fosforun bir kısmını toprak çözeltisinden bir kısmını da toprağın katı fazından genellikle ortofosfat iyonları şeklinde almaktadırlar. Toprak çözeltisinde eksilen fosfor, toprağın katı fazı tarafından hemen eski düzeyine getirilmektedir. Toprak çözeltisi ile toprak katı fazı arasında sürekli bir denge mevcuttur (Fried ve Shapiro 1960).

Bitkilerin gelişmelerinde fosforun önemli bir yeri bulunmaktadır. Fosfor bitkilerde nükleik asitin, fitinin ve fosfolipidlerin yapı maddeleri olarak kullanılmaktadır. Bitkilerde dölleme organlarının tam olarak gelişebilmesi için fosfor gerekli bir elementtir (Aydemir 1992).

Bitki köklerine besin sağlanmasındaki en önemli toprak faktörleri, toprak çözeltisinin besin konsantrasyonu, toprak çözeltisindeki besinlerin yenilenmesi ve toprak profilinde kolayca çözünebilir besinlerin miktarlarıdır. Toprak çözeltisi besin konsantrasyonu bir intensite faktörü ve toprak katı dilimine adsorbe edilmiş ya da labil organik bileşiklere bağlanmış besinler bir kantite faktörü ile karakterize edilir ise; bitki gelişmesini desteklemek amacı ile gübre uygulaması yapılacağı durumlarda toprağın intensite ve kantite durumlarının mutlaka dikkate alınması gereklidir (Aydemir 1997).

Topraktaki fosfor, aşağıdaki fraksiyonların bazılarını veya tamamını içerebilmektedir.

- A- Kristal yapı içersindeki fosfor,
- B- Adsorplanmış fosfor,
- C- Absorplanmış fosfor,
- D- Organik partiküldeki fosfor,
- E- Organik partikülden çözünmüş fosfor,
- F- Çözünmüş inorganik fosfor,
- G- Biyolojik yarayışlı fosfor, (Haygarth 1997).

Toprakta fosfor hareketleri;

- A- Mineralizasyon ile fosfor hareketi,
- B- İmmobilizasyon ile fosfor hareketi,
- C- Toprak yüzeyindeki adsorpsiyon/desorpsiyon olayları,
Kil, Fe, Al oksitler ve karbonatlar ile oluşan olaylar.
- D- İkincil mineraller ile çökme ve çözünmeye olayları,
Ca, Fe, Al fosfatların oluşması.
- E- Birincil toprak minerallerinin havalanması sonucu oluşan olaylar,
- F- Apatitin oluşmasıdır (Bierman 2001).

Mineralizasyon ile fosfor hareketi;

Toprak organik maddesi \approx % 1 fosfor içermektedir. Organik fosfordan bitkiye yarayışlı inorganik fosfor oluşmaktadır. Bu oluşumda bakteri, fungi ve aktinomiset aktivitesi etkilidir. Aynı zamanda sıcaklık, nem, havalanma, pH, bitki içeriği, partikül büyüklüğü, yüzey alanı da etkilidir. Fosfataz enzimleri ile oluşan ortofosfat iyonlarının oluşumunda, mikroorganizmanın çok olması önemlidir.

İmmobilizasyon ile fosfor hareketi;

Mineralizasyon rezervi, mikroorganizmalar ile topraktan alınan inorganik fosfor ve mineralizasyon ve immobilizasyon arasındaki denge (C/N, C/P oranları) önemlidir. Yüksek C/P oranı olduğu durumda; mikroorganizma toprak solusyonu fosforunu kullanır, organik madde bozunması azalır.

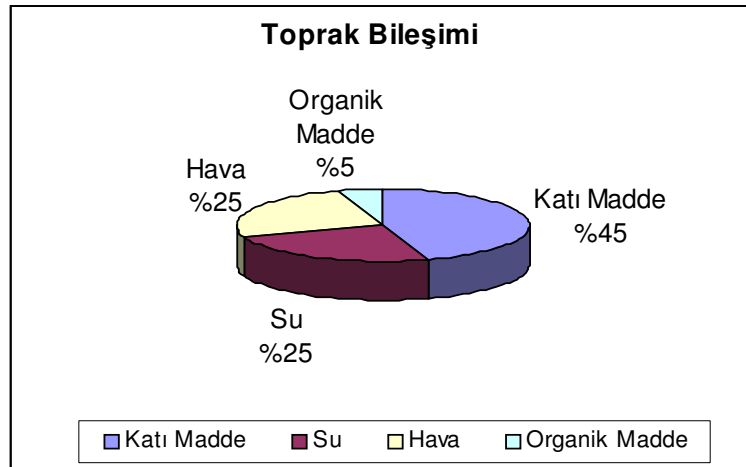
C/P oranı 100/1'dir. C/N/P oranı 120/10/1.3

C/P > 300 → fosfor immobilizasyon > fosfor mineralizasyon

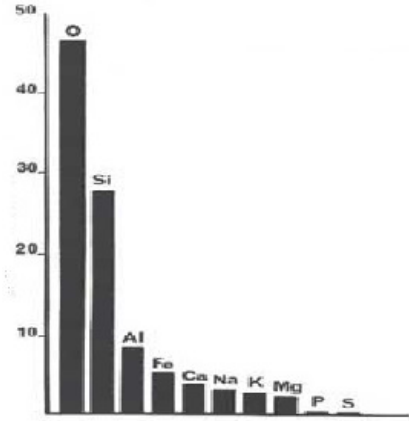
C/P = 200-300 → fosfor immobilizasyon = fosfor mineralizasyon

C/P < 200 → fosfor mineralizasyon > fosfor immobilizasyon

Toprak üç fazlı kompleks bir karışımdır. Toprak yaklaşık olarak % 50 katı (% 45 mineral madde + % 5 organik madde), % 25 hava ve % 25 sıvı (v/v) fazdan oluşmaktadır. Mineral maddeler ana kayanın çeşitli etkenlerle parçalanmasından, organik madde ise biyolojik prosesler sonucunda oluşmaktadır. Bu fazlara ilave olarak toprak yaşayan bazı grupları da içerisinde barındırmaktadır (Şekil 2.1), (Glass 2004).



Şekil 2.1 Toprak bileşenleri (v/v) (Glass 2004)



Şekil 2.2 Litosferin elementel kompozisyonu (w/w) (Glass 2004)

Toprakların doğal kimyası, üstünde olduğu ana kayaya bağlı ise de litosferin %80'i Aluminosilikatlardan ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)⁻² oluşmaktadır (Şekil 2.2). Bu özellik de topraklara negatif elektrik yükü vermektedir (Glass 2004).

2.3 Fosfor Adsorpsiyon Mekanizması

Fosfat, polisilikat kil mineralleri tarafından tutulur. Aynı zamanda kalkerli topraklarda da CaCO_3 tarafından tutulmaktadır. Toprak çözeltisinde bulunan fosfor, bitkiler için yararlı formda olan fosfordur. Toprak tarafından tutulan fosfor, toprak çözeltisi fosforu ile denge halindedir ve toprak çözeltisine fosfor geçişi, labil fosfor havuzunda hızlıdır. Ancak labil fosfor havuzundan labil olmayan fosfor havuzuna yavaş bir geçiş mevcuttur. Bu geçişin geri dönüşümü ise yok denecek kadar azdır (McLaren ve Cameron 1996).

Van Der Houwen ve Valsami (2001) hidroksi apatitin (HA) kalsiyum fosfatın en stabil formu olduğunu belirtmiştir. Bunun yanında kalsiyumun diğer fosfatlarının da olduğunu, bunların; dikalsiyum fosfat dihidrat $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, orto kalsiyum fosfat $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 2,5 \text{H}_2\text{O}$, tri kalsiyum fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ veya amorf fosfat olduğunu belirtmiştir.

Kolay çözünen fosfor formları, mineral yüzeylerinde adsorplanmış olan ortofosfat iyonlarıdır (H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-}). Bu fosfor, bitki kullanımını sonucu çözültideki fosforun azalmasından dolayı, toplam fosforun, yüksek derecede çözünürlüğe sahip olan, çabuk yarayışlı forma geçen bölümüdür. Geriye kalan fosfor labil olmayandır ve çözünürlüğü düşüktür, bitkiler için yarayışlı değildir (Garcia 1999).

Organik fosfor, genelde topraktaki toplam fosforun %40-%60'lık bölümünü oluşturmaktadır. Toprak organik maddesindeki fosfor içeriği %1-%3 civarındadır. Özellikle bitki kalıntıları ile organik madde minerilizasyonu çözültideki fosforu desteklemektedir. Genellikle gübre uygulamaları organik fosforun toprağın daha derinlerine hareket etmesinde etkili olmaktadır. Topraklarda fosfor organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır. Humus ve bitki kalıntılarında organik formda fosfor bulunmaktadır. İnorganik formdaki fosfor Fe, Al, Mg ve Ca ile reaksiyona girdiği için çok yavaş yarayışlı forma geçmektedir (Garcia 1999).

Çözünebilir inorganik fosfor bitkiye yarayışlı olan fosfordur. Fosfor PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , H_2PO_4^- formları halinde bulunmaktadır. Bu formların oluşumu üzerinde toprak pH'sı etkili olmaktadır. Topraktaki Cl^- ve NO_3^- iyonları hızlı yıkanırken, çözünür fosfat bileşikleri daha yavaş hareket etmektedirler. Toprak fazında adsorbe olmuş fosfor toprak çözültisi ile denge halinde bulunmaktadır. Fosfor Al, Fe ve Ca etkisi ile oluşan adsorbsiyon ve çökeltilerle kolayca yıkanarak uzaklaşmamaktadır. Katı fazdaki fosfor genelde aşağıdaki formlarda bulunmaktadır.

- A- Fe, Al ve Ca ile çökelti oluşturarak fosfat iyonları adsorblanmaktadır (Fe-PO_4 , Al-PO_4 , Ca-PO_4), asidik topraklarda, Fe-PO_4 , Al-PO_4 formları çözünemez formdadır. Al-PO_4 en fazla çözünemez formdur, zamanla çözünürlüğü daha az olan Fe-PO_4 formuna dönüşebilir.
- B- Ca için çok farklı formlar oluşmaktadır. Bu fosfatların çözünürlükleri toprak pH değerine göre artmakta veya azalmaktadır.

- C- Asidik koşullar altında, Ca-PO₄ hızla bozunmaktadır.
- D- Toprak pH değerinin nötr ve nötre yakın (pH 6.0–7.5) olduğu durumlarda, fosforlu bileşiklerin çoğu çözünür durumdadır.
- E- Bazik pH değerlerinde, Ca-PO₄ çözünürlüğü aniden düşmektedir.

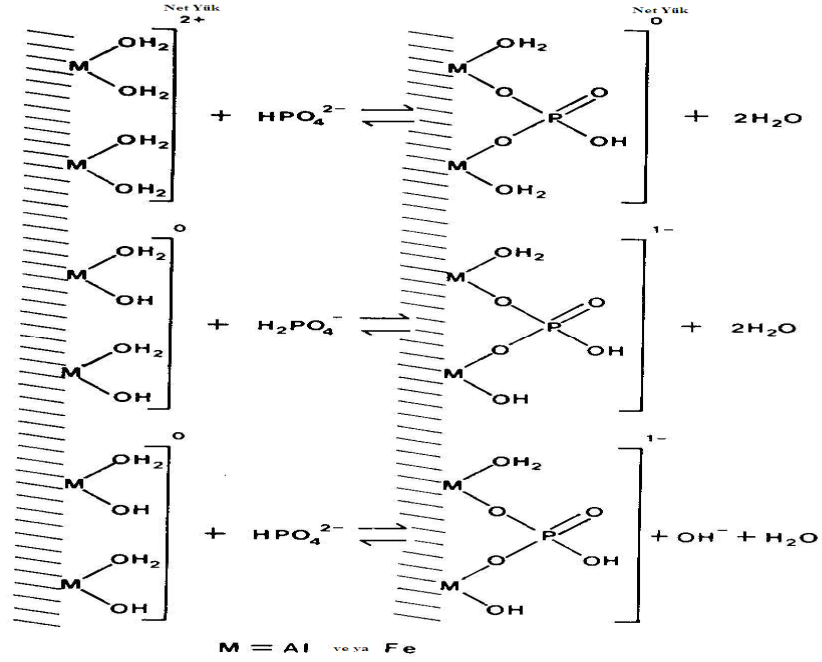
Gübre fosforu, (suda çözünür formdaki fosfor toprağa uygulandığı zaman) hızlı bir şekilde çözünmekte ve toprak çözeltisinin fosfor konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Bu esnada toprakta bazı reaksiyonlar oluşmakta ve bu da toprak çözeltisindeki H₂PO₄⁻ ve HPO₄⁻² iyonlarının miktarının düşmesine neden olmaktadır (Garcia 1999).

İnorganik formdaki fosfor bileşiklerinin yaygın olarak bulunduğu, çözünemez formları, Ca bileşikleri ve Fe/Al bileşikleridir. Topraklarda fosfor çözünürlüğü, toprak reaksiyonuna, Fe, Al ve Mg içeren çözeltilerin çözünürlüğüne, yarayışlı Ca ve Ca bileşiklerine, bozunan organik madde miktarı ile mikroorganizma aktivitesine bağlı olarak değişmektedir.

Fosforca zengin çevrelerde, krandalit grup minerallerinde fosforlu bileşikler;

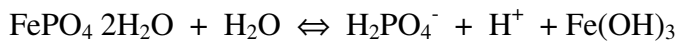
Krandalit; CaAl₃(PO₄)₂(OH)₅.2H₂O, Plumbogamit; PbAl₃(PO₄)₂(OH)₅.H₂O,
Florensit; CaAl₃(PO₄)₂(OH)₅.H₂O, Gorsesit; BaAl₃(PO₄)₂(OH)₅.H₂O,
Vavelit; Al₃(PO₄)₂(OH)₃.5H₂O, Barrandit; (Al,Fe)PO₄.2H₂O,
Vivianit; Fe₃(PO₄)₂ 8H₂O şeklinde bulunmaktadırlar (Frossard vd. 2002).

Campbell ve Edwards (2001) adsorpsiyon ve desorpsiyon olaylarının, toprağın mineral ve organik bileşiklerinin kimyasal fosfor miktarları tarafından kontrol edildiğini bildirmektedir. Topraktaki fosfor adsorpsiyonunun bir kaç şekilde kontrol edildiğini, toprak tekstürü içerisindeki Fe, Al, CaCO₃ ve organik maddenin topraktaki fosforun adsorpsiyonunda rol aldığını belirtmişlerdir. Araştırmalar göstermiştir ki, tekstür, düşük pH, yüksek konsantrasyonlardaki Fe, Al ve CaCO₃ ve organik madde, adsorpsiyonda aktif gruplardır.



Şekil 2.3 Asidik topraklarda fosfor adsorpsiyon mekanizması

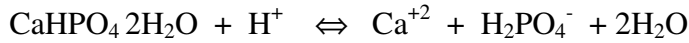
Asidik topraklarda adsorpsiyon mekanizmasında Al-Fe oksitleri ve kil mineralleri etkindir. Fosforun çoğu H_2PO_4^- formundadır (Şekil 2.3). Asidik topraklar nötr ve kalkerli topraklardan daha fazla adsorpsiyon kapasitesine sahiptirler. Bu topraklardaki Al ve Fe oksitler, karbonatlardan daha fazla adsorpsiyon kapasitesi gösterirler. Yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip topraklarda daha yüksek fosforlu gübre uygulamasına gerek olmaktadır. Fosfat iyonu, yüzeydeki $-\text{OH}^-$ ve $-\text{OH}_2^+$ grupları ile yer değiştirerek Al ve Fe'e bağlanır. Labil fosfor bir Al'a bağlı olarak bulunmaktadır, bu kolayca desorpsiyona uğrar, buna aktif fosfor denmektedir. Labil olmayan fosfor, iki Al-O-P ve Fe-O-P bağı ile tutulmaktadır. Bu durumdaki fosfat mineral yüzeyinden kolayca ayrılıp toprak çözeltisine geçemez. Asidik topraklarda aşağıdaki tepkime gerçekleşmektedir.



Toprak asitlik değeri artarsa denge reaksiyonu sola doğru hareket etmekte dolayısı ile çözelti fosfor içeriği azalmaktadır. Toprak asitlik değeri azalırsa, denge reaksiyonu sağa doğru hareket eder ve bu durumda da çözelti fosfor değeri artmaktadır. Bitki kökleri $H_2PO_4^-$ aldıkça denge reaksiyonu sağa doğru hareket ederek toprak çözeltisindeki fosfat iyonunu artırmaktadır (Şekil 2.3). Katı demir fosfat denge konsantrasyonunu desteklemektedir, ancak bu olay yavaş cereyan etmekte ve toprak pH değerine göre değişmektedir. Kil yüzeylerindeki olaylar, kil yüzeylerinin kırık kenarlarında, yüzeyde bulunan $-OH$ grupları ile $-OH$ değişimi gibi Al ve Fe oksitlerdeki değişimler ile gerçekleşmektedir (Bierman 2001).

Kalkerli topraklarda adsorpsiyon mekanizmasında karbonat mineralleri etkilidir. pH 7.8 ve daha üstündeki alkali topraklarda stabil form, baskın etken karbonattır. Fosfat, $-CO_3^{-2}$ grupları ile yer değiştirmek suretiyle adsorpsiyona uğramaktadır.

Nötr ve kalkerli topraklarda cereyan eden tepkime;

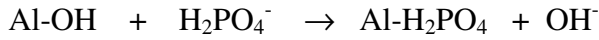


Topraklarda asitlik değeri azalırsa, denge reaksiyonu sola doğru hareket etmekte ve kalsiyum fosfat oluşarak çözelti fosforu azalmaktadır. Toprak asitliği artarsa, denge reaksiyonu sağa doğru hareket etmekte, kalsiyum fosfat çözünmekte ve çözelti fosforu artmaktadır. Bitki kökleri $H_2PO_4^-$ aldıkça denge reaksiyonu sağa doğru hareket ederek toprak çözeltisindeki fosfat iyonunu artırmaktadır. Katı Ca fosfat denge konsantrasyonunu desteklemektedir, ancak bu olay yavaş cereyan etmekte ve toprak pH değerine göre değişmektedir (Bierman 2001). Nötr ve kalkerli topraklarda, toprak çözeltisindeki inorganik fosfor, kil yüzeyi ve kireç mineralleri tarafından adsorplanmaktadır (Campbell ve Edwards 2001).

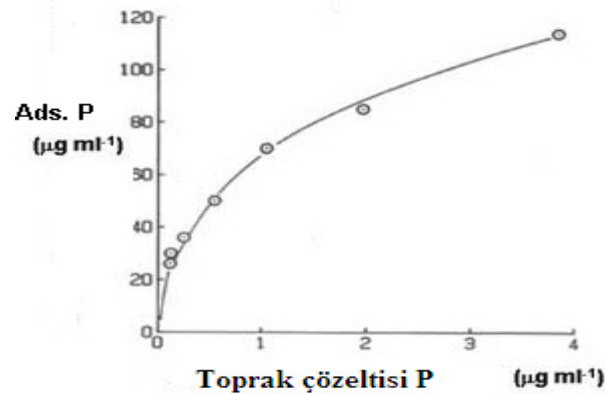
Toprağın organik ve mineral bileşikleri fosforun kimyasal bağ durumlarını, adsorpsiyon ve desorpsiyon olaylarını kontrol etmektedir. Adsorblanan fosfor, taşınan topraklarla

uzaklaşarak bir kirlilik nedeni olmaktadır. Çözünmüş haldeki fosfor da akış etkisi ile taşınarak kirlilik nedeni olmaktadır.

Topraktaki bazı mineraller tarafından fosfat iyonları adsorbe edilmektedirler. Bu tutulma diğer metallerle bileşik oluşturmak veya çevrelerinde tutulmak şeklinde oluşmaktadır. Bu minerallerden en önemlileri; Fe'li hidroksitler (gotit, ferhidrit) ve alüminyum silikatlarıdır (imogolit, allofan). Bu bileşikler amfoterik özellik göstermektedirler, toprak pH'sının durumuna göre (+) veya (-) yüklü olabilmektedirler (McLaren ve Cameron 1996). Fosfat iyonu anyon değişiminde (+) yük tarafından tutulmaktadır. $H_2PO_4^-$ veya HPO_4^{2-} iyonları, yüzeydeki Fe-OH, Al-OH, Fe-OH₂⁺ ve Al-OH₂⁺ grupları tarafından iyon değişimi reaksiyonu ile tutulurlar. Litosfer etkisinden dolayı toprak partikülleri negatif yüklüdürler. Bu parçacıklar Fe ve Al'un hidroksi gruplarını üzerlerinde tutarlar bu gruplar da hidroksil iyonları ile fosfat iyonlarını değiştirmek sureti ile fosfat adsorpsiyonuna neden olmaktadır (Glass 2004).



Bu adsorblanan fosfat pH değişimlerine çok hassastır. Adsorpsiyon dinamik dengede bir süreçtir. Toprak çözeltisindeki konsantrasyon değişimlerine göre iyonlar tutulur veya serbest bırakılırlar (Glass 2004).



Şekil 2.4 Toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonu adsorplanan fosfor konsantrasyonu ilişkisi (Glass 2004)

Toprak çözeltilisindeki fosfor konsantrasyonu ile adsorblanan fosfor konsantrasyonu arasındaki ilişki hiperbolik bir grafikte sembolize edilebilmektedir (Şekil 2.4). Toprak çözeltilisinin fosfor iyon konsantrasyonu arttıkça, bu iyonların adsorplanma olayı da artmaktadır. Aynı anda (bitki kökleri tarafından alım) toprak çözeltilisinin iyon konsantrasyonu azalmaya başladığı durumda da aynı iyonların toprak çözeltilisine bırakılmaları söz konusu olmaktadır (Glass 2004).

2.4 Toprakta Fosfor Oluşumları

2.4.1 Kalsiyumlu topraklarda oluşumlar

Kalsitin fosforu adsorplayıp çökmesi sonucunda kalsiyum fosfat oluşmaktadır. Saf kalsit yüzeyinde adsorplanan fosfor, monokalsiyum fosfatı (MKF, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) oluşturmaktadır. Bu oluşum dikalsiyum fosfat dihidrata (DKFD, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dönüşmekte, bu dönüşümü oktokalsiyum fosfat (OKF, $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) takip etmekte, tüm bu dönüşümlerin sonucunda hidroksiapatit (HA, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) oluşmaktadır. Bu oluşan mineral çok yavaş ve çok az çözünürlüğe sahiptir. Bu mineralin oluşum ve çözünürlüğünü toprak çözeltilisindeki fosfor konsantrasyonu kontrol etmektedir. Kireçli topraklarda fosforlu gübrelemeyi takiben çeşitli kalsiyum fosfatlar oluşmaktadır. Topraktaki organik asitler ve magnezyum, apatitin kristal yüzeyinden çekirdek yüzeyine doğru adsorpsiyonunu başlatırlar. Organik asitlerin etkisi ile DKFD formu organik asitte tutularak bu formun, OKF veya HA dönüşümleri gerçekleşmemektedir. Bu da kalkerli topraklara organik fosfor kaynaklarının ilavesinde yarıyışlı fosfor artışını açıklamaktadır. Bu reaksiyon saf kalsit yüzeyinin ancak %5'lik diliminde gerçekleşebilmektedir. Ancak bu olay bir çekirdektir. Kalsiyumun fosfat iyonlarını çevresine toplayıp, kalsiyum fosfat formunu oluşturmasında önemlidir. Düşük fosfor konsantrasyonunda bu olayın gerçekleşmesi çok uzun zaman almaktadır. Uzun süreli fosfor sorpsiyonu, kalsiyum karbonat tarafından yönlendirilmektedir. Asidik topraklara uygulanan kireçleme işlemi P-adsorpsiyonunda azaltma, artırma veya etkisiz olma şeklinde etkilerde bulunmaktadır. Kireçlenmiş asidik topraklarda, toprağın negatif yükü artmaktadır; bu fosfor sorpsiyonunu düşürmektedir veya

değişebilir alüminyumun artmasına ve adsorpsiyon kabiliyeti yüksek yeni bileşikler oluşturmaya imkanlar yaratmaktadır (Frossard vd. 2002).

2.4.2 Demir ve alüminyumlu topraklarda oluşumlar

Toprakta Fe ve Al fosfatlar oluşabilmektedirler. Bir çok araştırma göstermiştir ki, amorf Fe-P ve Al-P bileşikleri, strengit ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve varisite ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dönüşmektedir. Bu kristalizasyon olayı yüksek fosfor ve yüksek katyon konsantrasyonuna ulaşıldığı durumda gerçekleşmektedir. Bu durum topraklarda çok nadir gözlenmektedir. Fosfor ile alüminyum oksitlerin oluşturduğu bileşikleri amorf alüminyum fosfat veya sterit ($(\text{Al}(\text{OH})_2)_3 \text{HPO}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) oluşturmaktadır. Aynı şekilde çözelti ve yüzey durumuna bağlı olarak demir içinde bu reaksiyonlardan söz edilmektedir. Demir oksitler ile fosfor gotit oluşturmaktadır. Bunu takip eden oluşum ise; tintisit ($\text{Fe}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_6 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) veya grifit ($\text{Fe}_3\text{Mn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 5(\text{OH})_2$) olmaktadır. Toprak minerallerindeki ve organik bileşiklerdeki fosfor sorpsiyonu hızlı reaksiyonlardır. Metal oksit veya hidroksitlere suda kolay çözünen ortofosfat iyonları ilave edildiğinde, reaktif yüzeylerindeki OH^- veya H_2O grupları ekzotermik reaksiyonla yer değiştirmekte ve yeni bileşiği oluşturmaktadırlar. Hematitin reaktif yüzeyi gotitin yüzeyinden küçük olduğu için daha az fosforu adsorbe edebilmektedir. Bu değer gotitte $2,5 \mu\text{Mol}/\text{m}^2$ iken hematitte $0,97 \mu\text{Mol}/\text{m}^2$ olmaktadır. Saf oksitlerin fosfor adsorpsiyonu, pH değerinin büyümesi, elektrostatik potansiyelin düşmesi ile azalmaktadır (Frossard vd. 2002).

2.4.3 Organik bileşik içeren topraklarda oluşumlar

Organik bileşikler de fosfor sorpsiyonunu etkilemektedirler. Oksit yüzeylerde ve toprakta organik anyonlarla ortofosfat iyonları birbirleri ile yarışmaktadırlar. H_2O_2 ile organik maddenin parçalanması, fosfor adsorplama yüzeylerinin artmasına neden olmaktadır. Bazı alifatik asitler (okzalit, sitrik, isositrik, malik, malonik) fosfor sorpsiyonunun düşmesinde etkili (sitrat ve tartarat iyonları mineral yüzeylerinde fosfor sorpsiyon yüzeyleri

oluşturmaktadırlar) olmakla beraber bazı asitler, bunlar da; aromatik ve fenolik olanlar (şekerler, amino asit) fosfor sorpsiyonunun azalmasında etken değildirler. Organik bileşikler şelat oluşturmak sureti ile fosfat ile metallerin arasında oluşacak reaksiyonları engellemektedirler. Organik maddenin dolaylı olarak etkisi, organik maddenin aneorobik parçalanması sonucunda çökelmiş çeşitli demirli bileşiklerin çözünmesine ve tekrar fosfor adsorpsiyonu daha fazla olacak çökelmelere neden olmasıdır. Fe ve Al'lu humik bileşikleri ortofosfat sorplama kapasitesine sahiptirler (HA–Metal–PO₄). Organik bileşiklerdeki Al'un hidroliz derecesi, fosfor sorpsiyonunda etkindir. Humik bileşiklerin en son aşamada oluşturduğu kompleks, Fe ile yapılandır. Adsorplanan P/Fe oranı 1'e eşit olduğu durumda maksimum adsorpsiyon gerçekleşmektedir (Frossard vd. 2002).

2.4.4 Kil minerallerinde oluşumlar

Dengedeki fosfor konsantrasyonunun P-adsorpsiyon parametrelerinden birisi olduğu belirtilerek, çözeltilerdeki fosfor konsantrasyonunun toprak tarafından adsorplama veya desorplama faaliyetleri sonucunda ortamda kalan miktar olduğu bildirilmiştir (Taylor ve Kunishi 1971, Reddy vd. 1980, Pierzynski vd. 1994). Düşük konsantrasyonlu çözeltilerde elde edilen fosfor değeri toprağın başlangıçta adsorpladığı fosfor miktarını vererek bu değerlerin adsorpsiyon izotermelerinde kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Dengedeki fosfor konsantrasyonunun artışı, yüklenen fosfordaki artışı göstermektedir. Toprak çözelti konsantrasyonu, toprağın yüzey fosforunun konsantrasyonundan daha fazla ise, topraklar fosfor adsorplamakta; toprak çözeltisinin konsantrasyonu yüzey fosforu konsantrasyonundan düşük ise topraktan desorpsiyon gerçekleşmeye başlamaktadır. Topraklara, tarımsal atıklar uygulandığında, yüzey fosforu miktarı artmakta, toprakların adsorpsiyon kapasiteleri azalırken, P-desorpsiyonunun başladığı bildirilmektedir (Reddy vd. 1980).

Killerin anyon adsorpsiyonunda şartlara bağlı olarak, pozitif yük fazlalığı gösterebilmeleri ve bu fazla pozitif yüklerle, negatif yüklü anyonları adsorbe ettikleri, (Allofan ve kaolin

grubu kil mineralleri düşük pH derecelerinde pozitif yük göstermektedirler; bu yüklerin kaynağını oktahedral levhadaki kırık bağlar oluşturmaktadır) kaolin hidroksil yüzeyindeki hidroksil gruplarının fosfat ve florür gibi bazı anyonlarla doğrudan yer değiştirebildikleri ve kaolinin bu şekilde anyon adsorbe edebildiği bildirilmiştir. Hendricks tarafından öne sürülen bir başka mekanizmada da fosfat anyonlarının geometrik şekilleri ve büyüklüklerinin silisyum tetrahedronlara benzemekte olduğu ve tetrahedral levhanın kenarlarına bağlanmak yoluyla da adsorpsiyonun gerçekleşebildiği belirtilmiştir (Özkan 1985).

Sah vd. (1989) yaptıkları çalışmada, aşırı nemliliğin, toprağın fosfor sorpsiyonunu %10–70 arasında artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar topraklar nemli ve kurak periyodlara maruz kaldıklarında, toprak agregasyonu bozularak yeni fosfor sorplama yüzeylerinin açığa çıktığını bildirmişlerdir.

Topraklarda ve sedimentlerde, inorganik fosfor dinamiğinin düzenlenmesinde, fosfor sorpsiyon ve çökelme olayları önemlidir (Bache 1964, Reddy vd. 1980, Yuan 1980, Sanyal ve De Datta 1991, Reddy vd. 1998, Rhue ve Harris 1999). Fosfor sorpsiyon kapasitesinin, zayıf kristalli ve amorf Al ve Fe ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Ponnamperuma 1972, Khalid vd. 1977). Sorpsiyonun aerobik koşullarda, anaerobik koşullardan daha fazla gerçekleştiği de bildirilmiştir (Ann vd. 2000).

Kil mineralleri oksitlerden daha az PO_4 sorplamaktadırlar. Al tabakasının sınır yüzeyi (-) elektrik yüklü iken, bu tabaka kırıldığında farklı yükler ve $-Al(OH)$ grupları açığa çıkmaktadır. Bunlar da Al hidroksit yüzeyleri gibi fosfor adsorpsiyonuna sahip olmaktadır. Kaolin gibi 1:1 tipi killerin özel yüzeyleri fosfor adsorpsiyonunda etkili olmaktadır. 2:1 tipi killerdeki fosfor sorpsiyonu, kil yüzeylerindeki Fe ve Al hidroksitlerin veya katyonların hidratasyon enerjilerinin etkisi altında gelişmektedir. Allofan benzeri materyaller çok fazla miktarda fosfatı çok hızlı bir şekilde sorplamaktadırlar. Bunun nedeni çok büyük özel yüzey alanına sahip olmalarıdır (Frossard vd. 2002).

Sorpsiyon katı fazın adsorpsiyonu ile yüzeydeki minerallerin, Al ve Fe oksitlerin katı fazlarının adsorpsiyonunu işaret eder. İlk olarak fosfor özel bir adsorpsiyonla tüm mineral yüzeyler doluncaya kadar adsorplanır. Sorpsiyon prosesi zamanla azalan proses hızına ve pH kontrolüne bağlıdır. Genel olarak bilinen anaerobik koşullarda Al ve Fe amorf, aerobik topraklarda baskın olarak kristal yapıda bulunur. Yüzey alanında, amorf Al ve Fe oksitler fosfor sorpsiyonunda kristalin forma göre daha reaktiflerdir. Bunlar amonyum okzalat ekstraksiyonu ile tayin edilebilirler. Çözeltideki fosforun, yeni bir katı çökeltiye doğru Al, Fe ve Ca ile uzaklaştırılması ile çökelti süreci oluşur. Fosforun küçük miktarlarında ilk adsorpsiyon, kalsit yüzeylerinde oluşan reaksiyondur. Bunu kalsiyuma bağlı çökeltme takip eder. Na, K, Mg gibi kationlar da fosfor adsorpsiyonunda etkendirler. Bunlar fosforu sorplayan kalsiyumun yerine geçerler ve Ca serbest kalır. pH'sı 7 den büyük sedimentlerde ve nemli topraklarda, kalsiyuma bağlı çözünemez fosforun dönüşümü baskındır (Dunne vd. 2005).

Fosfor dinamiğinde en büyük rolü demir oynar. Demirin indirgenmesi sonucunda +2 değerli demir minerallerinin yeniden çökmesi, anaerobik koşullarda baskın olaydır. Fe^{+3} indirgendiğinde, daha fazla çözünürlüğe sahip Fe^{+2} formu, anaerobik göl sedimentlerinde meydana gelmektedir. Bu da göstermektedir ki redoks olayı, ilk bağlı fosforun serbest bırakılmasını sağlayarak olayı kontrol etmektedir. Alüminyum, oksidasyon ve redüksiyon olaylarından etkilenmez, ancak pH değişiminin etkisi altındadır. Doygunluk, Al ve Fe bileşiklerinin kristal yapılarının daha zayıf kristal ve amorf yapıya doğru değişiminde etkilidir. Bu olay da amorf formun daha fazla yüzey alanına sahip olmasından dolayı fosfor sorplama kabiliyetini artırmaktadır (Dunne vd. 2005).

Araştırmacılar nemli bölge topraklarına atık su uygulayarak, toprakları anaerobik ve aerobik şartlarda inkübasyona tabii tutmuşlar ve anaerobik koşullarda %39 daha az fosfor sorpladığını görmüşlerdir. Bu olayda en önemli faktörün Fe ve Al fosfatların organik anyonlarla yer değiştirmesi olduğunu bildirmişlerdir. Toprağın organik maddesinin, humik materyal formundaki bölümlerinin Fe ve Al ile fosforlu bileşikler oluşturmak suretiyle

yaptığını bildirmişlerdir. Organik maddenin tek başına fosforu fikse etme yeteneğinin olmadığı, bunu organo–metalik–fosfor bileşiği oluşturabilmek için, humik ve fulvik asit moleküllerinde Fe ve Al kombinasyonunun olması gerektiği belirtilmiştir (Dunne vd. 2005).

Fosfor sorpsiyonu en yaygın olarak kireçsiz topraklarda Fe ve Al oksitler ile kireçli topraklarda CaCO_3 ile bunun yanında da kil minerallerinin uç bölgelerinde gerçekleşmektedir. Kireçlenmiş asidik topraklara ve alkalın topraklara fosfor ilave edildiğinde, kalsiyum fosfat oluşur. Bu oluşum çözültiden çökelerek ayrılır. Asidik topraklar fazla miktarda Fe ve Al oksit ihtiva ederler ve bitkiye yararlı fosforu tutarlar. İkincil minerallerle çözünmesi zor Al/Fe fosfatlar olarak çökerler. Alfisol topraklarda Fe/Al oksitlerin fosfor sorpsiyon ve desorpsiyonunda önemlidir. Sorpsiyonun Al/Fe oksitlerle Ultisolün Bt horizonunda gerçekleştiği, fosforun organik madde kompleksi ile sorplandığı ancak bunun diğerleri ile kıyaslandığında çok az olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar uzun süreli gübre uygulamasının fosfor sorpsiyonunu azalttığını, bunun nedeni olarak da fosfor sorpsiyon alanlarının fosforla doyurulduğunu bildirmişlerdir. Fosforla sature olmuş topraklardan çevreye fosfor taşınım riski çok daha fazla olmaktadır (Roberts 2005).

Roberts (2005) yaptığı derlemede araştırmacıların 3 yıl hektara 140 kg fosfor uygulaması yaptığı durumda, 10 ppm fosfor içerikli toprağı 235 ppm fosfor içerikli hale getirdiğini, hayvansal gübre ile organik maddeyi artırdığını ve 3 hipotezin ortaya çıktığını bildirmiştir.

Araştırmacı;

1. Organik moleküllerin fosfor sorpsiyon alanları ile yarışa girdiğini,
2. Fe/Al oksit yüzeylerine bağlı fosfor komplekslerinin çözünebilir organik-metal bileşiklerine dönüştüğünü ve önceden sorplanmış fosforun serbest kaldığını,
3. Toprak partiküllerinin, adsorpladığı organik maddeden kaynaklanan yüzeydeki negatif yüklerin artışının, toprağın fosforu çekme elektrostatik çekimini düşürdüğünü ortaya koymuştur.

Toprağın fosfor kalibrasyonunu çalışabilmek için bir çok ampirik veriye ihtiyaç vardır. Bu değerlerde her toprak için değişiklik göstermektedir. Bunlar pahalı ve zaman isteyen çalışmalardır. Toprağın sorplanan fosforu çevreye bırakma yeteneği, sorplanan fosfor miktarına ve fosfor sorpsiyon kapasitesine bağlıdır. Topraklara uygulanan fosfordan sonra sorplanan fosfor miktarı yükseldikçe toprağın fosfor desorpsiyonu artmaya başlar ve olay tersine döner. Bu doygunluk, toprak fosforunun yarayırlılığında fosfor saturasyon derecesi (FSD) veya fosfor saturasyon indeksi (FSI) olarak belirtilmektedir. Bu değerden sonra topraktan çözeltilmeye, yüzey ve yeraltı sularına ve çevreye fosfor salınımı başlamaktadır. Bu değer topraktan toprağa farklılık gösteren bir değerdir.

$$FSD(\%) = \left\{ \frac{\text{Ekstrakte edilen P}}{\text{P sorpsiyon maksimumu}} \right\} * 100$$

$$FSD(\%) = \left(\frac{P_{\text{olsen}}}{P_{\text{Smax}}} \right) * 100$$

$$FSI = P_{\text{olsen}} / P_{\text{sorpsiyon}}, \text{ (Breeuwsma ve Silva 1992, Sharpley 1995).}$$

Fosfor doygunluk derecesi, ((FSD) = (Pox/a (Alox+ Feox))); a = Al ve Fe ile hızlı ve yavaş sorplanmış fosforun ayrılan bölümünü tahmin etmede kullanılan bir katsayıdır) toprağın sorplanmış fosforunun, ayrılan bölümünün tahmin edilmesidir. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri FSD formülündeki a-değerini etkilemektedir. Bu değer 0,5–1 arasındadır. En çok 0,5 ve 0,68 kullanılır. Van Der Zee ve Riemsdijk (1988) bu değeri asidik, kumlu ve düşük organik maddeli topraklar için 0,61 olarak hesaplamışlardır. Toprağın fosfor doygunluk yüzdelerinin, kullanılan ekstraksiyon çözeltilisine bağlı olarak farklılaştığı bilinmektedir. Denge çözeltilisindeki fosfor, toprak çözeltilisindeki bitkiye yarayırlı fosforun miktarına işaret etmektedir. Bu değer toprağın toplam fosforu ile kıyaslandığında çok küçüktür. Bu miktar, toprak yüzeyindeki Fe/Al oksitlerin fosforu sorplaması/desorplaması, organik maddenin hidrolizi, Fosfor içeren minerallerin çökmesi/tekrar çözünmesi ile ilgilidir (Matar vd. 1992).

Toprağın fosfor doygunluk yüzdesi, yağmur suları ile fosfor kaybının tahmininde kullanılabilir. Nair vd. (2004) Alfisol, Entisol ve Ultisol toprak örneklerini, kuru

organik materyal ile gübrelemiş ve toprakların fosfor doygunluk kapasitelerini, suda çözünerek serbest kalan fosforu tahmin etmek üzere, farklı üç yöntemle tayin etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sudaki fosfor miktarı arttığında görülmüştür ki, toprağın fosfor saturasyon yüzdesinde de artış oluşmaktadır. Toprağa çeşitli kaynaklardan gübreleme gerçekleştirildiğinde, denge durumuna ulaşmaya kadar sorpsiyon gerçekleşir. Aynı durum bitkinin fosfor aldığı durumda labil fosfor kaynaklarından (kolay çözünen fosfor kaynaklarından) fosforun toprak solusyonuna doğru ilerleyişi ve topraktan azalışı olarak cereyan eder. Labil olmayan fosfor kaynakları daha fazla stabil formdaki fosforu tutmaktadırlar, bu fosforun çok az bir kısmında toprak solusyonuna aktarım gerçekleşmektedir.

Toprağın çözültiden fosfor sorplama yeteneği, en iyi fosfat sorpsiyon izotermi tarafından tariflenebilir. Bu da kontrollü şartlarda laboratuvarında içeriği belirli çözültülerle, örneklenmiş toprağın dengeye getirilmesi ile ölçülebilir (kontrollü sıcaklık, toprak–solusyon oranı kontrollü steril ortam altında iyon değişimi). Sorplanan fosfor miktarı ve çözültideki fosfor miktarı ile adsorpsiyon izoterminden bulunan fosfor adsorpsiyon maksimumu arasındaki ilişkiden fosfor saturasyon (doygunluk, tampon) kapasitesi tayin edilmektedir. Araştırmacılar Avusturya'dan 103 toprak örnekleme üzerinde, fosfor adsorpsiyon izoterm çalışması yapmışlardır. Fosfor sorpsiyon indeksi ile reaktif demir ve alüminyum miktarlarını hesaplamışlardır. Bu topraklarda fosfor sorpsiyonunun belirteci olarak reaktif demirin güçsüz kaldığını bulmuşlardır. Araştırmacılar fosfor tampon kapasitesinin bu topraklarda okzalatta ekstrakte edilen Al ile daha iyi korelasyon verdiğini görmüşlerdir. 0,01 M CaCl₂'ün kullanıldığı ekstraksiyon çözültisinden bulunan sorplanan fosforun, 0,02 M KCl çözültisinden bulunandan % 25–30 daha fazla olduğu görülmüştür (Allen 2002).

Tarlalardan fosfor kaybını önlemeyi amaçlayan projelerde, fosforun çevredeki hareketi toprağın fosfor saturasyon derecesi ile takip edilmektedir. Toprağın fosfor saturasyon derecesi laboratuvar şartlarında inorganik tuzlar şeklinde ilave edilen fosforla yapılan sorpsiyon çalışmaları sonucunda bulunur. Bu çalışmalar inorganik gübrelerle verilen

fosfordan dolayı oluşacak doyunluğun tahmininde, hayvansal gübrelerle ilave edilen fosfor doyunluğuna göre daha iyidir. Bolster (2007) bu çalışma ile 4 farklı gübre ile fosfor sorpsiyonunu çalışmış ve en iyi uyumun domuz gübresinden en kötü uyumun inek gübresinden elde edildiğinden ve inorganik gübrenin de ikisi arasında olduğundan bahsetmiştir. Bu sonuç gübre kullanırken toprağın sorpsiyon kapasitesi ve kullanılan gübrelerin kompozisyonlarının önemli olduğunu göstermektedir.

2.5 Toprak Bileşenlerinin Fosfor Adsorpsiyonuna Etkisi

2.5.1 Demir

Topraklar, amonyum asetat, EDTA (amorf demir oksitleri uzaklaştırmak için) ve ditionit-EDTA (DE) (kristalin demir oksitleri uzaklaştırmak için) ile muamele edilmiş ve ekstrakte edilmiş topraklardaki fosfor adsorpsiyon maksimumu Langmuir eşitliği kullanılarak tayin edilmiştir. DE' ile ekstrakte edilerek demir oksitleri uzaklaştırılmış toprakların fosfat adsorpsiyon kapasiteleri düşmüştür. EDTA uygulanmış topraktaki adsorpsiyon maksimumunun düşüşü ile EDTA ile ekstrakte edilen demir arasında $p < 0,001$ olan önemli bir ilişki bulunduğu belirtilmektedir. Çeşitli sentetik demir oksitlerin tahmin edilen fosfor adsorpsiyon kapasitesinin $2,5 \mu\text{molP/m}^2$ olduğu belirtilerek, toprakların özel demir oksit yüzeylerindeki fosfor adsorpsiyon kapasitesinin amorf ve kristalin demir oksit yüzeylerine bağlı olduğu bunu da sentetik demir oksitlerin değerleri ile örtüştüğü belirtilmiştir (Borggaard 1983).

Günümüze kadar çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, farklı türdeki toprakların fosfat adsorplama kapasiteleri araştırılmıştır. Tofflemire ve Chen (1977) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda kumlu ve kum ile karışık balçıklı toprakların fosfat giderme kapasiteleri kolon deneyleri ile incelenmiş ve fosfat giderme kapasitesinin toprak pH'sındaki farklılıklara bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterdiği

belirlenmiştir. Demir içeren kumlu toprakların yüksek fosfor kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir (Netter ve Bischofsberger 1990).

Sedimentlerin fosfor adsorpsiyonundaki rollerini açığa çıkarmak üzere planlanan bir çalışmada, iki kıyı bölgesine ait sedimentler ele alınmıştır. Birinci bölgenin fosfor adsorpsiyon kapasite aralığı 35–121 $\mu\text{molP/g}$ toprak, ikincinin fosfor adsorpsiyon değişimi 30–55 $\mu\text{molP/g}$ toprak olarak bulunmuştur. Birinci bölgenin fosfor adsorpsiyon maksimumu Fe, Al, C ile pozitif korelasyon verirken, ikinci bölgenin fosfor adsorpsiyon maksimumunun Fe ve Al ile negatif korelasyon, C ve Ca ile pozitif korelasyon verdiği ortaya konulmuştur (Lopez vd. 1996).

Kimi araştırmacılar, bazı topraklarda, fosfor fiksasyon çalışması yapmışlar ve sonuçları basit regresyonla değerlendirmişler, amorf Mn, Fe, organik madde, pH ve kil içeriğinin fosfor fiksasyonunda başat faktör olduğunu bulmuşlardır. Fosfor fiksasyonunda, KDK, değişebilir Na, K, Ca, B, Fe ve Mn önemlilik göstermemiştir (AMAS 1997).

Bayraklı (1998) fosfat anyonunun toprakta çözünürlüğü düşük olan bileşiklerle, kil kolloidleri, Fe, Al oksit ve hidroksitler üzerinde kuvvetli bir şekilde tutularak çözeltideki mobilitesinin azaldığını bildirmektedir.

Li vd. (2000), sedimentlerden, tortul kumlardan, granitten, bazaltdan aldıkları asidik toprakları kullanarak toprak bileşenlerinin fosfor sorpsiyon parametrelerine etkilerini çalışmışlardır. Denge çözeltilerini hazırlayarak Langmuir denkleminde fosfor sorpsiyon maksimumunu, fosfor sorpsiyon intensitesini ve maksimum tampon kapasitesini hesaplamışlardır. Toprağın kil içeriğinin, pH'sının, amorf demir oksit (Feo) ve amorf Al oksit (Alo) içeriğinin Alo>Feo>pH>kil sırası ile fosfor sorpsiyonunu etkilediğini bildirmişlerdir. Bu bileşenlerden pH negatif etkide, diğerleri pozitif etkide bulunmuştur. Organik madde fosfor intensitesini etkileyen tek faktör olmuştur. Toprak kilinin etkisi ile

oluşan maksimum fosfor tampon kapasitesi (MFTK) $A_{lo} > OM > pH > Fe_{o} > kil$ tüm komponentlerden etkilenmiştir. MFTK'ne komponent miktarları $A_{lo} > Fe_{o} > kil$ pozitif etki, $OM > pH$ negatif etki göstermiştir. Asidik topraklarda OM'nin toprak partikülleri tarafından fosfor sorpsiyon intensitesini düşürerek, fosfor mobilizasyonunda önemli bir rol üstlendiği bildirilmiştir.

Adsorpsiyon ve desorpsiyon, toprağın mineral bileşikleri ve organik maddesindeki kimyasal bağlı fosforun miktarının kontrolünün gerçekleştirildiği, birbirine zıt proseslerdir. P- adsorpsiyonu farklı değişkenlerle kontrol edilmektedir. Bunlar, toprağın tekstür durumu, Fe, Al, $CaCO_3$ ve organik madde konsantrasyonu ve pH'dır (Champbell ve Edwards 2001).

Asidik topraklarda Fe ve Al oksit yüzeylerinde fosfat ile reaksiyon meydana geldiği, bunun büyük oranda topraklardaki oksit yüzeylere ve kristal yapıya bağlı ve toprağın kil mineralojisi ile de alakalı olduğu bildirilmiştir (Lajthal ve Harrison 2002).

Toprak profilindeki kolloidal hareketin yer altı su kirliliğindeki önemini göstermek adına, topraklar laboratuvar şartlarında kolona doldurulmuş, kolon üzerinden beş farklı konsantrasyonda ve farklı doygunlukta fosfor uygulanmıştır. Kolondan çıkan sıvıda P ve Fe konsantrasyonlarının tayinleri yapılmıştır. Aşırı fosfor uygulamasından, toprak karakteristikleri ile toprak çözeltisindeki Fe konsantrasyonu etkilenmiştir. Bu olay topraktaki demir oksit kolloidlerinin taşınımını hızlandırmıştır. Uygulanan fosfor hızına bağlı olarak çıktıdaki Fe konsantrasyonu 0,1–33,4 mg/L olmuştur. Çıkışta toplam Fe'in % 38-94'lük kısmı bulunmuştur. P-adsorpsiyon maksimumunun (Langmuir eşitliğinden) 3 katı kadar fosfor içeren uygulamalardan sonra elde edilen çıktı suyunda Fe'in en yüksek konsantrasyonu bulunmuştur. Demir oksit formundaki artan demir taşınımı, fosfor taşınımını ve bazı iz elementlerin taşınımını da arttırmıştır (Zhang vd. 2003).

Kil içeriği ile fosfor sorpsiyonu arasındaki korelasyonun önemliliği fosfor sorpsiyonunda özel yüzey alanlarının etkisinin olduğuna bir işaret olabileceği belirtilmiştir (Loganathan vd. 1987). Brezilya bölgesinde düşük aktiviteli killi topraklarda adsorpsiyon maksimumuna fiziksel ve kimyasal özelliklerin etkisi araştırılmıştır. A ve B horizonlarından alınan 16 toprak profilinde çalışılmıştır. Yüzey horizonundan alınan toprak örneklerinin P-adsorpsiyon maksimumları 48–1429 ppm arasında değişmiştir. B horizonundan alınan toprakların P-adsorpsiyon maksimumları 455–1667 ppm arasında değişmiştir. Kil içeriği, Fe ve Al ile P-adsorpsiyon maksimumu arasındaki ilişki önemli çıkmıştır. Çoklu regresyon göstermiştir ki toprak derinliği ile fosfor desorpsiyon maksimumu uyumludur (Valladares vd. 2003).

Nemli tropikal topraklardaki fosfor eksikliği problemi çoğunlukla Fe ve Al oksitlerle alakalıdır. Alfisol topraklarda dithionit ve okzalatta ekstrakte edilen Fe ve Al'un P-adsorpsiyonuna etkileri araştırılmıştır. Kültüre alınan ve kültüre alınmayan tarlalardan 60 örnek ile bu çalışma yürütülmüştür. %6–29 fosfor uygulamasının yapıldığı topraklarda (düşük fosfor kapasitesine sahip yüzey topraklarında) fosfor sorplama değişimi 103-460 ppm olmuştur. Sorplanan fosfat ile okzalatta ekstrakte edilen demir hariç, diğer formlarda lineer önemli bir ilişki bulunmuştur. Fe_d ($r^2=0,71$), Al_d , Al_o ($r^2=0,69$, $r^2=0,52$). Ditionitte ekstrakte edilen Fe ve Al'un toprakların sorplanan fosfor değişiminde etkili olduğu belirtilmiştir. Çoklu regresyona göre bir birim Fe_d değişimine karşın, sorplanan fosforun 21 ppm değiştiği bildirilmiştir (Agbenin 2003).

Yüksek fosfor kapasitesinin (Fe_2O_3)/(FeOOH) (hematit/gotit) oranına bağlı olduğu bilinen, bazaltik kahverengi ve kırmızı ferrik Latosollerden yüzey toprakları, kil içerikleri ve demir içerikleri yüksek topraklar alınarak, P-adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Fosfor sorpsiyon kapasitesi üstüne oksitlerin bireysel etkisini, organik maddenin maskeleydiği düşüncesi ile, çalışmanın amacı oksitlerin ve organik maddenin fosfor sorpsiyonuna etkilerini açıklamak olarak belirlenerek; altı toprakla bir çalışma yürütülmüştür. Demir oksit tesbitleri, difuze reflektans spektroskopisi kullanılarak hassas bir şekilde tayin edilmiştir. Toprakların toplam

fosfor içeriği 1000 ppm den fazla bulunmuştur. Bu topraklar, organik fosfor, demir oksit yüzeyinde adsorbe olmuş fosfor, demir bileşikleri ile zayıf bağlı fosfor şeklinde yüksek fosfor içerikli olarak bulunmaktadır. Freundlich eşitliğine göre Latosol topraklarda P-adsorpsiyon maksimumunu organik maddenin azalttığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, kahverengi topraklarda P-adsorpsiyon maksimumunun kırmızı topraklara göre daha fazla olduğunu bulmuşlardır (Almeida vd. 2004).

Herbisit glifosfat ve inorganik fosfat toprağın inorganik bileşikleri ile özellikle Al ve Fe oksitlerle güçlü bir şekilde adsorplandığı, aşırı fosfat uygulamasının toprağın glifosfat kapasitesini küçültebildiği, böylece drenaj ve yer altı sularının kirlenmesinin gündeme geldiği belirtilen çalışmada, fosfat ve glifosfat adsorpsiyonu 5 yüzey toprağında çalışılmıştır. Farklı topraklar farklı miktarlarda fosfat ve glifosfat adsorplamışlardır. Adsorpsiyon bölgelerinde glifosfat ve fosfat arasında bir yarış olduğu bildirilmektedir. pH, bu topraklarda glifosfat adsorpsiyon kapasitesini etkileyen önemli bir özelliktir. Bu topraklarda organik karbon, kil içeriği, kil minerolojisinin fosfor adsorpsiyonunda etkili olmadığı belirtilmektedir (Gimsing vd. 2004).

Yağmur suları ve sedimentlerle taşınan fosforun su kalitesindeki etkileri ve bu sedimentlerin mahsül alanlarındaki etkilerini açıklamak adına, toprak çözeltilisindeki adsorbe fosforun ferhidrit ile etkileşimini ortaya koymak adına bir çalışma yapılmıştır. Ferhidrit, sulu tarım uygulamaları sonucu oluşan demir oksitler toplanarak doğal yollarla elde edilmiştir. 0, 0.34, 3.36, 16.80, ve 33.60 mg/ha olarak uygulamalar yapılmıştır. Kilogramda 0, 5, 10, 20, 40 mgP olacak şekilde, fosforlu CaCl₂ ile 24 saat denge çözeltisi oluşturulmuştur. pH<6,0 durumundaki adsorblanan fosforun, pH>7,0 olduğu durumdan 50 kez daha fazla olduğu bulunmuştur. Başlangıç fosfor konsantrasyonlarında, A horizonunda, ferhidrit miktarları ile final fosfor içeriklerinin korelasyonunun negatif bir ilişki verdiği bildirilmiştir. B horizonunda yüksek demir oksit içeriğinin olduğu durumda ferhidrit ilaveleri ile istatistiki bir önem bulunmadığı bildirilmiştir. Araştırma sonuçları ferhidrit

ilave edilmiş topraklardaki fosfor adsorpsiyonunun, demir oksit içeriklerinin en düşük olduğu asidik durumlarda en yüksek olduğunu göstermiştir (Rhoton ve Bigham 2005).

Organik madde ilavesinin pH 5’de monokalsiyum fosfatın yararışlılığına Fe^{+3} , Al^{+3} ve kil minerolojisinin etkisinin araştırıldığı çalışmada, hümik maddelerle şelat oluşturmak sureti ile fosforun daha yararışsız forma (ortamdaki Fe^{+3} ve Al^{+3} ’larla fosforun daha fazla çözünen Fe’li ve Al’lu bileşiklere dönüştüğü) dönüşümünün engellenmiş olduğu bildirilmiştir. Organik madde, (Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} iyonları ile pH 5’de) şelat oluşturmak sureti ile fosforun yararışlılığını arttırmaktadır. Kil minerallerinde, adsorpsiyon yüzeyleri Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} tarafından doyurulduğunda toprak solusyonundaki fosforda artış ortaya çıktığı bildirilmiştir (Bennani vd. 2005).

Araştırmacılar, çeşitli değerlerde gübrelenmiş on iki adet tipik Luvisol örneklerde fosfor karakteristiklerinin bitkinin fosfor alımına etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada toprakların fosfor fraksiyonlarının, P-adsorpsiyonlarının ve fosfor destekleme kapasitelerinin analizlerinin yapıldığı belirtilmiştir. Toplam fosfor 0,62-0,91 gP/kg olduğu bu miktarın %37–51’inin organik P, %49–63’ünün inorganik P (Fe–P, Ca–P, Al–P) olduğu bildirilmiştir. Organik fosforun gübreleme ile değişmediği ancak inorganik fosforun bundan etkilendiğini söylemişlerdir. Langmuir izoterminden hesapladıkları P-adsorpsiyon maksimumunun 484–912 mgP/kg olduğunu bildirmişlerdir. Topraklardaki düşük gübrelemenin yüksek adsorpsiyona neden olduğunu, toprağın fosfor desteklemesinin, toprak gübrelemesi ve Fe–P ile iyi bir korelasyon verdiğini bildirmişlerdir. Organik C yararışlı fosfor, Fe–P, toplam fosfor, Al–P ve desteklenen fosfor ile iyi korele olurken organik fosforun bunlarla korelasyon vermediğini bildirmişlerdir (Han vd. 2005).

Kirlenmeye maruz kalmış topraktaki fosfor dinamiğine bağlı olarak fizikokimyasal değişimler incelenmiştir. Sedimentlerin fosfor adsorpsiyon maksimumu ile pH, organik madde, değişebilir Ca ve okzalatta ekstrakte edilen Fe ve Al konsantrasyonları arasında önemli ilişki bulunduğu belirtilmiştir. Sedimentlerdeki fosfor sorpsiyonunun, organik

madde, Ca ve Fe–Al’un bazı zayıf kristal ve amorf formları ile ilgili olduğu bildirilmektedir (Yoo vd. 2006).

Araştırmacılar kırmızı topraklarda kaolin ve demir oksit konsantrasyonlarının P-adsorpsiyonuna etkilerini tahmin etmede Langmuir izoterminin ($r=0,997$) Freundlich izoterminin ($r=0,985$) daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Fosfor sorpsiyon kapasitesi 700–2700 $\mu\text{gP/g}$ olan 70 toprakta çalışma yapmışlardır. Langmuir P-adsorpsiyon kapasitesinin sistematik bir düşüş gösterdiğini bulmuşlar, bunun iklimin etkisinde değişen pH ve organik maddeden kaynaklandığını göstermişlerdir. Bu toprakların fosfor sorpsiyonunun tahmin edilmesinde ditionitte ekstrakte edilen Al, değişebilir Ca^{+2} ve pH’nın etkili olduğunu belirterek, bu toprakların fosfor sorpsiyon kapasitesinde kaolinin ve demir oksitlerin etken olduğunu belirterek, kaolin tarafından, uygulanan fosforun %62’sinin ve demir oksitler ile de %38’inin tutulduğunu bildirmişlerdir (Siradz 2007).

Fosforun, yapay sulak alanlardan gideriminde, ortam malzemesi olarak kullanılan malzemelerin, giderim verimine etkileri adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Ortam malzemesi olarak toprak, yüksek fırın cürufu, perlit çakıl ve kum kullanılmıştır. En fazla katyon içeren, yüksek fırın cürufu Al (28,5 g/kg), Fe (22,9 g/kg) ve Ca (212,7 g/kg) daha sonra çakıl, toprak, kum ve perlit gelmektedir. Kalsiyumun en fazla olduğu yer, çakıl ve yüksek fırın cürufudur. Fe içeriği en yüksek olan, yüksek fırın cürufudur. Al içeriği en yüksek olan, toprak ve yüksek fırın cürufudur. Arazide tesis edilen pilot ölçekli çalışma ile, sulak alanlarda kullanılan malzemenin 21°C ve 4°C’de adsorpsiyon izotermi Langmuir izotermi ile uyum göstermiştir. Her iki sıcaklıkta da birbirine yakın adsorpsiyon elde edilen malzemeler, kum (669 ppm, 363 ppm) ve cüruftur (458 ppm, 363 ppm). Toprak 21°C’de 1363 ppm adsorpsiyon oluştururken 4°C’de 239 ppm adsorpsiyon oluşturmuştur. Perlit her iki sıcaklık değerinde de zayıf (20 ppm, 17 ppm) bir adsorpsiyon göstermiştir. Çakıl, tüm malzemelerin aksine 21°C’de az (111 ppm), 4°C’de (324 ppm) daha fazla fosfor adsorbe etmiştir. Fosfor tutulması açısından en umut verici malzemelerin

cüruf, çakıl, toprak ve kum olduğu, kullanılan tüm malzemenin Langmuir izoterm eşitliğine uyum gösterdiği belirtilmiştir (Dağlı ve Akça 2007).

Topraktaki Fe oksitlerin, pH'ya bağlı olarak yüzeylerindeki yük eksiklikleri ve yüksek yüzey alanları sorpsiyon reaksiyonlarında önemli özelliklerdir. Su varlığında Fe iyonlarının kristal yüzeyleri tamamıyla hidroksil iyonları ile dolar. Yüzeydeki bu hidroksil grupları H₂O moleküllerini oluşturmaya başlar. Yüzeyde mono tabaka su oluşana kadar H⁺ yüklemesi yapılır (Breeuwsma 1973). Demir oksitler tarafından anyonların adsorpsiyonu çalışmalarında yüzeylerin hidratlanması, yüzeydeki potansiyelin değişmesi ile H⁺ ve OH⁻ gruplarının adsorplanması veya desorpsiyonunun oluşması negatif veya pozitif yük oluşturur. Yüzeydeki yükün ve potansiyelin değişmesi solusyondaki H⁺ ve OH⁻ iyonlarının konsantrasyonuna bağlıdır (Borggaard 1983). Bu modelden de görüldüğü gibi Fe iyonları bu yük değişiminde direkt etkili değildir. Böyle çözeltilerde izoelektrik nokta (metal hidroksil iyonları ile hidrojen iyonları arasında (OH⁻, H⁺) sıfır net yükün olduğu nokta, bu durumda bileşik amfoter özellik göstermektedir) oluştuğunda, yüzey yükü anyonlar, kationlar veya iyon çiftleri ile, adsorpsiyon yaparak, elektrostatik dengede bir katman oluştururlar. İyon çiftleri noktasal yük gibi davranırlar. Adsorpsiyon özel değildir, iyonik yüklere bağlıdır. Bununla birlikte diğer iyonlar da oksit yüzeylerde çok daha güçlü tutulur. Fe kabuğunun adsorpsiyon boşlukları, ligant değişimi ile kationların yapısal özellikleri sayesinde O ve OH grupları ile direkt olarak kovalent bağ oluşturur. Bu olaya kimyasal sorpsiyon veya özel sorpsiyon ya da ligant değişimi denir. Bir çok araştırmacı, iki ferrik iyonunun basit koordinasyonunda, iki OH grubunun yer değiştirmesiyle, Fe oksitler tarafından fosfat iyonlarının adsorplandığını belirtmektedir. Fosfatın Fe oksit tarafından spesifik adsorpsiyonu topraklarda önemli bir konudur. Bir çok çalışma için de Fe oksitlerin anyonları adsorpsiyonu, bu anyonun uzaklaştırılmak istendiği durumlarda çok önemlidir (Siradz 2007).

2.5.2 Kil

Siradz (2007) tarafından çeşitli katyonlarla muamele edilerek kaolin, montmorillonit ve illitin fosfor sorpsiyonu çalışılmış ve düşük fosfor konsantrasyonlarında Langmuir adsorpsiyon izotermi kullanılmış, divalent iyonlarla sature edilen kilin monovalent iyonlarla sature edilen kilden daha fazla fosfor adsorpladığı bildirmiştir.

Kireçli topraklarda zamanın fosfor tutulması üzerine etkisi ve P-adsorpsiyonunun Langmuir izotermine uygunluğunun araştırılmasında, düşük fosfor konsantrasyonlarında fosforun muhtemelen tek tabaka halinde tutulduğu, toprakların kil kapsamlarının tek tabaka şeklinde adsorpsiyonun sorumlusu olduğu, uzun dönemde fosforun tutulmasından da CaCO_3 'ün sorumlu olduğu belirtilmiştir (Oskay 1986).

Toprağın fosfor kalibrasyonunu çalışabilmek için bir çok ampirik dataya ihtiyaç vardır. Bu değerler de her toprak için değişiklik göstermektedir. Bunlar pahalı ve zaman isteyen çalışmalardır. Nitekim yapılan bazı çalışmalarda da bu amaç göz önüne alınmıştır. Maughli vd. (1991), fosfor adsorpsiyonunu, farklı toprak testleri ile kombine ederek, ihtiyaç duyulan fosforun tahmin edilmesinde, fosfor tampon kapasitelerini kıyaslayarak, rutin toprak analizleri kullanarak ürünün fosfor ihtiyacını tahmin etmeyi amaçladıkları çalışmalarında, fosfor adsorpsiyonunun toprağın kil içeriği, KDK:kil oranı, kireç içeriği ve organik demir ile korele olduğunu bildirmişlerdir.

Kaolin üzerinde yapılan bir çalışmada, P-adsorpsiyon maksimumu 134–454 $\mu\text{gP/g}$ bulunmuştur Toprak kaolininin, standart kaolinden daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmasının nedeni olarak, daha küçük kristal büyüklüklerine sahip olması gösterilmiştir (Prasetyo ve Gilkes 1994).

Pirinç ve buğday rotasyonu uygulanan tarım alanlarından toprak örnekleri alınmış ve organik maddenin fosfor adsorpsiyon/desorpsiyonuna etkisi ile fosfor yarayışlılığı ilişkisi

kontrol edilmiştir. Organo–inorganik gübreleme ve organik gübreleme adsorpsiyon maksimumunu ve adsorpsiyon yükleme enerjisini azaltırken, mineral fosfor uygulamasının çok küçük bir etkisi olmuştur. İlave olunan fosforun bir kısmı önce toprağın fiksasyon kapasitesine göre fikse olmuş, organik maddenin fiksasyon kapasitesi çok düşük bulunmuştur. Toprağın yarayıklı fosfor içeriğı, P-adsorpsiyon maksimumu (qm), yükleme enerjisi (k) ve fiske–P ile negatif bir korelasyon verirken, organik maddenin qm, k, tampon kapasitesi ve fiksasyon kapasitesini düşürmek sureti ile fosforun yarayıklılığını artırdığını bildirmişlerdir (Ni vd. 1995).

Boyd ve Munsiri (1996), 20 toprağı 0, 25, 50, 100 ve 200 ppm fosfor ilaveleri ve su ile sature olmuş durumda, inkübasyona tabi tutmuşlardır. Araştırmacılar toprakların adsorpsiyon kapasitelerinin kil içeriğı ile $r=0,957$; $P<0,01$ önemli bir ilişki verdiğini bildirmişlerdir. Toprağın kil içeriğinin bilinmesinin onun fosfor statüsünün tahmininde önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Kimi araştırmacılar tarafından hidroksialüminyum (HA) ve hidroksialüminasilikat (HAS) iyonlarının kompleksleri ile montmorillonit (M) ve vermikulit (V) killerinin P-adsorpsiyon kapasiteleri farklı adsorpsiyon izotermi ile çalışılmıştır. HA veya HAS polimerlerinin kırık uçlarındaki Al'a bağılı $-OH_2$ ve $-OH$ iyonlarının veya M ve V iç yüzeylerindeki boşlukların, fosfat adsorpsiyonundaki önemli alanlar olduğunu bildirmişlerdir. Polimerik yapı içersindeki Al'a bağılı OH gruplarının değışimi ile gerçekleşen adsorpsiyonun ise ikinci adsorpsiyon alanı olduğu bildirilmiştir. Farklı eşitliklerden tahmin edilen adsorpsiyon parametrelerinin sayısal farklılıkları içermekle birlikte, aralarında %1 seviyesinde önemli bir ilişkinin bulunduğu ve bu parametrelerin fosfat adsorpsiyonunu tariflemeye yeterli olduğu bildirilmiştir (Saha ve Inoue 1997).

İleri morfoloji ile allofanın kimyasal yapısındaki en son bilgiler, allofanın fosfat adsorpsiyonunda, hafif bağılı silikonun fosforla yer değıştirdiğine dair yeni bir mekanizmadan bahsetmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalarla serbest kalan silikon ile

adsorplanan fosfor arasında lineer bir ilişki olduğu ortaya konmuştur. Daha fazla silikon serbest kaldığında yükselen Si/Al oranı nedeniyle zayıf bağlı Si olduğu bildirilmiştir. Yüksek fosfat konsantrasyonunda (>1,5mM) pH 6 civarında Allofan yapısının bozulmasının nedeninin bu olay olduğu bildirilmiştir. Allofan ve fosfat arasında gelişen bu olayın da Ca^{+2} iyonlarının artmasına neden olduğu bildirilmektedir (Johan vd. 1997).

Araştırmacılar, yüksek kireçli 10 toprakla fosfor sorpsiyonunu iki izoterm ile çalışmışlardır. Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon verileri birbirlerine yakın bulunmuştur. Langmuirden bulunan adsorpsiyon maksimumu pH, kil, KDK ile pozitif $CaCO_3$ ile negatif korelasyon vermiştir. Adsorpsiyon ile desorpsiyon arasında lineer bir ilişki gözlenmiştir (Ghanbari vd. 1998).

Araştırmacılar asidik topraklar kullanarak toprak bileşenlerinin fosfor sorpsiyon parametrelerine etkilerini çalışmışlardır. Toprağın kil içeriğinin, pH'sının, amorf demir oksit (Feo) ve amorf Al oksit (Alo) içeriğinin Alo>Feo>pH>kil sırası ile fosfor sorpsiyonunu etkilediğini bildirmişlerdir (Li vd. 2000).

Araştırmacılar kuru ve nemli %0–30 (w/w) oranlarında uçucu kül ilave ettikleri Vertisol topraklarda, uygulamanın fosfor adsorpsiyonuna etkisini çalışmışlardır. Elde edilen verileri Langmuir izoterm eşitliğini kullanarak yorumlamışlardır. P-adsorpsiyonunda kuru uçucu külün, nemli uçucu külden daha etkili olduğunu görmüşlerdir. Düşük uçucu kül oranlarında, fosfor desorpsiyonunda önemli bir etki gözlenmemiştir. Kül-toprak karışımının düşük yükleme enerjisi nedeni ile yüksek P-adsorpsiyonuna sahip olduğu ve adsorplanan fosforun çoğu bölümünün kolay desorbe olabildiğini bildirmişlerdir (Veeresh vd. 2001).

Gimsing ve Borggaard (2002) glifosfat ve fosfatın gotit, gibsit, illit, montmorillonit ve kaolin üzerindeki adsorpsiyon durumlarını incelemişlerdir. Fosfat adsorpsiyonunun adsorbentlere göre değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Gotitteki fosfat adsorpsiyonu fazla

olmasına rağmen gibsittekinin daha fazla olmakla birlikte ikisinin birbirine yakın olduğunu bulmuşlardır. İllit, montmorillonit ve kaolinitte glifosfat ve fosfat adsorpsiyonlarının hemen hemen aynı olduğunu görmüşlerdir. Çalışma sonucuna göre topraklar arasındaki mineralojik farklılıkların fosfat ve glifosfat adsorpsiyonunun tahmininde önemli olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Toprak özelliklerindeki farklılıkların, bitki çeşitlerinin, gübrelere uygulanan fosfor ve toprakta önceden bulunan fosforun etken olduğu bildirilerek; bu görüş ışığında bazı toprak karakteristikleri saksı denemeleri ile çalışılmıştır. 200 kgP₂O₅/ha gübrelenmiş toprakla, gübrelenmemiş toprakta denemeler kurulmuştur. Test bitkisi olarak çayır bitkisi kullanılmıştır. Seçilen toprak karakteristikleri ile deneme topraklarının P-adsorpsiyon karakteristikleri incelenmiştir. Toprakların reaksiyonu 4,46–7,27 arasında değişmektedir. Uzun süreli fosfor uygulamasının saksı denemelerindeki toprakların P-adsorpsiyonuna etkisinde pH ve humus içeriği etkili bulunmuştur. Yüksek KDK, vermikulit içeriği, uygulanan fosfor oranı, P-adsorpsiyonunu arttırmıştır. Uzun süre fosfor uygulanmış alanlarda toprağın fosfor destekleme gücü N ve K oranı ile artmıştır (Sardı ve Csatho 2002).

Araştırmacılar killi topraklarda adsorpsiyon maksimumuna fiziksel ve kimyasal özelliklerin etkisini araştırarak, kil içeriği, Fe ve Al ile P-adsorpsiyon maksimumu arasındaki ilişkinin önemli olduğunu belirtmişlerdir (Valladares vd. 2003).

Langmuir izoterm eşitliği kullanılarak toprağın fosfor adsorpsiyon karakteristikleri ve bunların toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile olan ilişkisi araştırılmıştır. 0–20 cm'den alınan 8 toprak örneği ile bu çalışma yürütülmüştür. Demirli topraklar en yüksek adsorpsiyon kapasitesi gösterirken, yellow Oxisol en yüksek adsorpsiyon enerjisi göstermiştir. Adsorpsiyon maksimumu değişimi 0,297–0,888 mg P/g toprak olarak bulunmuştur. Sorplanan fosforun adsorpsiyon enerjisi 0,230–0,73 L/mgP arasında olmuştur. Adsorpsiyon kapasitesi kil içeriği ile pozitif korelasyon (r=0,948**) vermiştir.

Adsorpsiyon enerjisi kil içeriği ile ($r=0,783^*$) önemli pozitif bir ilişki, P saturasyonu ile negatif ($r=-0,775^*$) bir ilişki vermiştir (Falcao ve Silva 2004).

Araştırmacılar tarafından organik maddenin Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} iyonları ile pH 5’de şelat oluşturmak sureti ile fosforun yayarışlılığını arttırdığı, kil minerallerinde, adsorpsiyon özelliklerinin Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} tarafından doyurulduğunda toprak solusyonundaki fosforda artış ortaya çıktığı bildirilmiştir (Bennani vd. 2005).

Araştırmacılar düşük organik madde içerikli kalkerli topraklardaki P-adsorpsiyon kapasitelerini üç farklı modelle (Basit Langmuir, Ferundlich ve İki-yüzey Langmuir eşitliği) kıyaslamışlardır. P-adsorpsiyon kapasitelerini 833–1520 $\mu\text{gP/g}$ toprak ve yükleme enerjileri 0,04–0,296 $\text{ml}/\mu\text{gP}$ arasında bulmuşlardır. Toprakların kil içeriği ile fosfor sorpsiyon kapasiteleri arasında, fosfor sorpsiyon kapasiteleri ile $CaCO_3$ içerikleri arasındakinden daha yüksek bir korelasyon bulmuşlardır (Kordlaghari 2006).

Bennani vd. (2005) Na, Ca ve Mg ile doyurduğu topraklarda yaptığı fosfor adsorpsiyon çalışmasını Langmuir izotermleri vasıtası ile yorumlamıştır. Langmuir parametrelerinin hem toprağın baskın kili ile hemde toprağın sature edildiği iyonlarda $Ca^{++} \gg Mg^{++} \gg Na^+$ sırası ile etken olduğunu bulmuştur.

Araştırmacılar, kırmızı topraklarda kaolin ve demir oksit konsantrasyonlarının P-adsorpsiyonuna etkilerini tahmin etmede Langmuir izoterminin ($r=0,997$) Freundlich izoterminden ($r=0,985$) daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Fosfor sorsiyon kapasitesinin 700–2700 $\mu\text{gP/g}$ olan 70 toprakta çalışma yapmışlardır. Langmuir P-adsorpsiyon kapasitesinin sistematik bir düşüş gösterdiğini bulmuşlar, bunun iklimin etkisindeki (örnekleme alanları farklı yağış etkisinde) değişen pH ve organik maddeden kaynaklandığını göstermişlerdir. Toprakların fosfor sorpsiyonunun tahmin edilmesinde ditionitte ekstrakte edilen Al, değişebilir Ca^{+2} ve pH’nın etkili olduğunu belirtmişlerdir (Siradz 2007).

Alümina–silikat kil mineralleri (montmorillonit ve kaolinit) ile fosfat adsorpsiyonu reaksiyonlarının incelendiği çalışmalar göstermiştir ki, eşit muamelelerin uygulandığı durumlarda fosfor miktarları farklılaşmamıştır. Araştırmacılar, sorpsiyon mekanizmalarının çeşitli kil minerallerinde aynı olduğunu belirterek, iki mekanizmadan söz etmişlerdir: Gibsit tabakasındaki hidroksil grupları ile fosfatın yer değiştirmesini ve protonun adsorplanması ile pozitif yük çiftinin oluştuğunu bildirmişlerdir. Kalsiyum ile sature edilmiş killerde Na ve K ile sature edilmişlerden daha fazla fosfor kaldığı, killerin fosfor sorpsiyonunu oluştururken Ca ve Mg iyonları ile fosfat iyonunun yer değiştirdiğinin muhtemel olduğu bildirilmiştir (Siradz 2007).

Siradz (2007), kaolini kuvvetli alkali çözeltiyle muamele ederek, ortamdaki Fe-oksiti çözmüş ve uzaklaştırmış ve kaolin elde etmiştir. Elde edilen kaolin ile 0,2 M KCl içerisinde 0–30 µgP/g içeren çözelti ile denge çözeltileri hazırlanmış ve adsorplanan fosfora karşı denge solüsyonundaki fosfor grafiği incelenmiştir. Tüm toprakların güçlü bir P-adsorpsiyonu gösterdiği bulunmuştur. Sorplanan fosfor ile dengedeki fosfor arasındaki farklılıklara rağmen, izoterm şekilleri benzerlik göstermiştir. Toprak kaolininin fosfor sorpsiyon maksimumu 760–1393 µg/g bulunmuştur. Bu değer Georgia kaolininden (145 µgP/g) 7 kez daha fazla olduğu belirtilmiştir.

2.5.3 Organik madde

Podzolik 5 toprakta organik madde uzaklaştırdıktan sonra ve uzaklaştırmadan önce, P-adsorpsiyon kapasitesi çalışması yapılmıştır. Bu topraklarda Fe ve Al oksitler asıl adsorbentler olarak yer almıştır. Adsorpsiyonun %96'dan fazlası iyi kristallenmemiş Fe ve iyi kristallenmemiş Al oksitler tarafından gerçekleştirilmiştir. Organik madde, P-adsorpsiyonunu Al oksitte kristalizasyon oluşturarak indirekt olarak etkilemiştir. Sonuç olarak, iyi kristallenmemiş oksitler yüksek adsorpsiyon maksimumu oluşturmuşlardır. Bunun tersi olarak organik maddenin Fe oksitin kristalizasyonuna olumlu etkisi nedeniyle P-adsorplama kapasitesi sınırlanmıştır (Borggaard vd. 1990).

Toplam fosfor içeriğinin eseri–188 ppm olduğu, çay yetiştirilen alanlara ait topraklarda fosfor statüsü, fosfor adsorpsiyonu (Langmuir izoterm eşitliği) ve fiksasyonu çalışılmıştır. Yarayışlı fosfor; pH optimumuna yükselişle, vesicular arbuscular mycorrhizal fungi artışıyla, ve organik asit ilavesi ile artmıştır (Lin vd. 1991).

5 toprak üzerinde Langmuir izoterm eşitliği kullanılarak P-adsorpsiyonu çalışılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki killi Latosol toprak en yüksek sorpsiyon kapasitesine sahiptir. En düşük kapasiteyi de çok killi Podzolik toprak ve orta tekstürlü Latasoller göstermiştir. Fosfor sorpsiyon indeksi ile kil ve organik madde içeriği arasında iyi bir korelasyon bulunduğu bildirilmiştir (Brasil ve Muraoka 1995).

Araştırmacılar, buğday ve mısır rotasyonunun uygulandığı tarlalardan aldıkları toprak örneklerinde yarayışlı fosfora, P-adsorpsiyon ve desorpsiyonuna, organik materyal etkisini araştırmışlardır. Toprakların maksimum P-adsorpsiyonunu (q_m), yükleme enerjisini (k) ve toprağın fosfor adsorplama indeksini ($k \cdot q_m$) Langmuir izoterm eşitliğinden bulmuşlardır. Organo-inorganik gübrelemenin ve organik materyalin q_m ile k değerlerini artırırken, mineral fosfor ilavesinin bu değerlere çok az bir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Toprağın yarayışlı fosfor içeriği q_m , k ve fiske edilmiş fosfor ile negatif korelasyon vermiştir. Desorbe olan fosfor başlangıç fosforu ve adsorbe olan fosforla önemli bir ilişki vermiştir. Organik materyal fosfor fiksasyonunu azaltmıştır (Zhang ve Sun 1995).

Toprakların fosfor tampon kapasitesi, bitki besleme ve çevresel kirlilikle ilişkilidir. Topraklarda kalan fosforu ve topraktan serbest bırakılan fosforu tahmin etmede kantite/intensite ilişkisinin kontrolü avantaj sağlamaktadır (Kpombrekou ve Tabatabai 1997).

Araştırmacılar, sedimentlerden, tortul kumlardan, granitten, bazalttan aldıkları asidik toprakları kullanarak toprak bileşenlerinin fosfor sorpsiyon parametrelerine etkilerini çalışmışlardır. Toprağın kil içeriğinin, pH'sının, amorf demir oksit (Fe_o) ve amorf Al oksit

(Al_o) içeriğinin Al_o>Fe_o>pH>kil sırası ile fosfor sorpsiyonunu etkilediğini bildirmişlerdir (Li vd. 2000).

Sui ve Thompson (2000) sorpsiyon desorpsiyon ve fosfor tampon kapasitesi üzerine toprağa ilave edilen biyo katının etkisini ortaya çıkarmak için laboratuvar şartlarında bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın kontrol topraklarında fosfor sorpsiyon maksimumu 819, 718 ve 880 mg P/kg çıkmıştır. Bu çalışma sonucunda, toprağa ilave edilen biyo katı, toprak fosfor sorpsiyonunu ve yükleme enerjisini düşürmüştür. Toprakta desorbe olan fosfor biyo katı ilavesi ile artmıştır. Biyo katı ilavesi toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonunu arttırarak, topraklardaki çözünebilir fosfor miktarını arttırmıştır.

Toprak tarafından fosforun sorpsiyonunda toprak mineralleri ile organik bileşikler (mineral yüzeyindeki etkin gruplarla birlikte, hızlı, ekzotermik bir ligant değişim reaksiyonu oluşumu) etken olmaktadır (Frossard vd. 2002). Hızlı reaksiyonu takiben, daha yavaş bir reaksiyon (mikro boşluklara sıvı ve katı difüzyonu veya çökelmeler) oluşmaktadır. Fakat sorplanan fosfat ile çözünmeyen, çökmüş fosfat tuzlarını ayırmak çok zor olmuştur (Sui ve Thompson 2000).

11 tarımsal toprakta, fosfor sorpsiyon ve desorpsiyon dinamikleri laboratuvar şartlarında, topraktan fosfor kaybını ortaya koymak üzere çalışılmıştır. Topraklar yüksek organik maddeli (>30), demir-oksitte ve suda çözünen fosfor içeriği düşük CaCl₂ de çözünen fosfor içerikleri yüksek olan topraklardır. Bu toprakların fosfor sorpsiyon kapasiteleri yüksek organik madde içerikleri ile negatif korelasyon vermiştir. Organik maddenin toprağın, toprak çözeltisinden fosfor almasını engellediği, mineral topraklarla karşılaştırıldığında, yüksek organik maddeli toprakların düşük fosfor sorpsiyon kapasitesine sahip olduğu ve fosfor rezervlerinin (toplam P, okzalatta ekstrakte edilen P) fakir olduğu bildirilmiştir. Peat toprakların düşük P-adsorpsiyon kapasiteleri yüksek organik madde içeriklerinin, organik asitler ile sorpsiyon alanlarını bloke etmeleri veya elemine etmeleri nedeniyle, toprağın solusyon fazında (P_{CaCl₂}) fosfor kalmaktadır. Bu topraklar yüksek gübreleme uygulamasına

uygun değildir. Düşük fosfor sorpsiyon kapasiteleri ve depolama yetenekleri yüzünden fosfor kirliliği oluşturmaktadırlar (Daly vd. 2001).

Araştırmacılar, organik kalıntı ilavesinin inorganik gübre uygulamasını azaltmada çok ucuz bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir. Dört deneme ile ova topraklarının, P-adsorpsiyonları üzerine organik kalıntının, kireçtaşının ve jips uygulamasının etkisi araştırılmıştır. Uygulamalar yapıldıktan sonra toprak örnekleri 60 gün inkübasyona bırakılmıştır. İlave fosfor ve temel gübrelemeler ile inkübasyona bırakılan denemelerde, dengedeki fosfor, maksimum fosfat adsorpsiyon kapasitesi, pH, değişebilir Al ve fosfor tampon indeksi hesaplanmıştır. Organik kalıntı ve kireçtaşı uygulamalarının toprak pH'sını arttırdığı, değişebilir Al'u azalttığı ve P-adsorpsiyon maksimumunu düşürdüğü bildirilirken, jips ilavesinin pH'yı yükseltmediği, P-adsorpsiyon ve değişebilir Al'u azalttığı belirtilmiştir (Andrade vd. 2002).

Araştırmacılar 20 yıllık uygulamalar sonucunda sığır gübresi, mineral gübre (NPK) ve her ikisinin uygulandığı durumdaki toprakların P-adsorpsiyon maksimumlarını ve yükleme enerjilerini Langmuir denkleminde bulmuşlardır. Sığır gübresi uygulandığı durumu toprak organik madde seviyesi ile kontrol etmişler ve bu durumda P-adsorpsiyonunun artışı organik madde artışı sonucu oluştuğunu bulmuşlardır. Toprakta kalan NPK'nın amorf Al oksit oluşumu nedeniyle P-adsorpsiyon maksimumunu arttırdığını belirlemişlerdir. Gübre oranlarının etkisi ile de P-adsorpsiyonunun arttığını bildirmişlerdir. Toprakta kalan fosforun gübre çeşidiyle ilgili olmadığını ancak uygulanan gübrenin oranları ile ilgili olduğunu bildirmişlerdir (Potarzycki vd. 2004).

Afrika'nın kuzeyinden alınan yüzey topraklarında P-adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları toprak karakteristiklerinin topraktaki fosfor havuzuna etkilerinin ortaya konulması amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. %30 organik kaynaklı fosfor içeriğine göre toplam fosfor içeriği 90–198 ppm bulunmuştur. Reçine fosforunun derinlikle birlikte düşerek, ortalama 5 ppm civarında olduğu bulunmuştur. Gübre uygulamasının toprağın

inorganik fosfor havuzunu arttırdığı görülmüştür. Bu topraklarda Langmuir izoterm eşitliğinden hesaplanan P-adsorpsiyon maksimumu 36–230 ppm arasında bulunmuştur. Bu topraklardaki düşük adsorpsiyon kapasitesi nedeni ile, ilave edilen fosforun çok küçük dilimlerinin bile ürün gelişimine yeterli olduğu görülmüştür. Bu topraklarda gübreleme sorgulamasında toprak karakterlerinin uygulanan gübreye etkisinden ziyade, ürünün fosfor alımı ile ilgili sorgulanmasının daha doğru olacağı bildirilmiştir (Nwoke vd. 2004).

Bazaltik kahverengi ve kırmızı ferrik Latosollerden yüzey toprakları, kil içerikleri ve demir içerikleri yüksek topraklarda, fosfor sorpsiyon kapasitesi üstüne oksitlerin bireysel etkisini ve organik maddenin fosfor sorpsiyonuna etkilerini açıklamak üzere çalışma yürütülmüştür. Freundlich eşitliğine göre latosol topraklarda P-adsorpsiyon maksimumunu organik maddenin maskeleyerek azalttığını bildirmişlerdir (Almeida vd. 2004).

Genç andesitik topraklarda çözünen organik fosfor ve PO_4 adsorpsiyonundaki değişimde toprak karakteristiklerinin, etkisini araştırmak amacı ile toprak örneklemeleri 0, 10, 30, 40, 140 ve 150cm den alınmıştır. Modife edilmiş lineer Langmuir eşitliği kullanılarak, organik fosfor ve fosfatın, toprak yaşı ile adsorplanan miktarında artış olduğu bildirilmiştir (Lilienfein vd. 2004).

Araştırmacılar, çeşitli değerlerde gübrenilmiş on iki adet tipik Luvisol örneklediklerini ve fosfor karakteristiklerinin bitkinin fosfor alımına etkilerini araştırdıklarını bildirmişlerdir. Organik C, yarayışlı P, Fe–P, toplam–P, Al–P ve desteklenen fosfor ile iyi korele olurken organik fosforun bunlarla korelasyon vermediğini bildirmişlerdir (Han vd. 2005).

Yıkanmış topraklara organik madde ilavesinin bu toprakların fosfor sorpsiyonunu azalttığı bir çok çalışma ile belirlenmiştir. Bunun nedeninin P-adsorpsiyon alanlarına organik maddenin bozunmasından ortaya çıkan ürünler ile fosfor arasındaki yarışın neden olduğu belirtilmektedir. Bunun yanında çok az sayıdaki bazı çalışmalarda da organik madde ilavesinin bir miktar fosforun serbest kalmasına neden olduğu belirtilmektedir. Organik

madde uygulaması ile fosforlu gübreleme birlikte yapıldığında fosforun bitkiye yarayışlılığının artmasının nedeni, bozulan organik madde nedeni ile fosfor sorpsiyonundaki azalmanın olduğu belirtilmiştir (Guppy vd. 2005) .

Organik madde ilavesinin pH 5'de monokalsiyum fosfatın yarayışlılığına Fe^{+3} , Al^{+3} ve kil minerolojisinin etkisinin araştırıldığı çalışmada, hümik maddelerle şelat oluşturmak sureti ile fosforun daha yarayışsız forma (ortamdaki Fe^{+3} ve Al^{+3} lerle fosforun daha çözünen F eli ve Al lu bileşiklere dönüştüğü) dönüşümünün engellenmiş olduğu bildirilmiştir (Bennani vd. 2005).

Kirlenmeye maruz kalan toprakta, fosfor dinamiğine bağlı olarak fizikokimyasal değişimler incelenmiştir. Sedimentlerin fosfor adsorpsiyon maksimumu ile pH, organik madde, değişebilir Ca ve okzalatta ekstrakte edilen Fe ve Al konsantrasyonları arasında önemli ilişki bulunduğu belirtilmiştir. Sedimentlerdeki fosfor sorpsiyonunun, organik madde, Ca ve Fe–Al'un zayıf kristal ve amorf formları ile ilgili olduğu bildirilmektedir (Yoo vd. 2006).

Araştırmacılar, toprağın fosfor sorpsiyonunun ve fosforun serbest kalmasının toprakla çözelti yüzey alanından etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada inorganik fosfor gübrelemesinin ve çiftlik gübresinin kumlu–tınlı toprakların P-adsorpsiyon–desorpsiyon prosesine ve yüzeyin net negatif yüklerine etkisinin ne olduğunu ortaya koymak olduğunu belirtmişlerdir. Topraklar, dengedeki bitkiye yarayışlı fosfor durumu dikkate alınarak gübrenilmiş tarla denemelerinden alınmıştır. Dört yıl sonra organik gübrenilmiş alanlarda %37 daha fazla negatif yük oluştuğu bildirilmiştir. Bu nedenle toprakların P-adsorpsiyon kapasiteleri düşmüştür. Aynı zamanda toprakta kalan fosfor azalırken organik gübre ilavesi ile toprak çözeltisine salınan fosfor miktarında artış olduğu bildirilmiştir (Jiao vd. 2007).

2.5.4 Kireç

Gübrelemeden sonra, yarayışlı fosforun azalmasında, kireçli topraklarda, yüzey adsorpsiyonu ve çökme temel mekanizmalardır. Kireçli topraklarda, oksit killerin ve karbonatların önemi büyüktür. Yüksek fosfor uygulama hızının, kireçle yarayışlı fosfor arasında negatif ilişki oluşturduğu bildirilmiştir. Bununla beraber demir oksit ve kireç ilave hızının artışı ile fosforun topraktaki kalışının arttığı da bulunmuştur. Özellikle düşük konsantrasyonlarda, bir çok kireçli toprakta P-adsorplama yüzeylerinin, karbonatsız killer tarafından sağlandığı, demir oksit içeriğinin %1,6 olması durumunda P-adsorpsiyonunun 9 kat arttığı belirtilmiştir. Toprağın fosfor içeriği yükseldiğinde, karbonatının adsorpsiyona etkisinin arttığı belirtilmiştir. Araştırmacılar kireçli topraklarda ve kireçlenmiş topraklarda fosfor interaksiyonunu kıyaslamışlar, kireçli topraklarda, kireçlenmiş topraklara göre daha az yüzey fosforunun bulunduğunu bildirmişlerdir. İlk adsorpsiyon ile çökelen dikalsiyum fosfat (CaHPO_4) arasında interaksiyon olduğunu, bunun hidrolitik değişim ile orta kalsiyum fosfata ($\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2$) dönüştüğünü, bunu amorf dan kristalin yapıya gidiş izlediği bildirilmektedir. Kalsit yüzeydeki fosfor gelişimi dikalsiyum fosfat ve orta kalsiyum fosfat oluşumunun etkisindedir. Yüksek fosfor konsantrasyonlarında da bu olay %5 civarında gerçekleşmektedir. Çözünebilir fosforun dikalsiyum fosfat tarafından kontrol edildiği bildirilmektedir. Fosfor sorpsiyonunun etkisinde oluşan ilk safha, amorf yapıda iken bunu daha sonra, daha düzgün bir kimyasal yapı takip eder. Langmuir izotermi ile açıklanan ilk fosfor sorpsiyonunun dikalsiyum fosfat ile tutulan fosfor olduğu bildirilmektedir. Bu sorpsiyon düşük enerjili sistemde gerçekleşmektedir. İlk proses çok hızlı gelişmektedir. Takip eden aşamada 2 hidrojenli Ca bileşikleri ve çökme reaksiyonları oluşmaktadır. Tüm karbonatlarla fosforun reaksiyonu yüzey özelliklerine bağlıdır. Özellikle yüzey alanına ve zeta potansiyeline (17.7–25.3 mV) bağlı olmaktadır (Cole vd. 1953).

Ryan vd. (1985) toprakların fosfor sorpsiyonunun, toprakların CaCO_3 içeriğinden daha çok demir oksit içeriği ile ilgili olduğunu bildirmişlerdir. Toprakların bulunan sorpsiyon kapasiteleri demir içerikleri ve kil içerikleri ile yüksek korelasyon verirken, fosfor sorpsiyonunda CaCO_3 içeriği ise daha az bir rol oynar (Solis ve Torrent 1989). Kalkerli

topraklardaki labil fosfor konsantrasyonu, toprak CaCO₃ içeriği ile gübre uygulaması arasında negatif korelasyon vermektedir (Sharyley ve Smith 1985). Uygulanan fosfor ile Olsen-P değerlendirmesi, düşük fosfor uygulamalarında, demir oksit ile yüksek fosfor uygulamalarında ise CaCO₃ ile negatif ilişki vermiştir (Afif vd. 1993). Karbonatlardaki fosfor sorpsiyon kapasitesinin, güçlü bir şekilde karbonatların yüzey alanı ile ilgili olduğunu bildirmiştir (Amer vd. 1985).

Kalkerli topraklarda, kation doygunluğunu en az düzeyde değiştirecek bir dekalsifikasyon çalışması uygulanmış, fosfor sorpsiyon izotermi ve bunun parametreleri hesaplanmıştır. Orjinal toprakların kalsit içerikleri %0,8–24,2 kalsit yüzey alanları ise 4,0–8,5 m²g⁻¹ olarak bulunmuştur. Sorpsiyon parametreleri için Langmuir eşitliği kullanılmıştır. Düşük fosfor içerikli alanlarda, dekalsifikasyon fosfor sorpsiyonunu artırmış, yüksek fosfor içerikli alanlarda ise, fosfor sorpsiyonunu azaltmıştır. Affinite yükseldiğinde yüksek fosfor sorpsiyonu oluşmuştur. Yüksek affiniteli yüzeylerdeki artışın, hesaplanan sorpsiyon kapasitesini arttırdığı bildirilmektedir. Her 0,5–1,5 birimlik pH değişimine karşın sorpsiyondaki bu artış fosfor affinitesi yüksek yüzeylerin oluşup, dekalsifikasyonla affinitenin düşük olduğu yüzeylerin azalması ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Bu sorpsiyon kapasitesinin demir oksit içeriği ile önemli bir korelasyon verdiği bildirilmiştir. Orjinal toprakların kalsit yüzey alanları ile sorpsiyon arasında araştırılan ilişkide düşük değerler bulunduğu bildirilmektedir. Kalkerli toprakların düşük affiniteli yüzeylerinin kalsit yüzeyleri olduğu ve bu yüzeylerinde önceden organik anyonlarla adsorbe edildiği bildirilmektedir (Holford vd. 1990).

Dört adet güçlü asit özellikli toprağın, fosfor sorpsiyon değerinin pH 5,5–6,0 ya yükseltildiğinde arttığı bildirilmiştir. Fosfor sorpsiyonundaki başlangıçtaki düşüklük, sorpsiyon tabakasındaki elektrostatik potansiyel (negatif yük) ve ilave fosfor arasındaki interaksiyondan kaynaklandığı bildirilmektedir. Bu sorpsiyon çalışmasının sonucu olarak; pH>6,0 olduğu durumda çözünebilir Ca-P bileşikleri nedeniyle fosfor sorpsiyonunda artış gözlenmekte, inkübasyon çalışmaları neticesinde de bazı topraklarda yüksek pH'daki

değişebilir fosfor miktarındaki azalışın da kireç etkisinde olduğu bildirilmektedir (Naidu vd. 1990).

Araştırmacıların kumda yaptıkları çalışma sonucunda kumun (CaCO_3 içeriği hariç) özellikleri ile adsorpsiyon yükleme enerjisi arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır (DelBubba vd. 2003). Kök bölgesine kireç ilave edilerek yapılan bir başka çalışmada da kireç ilavesinin fosfat adsorpsiyonunu artırdığı belirtilmektedir (Mann ve Bavor 1993).

Yarı kurak bölge topraklarında bir çalışma yürütülmüştür. Bu toprakların fosfor sorpsiyon kapasiteleri Langmuir izotermi kullanılarak tayin edilmiştir. Çalışma sonucunda fosfor sorpsiyon kapasitelerinin 0,124–0,805 mgP/g toprak olduğu bulunmuştur. Bu değer alkalik topraklarda, asit topraklara göre daha yüksek bulunmuştur. Maksimum fosfor sorpsiyon kapasitesi ile organik madde, kil içeriği, değişebilir Ca, Mg pozitif korelasyon vermiştir (Pereira ve Faria 1997).

Gübrelenen topraklardaki fosfor desorpsiyonu tarımsal ve çevresel açıdan önemlidir. Kireçli ve kireçlenmiş asidik topraklardaki fosfor desorpsiyonunu açıklamak adına yürütülen çalışmada; toprakların toplam fosfor içeriğinin 705–1400 mgP/kg olduğu durumda, kireçlenmiş asidik topraklarda, yüzeyde adsorplanmış fosforun kireçli topraklardakinden yüksek olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar kireçli topraklarda kalsiyum fosfat, kireçlenmiş asidik topraklarda da Al ve Fe'in baskın olduğunu belirtmişlerdir. 0,002 M CaCl_2 ile ekstrakte edilen bitkiye yararlı fosforun kireçlenmiş topraklarda %60'dan fazla iken, kireçli topraklarda bu değer %40'dan küçük olduğunu bildirmişlerdir (Delgado ve Torrent 2000).

Meyve, sebze yetiştirilen kireçli alanlar ile doğal alanlardan toplanan 24 toprakta P-adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Düşük fosfor konsantrasyonlarında adsorpsiyonun baskın reaksiyon olduğu, yüksek fosfor konsantrasyonlarında da kalsiyum karbonatla fosforun çökmesinin etken olduğu bulunmuştur. Çalışmalar fosforlu

gübrelemenin yoğun yapıldığı sebze alanlarında çökelme reaksiyonlarının hakim olduğunu ve yarıyışlı fosfor miktarının azaldığını göstermiştir. Sebze yetiştiriciliğinin yapıldığı topraklardaki desorpsiyonun normal topraklardaki desorpsiyondan fazla olduğunu bulmuşlardır. Bunun nedeni olarakta bu topraklardaki fosfor seviyesinin çok yüksek olmasını göstermişlerdir. Fosforlu gübrelemeler sonucunda kültüre alınmış sebze topraklarının çoğunda akkümüle olmuş fosfor miktarının fazla olduğu belirtilmektedir (Dainello 2000).

Araştırmacılar kalkerli toprakların fosfor sorplama karakteristikleri hakkında pek fazla bir şey bilinmediğini belirterek, kireçtaşı yataklarından ve kalkerli topraklardan 19 örnek toplamışlardır. Düşük değerlerde fosfor içerikli bu alanlarda Langmuir lineer fosfor adsorpsiyon izoterm eşitliğinin uygun olduğunu görmüşlerdir. Çözeltide düşük fosfor olduğu durumda, P-adsorpsiyonunda, karbonatsız killerin yüksek affinitesinin etken olduğu, yüksek fosfor içerikli çözeltilerde fosfor sorpsiyonunda hem karbonatsız killerin hemde karbonatlı killerin etken olduğunu bildirmişlerdir. Fosfor sorpsiyon değerinin Langmuir izotermi ile tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Fosfor saturasyon kapasitesinin (S_{max}) fosfor desorpsiyon yüzdesi ile çok güçlü ilişki verdiğini de bildirmişlerdir (Zhou ve Li 2001).

Araştırmacılar akışkan teknik metodunu kullanarak çeşitli organik asitlerle, fosfor stresine girmiş kireçli topraklarda, P-adsorpsiyon kinetiğinin araştırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki; sitrik, malik, okzalik ve tartarik asitler, toprakların fosfor adsorpsiyonunu azaltmışlardır. Bu sıralamayı okzalik–sitrik>malik–tartarik asit olarak vermişlerdir. Organik asitlerin etkisinde P-adsorpsiyonunun azalmasına pH'nın etkisinin çok karmaşık olduğu, organik asitlerin fosforun sorplanacağı yüzeyleri yok etmek sureti ile fosfor sorpsiyonunu azalttığını bildirmişlerdir. Tüm organik asit konularını kontrolle kıyasladıklarında kalkerli topraklarda çok fazla miktarda $CaCO_3$ olduğunu görmüşler ve fosfor sorpsiyonunun azalmasının nedeninin bu olduğunu bildirmişlerdir (Lu vd. 1999, Li vd. 2002).

Dünyanın çeşitli bölümlerinden alınan çoğunluğunun kireç içeriği az olan Ultisol, Spodosol, Oksisol, İnseptisol, Entisol ve Alfisol topraklarda, fosfor adsorpsiyon kapasitesinin okzalatta ekstrakte edilebilir fosfat ve Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi ile bulunan değerlerin Pedotransfer eşitliği ($P_{calc} = 0,22 Al_o + 0,12 Fe_o + 0,02 (Fe_o - Fe_d)$) ile iyi bir şekilde tahmin edilebileceği belirtilmektedir (Borggaard vd. 2003).

Spodosol toprakların Ap horizonunda bulunan fosfora, $CaCO_3$, dolomit, jips ve $CaCl_2$ 'ün etkisini göstermek amacıyla planlanan çalışmada, fosforun 0–10 mg/L düzeylerinde bulunduğu deneme materyaline, 0,05 mmol Ca, Ca+Mg/g toprak ilavesi yapılmış 1 saat ve 1 hafta uygulamaları sonucunda Langmuir ve Freundlich izoterm eşitliğinden faydalanılmıştır. Tüm uygulamalar ($CaCl_2$ hariç) pH ve toprakta kalan fosfor miktarını arttırmıştır. Kalsiyum karbonat ve dolomit ikisi de etkili olurken, kalsiyum karbonat dolomitten daha etkili olmuştur. Jips, kalan fosforu arttırmış ancak etkisi daha az olmuştur. Jipsin fosfor sorpsiyonu, kalsiyum karbonatta oluşandan daha hızlı olmuştur. Asidik topraklarda yürütülen bu çalışmada, ilave edilen Ca iyonları, ortam pH'sını arttırdığı için, toprakta kalan fosforun yükseldiği belirtilmiştir (Boruvka ve Rechcigle 2003).

İnseptisol volkanik küllerden 30 toprak örneği alınmıştır. Toplanan örneklerde Langmuir eşitliği kullanılarak P-adsorpsiyon maksimumu ile toprak özelliklerinin ilişkisi araştırılmıştır. P-adsorpsiyon maksimumu 1,478–8,586 g P/g toprak arasında değişmiştir. Fosfor fiksasyon hızı %61–99 arasında değişiklik göstermiştir. P-adsorpsiyon maksimumu ile %P fiksasyonu, %C, %N, C:N oranı, KDK, değişebilir Al, Mg ve Ca arasındaki ilişki önemli bulunmuştur (Jin vd. 2004).

Kil minerallerinde adsorpsiyon özellikleri Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} tarafından doyurulduğunda toprak çözeltisindeki fosforda artış ortaya çıktığı bildirilmiştir (Bennani vd. 2005).

Toprakların fosfor sorpsiyon kapasitelerinin organik madde ilavesi ile azaldığını, bunda değişebilir Fe ve Al kompleksleri ve organik asitlerle fosforun adsorpsiyon alanlarındaki

yarışının sonucu olduğu bildirilmiştir. Başka bir etkende Fe ve Al'la kompleks oluşturmuş olan sülfat ve floridlerin serbest kalarak fosforla yarışa girmesi belirtilmektedir (Guppy vd. 2005).

Sedimentlerin fosfor adsorpsiyon maksimumu ile pH, organik madde, değişebilir Ca ve okzalatta ekstrakte edilen Fe ve Al konsantrasyonları arasında önemli ilişki bulunduğu belirtilmiştir. Sedimentlerdeki fosfor sorpsiyonunun, organik madde, Ca ve Fe–Al'un zayıf kristal ve amorf formları ile ilgili olduğu bildirilmektedir (Yoo vd. 2006).

Araştırmacılar düşük organik madde içerikli kalkerli topraklardaki P-adsorpsiyon kapasitelerini üç farklı modelle (Basit Langmuir, Ferundlich ve İki-yüzey Langmuir eşitliği) kıyaslamışlardır. Toprakların fosfor sorpsiyon kapasiteleri ile kil içeriği arasında, CaCO₃ içerikleri arasındaki ilişkiden daha yüksek bir korelasyon bulmuşlardır (Kordlaghari 2006).

2.6 Fosfor Adsorpsiyon İzotermi

Fosfor, topraklarda katı faz tarafından çok güçlü bir şekilde tutulmaktadır. Bu nedenle, çözelti fazındaki konsantrasyonu oldukça düşük düzeydedir. Topraklara gübre olarak verilen fosforun büyük bir bölümü katı faz tarafından çekilmekte, bunun sonucunda da gübrenin bitkiye yararlılığı önemli ölçüde azalmaktadır. Fosforun katı fazda tutulması ile ilgili araştırmalar yapan araştırmacıların çoğu, bu olaya gerçek yüzey tutulması veya çökeltme ayrımı gözetmeksizin “fosfor adsorpsiyonu” ismini vermektedirler. Adsorpsiyon izotermi ile belirlenen bu özellikler, toprakların fosfor adsorpsiyon kapasiteleri, fosforun tutulma enerjileri gibi konularda önemli bilgiler vermektedir (Ağca ve Derici 1999).

Toprak çözeltisindeki fosfor ile adsorbe edilmiş fosfor arasındaki ilişkiyi adsorpsiyon izotermi ile açıklamak mümkündür. İzoterm eğrileri, verilen sıcaklık veya zaman için kart üzerinde tesbit edilmiş bulunan noktaların birleştirilmesi yada harita üzerindeki (yeryüzündeki sıcaklık değişimlerinin gösterilmesi) belirli hatların çizgilerinin birleştirilmesidir. Topraklardaki fosfor adsorpsiyon mekanizmasının ortaya çıkarılmasında çeşitli adsorpsiyon izotermi kullanılmaktadır. Bu izoterm konuyu ortaya koyarak olayla ilgili araştırmalar ile izotermi açıklayan araştırmacıların isimleri ile anılmaktadır. Toprakta fosfor adsorpsiyon maksimumunu bulmaya yönelik geliştirilmiş olan izoterm şu şekilde sıralanmaktadır.

- a- Langmuir izotermi
- b- Freundlich izotermi
- c- Termin izotermi
- d- Henry izotermi
- e- Tayler izotermi
- f- Kunishi izotermi

Bu izotermeler içersinde topraklar için en yaygın olarak kullanılmakta olanı ve sonuçları itibari ile durumu en iyi yansıtan izotermeler Langmuir ve Freundlich izotermeleri olmuştur. Bu nedenle burada bu iki izoterm hakkında bilgiler aktarılacaktır.

2.6.1 Langmuir adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon modelinde, solusyondaki fosfor konsantrasyonuna (C) ve sorplanan fosfor miktarına ($q_i = x/m$) (mg/kg, $\mu\text{g}/\text{m}^2$) ihtiyaç vardır. Orjinal Langmuir adsorpsiyon eşitliği, 1918 yılında Langmuir tarafından saf katılardaki gaz adsorpsiyonunu açıklamak üzere geliştirilmiştir. 1957’de Olsen–Watanabe tarafından solusyondaki iyonların konsantrasyonu ve katı tarafından adsorplanan iyonlar arasındaki ilişkiyi açıklamak üzere model adapte edilmiştir.

Fosfor adsorpsiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Langmuir adsorpsiyon izotermi, topraklara ancak belirli fosfor içerikli çözeltilerle uygulanabilmektedir. Langmuir adsorpsiyon izotermi fosfor adsorpsiyon çalışmalarına uygulanmasında, denge çözeltilerinin fosfor konsantrasyonları, ($\mu\text{g}/\text{ml}$) analiz yolu ile bulunan C değerleri ile hesap yolu ile bulunan C/S değerlerine regresyon analizi uygulanmaktadır. Regresyon analizinin sonucunda ise, Langmuir adsorpsiyon izotermi aşağıda verilen doğrusallaştırılmış denklemi belirlenmektedir.

$$C/S = 1/kS_{\text{max}} + C/S_{\text{max}} \quad \text{veya} \quad C/q_i = 1/k_1k_2 + C/k_1$$

$S=q_i$:Toprakların adsorbe ettikleri fosfor miktarları, ($\mu\text{g}/\text{g}$)

C :Denge çözeltilerinin fosfor konsantrasyonları, ($\mu\text{g}/\text{ml}$) .

$S_{\text{max}}=k_1$:Adsorpsiyon maksimumu,

$k=k_2$:Adsorpsiyon enerjisini göstermektedir.

$C/S=1/kS_{max} + C/S_{max}$ denklemindeki S_{max} adsorpsiyon maksimumunu göstermektedir. k değeri ise adsorpsiyon enerjisidir. Bu değerler denklemin eğim ve kayma değerlerinden hesaplanmaktadır.

2.6.2 Freundlich adsorpsiyon izotermi

Fosfor adsorpsiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir diğer izoterm de Freundlich izotermidir.

$$\text{Log } (x/m) = \text{Log } (K) + N \text{Log } (C) \quad \text{veya} \quad q=K_d C^{1/n}$$

(x/m) : Toprakların adsorbe ettikleri fosfor miktarları, ($\mu\text{g/g}$)

C : Denge çözeltilerinin fosfor konsantrasyonlarıdır, ($\mu\text{g/ml}$) .

K, K_d : Adsorpsiyon kapasitesini,

N, n : Adsorpsiyon intensitesini göstermektedir.

2.7 Adsorpsiyon İzotermi Araştırma Çalışmaları

Korkmaz (1977) tarafından GAP bölgesinde yaygın olarak kullanılan 10 mısır çeşidinin fosfor etkinliklerini saptamak üzere, bölgede yaygın 3 toprak serisine ait topraklar kullanılarak sera denemesi yürütülmüştür. Ekim öncesi her saksıya beş farklı dozda fosfor (0, 25, 50, 100 ve 200 mg kg^{-1}) ilave edilmiştir. Deneme topraklarında fosfor fraksiyonları ve adsorpsiyon çalışmaları yapılarak Langmuir izotermi çalışılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bölge topraklarında total fosfordaki sıralama $\text{Ca-P} > \text{CDB-P} > \text{CB-P} > \text{Al-P} + \text{Fe-P}$ şeklinde dağılım gösterdiği ve adsorpsiyon maksimumu olan b değerleri; 263–400 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişirken, adsorpsiyon enerji katsayısı k ; 0.70–0.76 $\text{ml } \mu\text{g}^{-1}$ arasında değişiklik göstermiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde kil tipi, kireç ve Fe oksitler ile P-adsorpsiyonu arasında önemli ilişkiler belirlenmiştir.

Bushiazzo vd. (1990) fosfor adsorpsiyon izoterm çalışması sonucunda, maksimum fosfor adsorpsiyon kapasitesinin okzalatta ekstrakte edilen Al, Fe ve CaCO₃ ile sırasıyla, $r=0,74$, $P<1\%$, $r=0,57$, $r=0,55$, $P<5\%$ olan pozitif ilişkiler bulmuşlardır. Araştırmacılar denge çözeltisindeki 0,3 ppm'de çözünen fosfor miktarı ile sorpsiyon kapasitesi arasında da $r=0,56$ olan pozitif ilişki bulmuşlardır.

Sahu ve Sahu (1991) killer ile doğal kil organik komplekslerinin fosfor ve potasyum adsorpsiyonunu çalışmışlardır. Killerin kompleksten daha fazla fosfor adsorbe ettiklerini bildirerek bu adsorpsiyon değerlerine ulaşmada 0–500 ppm fosfor oranları ile Langmuir izotermelerini kullanmışlardır.

Lin vd. (1991) 7 farklı çay bölgesi toprağında fosfor statüsünü, adsorpsiyonu, fiksasyonu ve solusyon fosforunu belirlemeye çalışmışlardır. Fosfor adsorpsiyon kinetiğini en iyi Langmuir izotermi ile tarif etmişlerdir. Araştırmacılar, pH değerinin 5,5'e dengelendiğinde, arbuscular mycorrhizal fungi ilave edildiğinde ve çay toprağına organik asit ilave edildiğinde fosfor yeterliliğinin yükseldiğini belirtmişlerdir.

Minor vd. (1993) topraklarda fosforun organik ve inorganik formda bulunduğunu, bu inorganik formdaki fosforun çok yavaş yarıyışlı hale gelmesinin nedeni olarak, fosfat iyonlarının Fe, Al, Ca ve diğer elementlerle reaksiyona girmek sureti ile bağlanmaları olarak bildirmişlerdir. Toprak reaksiyonunun pH 5.5–7.0 olduğu durumda Fe, Al fosfatların çözünürlüğünün arttığı, pH 7.0'den yüksek olduğu durumda da fosfat iyonlarının kalsiyuma bağlandığını bildirmişlerdir.

Sharma vd. (1994) 0–15 cm derinlikten alınmış yüzey topraklarında 6 farklı gübreleme uygulaması yaparak, saksı denemeleri ile buğday ve mısır yetiştirerek, fosfor adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları yürütmüşlerdir. İlave edilen fosfor miktarı arttıkça, adsorbe edilen fosfor değerinin arttığını bildirmişlerdir. Fosfor adsorpsiyonunun en iyi Langmuir ve

Freundlich izotermi ile bulunduğunu belirtmişler ve bu değerlerin Langmuir ile tüm saksılar için 123–498 µg/g toprak olduğunu bildirmişlerdir.

Sözüdoğru Ok vd. (1996) farklı özelliklere sahip toprakların bor adsorpsiyon izotermelerini incelemek üzere yürüttükleri projelerinde, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi modellerine göre değerlendirilen bor adsorpsiyonunda, Langmuir modelinin düşük bor konsantrasyonları için geçerli olduğunu, Freundlich modelinin ise hem düşük, hem de yüksek konsantrasyonlarda geçerli olduğunu saptamışlardır. Langmuir b ve Freundlich k parametreleri ile kil kapsamı ve kation değişim kapasitesi arasında sırasıyla; %1 ve %5 düzeyinde önemli bir ilişki bulunmuştur. Langmuir K parametresi ile organik madde arasında %1 düzeyinde önemli bir ilişki tespit edilmiştir. Langmuir b ve Freundlich k değerleri ile pH arasında %1, Langmuir K değeri ile ise %5 düzeyinde negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Tomura vd. (1997) 24 değişik hidroksialüminyum (HA) ve hidroksialüminasilikat (HAS) kompleksi ile montmorillonit (M) ve vermikulit (V) killeri üzerinde yaygın olarak kullanılmakta olan bir kaç fosfor adsorpsiyon izotermi denemişlerdir. Fosfat iyonlarını çekme kabiliyeti çok iyi olan HA/HAS-M/V komplekslerini en iyi Langmuir izotermelerinin temsil ettiğini bulmuşlardır. Temkin ve Freundlich eşitliklerinin ise birbirlerine yakın değerlerde sonuçlar vermiş olduğunu belirtmişlerdir.

Pereira vd. (1997) yarı kurak bölgeden 15 toprak üzerinde bu topraklara ait fosfor sorpsiyonları üzerine çalışmışlardır. Bu toprakların fosfor sorpsiyon kapasitelerinin tayininde Langmuir izotermelerini kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda fosfor sorpsiyon kapasitelerinin 0,124–0,805 mgP/g toprak olduğunu bulmuşlardır. Bu değerlerin alkalın topraklarda asit topraklara göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Maksimum fosfor sorpsiyonu ile pH, organik madde, kil içeriği, KDK, Ca ve Mg arasında pozitif korelasyonlar bulduklarını bildirmişlerdir.

Ghanbari vd. (1998) yüksek kireçli topraklarda fosfor adsorpsiyon ve desorpsiyonunu çalışmışlardır. 10 adet kalkerli toprak ile Langmuir ve Freundlich izotermelerinin uygulamasını yapmışlardır. Araştırma 2 g toprak 0-100 mgP/L içerikli 0,01 M CaCl₂ çözeltisi ile yürütülmüştür. Araştırmacılar, düşük fosfor konsantrasyonlu denge çözeltilerinde adsorpsiyon enerji katsayısının yüksek konsantrasyonlu denge çözeltilerinden daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesinin pH, kil, KDK ile pozitif ve kireç ile negatif ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Derici ve Ağca (1999) tarafından “*Gaziantep Kayacık Ovası Topraklarında Fosfor Adsorpsiyonu*” isimli çalışmada, Kayacık Ovasında yaygın 11 toprak serisinde fosfor adsorpsiyon karakteristikleri araştırılmış ve bu değerler Langmuir izotermi ile açıklanmıştır. Araştırmada kullanılan toprak örnekleri Gaziantep Kayacık Ovasında yaygın olan Aynafar, Çangall, Halepark, İnkilap, Karacaveran, Kayacık, Mercidabık, Üçkubbe, Yavuzlu ve Yonca serilerinden alınmıştır. Bu topraklar, 0,01 M CaCl₂ içerisinde, 0–50 µg/ml’lik KH₂PO₄ çözeltileri kullanılarak hazırlanmıştır. Toprak örnekleri bu çözeltilerle sabit sıcaklıkta dengeye getirilmiştir. Uygulamalardan sonra elde edilen denge çözeltilerinin fosfor konsantrasyonları (C) ve adsorbe edilen fosfor konsantrasyonları (x/m) veya (q) bulunmuş bu değerler arasındaki ilişki kontrol edilmiştir. Yonca serisinde P-adsorpsiyon maksimumu en az 172,1 µgP/g, karacaveran serisinde ise en fazla 323 µgP/g olduğu belirlenmiştir. Toprakların benzer konsantrasyonlardaki çözeltilerden farklı düzeylerde fosfor adsorbe etmeleri, büyük olasılıkla tümü kireçli olan bu topraklarda, kireç içerikleri dışında diğer bazı fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerin farklı olmasından kaynaklanmıştır yorumu getirilmiştir.

Ağca ve Derici (1999) Adıyaman çamgazi ovasında 8 yaygın toprak serisinden alınan toprak örneklerinde, çözelti fosfor konsantrasyonları 0-50 µgP/ml arasında değişen 16 farklı çözelti ile Langmuir ve Freundlich izotermelerini çalışmışlardır. Denemeler için toprakları hazırlık işlemlerinden geçirmişler ve 1g hava kuru toprak örneği ile 40 ml 0,01 M CaCl₂ içerisinde hazırlanmış, fosforu farklı konsantrasyonlardaki çözeltileri sabit

sıcaklıkta (25 °C, 24 h) dengeye getirmişlerdir. Dengedeki çözeltilerin sıvı fazını santrifüj ile ayırmışlardır. Orijinal ve denge çözeltilerinin fosfor içerikleri kolorimetrik yöntemle tayin edilmiştir. Elde edilen değerler Langmuir; $C/(x/m) = 1/kb + C/b$ ve Freundlich; $\text{Log}(x/m) = \text{Log}(K) + N \text{Log}(C)$ denklemleri ile grafiklendirilmiştir.

Duffera vd. (1999) Vertisol, Andisol ve Alfisol topraklardan, çiftçi topraklarından, araştırma istasyonlarından, kültüre alınmamış, gübrenenmemiş alanlardan örnekler almışlardır. 3 g toprak örneği ile 30 ml 0,01 M CaCl_2 içerisinde 0–20 mg P/L fosfor içerikleri ile denge çözeltilerini 24 saat çalkalama ile hazırlamışlardır. Çiftçi topraklarında çok az da olsa yüksek olan Fe, Al, kil etkisi ile en yüksek fosfor sorpsiyonu tesbit etmişlerdir. Fosfor sorpsiyon izotermi için Langmuir eşitliğinden faydalanmışlardır.

Samadia ve Gilkesa (1999) 14 alkalın ve kalkerli toprağında, toprağa ilave edilen fosforun toprak özelliklerine göre taşınımının ne olduğu ile ilgili adsorpsiyon izoterm çalışmalarını yürütmüşlerdir. İlave edilen fosforun, okzalat'ta ekstrakte edilmiş Fe, sitrat-ditionit-bikarbonat'ta ekstrakte edilmiş Fe, Al, kalsiyum karbonatsız kil içeriği, KDK ilişkileri incelenmiştir. Düşük fosfor oluşumunun Fe, Al ve kil içeriğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Scannig electron microscopy analizleri neticesinde fosforun toprak içerisinde dağılımının düzensiz bir şekilde geliştiğini açıklamışlardır.

Pierzynski vd. (2000) toprak ve çevre kalitesi çalışmaları sonucunda, toprağa fosfor ilave edildiğinde, bir kaç toprak bileşeni ile ilave edilen fosforun interaksiyona girmek sureti ile çözülmüş fosfor havuzunda önemli bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Fe ve Al oksitler, kil minerallerinin yüzeyi ile Ca, Mg karbonatlar ve apatit ile toprak solusyonundaki inorganik çözülmüş fosfor iyonlarının uzaklaştığını belirtmişlerdir.

Sui ve Thompson (2000) biokatı ilave edilmiş topraklarda fosfor tampon kapasitesi, desorpsiyon ve sorpsiyon araştırması yapmışlardır. Araştırmacılar 3 seviyede biokatı ilave edilmiş örnekler almışlar ve bu örneklerin fosfor sorpsiyon izotermelerini çalışmışlardır.

İzotermeleri açıklamada Langmuir eşitliğini kullanmışlardır. Biokatı ilavesi ile denge durumundaki fosfor konsantrasyonunun arttığını fosfor tampon kapasitesinin düştüğünü araştırmacılar bildirmişlerdir. Biokatı ilave edildiği ve edilmediği durumlarda denge periyodunda değişiklikler olduğunu araştırmacılar gözlemlemişlerdir. Biokatı ilavesinin toprak çözeltisindeki fosforu arttırdığını, kök bölgesindeki uzaklaşmayı ve taşınımı azalttığını bildirmişlerdir.

Pierzynski (2000) toprağın gübreleme problemlerini anlayabilmek için toprağın fosfora ilgisinin çok önemli olduğunu belirtmiştir. Toprağın fosfor adsorpsiyon kapasitesinin tayin edilebilmesi; Langmuir, Freundlich ve Tempkin modelleri kullanılarak, denge solusyonu içerisindeki adsorplanan fosfor miktarı ile araştırılacak ilişkiden yararlanılarak, gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir. Denge çözeltisi için 0,01 M CaCl_2 (0–10mgP/L) kullanılmak sureti ile toprağa ait fosfor adsorpsiyon kapasitesi tayini yapılabileceğini belirtmiştir.

Delgado ve Torrent (2000) kireçli ve kireçlenmiş asidik özellikli topraklardaki fosfor desorpsiyon şeklini ortaya koymak için bu araştırmayı organize etmişlerdir. 0,002 M CaCl_2 çözeltisi ile adsorplanmış fosfor içeriğini kireçlenmiş asidik topraklarda %60'dan büyük, kireçli topraklarda ise %40'dan küçük bulmuşlardır. Bitkiye yararlı fosforun kireçlenmiş asidik topraklarda kireçli topraklara göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Dainello (2000) kireçli topraklarda yararlı fosfor ve fosforlu gübrenin domatesteki tepkisi adlı çalışmasında, sebze tarlalarından ve tropikal meyve yetiştirilen tarlalardan örneklemeler yaparak 24 toprakta fosfor sorpsiyon ve desorpsiyon çalışması gerçekleştirmiştir. Düşük fosfor konsantrasyonlarında adsorpsiyonun etkili faktör olduğunu, yüksek fosfor içeren alanlarda ise kalsiyum karbonat ile fosforun fiksasyona tabi kaldığını bildirmiştir. Bu çalışma sonucunda araştırmacı, fosfor yüklemesinin (gübre ile) yoğun olduğu bölgelerde fosforun, ürünler için daha yararlı formaya dönüşmekte olduğunu bildirmiştir.

Guilherme vd. (2000) 0–20 cm'den alınan 11 toprakta fosfor adsorpsiyonunu, ovaların drenajında kullanmışlardır. 2 mm'den geçirilmiş hava kuru toprakla 0-200mgP/L içerikli 0,01 M CaCl₂ çözeltisi ile hazırlanan denge çözeltileri ile Langmuir izoterm eğrilerini kullanarak maksimum fosfor adsorpsiyon kapasitesini 476–3961 mgP/g toprak olarak bulduklarını bildirmişlerdir. Bu topraklardan 8 tanesinin çok yüksek fosfor adsorpsiyon kapasitesine (>1000mg/kg) sahip olduğunu bu değerlerin Feo:Fed, organik madde, pH ile korelasyonlarını incelemişlerdir. Bu çalışma sonuçlarına göre araştırmacılar drenajlı ova topraklarının büyük adsorpsiyon kapasitelerine sahip olduğunu, ova topraklarında fosfor desorpsiyon tampon indeksinin de düşük olduğunu bildirmişlerdir.

D'Angelo vd. (2001) tarımsal su kalitesini geliştirme amacı ile yapılan çalışmada, toprak kimyasal özelliklerinin fosfor taşınımında önemli rol oynadığını belirtmişlerdir. Çözünmüş inorganik fosforun toprak kolloidleri ile (kil mineralleri, Fe, Al oksitler, Ca mineralleri) interaksiyona girerek, iyon değişimi, çökme, adsorpsiyon olaylarına maruz kalmakta olduklarını bildirmişlerdir.

Pant ve Reddy (2001) sulak alanlardaki ötrofikasyonda fosforun önemli bir rol oynadığını belirterek, sedimentlerde fosfor sorpsiyon karakteristiklerini çalışmışlardır. Aneorobik şartlar için ortalama denge fosfor konsantrasyonu 0,75 mg/L ve ortalama fosfor sorpsiyon maksimumu 32,2 mg/kg olarak bulmuşlardır. Aerobik koşullar için ise denge fosfor konsantrasyonunu 0,05 mg/L ve sorpsiyon maksimumunu 132,7 mg/kg olarak bulmuşlardır. Yüzey fosforu ile çalışmada Langmuir ve Freundlich modellerinin uygun olduğunu çalışmaları sonucunda araştırmacılar ortaya çıkarmışlardır.

Veeres vd. (2001) yaptıkları laboratuvar çalışmasında Vertisol toprağa kuru ve yaş uçucu külü (%0–%30 (w/w)) ilave ederek fosfor adsorpsiyon çalışması yapmışlardır. Kuru uçucu küllerin fosfor adsorpsiyon kapasitelerinin yaş uçucu küllerin adsorpsiyon kapasitelerinden daha fazla bulunduğunu kapasite tayinleri için Langmuir izotermelerini kullandıklarını bildirmişlerdir.

Zhou ve Li (2001) çok düşük fosfor içerikli alanlardan örnekler almışlar ve Freundlich ve Langmuir izotermelerini kullanmışlardır. Kireçli ve kireçsiz toprakta Langmuir izotermi maksimum sorpsiyonunun daha yüksek ilişki verdiğini bildirmişlerdir. Fosfor sorpsiyon ve desorpsiyon tayininde 50 mM KCl, ve 0,050 mM KCl çözeltilerini kullanmışlardır.

Allen (2002) toprak çözeltilisinden toprağın fosfor sorplama kabiliyetinin en iyi fosfor sorpsiyon izotermi ile tarif edilebileceğini bildirmiştir. Bu işlemin laboratuvarında kontrollü şartlar altında, alınan toprak örneğine farklı miktarlarda fosfor ilaveleri sonucunda, toprağın sorpladığı fosfor miktarına, solusyonun fosfor miktarına ve fosfor adsorpsiyon izotermine ulaşmanın mümkün olabileceğini bildirmiştir. Toprağın doğada çok düşük fosfor içeriği aynı zamanda toprakta bulunan Fe ve Al oksitlerin varlığı, takip eden sezondaki kullanılabilir fosforun etkisizleşmesinde etken olduğunu açıklamıştır. Otlak alanlardan alınan 103 toprak örneği ile çalışmalar yapılmış ve 0,01 M CaCl₂ ve 0,02 M KCl için 1:20'lik çözelti oranı önerilmiştir.

DelBubba vd. (2003) 13 kumun kimyasal ve fiziksel ilişkilerini kısa zaman izotermi ile çalışmışlardır. Maksimum fosfor adsorpsiyon kapasitesini ve fosfor adsorplama enerji katsayısını Langmuir izotermi ile hesaplamışlardır. Freundlich modelini de kullanmışlar ancak ilave fosfor dozlarına karşı değerler uyumsuz çıkmıştır. Kumun fizikokimyasal özellikleri Ca, Mg, parça büyüklüğü, boşluk yoğunluğu, hidrolik geçirgenlik özelliklerinin Langmuir modeli ile tahmin edilen, maksimum fosfor adsorpsiyon kapasitesi için önemli bulunduğunu bildirmişlerdir. Adsorpsiyon enerji değerinin bu özelliklerle düşük korelasyonlar verdiği belirtilmiş ve maksimum fosfor adsorpsiyon kapasitesi kullanılarak ne kadar sürede fosfor taşınacağı ve uzaklaşacağını tahmin edilebileceği belirtilmiştir.

Agbenin (2003) Fe ve Al'ca zengin tropikal bölge topraklarında fosfor yönetiminin problemliliğini belirtmiştir. Bu çalışma ile ditionit ve okzalatta ekstrakte edilen Fe ve Al'un fosfor sorpsiyonuna etkilerini ortaya koymuştur. Araştırmacı kültüre açılmış tarlalardan 12 adet, kültüre alınmamış tarlalardan 3 adet toprak örneği ile çalışmıştır.

Çalışılan toprakların fosfor sorpsiyon kapasitelerinin düşük olduğunu ifade eden araştırmacı bu değerlerin %6-%29 arasında olduğunu belirtmiştir. Yüzey topraklarında sorplanan fosfor 103 mg/kg bulunmuş ve yüzey altı toprağında bu değer 460 mg/kg bulunmuştur. Araştırmacı sorplanan fosfor ile dithionite ekstrakte edilmiş Fe arasında $r^2= 0,71$, Al arasında $r^2= 0,69$ olan ve oxalate'ta ekstrakte edilmiş Al arasında $r^2= 0,52$ ve Fe arasında ise önemli bir ilişki bulunmadığını bildirmiştir.

Valladares vd. (2003) düşük kil aktiviteli topraklarda fosfor adsorpsiyon kapasitesi ile fiziksel ve kimyasal özelliklerin korelasyonunu çalışmışlardır. Yüzey ve yüzey altı topraklarından 16 örnekleme yapmışlardır. Adsorpsiyon kapasitesi ile kil, organik madde, alüminyum ve demir ilişkilerini kontrol etmişlerdir. Adsorpsiyon kapasitesi ile kil içeriği, alüminyum ve demir arasında yüksek bir ilişki bulmuşlardır.

Douglas vd. (2004) tarım alanlarındaki yüzey akış etkisi ile fosfor kayıplarının araştırıldığı proje sonuçlarında, aşağı akışı olan drenaj hendeklerinde, organik madde, silt ve kil fraksiyonlarının sedimentlerde azaldığını, bu sedimentlerdeki fosfor tampon kapasitesinin, değişebilir fosfor miktarının ve dengedeki fosfor konsantrasyonunun azaldığını belirtmişlerdir. Organik madde ile sedimentin fosfor tampon kapasitesi arasında $R^2=0.98$, sediment içerisindeki kil ve silt fraksiyonlarının büyüklüğü ile $R^2=0.84$ olan ilişki bulunduğunu bildirmişlerdir.

Jin vd. (2004) Güney Kostarika bölgesinden 1200 m yükseklikteki ormanlık mera arazisinden 30 toprak örneği almışlar ve toprakların fosfor tutma kapasitesini, fosfor adsorpsiyon izotermi ile bulmuşlardır. Fosfor adsorpsiyon maksimumunu uniform yüzey Langmuir eşitliği ile 1,478–18,586 gP/ (g toprak) olarak, fosfor fiksasyon hızını da %61–%99 olarak bulmuşlardır. Fosfor adsorpsiyon maksimumu ile fikse edilen %P, topraktaki %C, % N, C:N, KDK, Al, Mg ve Ca arasında önemli korelasyonlar bulmuşlardır.

Nwoke vd. (2004) bitkilerin yarayışlı fosforunu desteklemedeki yönetim stratejilerinde toprakların fosfor adsorpsiyon kapasitelerinin bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ova tarlalarına ait toprak örneklerinde toprak karakteristikleri ile toprak fosfor havuzu yöntemlerini incelemişlerdir. Toprakların yüzey horizonlarında fosfor adsorpsiyon ve desorpsiyonuna bakmışlardır. Toprak fosfor içeriğinin, toprak derinliği arttıkça azaldığını, belirtmişlerdir. Araştırmacılar toplam fosfor içeriğini 90–198 mg/kg olarak bulmuşlar bunun %30'unun organik fosfor olduğunu bildirmişlerdir. Reçine fosforunun genelde düşük olduğunu ve bunun derinlikle azaldığını ortalama olarak 5 mg/kg olduğunu belirtmişlerdir. Bu topraklardaki düşük reçine fosfor değerinin yarayışlı fosfor içeriğinin düşük olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir. Langmuir eşitliğinden bulunan adsorpsiyon maksimumunun 36–230 mg/kg arasında değiştiğini bildirmişler ve bu değerlere göre de ürün yetiştirmedeki fosfor takviyesinde toprakların adsorpsiyon kapasitelerinin daha fazlası, bitkinin alacağı miktar kadar daha fosforun yüklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Almeida vd. (2004) iki kahverengi tipik Latosol, iki kırmızı ferrik Latosol ve iki kahverengi yüzeyi hematit ve geotit içerikli Latosol toprak kullanarak yaptıkları çalışma sonucunda, bu toprakların toplam fosfor içeriklerinin 1000 mg/kg'dan daha yüksek olduklarını bildirmişlerdir. Çalışmanın yapıldığı Latosol topraklarda, organik maddenin fosfor adsorpsiyon kapasitesindeki azalmada önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Modifiye edilmiş Freundlich eşitliğinde fosfor adsorpsiyon kapasitesi değeri kahverengi topraklarda kırmızı topraklardan daha yüksek bulunmuştur.

Lilienfein vd. (2004) organik maddenin yıkanmasının ve besin elementlerinin birbirleri ile oluşturdukları bileşiklerin gelişen ekosistemin başlıca problemleri olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar genç Andesitik toprakların gelişmesi esnasında PO₄ değişimi ve çözünen organik fosfordaki adsorpsiyonun nasıl gerçekleştiği ve toprak özelliklerinin bunlara etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada araştırmacılar 0, 10, 30, 40 ve 150cm den örnekleme yapıp ve adsorpsiyon izotermi için modifiye edilmiş Langmuir eşitliğini kullanmışlardır. Araştırmacılar toprak yaşı ile adsorplama kabiliyetinin arttığını

bildirmişlerdir. Adsorpsiyon kapasitesi sıralamasının çözünmüş organik madde<çözünmüş organik P< PO₄ şeklinde olduğunu bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Araştırmada kullanılan toprakların alındığı yerler

Araştırmada, Kazan ilçesi sınırları içerisinde bulunan, Ankara'ya 30 km uzaklıktaki Sarayköy mevkiinde, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Araştırma ve Deneme İstasyonu arazisinden ve Akçakale İlçesinde, Şanlıurfa, GAP Toprak Su Kaynakları ve Tarımsal Araştırma Enstitüsüne ait Şanlıurfa'ya 52 km uzaklıkta bulunan Koruklu Araştırma ve Deneme İstasyonu arazisinden alınan ağır bünyeli iki toprak kullanılmıştır.

3.1.2 Araştırma alanlarının özellikleri

Deneme topraklarından, Kazan İlçesi Sarayköy mevkiine ait olan toprak, killi, kuvvetli alkalın reaksiyonlu, orta derecede kireç içerikli, yarayışlı potasyum miktarı yeterli seviyededir. Organik madde ve yarayışlı fosfor içeriği azdır. Kazan İlçesi, tipik kara iklimine sahiptir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Günlük sıcaklık farkları fazladır. Bölgede ölçülen en yüksek sıcaklık 40,0 °C en düşük sıcaklık -24,9 °C'dır. Yıllık sıcaklık ortalaması 11,7 °C'dır. Temmuz ve Ağustos en sıcak aylardır. Ortalama yıllık yağış 378 mm dir ve büyük kısmı kış aylarında düşmektedir. Ankara ve yöresinde don olayı çok şidetli geçmekte, ortalama don tehlikesi olan gün sayısı 84.7 güne ulaşmaktadır. İlkbaharda, 20 Nisan civarı, sonbaharda Kasım ayı içinde her gün don tehlikesi bulunmaktadır. Dolu genellikle ilkbaharda, Nisan ve Mayıs aylarında gerçekleşmektedir (DİE 1998).

Akçakale Koruklu mevkiine ait olan toprak, killi, hafif alkalın reaksiyonlu, fazla kireç içerikli, yarayışlı potasyum miktarı yeterli seviyededir. Organik madde miktarı az, yarayışlı

fosfor miktarı orta seviyededir. Şanlıurfa kontinental (kara) iklim özelliği göstermektedir. Yazları çok kurak ve sıcak, kışları bol yağışlı nisbeten ılıman geçmektedir. Şanlıurfa matematik konum itibariyle Ekvatora daha yakındır. Deniz etkisinden uzak bir bölgede bulunmaktadır. Bu nedenle karasal iklim özelliği ağır basmaktadır. Bu özellik sıcaklık ve yağış bakımından kendisini göstermektedir. Şanlıurfa'da günlük ve yıllık sıcaklık farkları şiddetlidir. Türkiye'de en yüksek sıcaklık Şanlıurfa Ceylanpınar'da 46,5 °C (Temmuz) ölçülmüştür. Şanlıurfa'da en soğuk -12,4 °C (Şubat) ölçülmüştür. Şanlıurfa'da yıllık ortalama yağış 462 mm olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık 18,6 °C, buharlaşma 2048 mm, rüzgar hızı 2,8 m/s'dir. Karlı ve don olan günlerin sayısı oldukça azdır, yılda ortalama 10 günü geçmez (Anonim 2005).

3.2 Yöntem

3.2.1 Araştırmanın konuları

Ağır bünyeli iki toprakta, organik madde ve kireç ayrı ayrı ve birlikte uzaklaştırılması ile organik madde, kireç ve demir oksitin üçü birdengiderilmiştir. Bu bahsedilen bileşenlerce arındırılmış toprakların ve işlem görmemiş (orijinal) toprakların, kil ve silt fraksiyonları ayrılmıştır. Bu uzaklaştırma işlemlerine tabi tutularak fraksiyonlarına ayrılmış topraklarda P-adsorpsiyon çalışmaları, araştırmada belirtilen yöntemlere göre çalışılmıştır. Langmuir adsorpsiyon izotermine göre P-adsorpsiyon maksimumları bulunmuştur.

3.2.1.1 Kireç uzaklaştırma yöntemi

Toprak örneğinin kirecinin giderilmesinde 1 N HCl kullanılmıştır (Uzunoğlu 1992). 600 cc'lik behere alınan toprağa saf su ilave edilerek akıcı bir kıvam alması sağlanmıştır. Çeker ocakta köpürme bitinceye kadar toprağın üzerine azar azar 1 N HCl çözeltisi ilave edilmiştir. Kabarmanın bitiminde toprak saf su ile karıştırılıp üzerinde biriken duru kısım

sifonla alınmıştır. İçerisindeki asit kalıntıları bitinceye kadar yıkamaya devam edilmiştir. Kurutularak analize hazırlanmıştır.

3.2.1.2 Organik madde uzaklaştırma yöntemi

Hartge (1971)'a göre toprak örneğinin organik maddesinin giderilmesinde %30'luk H₂O₂ kullanılmıştır. 10 g'lık numune 250 ml'lik beher içerisine alınmıştır. Beher içine 50 ml saf su ve birkaç ml %30'luk H₂O₂ ilave edilmiştir. Beher saat camı ile kapatılıp, kabarma bitene kadar H₂O₂ ilavesine devam edilmiştir. Beher hot plate üzerinde 90 °C ye kadar ısıtılmış, 45 dakika aralıklarla H₂O₂ ilave edilmiştir. Fazla H₂O₂ dışarı atılana kadar ısıtmaya devam edilmiş, hot playtten alınan beher içerisine su fişkırtılıp, bir kaç kez bu şekilde yıkama yapılmıştır.

3.2.1.3 Demir oksitleri uzaklaştırma yöntemi

Aquiera ve Jackson (1953) ve Mehra ve Jackson (1960)'a göre 0,5 M NaHCO₃ dan 5 ml ve 0,3 M Na₃C₆H₅O₇ çözeltisinden 40 ml, 1 g Na-dithionite'ten ilave edilerek 70 °C'deki su banyosunda ısıtılıp buharlaştırılarak, uzaklaşan kısım bitinceye kadar, her 15 dakikada bir kimyasallar ilave edilmiştir. Bu işlem, karışımın rengi beyazlaşana dek sürdürülmüştür.

3.2.1.4 Fraksiyonlara ayırma işlemi

Bouyoucus (1951)'a göre uzaklaştırma işlemleri tamamlanan toprak örneğinden 50 g alınarak 400 ml'lik behere konmuş, Üzerine 5 ml 1N NaOH ve 5 ml doygun okzalit, 100-150 ml saf su ilave edilip bir gece dispersiyona bırakılmış, karışım, karıştırma aletinin içerisine yıkanarak boşaltılıp, (killi topraklar 15 dakika) karıştırılmıştır. Karışım 0,63 mesh'lik elekden geçirilip kum fraksiyonu ayrılmıştır. Geride kalan kil ve silt içerikli bölüm santrifüj tüpünde (2500 rpm, 20 dakika) santrifüj edilmiş, su içerisinde asılı kalan kil

mineralleri, santrifüj tüpünde kalan, silt (çöken kısım) kurutulup diğer işlemlerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

3.2.1.5 Denge çözeltisi yöntemi

Pierzynski (2000)'ye göre KH_2PO_4 ile 0–50 mgP/L fosfor içerikli 0,01 M CaCl_2 çözeltileri hazırlanmıştır. 1 g hava kuru toprak kullanılmak sureti ile bu çözeltilerden 25 ml alınmış ve 25 °C'de 24 saat çalkalanmıştır. Elde edilen bu çözelti filtre edilip sıvı fazı ayrılıp kolorimetrik fosfor analizi yapılmıştır. Renklendirme prosedürü için askorbik asit ile renklendirme kullanılmıştır.

3.2.1.6 Askorbik asitle renklendirme yöntemi

Page vd. (1982) tarafından belirtildiği gibi, 12 g amonyum paramolibdat ($(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 250 ml distile suda çözülmüş ve 0,2908 g potasyum antimon tartarat ($\text{KSbO}_4 \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) 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.

3.2.2 Toprakların tanımlanması amacıyla yapılan analizler

İki bölgeden paçal olarak 0–30 cm'den toprak örnekleri Jackson (1962)'a göre yüzeyden özel yapılmış piriç alaşımli bir kürek ile alınarak, temiz bez torbalara konup, laboratuvara taşınıp analize hazırlanmış ve analiz edilmişlerdir.

Toprak tepkimesi

Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde hazırlanan suyla doygun toprakta cam elektrotlu pH-metre ile tayin edilmiştir.

Bünye

Toprakların kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucous (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemi kullanılarak yapılmış ve sonuçlar yüzde olarak ifade edilmiştir.

Tuz

Richards (1954) tarafından ifade edildiği gibi saturasyon ekstraktındaki iletkenliğin iletkenlik ölçen aletle ölçülmesiyle bulunmuş ve dS/m olarak ifade edilmiştir.

KDK

Polemio ve Rhoades (1977) tarafından bildirildiği gibi sodyum asetat metoduna göre belirlenmiştir. Sonuçlar me/100g olarak ifade edilmiştir.

Kireç

Martin ve Reeve (1955) tarafından ifade edildiği şekilde Scheibler kalsimetresi ile tayin edilmiş ve yüzde olarak ifade edilmiştir.

Organik madde

Walkley ve Black (1934) tarafından bildirildiği şekilde tayin edilmiş, sonuçlar yüzde olarak ifade edilmiştir.

Potasyum

Richards (1954) tarafından bildirildiği gibi, ekstrakt çözeltisi olarak 1 N NH₄OAc (pH 7,0) kullanılarak çözeltiliye geçen potasyum alev fotometresi ile okunmuştur.

Fosfor

Olsen vd. (1954) yöntemine göre, toprakta bulunan fosforu 0,5 M sodyumbikarbonat (pH 8,5) çözeltisi ile açığa çıkarılarak çözeltiliye geçirilmiş, çözeltiliye geçen fosfor mavi renk oluşturan bir ortamda bağlanıp indirgenerek elde edilen mavi rengin yoğunluğu spektrofotometrede okunarak ifade edilmiştir.

Toplam Demir

Jackson (1958) tarafından bildirildiği gibi, hidroflorik, sülfürik ve perklorik karışımı ile yaş yakma yöntemine göre yakılıp, AAS'de okumalar yapılmıştır.

3.2.3. Langmuir izoterm yönteminin uygulanması

Fosfor adsorpsiyonu için denge çözeltileri Pierzynski (2000)'ye göre hazırlanmıştır. Hazırlanan denge çözeltilerinden denge çözeltisi fosfor içeriği (C) askorbik asitle renklendirme prosedürüne uygun olarak spektrofotometre okuması ile yapılmıştır. Toprağın adsorpladığı fosfor değeri (S); başlangıçta topraktaki yarayırlı fosfor (S₀) içeriğinin ve

çözelti fosforu ile son fosfor kapsamı arasındaki farkın toplamı olarak hesap yöntemi ile bulunmuştur (EK-11). Deneysel yollarla elde edilen denge çözeltisi fosfor içeriği yatay ekseninde (C), denge çözeltisindeki fosfor içeriğinin toprak tarafından adsorplanan fosfor içeriğine (C/S) oranı ise dikey ekseninde yer alacak şekilde Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi ($C/S = 1/kS_{\max} + C/S_{\max}$) her bir konu için çizilmiş ve grafikler elde edilmiştir.

Lineer Langmuir İzoterm Eşitliği:

$$C/S = 1/kS_{\max} + C/S_{\max}$$

- S= : Adsorplanan fosfor miktarı (mg/kg)
C : Denge çözeltisinin fosfor konsantrasyonu (mg/ L)
S_{max} : Fosfor adsorpsiyon maksimumu (mg/kg)
k : Fosfor yükleme enerjisi

Allen (2002), Guilherme vd. (2000) ve Pant ve Reddy (2001)'ye göre toprakların Langmuir fosfor adsorpsiyon izoterm grafiğinin eğim değerleri kullanılarak ($S_{\max}=1/\text{eğim}$) fosfor adsorpsiyon maksimumu, kayma değerleri kullanılarak da ($k=1/(\text{kayma}*S_{\max})$) yükleme enerjisi hesaplamaları yapılmıştır (EK 12).

Langmuir izotermelerinin temel karakteristikleri ayırma faktörü (R) ile izah edilmektedir (Hall vd. 1966). İzoterm grafiklerinden elde edilen fosfor adsorpsiyon yükleme enerjileri, gerçekleştirilen olayın adsorpsiyon lehinde olup olmadığının kontrolü için, $R=(1+1k/C_i)$ formülünden (R=ayırma faktörü, C_i =denge çözeltisi fosfor içeriği) ayırma faktörleri hesabı yapılmıştır (Nagda vd. 2006, Reddy 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).

Elde edilen laboratuvar analiz sonuçlarından faydalanılarak, Langmuir izotermi kullanılarak, adsorpsiyon maksimum değerleri bulunup sonuçların toprak özellikleri ile olan ilişkileri yorumlanmıştır. Langmuir izotermine uyumluluğu yüksek tutmak için, bazı noktalar değerlendirme dışı tutulmuştur. Fosfor saturasyon yüzdesi; toprağın alınabilir fosfor içeriğinin, adsorpsiyon maksimumuna oranının yüzdesi olarak hesaplanmıştır (Randall vd. 2005) (EK 13). Yurtsever (1984)'e göre regresyon analizi yapılmış, r^2 ve P istatistik terimleri hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Ankara (Düver serisi) ve Şanlıurfa (Harran serisi)'dan alınan işlem görmemiş (orijinal) örneklerde ve fraksiyonlamalar yapılan örneklerde elde edilen genel tanımlayıcı analizler ile denge çözeltilerinden elde edilen Langmuir izoterm parametreleri aşağıda verilmiştir.

4.1 Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprak örneklerinde yapılan temel kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Deneme topraklarından, Düver serisine ait olan toprak, killi, kuvvetli alkalın reaksiyonlu, orta derecede kireç içerikli, yarayışlı potasyum miktarı yeterli seviyededir. Organik madde ve yarayışlı fosfor içeriği azdır. Sarayköy mevki toprağı Arcak (2003)'ın belirlediği gibi, Fao/Unesco kalsik vertisol büyük toprak grubunda yer alan, Düver serisi toprakları olarak değerlendirilmektedir. 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. Serinin tanımlama profili; Arcak (2003)'e göre, Ap horizonu 0–29 cm'de soluk kahverengi (10 YR 6/3) kuru, kahverengi (10 YR 5/3) nemli; kil; orta, orta yuvarlak köşeli blok sonra orta granüler; hafif sert, dağılgan, yapışkan, plastik; şiddetli köpürme; yoğun ince saçak ve kazık kökler; belirgin geçişli sınır yapısından oluşmaktadır. Bwss₁ 29–85 cm'de soluk kahverengi (10 YR 6/2) kuru, kahverengi (10 YR 5/3) nemli; kil; kuvvetli, kaba prizmatik, çok sert ve çok sıkı, çok yapışkan, çok plastik, şiddetli köpürme; 1–2 cm aşağı doğru inen çatlaklar, belirgin kayma yüzeyleri ve kil zararları; orta yoğun 1–2 cm çaplı kireç konkresyonları; belirgin dalgalı sınırdır. Bwss₂ 85–112 cm'de kahverengi (10 YR 5/3) nemli; kil; kuvvetli, kaba prizmatik, çok sert ve çok sıkı, çok yapışkan, çok plastik; belirgin kayma yüzeyleri ve kil zararları; 1–2 cm çaplı aşağı doğru inen çatlaklar, 1–2 cm çaplı seyrek kireç konkresyonları; şiddetli köpürme belirgin geçişli sınırdır. BC 112–158

cm'de kahverengi (10 YR 5/3) nemli; kil; masif sıkı, çok yapışkan, çok plastik, şiddetli köpürme, 2 cm çaplı orta yoğun kireç konkresyonları; belirgin geçişli sınırlıdır. C katmanı, grimsi kahverengi nemli; kil; masif; sıkı, çok yapışkan, çok plastik; şiddetli köpürme, hafif ayrılmış marndır.

Çizelge 4.1 Araştırma topraklarının temel kimyasal ve fiziksel özellikleri

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)	1,50	1,51
Kireç, (%)	12	24
Organik madde, (%)	1,88	1,95
Yarayışlı potasyum, K ₂ O(kg/da)	157	257
Yarayışlı fosfor, P ₂ O ₅ (kg/da)	2,3	6,2
Toplam fosfor, P (%)	0,016	0,054
Toplam azot, N (%)	0,081	0,13
Toplam Fe, (%)	3,12	1,19
KDK (me/100g)	36,51	31,29
Çözünebilir iyonlar (me/L)		
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

Harran serisine ait olan toprak, killi, hafif alkalın reaksiyonlu, fazla kireç içerikli, yarayışlı potasyum miktarı yeterli seviyededir. Organik madde miktarı az, yarayışlı fosfor miktarı orta seviyededir. şanlıurfa toprağı Dinç vd. (1988) belirlediği gibi, Harran ovası kırmızı kahverengi toprak grubunda yaygın olarak yer alan Harran serisindedir. Anılan seri toprakları alüviyal anamateryalli düz ve düze yakın eğimli derin topraklardır. Tipik kırmızı renkli profilleri killi tekstürlüdür. Üst toprak orta köşeli blok, sonra granüler; alt toprak kuvvetli iri prizmatik sonra kuvvetli orta köşeli blok yapıdadır. Aşağılara doğru artan yoğunlukta sekonder kireç ceplerini içermektedir. Kayma yüzeyleri B horizonunda başlayıp, aşağıya doğru belirginliği artmaktadır. Tüm profil çok kireçlidir, seri topraklarının KDK'ları yüksektir. Organik madde yüzeyden aşağılara doğru azalmakta %0,9–0,3 arasında değişmektedir. KDK, kil içeriğine bağlı olarak alt katmanlara doğru artmaktadır.

4.2 Toprak Örneklerinin Kil Tipleri

Toprak örneklerine ait XRD analizleri yapılarak topraklarda baskın olan kil mineralleri tayin edilmiştir. Düver serisi toprağı baskın olarak 2 θ açısı 10 ve daha az olan bölgelerde (18–10A $^{\circ}$) yoğunlaşan montmorillonit ve illit varlığı, ayrıca 2 θ açısı 15 civarında (7 A $^{\circ}$) olduğu bölgelerde ise kaolonit grubu minerallerin varlığı görölmektedir (Çizelge 4.2). Bu durumda tabakaları genişleyen montmorillonit kil mineralleri varlığı ile beraber, tabakaları genişlemeyen illit ve kaolonit minerallerinin varlığı söz konusu olmaktadır. Bu killerin birlikte bulunduğu topraklarda vertikal özellik görülebilir.

Harran serisi toprağında ise montmorillonit tipi killerin yoğunlaştığı, bunun yanında illit kil mineralinin de bulunduğu, daha az miktarda ise kaolonit grubu kil minerallerinin bulunduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.2). Kil tipi dağılımının bu şekilde olduğu topraklar genellikle vertisol olarak tanımlanmaktadır. Montmorillonit kil mineralinin fazla bulunmasına bağlı olarak, bu topraklar kuruduğunda derin ve geniş çatlaklar görülebilmektedir.

Çizelge 4.2 Araştırma topraklarının içerdiği kil mineralleri

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

*: + işareti başatlık durumunu ifade etmektedir.

Montmorillonit grubu mineraller 3 tabakalı killer (2:1) olup, tabakaları genişleyen yada büzülebilen minerallerdir. Bir tabaka alüminyum oktaeder ve iki tabaka silisyum tetraheder katmandan oluşur. Genişleyebilen tabaka özelliğinden dolayı katyon değişim kapasitesi yüksektir. Gerek katmanlar arasında gerekse dış katmanlar, yüzeylerinde katyon tutabilirler. Katyon değişim kapasitesi 80–150 me/100gr arasındadır. Yapısal formülü, $Si_8Al_4O_{20}(OH)_4 nH_2O$ şeklindedir. Kil mineralleri içersinde alüminyumca zengin mineraller olarak tanımlanırlar. Bu topraklar kuruduklarında derin ve geniş çatlaklar oluşur. Islandıklarında ise, minerallerin şişme özelliğine bağlı olarak toprak içerisinde büyük basınç oluştururlar ve toprak strüktür yüzeylerinde kayma yüzeyleri oluştururlar. Şişmeye bağlı olarak toprak hacminin genişlemesine bağlı olarak yüzeylerinde gilgailer oluşur. (Özkan 1985, Ergene 1993).

İllit; üç tabakalı (2:1) olduğu halde, tabakaları genişlemeyen kil mineralleri grubundandır. İki tabaka silisyum tetraeder ve bir tabaka alüminyum oktaeder tabakadan meydana gelmiştir. Kristal yapısının içeriği $K_2(Si_6Al_2)Al_4O_{20}(OH)_4$ şeklindedir. Oransal olarak kimyasal içeriği; %11,8 K_2O , %45,2 SiO_2 , %3,5 Al_2O_3 , %4,5 H_2O şeklindedir. Tanecik büyüklüğü 1–2 mikron veya daha küçüktür. Katyon değişim kapasitesi 10–40 me/100 gr arasındadır. İçerisinde bulunduğu toprakta hakim olduğu durumlarda, diğer üç tabakalı killer gibi yaz aylarında belirgin bir şekilde derin ve geniş çatlaklar ve kış aylarında ise gilgai görülmez (Özkan 1985, Ergene 1993).

Kaolinit; iki tabakalı (1:1) kil mineralleri grubuna girer. Püskürük ve metamorfik kayalarda bulunan potasyum ve sodyumlu feldispatların ayrışmasından oluşur. Bir tabaka alüminyum oktaeder ve bir tabaka silisyum tetraeder katmandan oluşur. Tabakaları genişlemez, bu nedenle katmanları arasına su ve katyonlar giremez. Katyon tutma kapasiteleri 3–15 me/100gr arasında ve 3 tabakalı kil minerallerine göre oldukça düşüktür. Hakim olarak bulunduğu topraklarda derin çatlak ya da şişme yüzeylerine (gilgai) rastlanmaz. Kimyasal olarak yapısı $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$ şeklindedir. Kimyasal bileşiminin oransal dağılımı ise %46–54 SiO_2 , %39 Al_2O_3 ve %13,96 H_2O şeklindedir (Özkan 1985, Ergene 1993).

4.3 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış ve Fraksiyonlarına Ayrılmış Toprakların Kimyasal Özellikleri

Topraklara, araştırma konularında belirtilen toprak bileşenlerinin uzaklaştırılma işlemleri uygulandıktan sonra, kil ve silt fraksiyonlarına ayırma işlemleri yapılmıştır. Toprak bileşenleri uzaklaştırılmadan kum, silt ve kil fraksiyonlarına ayrılan toprakların kil ve silt fraksiyonlarındaki kireç, organik madde ve toplam demir yüzdeleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların ve bunların kil ve silt fraksiyonlarının kireç, organik madde ve toplam demir içerikleri

Konular	Düver Serisi	Harran Serisi
Kireç (%)		
Toprak	12	24
Kil fraksiyonunda toplam kireç	4,47	5,96
Silt fraksiyonunda toplam kireç	16,2	24,58
Organik madde (%)		
Toprak	1,88	1,95
Kil fraksiyonunda organik madde	1,93	2,79
Silt fraksiyonunda organik madde	1,46	1,1

Çizelge 4.3 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların ve bunların kil ve silt fraksiyonlarının kireç, organik madde ve toplam demir içerikleri (devam)

Toplam Fe (%)		
Toprak	3,12	1,19
Kil fraksiyonunda Fe	2,78	1,08
Silt fraksiyonunda Fe	2,59	0,80

4.3.1 Toprakların kil ve silt fraksiyonlarının kireç içerikleri

Düver serisine ait olan araştırma toprağının kireç içeriği %12'dir. Toprağın kil fraksiyonundaki kireç miktarı %4,47 bulunurken, silt fraksiyonunda bu değer kil fraksiyonundan daha fazla olmuş ve %16,2 değerine ulaşmıştır. Toprak fraksiyonlarına ayrıldığında elde edilen kum fraksiyonunda %13,64 kireç bulunduğu görülmüştür. Harran serisine ait olan araştırma toprağı %24 kireç içeriğine sahip iken, kil fraksiyonunun kireç içeriği %5,96, silt fraksiyonunun kireç miktarı ise %24,58 olarak bulunmaktadır. Aynı toprağın kum fraksiyonunda kireç miktarı %61,4 olmuştur (Çizelge 4.3). Kum fraksiyonu ve silt fraksiyonunda önemli miktarda kireç bulunduğu görülmektedir. Nitekim, topraklara göre değişmekle beraber, genellikle kireç materyalinin silt ya da kum fraksiyonunda fazla çıktığı çeşitli çalışmalarla da belirlenmiştir (Tüzüner ve Küçtemur 1986).

4.3.2 Toprakların kil ve silt fraksiyonlarının organik madde içerikleri

Düver serisine ait olan araştırma toprağının organik madde içeriği %1,88 iken, kil fraksiyonunun organik maddesi %1,93, silt fraksiyonunun organik maddesi %1,46 bulunmuştur. Harran serisine ait olan araştırma toprağının organik madde içeriği %1,95 iken, kil fraksiyonu bünyesinde %2,79 organik madde bulunurken silt fraksiyonunda %1,1 organik madde bulunduğu görülmüştür. Araştırma topraklarının her ikisinde de organik maddenin büyük kısmının kil fraksiyonunda yer aldığı görülmektedir. Özellikle Harran serisi toprağında bu değer daha baskın durumdadır (Çizelge 4.3).

4.3.3 Toprakların kil ve silt fraksiyonlarının toplam demir içerikleri

Düver serisine ait olan araştırma toprağın demir içeriği %3,12 dir. Kil fraksiyonunda toplam demir %2,78 iken silt fraksiyonunda %2,59 olmuştur (Çizelge 4.3). Harran serisine ait olan araştırma toprağının demir içeriği %1,19, kil ve silt fraksiyonundaki toplam demir miktarlarının %1,08 ve %0,80 değerlerinde olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3). Araştırma topraklarının her ikisinde de demirin büyük çoğunluğu kil fraksiyonunda yer almaktadır. Düver serisi toprağında bu değer daha baskındır.

4.3.4 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların toprak reaksiyonları

Bazı toprak bileşenlerini (kireç, organik madde ve serbest demir oksitler) uzaklaştırma işlemlerinin toprak pH'sı üzerine ne ölçüde etkili olacağını görmek amacıyla (1/5) yapılan pH okumalarından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4 verilmektedir.

Düver serisi toprağında pH 8,09 iken, organik maddesi giderildiğinde pH 7,9'a, kireç giderildiğinde, 6,98'e, kireç-organik madde giderildiğinde 7,10'a inmişken, organik madde-demir ve kireç giderilmesi durumunda pH 9,18'e yükselmiştir. Harran serisi toprağında pH 7,64 iken, organik maddesi giderildiğinde pH 7,8'e, kireç giderildiğinde, 7,29'a, kireç-organik madde giderildiğinde giderildiğinde 6,96'a inmişken, organik madde-demir ve kireç giderilmesi durumunda pH 9,01'e yükselmiştir. Toprak reaksiyonundaki artışın Fe uzaklaştırma yönteminde kullanılan NaHCO_3 ve $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ gibi kimyasalların alkali özellik göstermesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Aquiera ve Jackson 1953, Mehra ve Jackson 1960).

Bu sonuçlardan demir oksitlerin giderilmesi ile toprak reaksiyonunda 1–1,5 birimlik yükselme, kireç giderilmesi ile 0,5–1,0 birimlik düşme oluştuğu ve organik madde giderilmesi işleminin de toprak reaksiyonu üzerine az da olsa etkisinin olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış topraklarının toprak reaksiyonları

Konular	Düver Serisi	Harran Serisi
Toprak	8,09	7,64
Organik madde giderilmiş toprak	7,90	7,80
Kireç giderilmiş toprak	6,98	7,29
Kireç-organik madde giderilmiş toprak	7,10	6,96
Kireç-organik madde-demir giderilmiş toprak	9,18	9,01

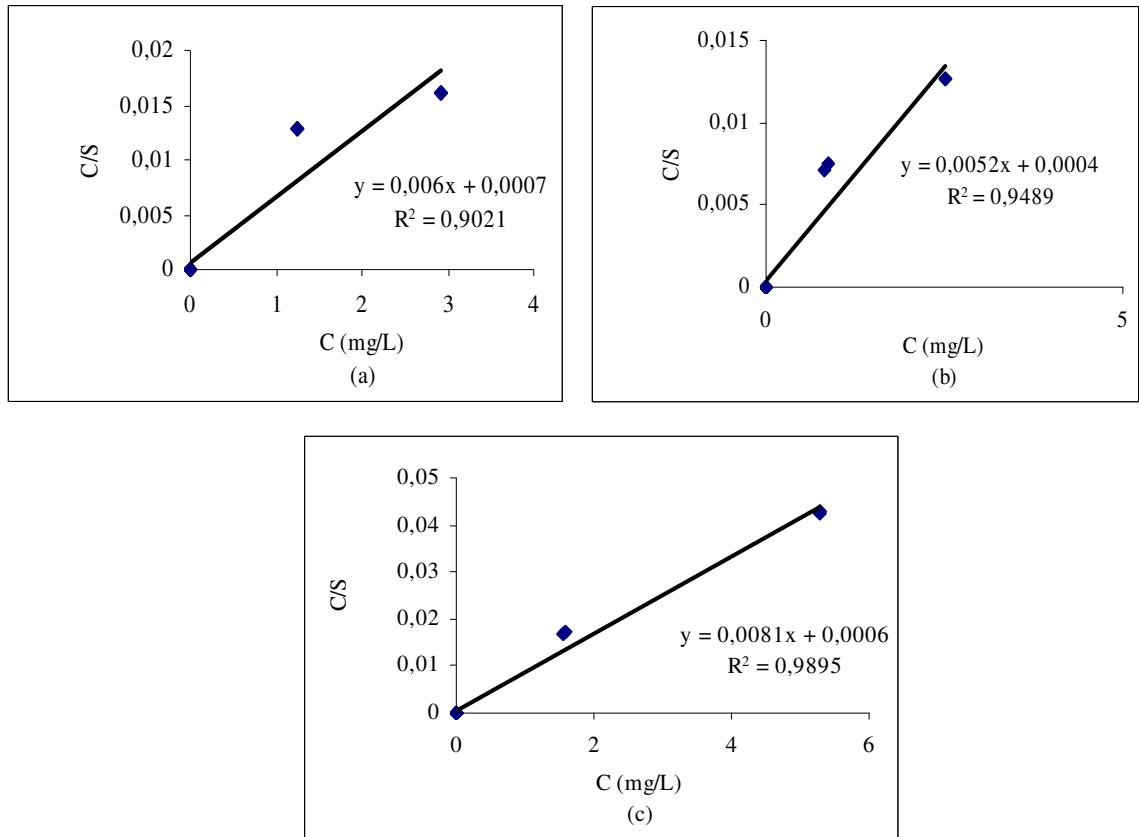
4.4 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış Topraklar ile Bunların Kil ve Silt Fraksiyonlarında Langmuir Fosfor Adsorpsiyon İzotermi

Düver ve Harran serilerinden alınan topraklar, yöntemler bölümünde açıklandığı şekilde uygulamalara tabi tutulmuştur. Bazı toprak bileşenleri giderilmiş ve tanecik fraksiyonlarına ayrılmış örneklerde, Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi denge çözeltisi sonuçları kullanılarak çizilmiştir (EK1 10). Elde edilen parametreler ve fosfor değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bazı toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprak ve toprak fraksiyonlarının Langmuir parametreleri ve fosfor değerleri

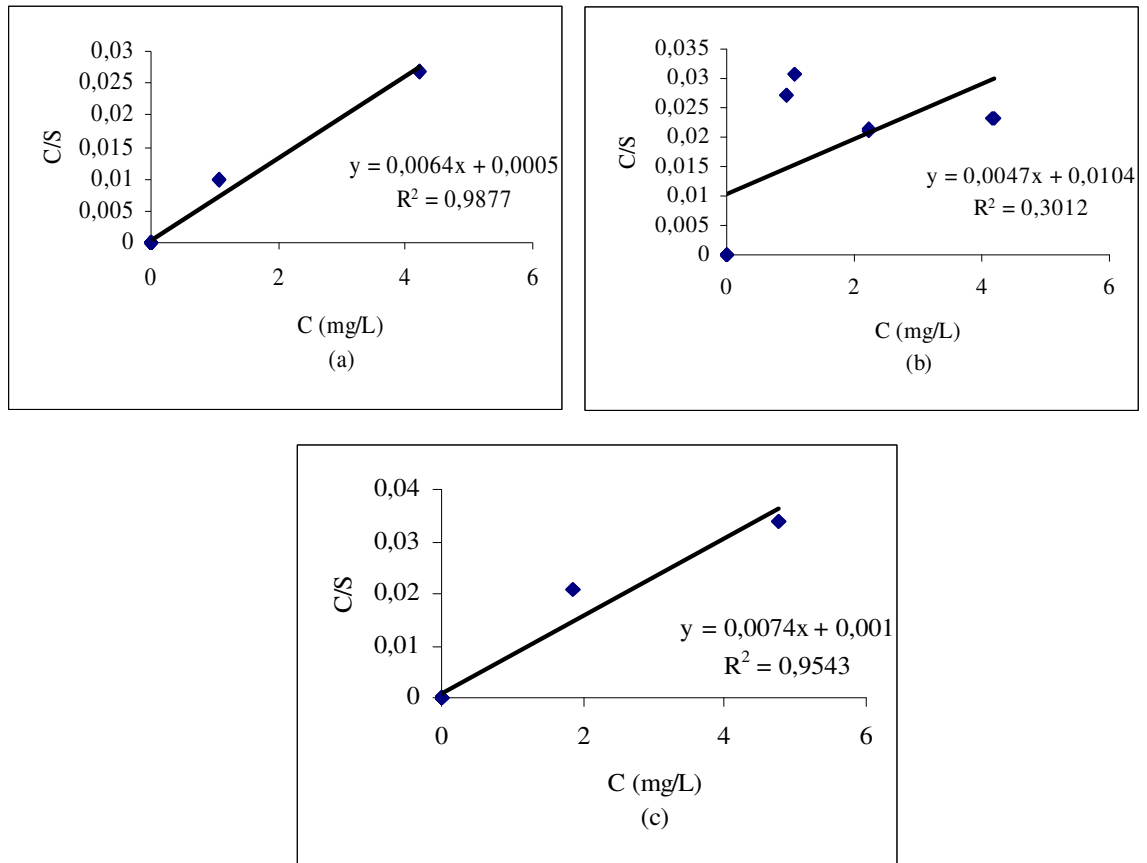
Konular	Olsen P (mg/kg)	Smax (mgP/kg)	Eğim	Kayma	k L/mgP
Düver Serisi					
Toprak	4,1	167	0,006	0,0007	8,57
Kil fraksiyonu	13,26	192	0,0052	0,0004	13
Silt fraksiyonu	6,13	124	0,0081	0,0006	13,5
Organik madde giderilmiş toprak	23,06	143	0,007	0,0005	14
Organik madde giderilmiş kil fraksiyonu	36,68	213	0,0047	0,0003	15,67
Organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	12,44	124	0,0081	0,0007	11,57
Kireç giderilmiş toprak	139,71	182	0,0055	0,0003	18,33
Kireç giderilmiş kil fraksiyonu	98,41	256	0,0039	0,0002	19,5
Kireç giderilmiş silt fraksiyonu	30,24	121	0,0083	0,0005	16,6
Kireç-organik madde giderilmiş toprak	68,95	182	0,0055	0,0021	2,62
Kireç-org madde giderilmiş kil fraksiyonu	181,78	400	0,0025	0,0087	0,29
Kireç-organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	35,41	81	0,0123	0,0005	24,6
Kireç-organik madde-demir giderilmiş toprak	67,79	125	0,008	0,0165	0,49
Kireç-organik madde-demir giderilmiş kil fraksiyonu	104,97	105	0,0095	6.10^{-17}	$1,58.10^{+14}$
Kireç-organik madde-demir giderilmiş silt fraksiyonu	7,28	47	0,0213	0,0409	0,00087
Harran Serisi					
Toprak	11,67	156	0,0064	0,0005	12,8
Kil fraksiyonu	35,03	213	0,0047	0,0104	0,45
Silt fraksiyonu	9,76	135	0,0074	0,001	7,4
Organik madde giderilmiş toprak	17,27	154	0,0065	0,0007	9,29
Organik madde giderilmiş kil fraksiyonu	223,33	323	0,0031	0,0073	0,42
Organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	38,01	149	0,0067	0,0006	11,17
Kireç giderilmiş toprak	97	156	0,0064	0,0006	10,67
Kireç giderilmiş kil fraksiyonu	646,28	1000	0,001	0,0017	0,59
Kireç giderilmiş silt fraksiyonu	101,78	182	0,0055	0,0052	1,06
Kireç-organik madde giderilmiş toprak	109,16	161	0,0062	0,0068	0,91
Kireç-organik madde giderilmiş kil fraksiyonu	272,2	417	0,0024	0,0032	0,75
Kireç-organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	158,93	217	0,0046	0,0024	1,92
Kireç-organik madde-demir giderilmiş toprak	76,77	92	0,0109	0,0013	8,38
Kireç-organik madde-demir giderilmiş kil fraksiyonu	431,62	435	0,0023	2.10^{-15}	$1,15.10^{+12}$
Kireç-organik madde-demir giderilmiş silt fraksiyonu	58,89	59	0,017	1.10^{-16}	$1,7.10^{-18}$

Düver serisi topraklarının Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu bölüm topraklarına ait olan eğim değerleri sırası ile 0,006, 0,0052 ve 0,0081 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak sırası ile toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 167, 192 ve 124 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Düver serisi topraklarına ait olan Langmuir fosfor adsorpsiyon izoterm grafiğinin kayma değerleri sırası ile 0,0007, 0,0004 ve 0,0006 olarak bulunmuştur. Toprakların fosfor yükleme enerjisi sırası ile 8,57 L/mgP, 13 L/mgP ve 13,5 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



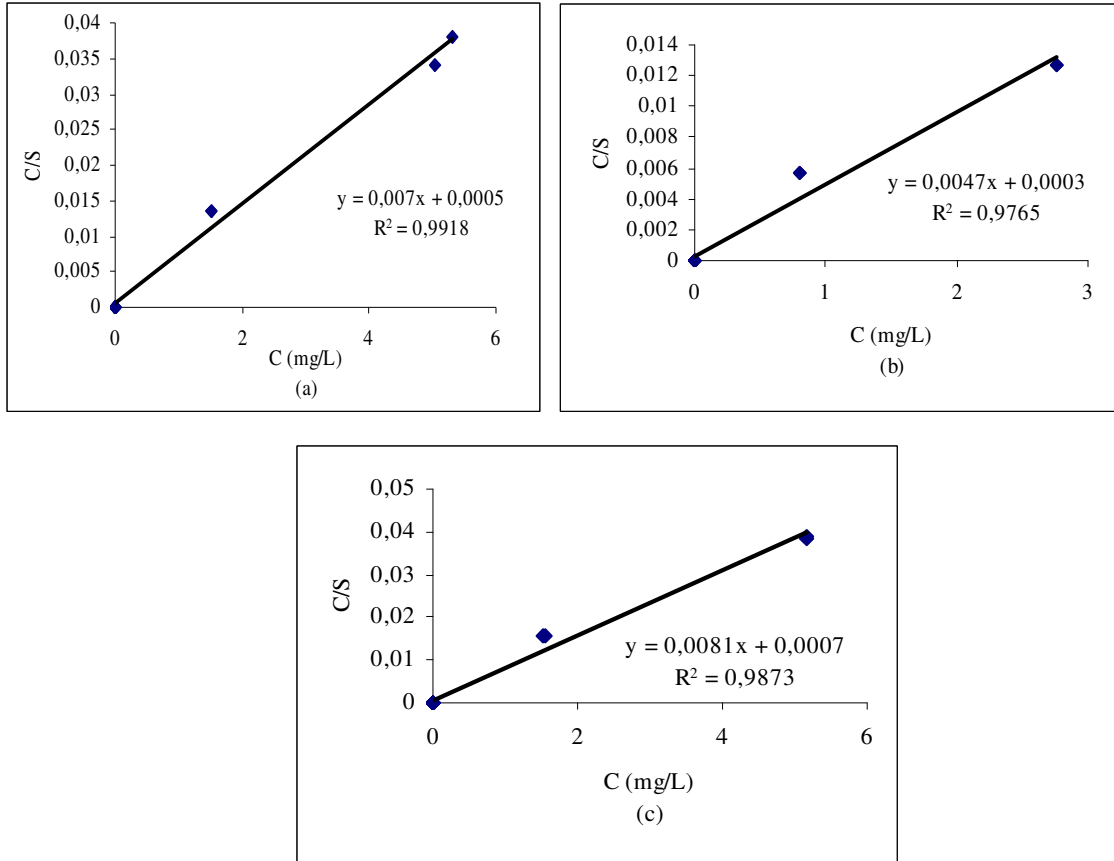
Şekil 4.1.a. Düver serisi toprağının toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Harran serisi topraklarının Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu bölüm topraklarına ait olan eğim değerleri sırası ile 0,0064, 0,0047 ve 0,0074 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak sırası ile toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 156, 213 mg/kg ve 135 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Toprakları izoterm grafiğinin kayma değerleri sırası ile 0,0005, 0,0104 ve 0,001 olarak bulunmuştur. Fosfor yükleme enerjisi 12,8 L/mgP, 0,45 L/mgP ve 7,4 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



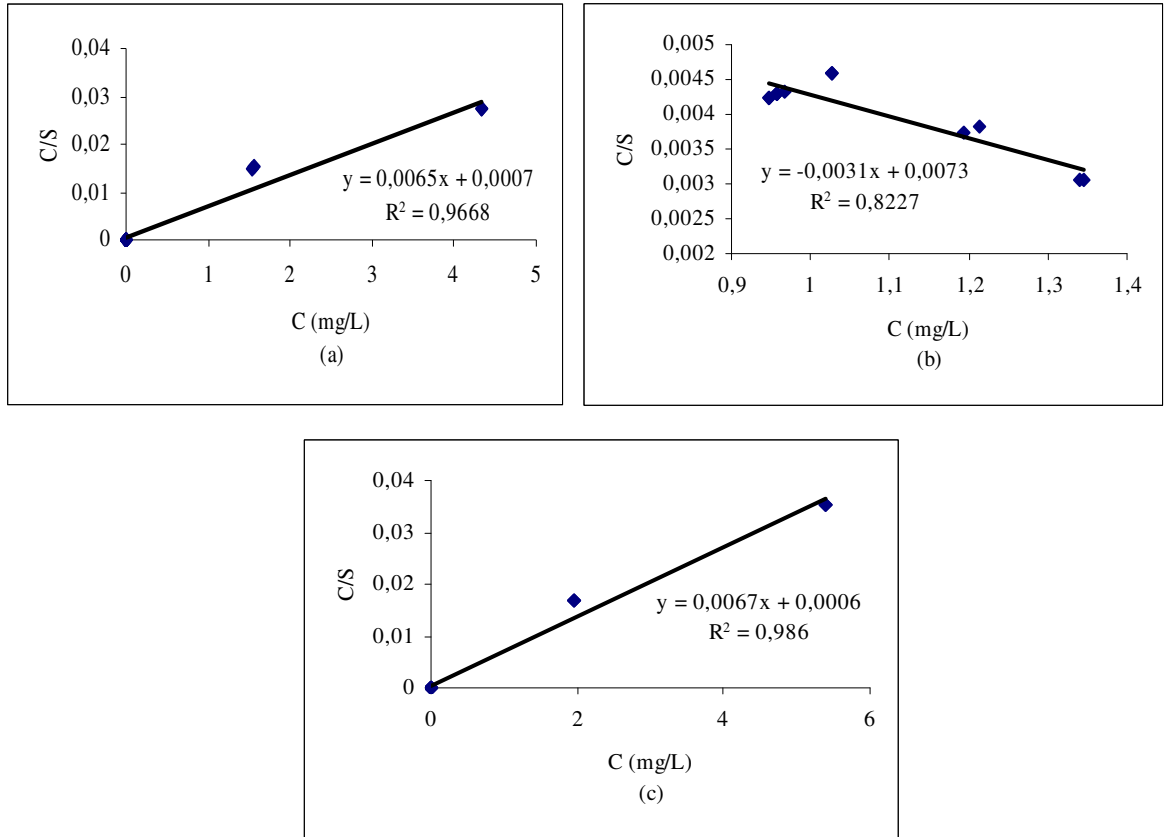
Şekil 4.2.a. Harran serisi toprağının toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Düver serisi, organik maddesi uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Topraklara ait olan eğim değerleri organik maddesiz toprak, organik maddesiz kil fraksiyonu ve organik maddesiz silt fraksiyonu sırası ile 0,007, 0,0047 ve 0,0081 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak sırası ile toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 143 mg/kg, 213 mg/kg ve 124 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Bu bölüm topraklarına ait olan Langmuir fosfor adsorpsiyon izoterm grafiğinin kayma değerleri sırası ile 0,0005, 0,0003 ve 0,0007 olarak bulunmuştur. Toprakların fosfor yükleme enerjisi sırası ile 14 L/mgP, 15,67 L/mgP ve 11,57 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



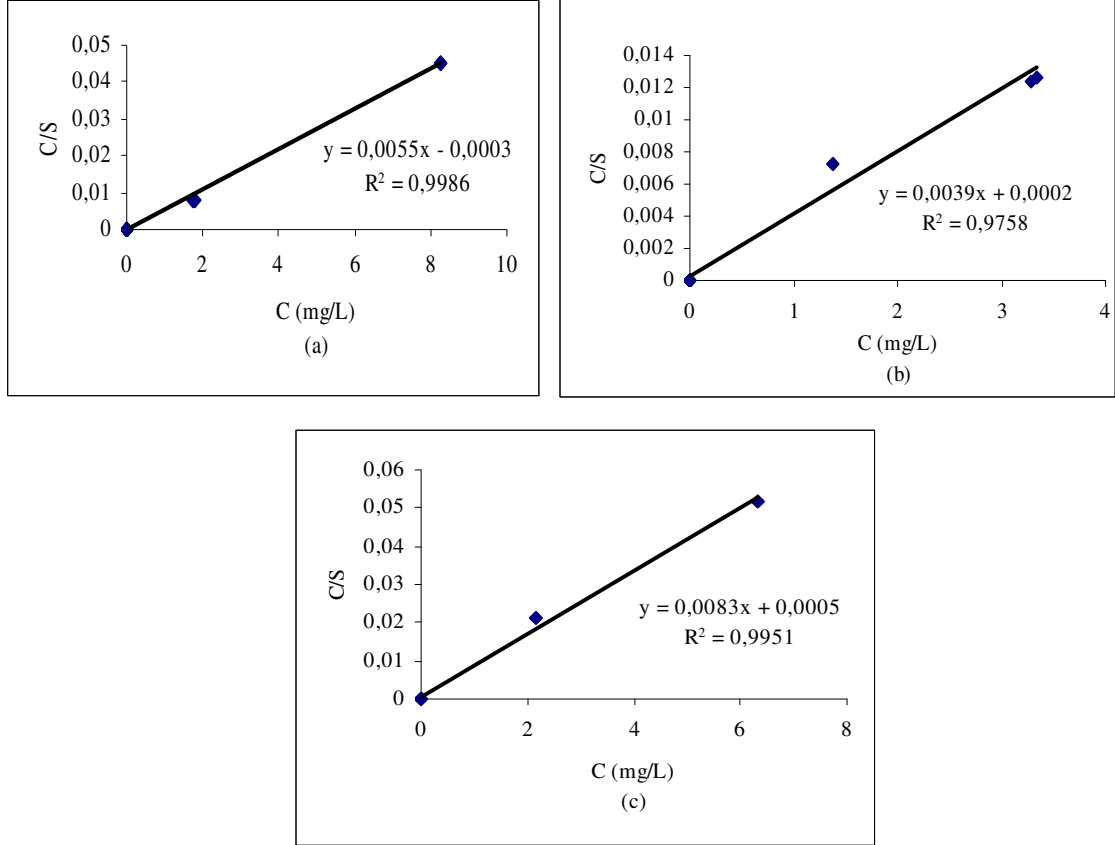
Şekil 4.3.a. Düver serisi toprağının organik madde uzaklaştırıldığı durumda toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Harran serisi organik maddesi uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Langmuir izoterm test sonuçlarına göre organik maddesiz kil fraksiyonunda (Şekil 4.4-b) düşük P uygulamalarında adsorpsiyon gelişmezken, yüksek P uygulamalarında da denge çözeltisi P konsantrasyonları (0,4 mg/L) çok küçük bir aralıkta farklılık göstermiştir. Bu değerler şekilsel olarak değişim var gibi görünmekle birlikte değer olarak çok fark yoktur. Bu konudaki yüzey fosforunun yüksekliği nedeniyle olayın bu şekilde gerçekleşmiş olduğu söylenebilir. Toprağın ve fraksiyonlarının fosfor adsorpsiyon maksimumu 154, 323 ve 149 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Langmuir fosfor adsorpsiyon izoterm grafiğinin kayma değerlerinden fosfor yükleme enerji 9,29 L/mgP, 0,42 L/mgP ve 11,17 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



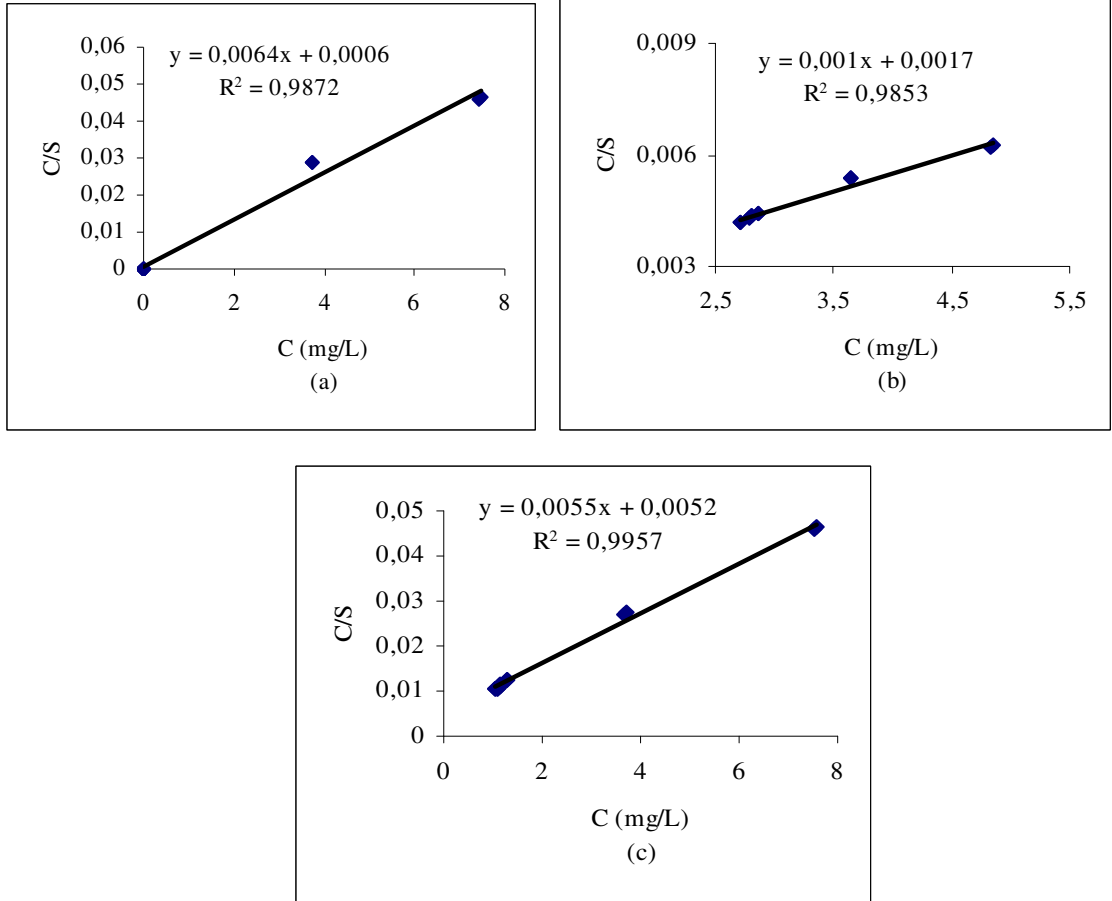
Şekil 4.4.a. Harran serisi toprağının organik madde uzaklaştırıldığı durumda toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Düver serisi kireci uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 182 mg/kg, 256 mg/kg ve 121 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Toprakların fosfor yükleme enerjisi sırası ile 18,33 L/mgP, 19,5 L/mgP ve 16,6 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



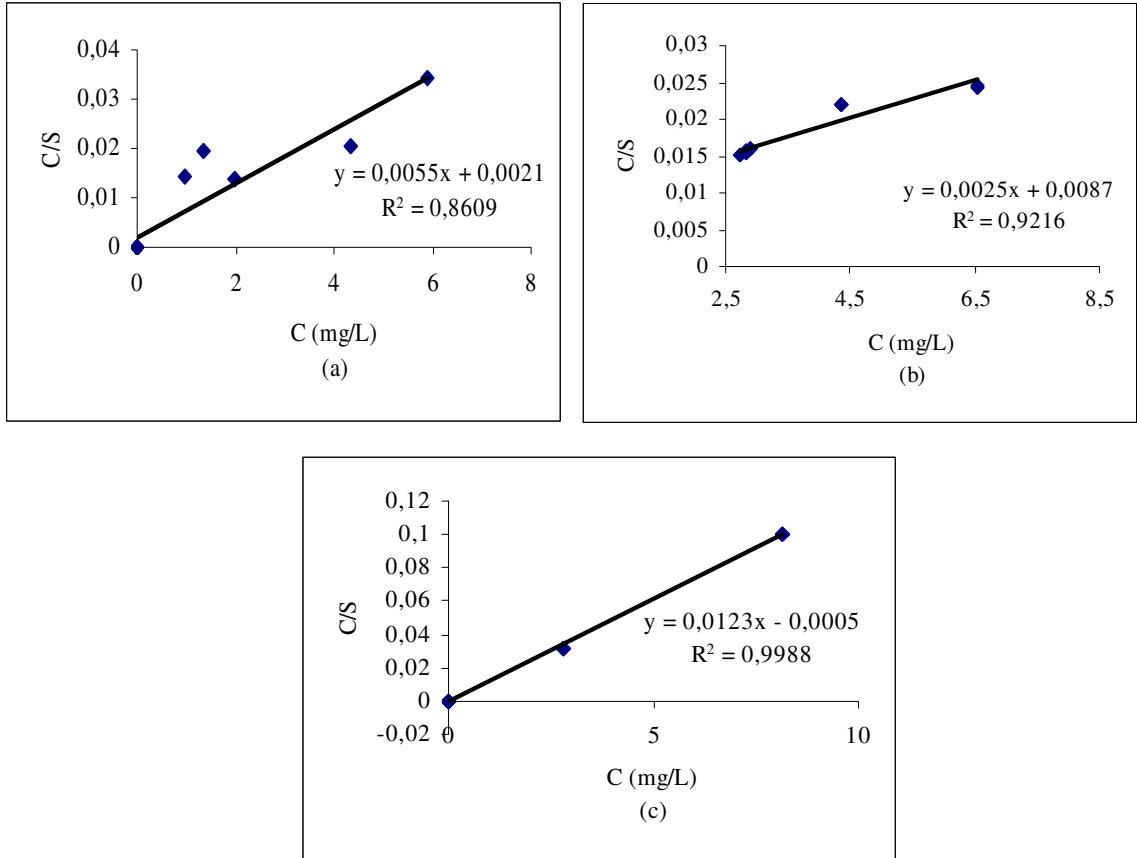
Şekil 4.5.a. Düver serisi toprağının kireçsiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Harran serisi kireci uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Toprakların izoterm grafiğinin eğim değerleri 0,0064, 0,001 ve 0,0055 olarak belirlenmiştir. Fosfor adsorpsiyon maksimumu 156 mg/kg, 1000 mg/kg ve 182 mg/kg olarak hesaplanmıştır. En yüksek fosfor adsorpsiyon maksimumu 1000ppm ile kireci uzaklaştırılmış kil fraksiyonunda oluşmuştur. Yükleme enerji 10,67, 0,59 ve 1,06 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



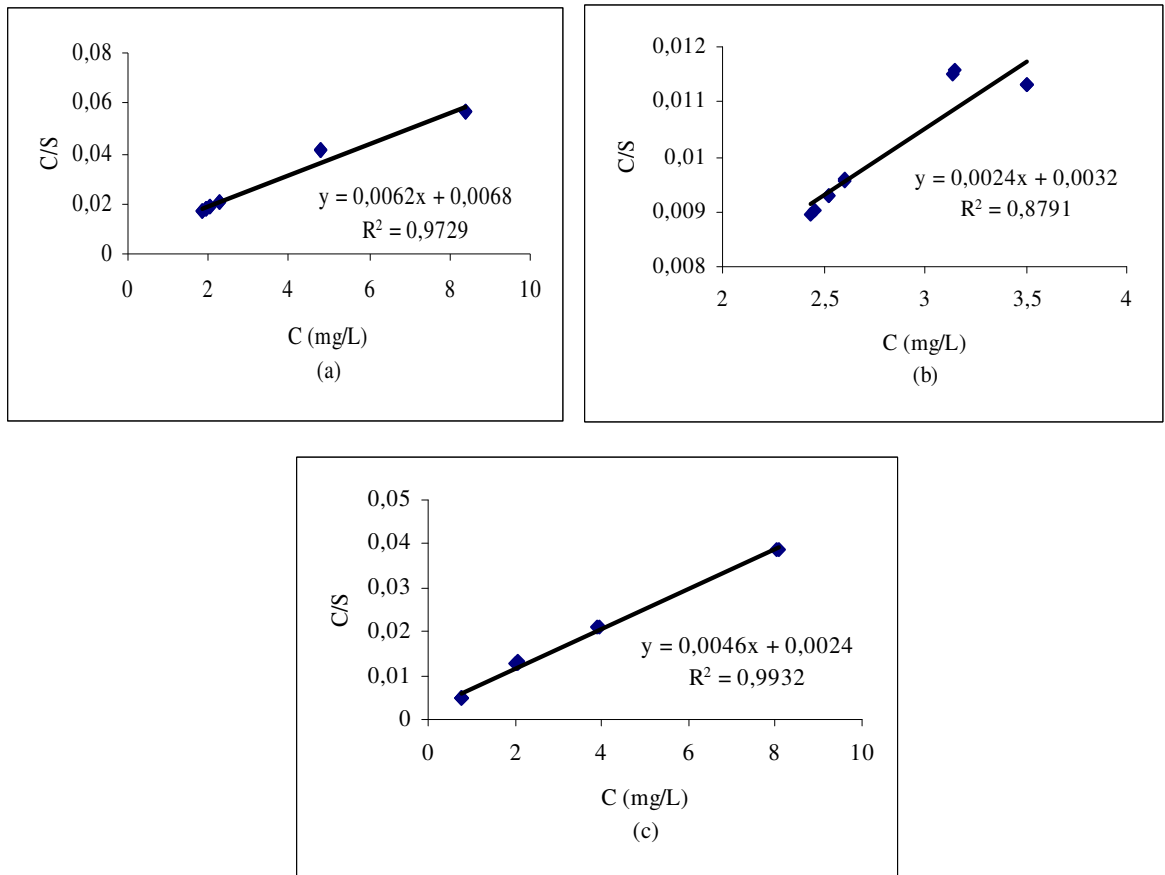
Şekil 4.6.a. Harran serisi toprağının kireç uzaklaştırıldığı durumda toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Düver serisi kireç ve organik maddesi uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 182 mg/kg, 400 mg/kg ve 81 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Toprakların fosfor yükleme enerjisi sırası ile 2,62 L/mgP, 0,29 L/mgP ve 24,6 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



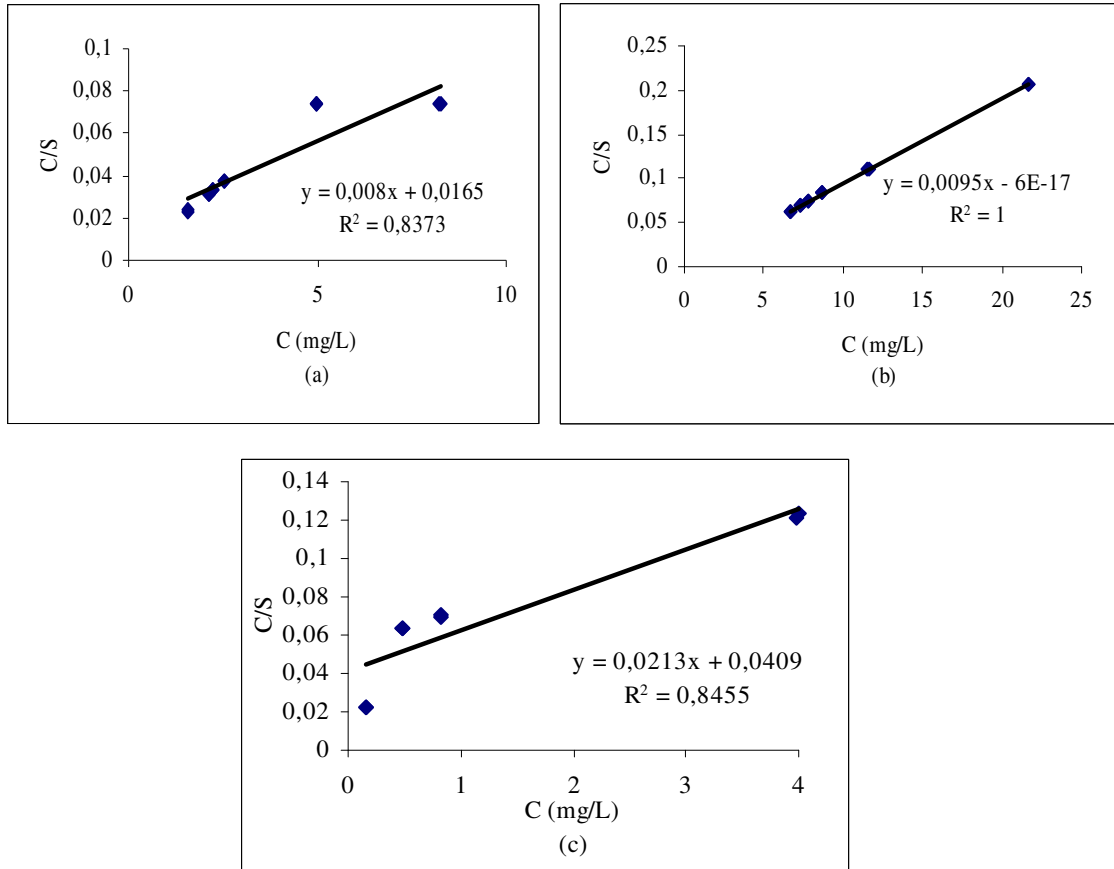
Şekil 4.7.a. Düver serisi toprağının kireçsiz ve organik maddesiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Harran serisi kireç ve organik maddesi uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Bu bölüm topraklarına ait olan eğim değerleri aynı sıralama ile 0,0062, 0,0024 ve 0,0046 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak sırası ile toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 161, 417 ve 217 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Langmuir fosfor adsorpsiyon izoterm grafiğinin kayma değerleri kullanılarak fosfor yükleme enerjisi 0,91 L/mgP, 0,75 L/mgP ve 1,92 L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



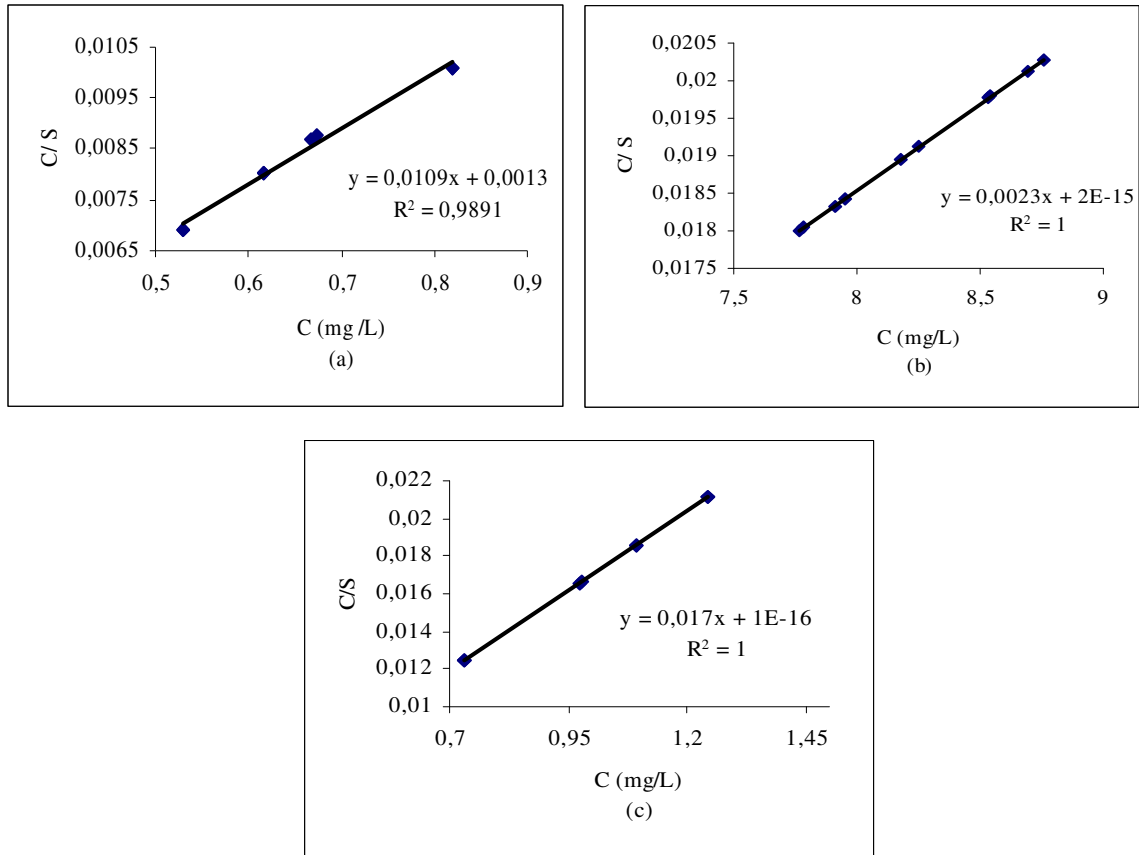
Şekil 4.8.a. Harran serisi toprağının kireçsiz ve organik maddesiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Düver serisi kireç, organik madde ve demir oksitleri uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Bu bölüm topraklarına ait olan eğim değerleri kireçsiz-organik maddesiz-demirsiz toprak, kil fraksiyonu ve silt fraksiyonu sırası ile 0,008, 0,0095 ve 0,0213 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak sırası ile toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 125 mg/kg, 105 mg/kg ve 47 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Bu bölüm topraklarına ait olan Langmuir fosfor adsorpsiyon izoterm grafiğinin kayma değerleri sırası ile 0,0165, $6,0 \cdot 10^{-17}$ ve 0,0409 olarak bulunmuştur. Toprakların fosfor yükleme enerjisi sırası ile 0,49 L/mgP, $1,58 \cdot 10^{+14}$ L/mgP ve $0,87 \cdot 10^{-3}$ L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



Şekil 4.9.a. Düver serisi toprağının kireçsiz, organik maddesiz ve demir oksitsiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Harran serisi kireci, organik maddesi ve demir oksitleri uzaklaştırılmış toprakların Langmuir fosfor izoterm grafikleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu bölüm topraklarına ait olan eğim değerleri aynı sıralama ile 0,0109, 0,0023, 0,017 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak sırası ile toprağın, kil ve silt fraksiyonunun fosfor adsorpsiyon maksimumu 92 mg/kg, 435 mg/kg ve 59 mg/kg olarak hesaplanmıştır. Bu bölüm topraklarına ait olan Langmuir fosfor adsorpsiyon izoterm grafiğinin kayma değerleri sırası ile $0,0013-2,0 \cdot 10^{-15}$ - $1 \cdot 10^{-16}$ olarak bulunmuştur. Fosfor yükleme enerjisi 8,38, $1,15 \cdot 10^{+12}$; $1,7 \cdot 10^{-18}$ L/mgP olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).



Şekil 4.10.a. Harran serisi toprağının kireçsiz, organik maddesiz ve demir oksitsiz toprak, b. kil fraksiyonu, c. silt fraksiyonu Langmuir fosfor adsorpsiyon izotermi

Düver serisi toprağının Çizelge 4.5’da görüldüğü gibi, toprak bileşenleri uzaklaştırılmış konularında en yüksek fosfor adsorpsiyon maksimumu kireç-organik madde uzaklaştırmasının yapıldığı durumdaki kil fraksiyonundan elde edilmiştir. Harran serisi toprağında ise en yüksek fosfor adsorpsiyon maksimumu kireç uzaklaştırılmış toprakta elde edilmiştir. Araştırma topraklarının en düşük fosfor adsorpsiyon maksimumu ise Düver serisi toprağının silt fraksiyonunun her üç bileşeninin de uzaklaştırıldığı durumda 47 ppm olarak bulunmuştur. Harran serisi toprağının en düşük fosfor adsorpsiyon değeri ise yine her üç bileşenin de uzaklaştırıldığı silt fraksiyonunda 59 ppm olarak bulunmuştur.

4.5 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış Topraklar ile Bunların Kil ve Silt Fraksiyonlarında Regresyon Analizleri ve Ayırma Faktörü Değerleri

Araştırma toprakları ve fraksiyonlarında (C) denge konsantrasyonu ile (C/S) konsantrasyonun adsorpsiyona oranı arasındaki ilişkinin, Langmuir P-adsorpsiyon izotermine uyumun araştırıldığı regresyon analizi ile yapılan istatistiki değerlendirme sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir. Harran serisi toprağının kil fraksiyonunun Langmuir P-adsorpsiyon izotermine uyumunun regresyon analizi sonucuna göre önemsiz olması ile birlikte ($R^2=0,3012$) diğer konularda (C) ile (C/S)’in birbirlerine göre ilişkisi ve P-adsorpsiyonunun Langmuir P-adsorpsiyon izotermine uyumu önemli çıkmıştır. Regresyon analizi sonuçları $r=0,602-1$ arasında ve olasılık değerleri 0,065 ile $8,8.10^{-161}$ arasında elde edilmiştir. Lin vd. (1991) 7 farklı çay bölgesi toprağında fosfor statüsünü, adsorpsiyonu, fiksasyonu ve solusyon fosforunu belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar fosfor adsorpsiyon kinetiğinin en iyi Langmuir izotermi ile tariflendiğini belirtmişlerdir. Sharma vd. (1994) 0–15cm derinlikten alınmış yüzey topraklarında 6 farklı gübreleme uygulanmış saksı denemeleri ile buğday ve mısır yetiştirerek, fosfor adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları yürütmüşlerdir. Fosfor adsorpsiyonunun en iyi Langmuir ve Freundlich izotermi ile bulunduğunu belirtmişler ve bu değerlerin Langmuir ile tüm saksılar için 123–498 $\mu\text{g/g}$ olduğunu bildirmişlerdir. Zhou ve Li (2001) çok düşük fosfor içerikli alanlardan örnekler almışlar ve Freundlich ve Langmuir izotermelerini

kullanmışlardır. Kireçli ve kirecsiz toprakta Langmuir izotermi maksimum sorpsiyonunun daha yüksek ilişki verdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.6 Toprakların ve fraksiyonların Langmuir P-adsorpsiyon izoterminin regresyon analizi sonuçları

Konular	S _{max} (mgP/kg)	P	R ²	r
Düver Serisi				
Toprak	167	$2,31.10^{-6}$	0,9021	0,949**
Kil fraksiyonu	192	$8,73.10^{-8}$	0,9489	0,974**
Silt fraksiyonu	124	$3,14.10^{-11}$	0,9895	0,995**
Organik madde giderilmiş toprak	143	$8,91.10^{-12}$	0,9918	0,996**
Organik madde giderilmiş kil fraksiyonu	213	$1,79.10^{-9}$	0,9765	0,988**
Organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	124	$1,79.10^{-9}$	0,9873	0,995**
Kireç giderilmiş toprak	182	$1,17.10^{-15}$	0,9986	0,999**
Kireç giderilmiş kil fraksiyonu	256	$2,08.10^{-9}$	0,9758	0,988**
Kireç giderilmiş silt fraksiyonu	121	$6,97.10^{-13}$	0,9951	0,998**
Kireç-organik madde giderilmiş toprak	182	$1,36.10^{-5}$	0,8609	0,928**
Kireç-org madde giderilmiş kil fraksiyonu	400	$7,53.10^{-7}$	0,9216	0,960**
Kireç-organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	81	$7,25.10^{-16}$	0,9988	0,999**
Kireç-organik madde-demir giderilmiş toprak	125	$3,01.10^{-5}$	0,8373	0,915**
Kireç-organik madde-demir giderilmiş kil fraksiyonu	105	$8,8.10^{-161}$	1	1**
Kireç-organik madde-demir giderilmiş silt fraksiyonu	47	0,001226	0,3620	0,602**
Harran Serisi				
Toprak	156	$7,05.10^{-11}$	0,9877	0,994**
Kil fraksiyonu	213	0,065	0,3012	0,549
Silt fraksiyonu	135	$5,02.10^{-8}$	0,9543	0,977**
Organik madde giderilmiş toprak	154	$1,01.10^{-8}$	0,9668	0,983**
Organik madde giderilmiş kil fraksiyonu	323	$4,67.10^{-5}$	0,8227	0,907**
Organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	149	$1,35.10^{-10}$	0,9860	0,993**
Kireç giderilmiş toprak	156	$8,58.10^{-11}$	0,9872	0,994**
Kireç giderilmiş kil fraksiyonu	1000	$1,69.10^{-10}$	0,9853	0,993**
Kireç giderilmiş silt fraksiyonu	182	$3,57.10^{-13}$	0,9957	0,998**
Kireç-organik madde giderilmiş toprak	161	$3,62.10^{-9}$	0,9729	0,986**
Kireç-organik madde giderilmiş kil fraksiyonu	417	$6,14.10^{-5}$	0,8791	0,938**
Kireç-organik madde giderilmiş silt fraksiyonu	217	$3,62.10^{-12}$	0,9932	0,997**
Kireç-organik madde-demir giderilmiş toprak	92	$4,06.10^{-7}$	0,9891	0,995**
Kireç-organik madde-demir giderilmiş kil fraksiyonu	435	$1,5.10^{-122}$	1	1**
Kireç-organik madde-demir giderilmiş silt fraksiyonu	59	$1,96.10^{-18}$	0,7485	0,785**

Araştırma topraklarında çalışılan Langmuir P-adsorpsiyon izotermelerinin ayırma faktörü (R) değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Hesaplanan R değerleri, Düver ve Harran toprağında $1-6,33 \times 10^{-16}$; $1-9,0 \times 10^{-14}$ arasında bulunmuştur (Çizelge 4.7). Yapılan hesaplamalar ayırma faktörünün sıfır ile bir arasında bulunduğunu ve gerçekleşen olayın Low ve Lee 1995 ve Çakmak 2007 tarafından da belirtildiği gibi adsorpsiyonun lehinde geliştiğini göstermektedir.

Çizelge 4.7 Toprakların ve fraksiyonlarının ayırma faktörü değerleri

Başlangıç Kons. (Ci) (mg/L)	Toprak			Organik madde uzaklaştırılmış toprak			Kireç uzaklaştırılmış toprak			Kireç-organik madde uzaklaştırılmış toprak			Kireç-organik madde- demir oksit uzaklaştırılmış toprak		
	toprak	kil frak.	silt frak.	toprak	kil frak.	silt frak.	toprak	kil frak.	silt frak.	toprak	kil frak.	silt frak.	toprak	kil frak.	silt frak.
	k (mgP/L)														
	8,57	13	13,5	14	15,67	11,57	18,33	19,5	16,6	2,62	0,29	24,6	0,49	1,58.10 ⁺¹⁴	0,87.10 ⁻³
Düver Serisi	R=1/(1+kCi)														
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0,37	0,278	0,27	0,263	0,242	0,302	0,214	0,204	0,231	0,656	0,945	0,169	0,911	3,16.10 ⁻¹⁴	1
0,5	0,19	0,133	0,129	0,125	0,113	0,147	0,098	0,093	0,108	0,433	0,873	0,075	0,803	1,27.10 ⁻¹⁴	1
1	0,1	0,071	0,069	0,067	0,06	0,08	0,052	0,049	0,057	0,276	0,775	0,039	0,671	6,33.10 ⁻¹⁵	0,999
5	0,02	0,015	0,015	0,014	0,013	0,017	0,011	0,01	0,012	0,071	0,408	0,008	0,29	1,27.10 ⁻¹⁵	0,996
10	0,01	0,008	0,007	0,007	0,006	0,009	0,005	0,005	0,006	0,037	0,256	0,004	0,169	6,33.10 ⁻¹⁶	0,991
	k (mgP/L)														
	12,8	0,45	7,4	9,29	0,42	11,17	10,67	0,59	1,06	0,91	0,75	1,92	8,38	1,15.10 ⁺¹²	1,7.10 ⁻¹⁸
Harran Serisi	R=1/(1+kCi)														
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0,281	0,917	0,403	0,35	0,923	0,309	0,319	0,894	0,825	0,846	0,87	0,723	0,374	4,0.10 ⁻¹²	1
0,5	0,135	0,816	0,213	0,177	0,826	0,152	0,158	0,772	0,654	0,687	0,727	0,51	0,193	2,0.10 ⁻¹²	1
1	0,072	0,69	0,119	0,097	0,704	0,082	0,086	0,629	0,485	0,524	0,571	0,342	0,107	9,0.10 ⁻¹³	1
5	0,015	0,308	0,026	0,021	0,323	0,018	0,018	0,253	0,159	0,18	0,211	0,094	0,023	2,0.10 ⁻¹³	1
10	0,008	0,182	0,013	0,011	0,192	0,009	0,009	0,145	0,086	0,099	0,118	0,05	0,012	9,0.10 ⁻¹⁴	1

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

5.1 Toprakların Adsorpsiyon Maksimumlarının Genel Değerlendirilmesi

Araştırılan örneklerde gerçekleştirilen denge çözeltileri sonucunda, Langmuir izotermelerinden faydalanılarak bulunan P-adsorpsiyon maksimumları Düver serisi toprağı için 167 ppm ve Harran serisi toprağı için 156 ppm olmuştur (Çizelge 5.1).

Bu konu ile ilgili yapılan bazı araştırma sonuçlarına baktığımızda, Gaziantep yöresi Kayacık ovasının topraklarının adsorpsiyon maksimumlarının 58–113,3 ppm arasında bulunduğu (Derici ve Ağca 1999), tipik Luvisol toprakları için yapılan bir çalışmada da bu değerlerin 484–912 ppm arasında olduğu (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 gerçekleştirilmiş ve toprakların P-adsorpsiyon kapasitelerinin 124–805 ppm arasında bulunduğu bildirilmiştir (Pereira ve De Faria 1997). Yukarıda bahsedilen çalışmalara ek olarak fosfor adsorpsiyon maksimumu, nemli tropikal topraklarında 103–460 ppm arasında (Agbenin 2003), batı Afrika'nın kuzeyindeki topraklarda yapılan bir çalışmada da bu değerler 36–230 ppm arasında bulunmuştur (Nwoke vd. 2004).

Düver serisi toprağının 167 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu Harran serisi toprağının 156 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu değerinden çok fazla olmamakla birlikte, yüksek çıkmıştır. Topraklar 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 fosfor adsorplamaktadır. Araştırmada kullanılan 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 hakim killerin montmorillonit olmasının bu olayda etkili olduğu söylenebilir. Kil minerallerinde, adsorpsiyon yüzeyleri Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} tarafından doyurulduğunda toprak çözeltilisindeki fosforda artış ortaya çıktığı belirlenmiştir (Bennani vd. 2005).

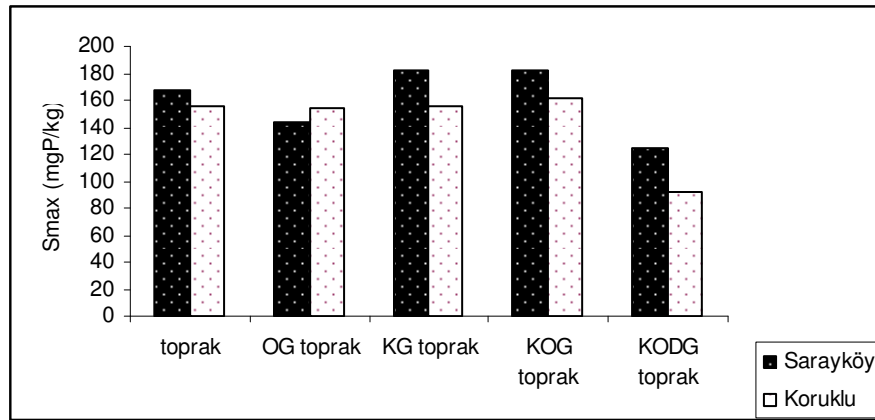
5.2 Bazı Toprak Bileşenleri Uzaklaştırılmış Toprakların ve Fraksiyonlarının Adsorpsiyon Maksimumlarının Kıyaslanması

Bazı bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların ve fraksiyonların P-adsorpsiyon maksimumları işlem görmemiş (orijinal) toprağın P-adsorpsiyon maksimumu ve orijinal toprağın kil ve silt fraksiyonlarının P-adsorpsiyon maksimumları ile kıyaslanarak toprak bileşenlerinin ve fraksiyonlardaki bileşenlerin P-adsorpsiyon maksimumuna etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların ve bunların fraksiyonlarının fosfor adsorpsiyon maksimum değerleri

Konular	Düver Serisi			Harran Serisi		
	Toprak	Kil fraksiyonu	Silt fraksiyonu	Toprak	Kil fraksiyonu	Silt fraksiyonu
	S _{max} (ppm)					
Orijinal	167	192	124	156	213	135
Organik madde uzaklaştırılmış	143	213	124	154	323	149
Kireç uzaklaştırılmış	182	256	121	156	1000	182
Kireç-organik madde uzaklaştırılmış	182	400	81	161	417	217
Kireç-organik madde-demir uzaklaştırılmış	125	105	47	92	435	59

Düver serisi toprağında, kireç ve kireç-organik madde uzaklaştırmasının birlikte yapılması, toprağın P-adsorpsiyonunu artırıcı yönde etkisi bulunmuştur. P-adsorpsiyon maksimumu 167 ppm değerinden, 182 ppm seviyesine yükselmiştir. Organik madde, kireç ve demir üç bileşenin de toprakta olmadığı durumda toprağın P-adsorpsiyon maksimum değerinde azalma meydana gelmiş, bu değer 125 ppm olmuştur. Harran serisi toprağı P-adsorpsiyon maksimumu, toprak bileşenleri uzaklaştırıldıktan sonraki P-adsorpsiyon maksimumları ile kıyaslandığında, organik madde, kireç ve kireç-organik madde uzaklaştırmasının P-adsorpsiyon maksimumuna bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her üç bileşenin de topraktan uzaklaştırıldığı durumda toprağın P-adsorpsiyon maksimum değerinde düşüş 92 ppm seviyesine kadar inmiştir (Çizelge 5.1, Şekil 5.1).



OG: organik madde giderilmiş, KG: kireç giderilmiş, KOG: kireç-organik madde giderilmiş, KODG: kireç-organik madde-demir giderilmiş.

Şekil 5.1 Düver (Sarayköy) ve Harran (Koruklu) serisi topraklarının bazı toprak bileşenlerinin P-adsorpsiyon maksimumuna etkileri

5.2.1 Toprak Bileşenlerinin Toprakta Fosfor Adsorpsiyonuna Etkisi

5.2.1.1 Toprakta organik maddenin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

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 5.1, Şekil 5.1). Harran serisi toprağında ortamda organik maddenin bulunmaması durumunda, diğer toprak bileşenlerinin kısmi oransal artışına rağmen, fosfor adsorpsiyon maksimumunda artış oluşturmazken, Düver serisi toprağında, ortamda organik maddenin bulunması P-adsorpsiyonunu artıran bir etki olarak görülmektedir. Bu durumda organik maddenin kendisinin de P-adsorplama kabiliyetinin olduğunu söyleyebiliriz. Nitekim, araştırmacılar, sığır 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 fosfor 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 fosfor ilavesinin bu değerlere çok az bir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Sardi ve Csatho (2002) toprak pH'sı 4,46–7,27 arasında değişen topraklardaki çalışmalarında, toprak özelliklerindeki farklılıkların, gübrelerle uygulanan fosfor ve toprakta önceden bulunan fosforun durumunda etken olduğunu bildirerek, uzun süreli fosfor 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. Fosfor sorpsiyonunun organik maddeden etkilendiğini belirtmiştir.

5.2.1.2 Toprakta kirecin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait deneme toprağının 167 ppm olan P-adsorpsiyon maksimum değeri topraktaki kirecin uzaklaştırılması ile 182 ppm seviyesine yükselmiştir. Harran serisine ait toprağın P-adsorpsiyon maksimumu 156 ppm iken kireç uzaklaştırmasından sonra bu değerde bir farklılık oluşmamıştır. Harran serisi toprağında, kireç içeriğinin yüksek (%24) olmasına karşın, toprağın diğer bileşenlerinin düşük miktarlarda (%1,95 organik madde, %1,19 demir) olmasının, bu durumun gerçekleşmesinde etkili olabileceği söylenebilir (Çizelge 5.1, Şekil 5.1). Düver serisi toprağında, kirecin olmadığı durumda artan P-adsorpsiyon maksimumu, toprağın diğer bileşenlerinin P-adsorplama kabiliyetlerinin kireç varlığında maskelendiğini göstermektedir. Freeman ve Rowell (1981) kalsit yüzey alanının sadece çok küçük bir bölümünde fosfor sorpsiyonunun gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Delgado ve Torrent (2000) kireçli ve kireçlenmiş asidik topraklardaki P-desorpsiyonunu açıklamak adına yürüttüğü çalışmada, kireçlenmiş asidik topraklarda yüzeyde adsorplanmış fosforun kireçli topraklardakinden yüksek olduğunu göstermiştir. Yüksek kireçli 10 toprakla fosfor sorpsiyonunun çalışıldığı bir çalışmada, Langmuir'den bulunan adsorpsiyon maksimumunun pH, kil, KDK ile pozitif CaCO₃ ile negatif korelasyon verdiği bildirilmiştir (Ghanbari vd. 1998). Kalkerli toprakların düşük affiniteli yüzeylerinin kalsit yüzeyleri olduğu ve bu yüzeylerinde önceden organik anyonlarla adsorbe edildiği bildirilmektedir (Holford vd. 1990).

5.2.1.3 Toprakta demirin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait toprağın P-adsorpsiyon maksimum değeri 167 ppm iken, topraktan kireç ve organik madde uzaklaştırmaları yapıldığında, toprağa ait P-adsorpsiyon maksimum değeri 182 ppm değerine yükselmiştir. Harran serisi toprağının 156 ppm olan P-adsorpsiyon maksimum değeri, kireç ve organik madde birlikte uzaklaştırıldığında, 161 ppm değerine yükselmiştir.

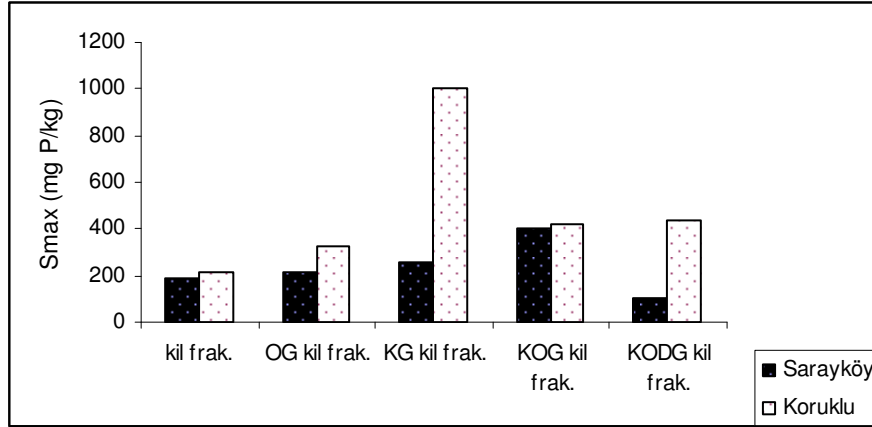
Harran serisi toprağında, ortamdan uzaklaştırılan kireç ve organik madde yerine toprağa ilave olan diğer toprak bileşenlerinin P-adsorpsiyonuna çok az bir etkisi olsa da, bu değerde, demirin P-adsorplama kabiliyetinin etkisinin, organik maddenin fosfor adsorplama kabiliyetinden daha fazla olduğu söylenebilir. Düver serisi toprağının P-adsorpsiyon maksimumu 167 ppm iken bu topraktan toprak bileşenlerinden kireç, organik madde ve demir birlikte uzaklaştırıldıklarında P-adsorpsiyon maksimum değeri 125 ppm seviyesine düşmektedir. Harran serisine ait toprağın P-adsorpsiyon maksimumu 156 ppm iken toprak bileşenleri (kireç, organik madde ve demir) uzaklaştırılmış toprağın P-adsorpsiyon maksimumu 92 ppm seviyesine düşmüştür (Çizelge 5.1, Şekil 5.1). Toprakta çalışmaya konu olan üç bileşen hakim düşünülüp diğerleri ihmal edilirse, üç bileşenin uzaklaştırıldığı durumda meydana gelen P-adsorpsiyonu kil, silt ve kum fraksiyonlarının birlikte yaptığı P-adsorpsiyonu olmaktadır. Bu durum toprak bileşenlerinden kireç, organik madde ve demirin P-adsorpsiyonunda çok daha etken olduğunun bir göstergesidir.

Topraklarda, demir oksitler giderildiğinde P-adsorpsiyondaki belirgin düşüş, demirin P-adsorpsiyonunda ne denli etkin olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Araştırmalar bu kapsamda değerlendirildiğinde de özellikle demirin P-adsorpsiyondaki önemini destekleyen bilgilere rastlanmaktadır. Langmuir eşitliği kullanarak tayin edilen P-adsorpsiyonunun, demir oksitleri uzaklaştırılmış topraklarda düştüğü, toprakların demir oksit yüzeylerindeki P-adsorpsiyon kapasitesinin amorf ve kristalin demir oksit yüzeylerine bağlı olduğu bildirilmiştir (Borggaard 1983). Tarım bölgesinden alınan topraklarda yapılan çalışmada, P-adsorpsiyonunun toprağın kil, KDK:kil oranı, kireç miktarı ve organik demir ile korele olduğu bildirilmiştir (Maughli vd. 1991). Yine Li vd. (2000) toprağın kil, pH, amorf demir oksit (Feo) ve amorf Al oksit (Alo) kapsamalarının Alo>Feo>pH>kil sırası ile P-sorpsiyonunu etkilediğini bildirmişlerdir. Valladares (2003) killi topraklarda adsorpsiyon maksimumuna fiziksel ve kimyasal özelliklerin etkisini araştırmış ve kil, Fe ve Al ile P-adsorpsiyon maksimumu arasındaki ilişkinin önemli olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar, sedimentlerdeki P-sorpsiyonunun, organik madde, Ca, Fe–Al’un bazı zayıf kristal ve amorf formları ile ilgili olduğunu bildirmektedirler (Yoo vd.

2006). Siradz (2007), kaolin ve demir oksit konsantrasyonlarının P-adsorpsiyonuna etkilerini tahmin etmek için yaptığı çalışmada fosfor sorpsiyon kapasitesinde kaolin ve demir oksitlerin etken olduğunu belirlemiştir.

5.2.2 Kil fraksiyonunda toprak bileşenlerinin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisi toprağının kil fraksiyonunun 192 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu organik maddesiz kil fraksiyonunda 213 ppm, kireçsiz kil fraksiyonunda 256 ppm ve kireç-organik maddesiz kil fraksiyonunda 400 ppm seviyesine yükselmiştir. Ancak her üç bileşenin de uzaklaştırıldığı durumdaki kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumu dikkate değer biçimde azalmış ve 105 ppm seviyesine düşmüştür. Harran serisi toprağının kil fraksiyonunun 213 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu, organik maddesiz olduğunda 323 ppm, kireçsiz olduğunda 1000 ppm ve kireç ve organik maddesiz olduğunda da 417 ppm seviyesine yükselmiştir. Harran serisi toprağının kireçsiz kil fraksiyonunda P-adsorpsiyon maksimum değeri 1000 ppm seviyesine kadar yükselerek diğer konulardan farklılık göstermiştir (Şekil 5.2). Harran serisi toprağı kil fraksiyonundan her üç bileşen uzaklaştırıldığında, başlangıçtaki 213 ppm'lik P-adsorpsiyonu 435 ppm seviyesine değin yükselmiştir.



OG: organik madde giderilmiş, KG: kireç giderilmiş, KOG: kireç-organik madde giderilmiş, KODG: kireç-organik madde-demir oksitler giderilmiş.

Şekil 5.2 Düver (Sarayköy) ve Harran (Koruklu) serisi topraklarının bazı bileşenlerinin kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumuna etkisi

Düver serisi kil fraksiyonunda her üç bileşenin uzaklaştırıldığı durumda P-adsorpsiyonunda kireç ve organik madde uzaklaştırılmış kil fraksiyonuna göre meydana gelen düşüş (400 ppm den 105 ppm'e), buradaki adsorpsiyon yapan bileşenlerden en önemlisinin demir olduğunu ortaya koymaktadır. Harran serisi kil fraksiyonu P-adsorpsiyonunun (213 ppm), tüm uzaklaştırma işlemlerinden sonra 435 ppm ve kireç organik madde uzaklaştırıldığında 417 ppm değerine kadar yükselmesi, yine P-adsorpsiyonunda demirin etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır (Çizelge 5.1). Harran serisi kil fraksiyonunda her üç bileşenin giderilmesi durumunda P-adsorpsiyonunun orjinal kil fraksiyonuna göre iki kat daha fazla olması, burada adsorpsiyonda etkin olanın, kil cinsi ve demir olduğunu düşündürmektedir.

5.2.2.1 Kil fraksiyonunda organik maddenin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait toprağın kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 192 ppm iken organik madde uzaklaştırıldığında bu değer 213 ppm seviyesine yükselmiştir. Harran serisi toprağının 213 ppm olan P-adsorpsiyon maksimum değeri fraksiyondan organik maddenin uzaklaştırılması ile 323 ppm seviyesine yükselmiştir (Çizelge 5.1, Şekil 5.2).

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 fosfor adsorpsiyon alanlarını işgal ederek, kil fraksiyonunun daha az fosfor adsorplaması neticesinde P-adsorpsiyon maksimumunu azaltmış olabilir. Nitekim, araştırmacılar organik madde ilavesinin (pH=5,0) monokalsiyum fosfatın yayılsızlığına, Fe^{+3} , Al^{+3} ve kil minerolojisinin etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, demir ve alüminyumun humik maddelerle chelat oluşturmak (ortamdaki Fe^{+3} ve Al^{+3} lerle fosforun bitkilerce alımı daha kolay hale gelen Fe'li ve Al'lu bileşiklere dönüşümü) suretiyle fosforun daha yayılsız forma dönüşümünün engellenmiş olduğunu bildirmiştir. Sahu ve Sahu (1991) tek başına kilin kil-organik kompleksinden daha fazla fosfor adsorpladığını bildirmiştir. Kil minerallerinde (smektit), adsorpsiyon özellikleri Ca^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} tarafından doyurulduğunda, toprak solusyonundaki fosforda artış ortaya çıktığı bildirilmiştir (Bennani vd. 2005). Araştırmacılar yaptıkları çalışmada, organik gübre ilavesi ile toprakta kalan fosfor azalırken, toprak çözeltisine salınan fosfor 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 fosfor sorpsiyonuna etkilerinin araştırıldığı çalışmada P-adsorpsiyon maksimumunu organik maddenin azalttığı, bunu oksitlerin bireysel etkisini maskeleyerek yaptığı bildirilmiştir (Almeida vd. 2004).

5.2.2.2 Kil fraksiyonunda kirecin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait toprağın kil fraksiyonunun 192 ppm olan P-adsorpsiyon maksimum değeri kireç uzaklaştırılmış kil fraksiyonunda 256 ppm seviyesine yükselmiştir. Harran serisine ait olan araştırma toprağının kil fraksiyonunun 213 ppm olan P-adsorpsiyon maksimum değeri kireç uzaklaştırmasından sonra 1000 ppm seviyesine kadar yükselmiştir (Çizelge 5.1, Şekil 5.2).

Kil fraksiyonlarından kireç uzaklaştırıldığında kil fraksiyonunun organik madde ve demir kapsamlarındaki artıştan kaynaklanan bir P-adsorpsiyon yükselmesinin olabileceği düşünülebileceği gibi; kil fraksiyonunda kireç ve demir oksitlerin birlikte bulunması ile organik madde ve demir oksitlerin birlikte bulunması karşılaştırıldığında, kil fraksiyonundaki kirecsiz demirli bileşiklerdeki P-adsorpsiyon maksimumundaki artış, demirin P-adsorpsiyonunun kireç tarafından engellendiği görüşünü kuvvetlendirmektedir. Bu konu kapsamında değerlendirmeye alınan çalışmalarda da destekleyen sonuçlara ulaşılmıştır. Freeman ve Rowell (1981) toprak solusyonundaki düşük fosfor içeriğine P-adsorpsiyonunda karbonatsız killerin yüksek çekim gücünün etken olduğunu, yüksek fosfor içerikli solusyonlarda fosfor sorpsiyonunda hem karbonatsız killerin hemde karbonatlı killerin etken olduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışma da kireçlenmiş asidik topraklarda yüzeyde adsorplanmış fosforun kireçli topraklardakinden yüksek olduğunu göstermiştir (Delgado ve Torrent 2000). Yine araştırmacılar, kalsit yüzey alanının sadece çok küçük bir bölümünde fosfor sorpsiyonunun gerçekleştiğini bildirmişlerdir (Zhou ve Li 2001). Araştırmacılar akışkan teknik metodunu kullanarak, çeşitli organik asitlerle fosfor stresine girmiş kireçli topraklarda, P-adsorpsiyon kinetiğini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda fosfor sorpsiyonunda azalmanın ortaya çıktığı konularda, toprağın fazla CaCO_3 içeriğine sahip olduğunu bildirmişlerdir (Lu vd. 1999, Li vd. 2002).

5.2.2.3 Kil fraksiyonunda demir oksitlerin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait toprağın kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon değeri 192 ppm olarak bulunmuştur. Kil fraksiyonundan kireç ve organik madde uzaklaştırması yapıldığında P-adsorpsiyon maksimum değeri 400 ppm seviyesine yükselmiştir. Harran serisine ait toprağın kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumu 213 ppm iken bu fraksiyondan kireç ve organik madde uzaklaştırması yapıldıktan sonra P-adsorpsiyon maksimumu 417 ppm seviyesine yükselmiştir (Çizelge 5.1, Şekil 5.2).

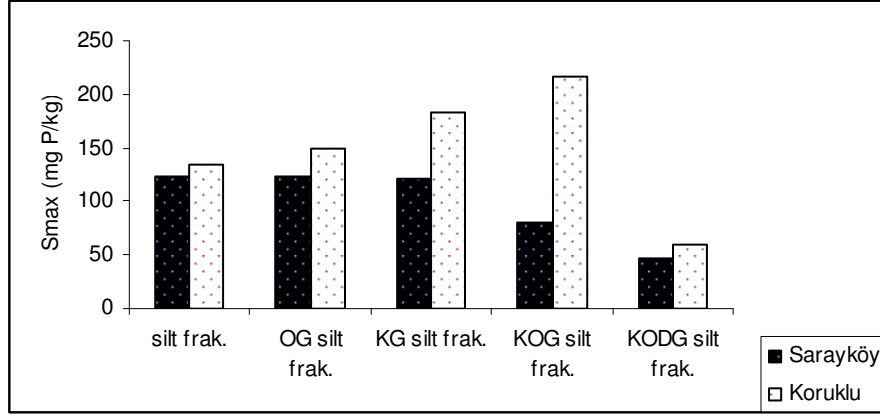
Kirecin ve organik maddenin olmadığı ortamda az da olsa artan demir oranı P-adsorpsiyon maksimumunda artışa neden olabileceği gibi; bu artışın yüzde yüz gibi yüksek bir oranda gerçekleşmesi, demirin P-adsorpsiyonunda baskın etken olduğunu düşündürmektedir. Düver serisi toprağının kil fraksiyonu P-adsorpsiyon maksimumu, kireç uzaklaştırılmış konuya göre (256 ppm), kireç ve organik madde uzaklaştırılmış (400 ppm) konuda yükselme oluşurken, buna karşılık Harran serisine ait toprağın kil fraksiyonunda kireç uzaklaştırılmış konuya göre (1000 ppm), kireç ve organik madde uzaklaştırılmış (417 ppm) konuda düşmenin oluşması, muhtemelen kil içeriği ve humus içeriği ile ilgili olabilir düşüncesini ortaya koymaktadır. Sadece organik maddenin uzaklaştırılması veya sadece kirecin uzaklaştırılması kil fraksiyonundaki P-adsorpsiyonunun artmasına yol açmaktadır. İkisinin de uzaklaştırılması durumunda P-adsorpsiyonunun orjinal kil fraksiyonuna göre iki kat yükselmesi, kil fraksiyonundaki aktif adsorpsiyon yüzeylerinin organik madde ve kireç tarafından benzer şekilde maskelendiğini ortaya koymaktadır. Hatta birisinin olmadığı durumda, var olan tarafından maskeleyemeye devam edildiği görülmektedir. Düver serisine ait toprağın kil fraksiyonunun 192 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu, kil fraksiyonundan, toprak bileşenlerinden kireç, organik madde ve demir oksit birlikte uzaklaştırıldıklarında 105 ppm seviyesine düşmektedir. Düver serisine ait toprağın kil fraksiyonunda kireç ve organik madde uzaklaştırılmış kil fraksiyonunun 400 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu değerinin her üç bileşen uzaklaştırıldığında 105 ppm seviyesine düşmesi, demirli bileşiklerin P-adsorpsiyonunda etken olduğunu göstermektedir. Harran serisine ait toprağın kil fraksiyonunda her üç bileşenin uzaklaştırıldığı durumda, kireç-organik madde uzaklaştırmasının yapıldığı konuya göre, P-adsorpsiyonunda büyük bir değişimin olmaması kil tipi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Harran serisi toprağının sahip olduğu kil tipinin P-adsorplama kabiliyetinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Nitekim Harran toprağında baskın kil montmorillonit olarak belirlenmiştir. Montmorillonitin katyon değişim kapasitesi yüksek kil tipi olduğu (80–150 me/100gr) belirtilmektedir (Özkan 1985, Ergene 1993) (Çizelge 5.1, Şekil 5.2). Kil miktarı ile P-sorpsiyonu arasındaki korelasyonun önemliliğinin belirlendiği çalışmalara göre, fosfor sorpsiyonunda özel yüzey alanlarının etkisinin olduğu belirtilmiştir (Loganathan vd. 1987, Solis ve Torrent 1989). Yüzey toprağından izole edilen doğal kil-organik kompleksi ile

kilin P-adsorpsiyonunun araştırıldığı bir çalışmada; tek başına kilin, kil-organik kompleksinden daha fazla P-adsorpladığı görülmüştür. Başka bir çalışma ile de P-adsorpsiyonunun azalmasındaki etkenin, organik maddenin aktif adsorpsiyon yüzeylerini bloke etmesi gösterilmiştir (Sahu ve Sahu 1991). Araştırmacılar, yüksek kireçli 10 toprakla P-sorpsiyonunu iki izoterm ile çalışmışlar ve Langmuirden bulunan adsorpsiyon maksimumunun pH, kil, KDK ile pozitif, CaCO₃ ile negatif korelasyon verdiğini bildirmişlerdir (Ghanbari vd. 1998). Her iki toprakta da kireç ve organik maddenin ikisinin birlikte uzaklaştırıldığı durumda P-adsorpsiyonundaki artışın diğerlerinden fazla olması, her iki özelliğin de P-adsorpsiyon özelliklerini maskeleyeceğini düşündürmektedir. Araştırmacılar, toprakların adsorpsiyon kapasitelerinin kil içeriği ile $r= 0,957$; $P<0,01$ önemli bir ilişki verdiğini bildirmişlerdir. Toprağın kil içeriğinin bilinmesinin, onun fosfor statüsünün tahmininde önemli olduğu belirtilmektedir (Boyd ve Munsiri 1996). Li vd. (2000) Çin'in Pearl nehri deltasının sedimentlerinden, tortul kumlardan, granitten, bazalttan aldıkları asidik toprakları kullanarak toprak bileşenlerinin P-sorpsiyon parametrelerine etkilerini çalışmışlardır. Araştırmacılar toprağın bileşenlerinin $Al > Fe > pH > kil$ sırası ile P-sorpsiyonunu etkilediğini bildirmişlerdir. Allen (2002) Batı Avustralya'da bir çok laboratuvarın reaktif demir testini kullandıklarını, bunun nedeni olarak da, toprakların P-adsorpsiyon kapasitesinde Fe-oksitlerin payının çok fazla olduğunu bildirmiştir. Valladares (2003) Brezilya bölgesinde düşük aktiviteli killi topraklarda adsorpsiyon maksimumuna fiziksel ve kimyasal özelliklerin etkisini araştırmıştır. Araştırmacı kil, Fe ve Al ile P-adsorpsiyon maksimumu arasındaki ilişkinin önemli olduğunu belirtmiştir. Çeşitli kil minerallerinin fosfat adsorpsiyonu üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise montmorillonit, illit, kaolinit ve kloritin fosfat adsorpsiyon izotermelerinin Langmuir adsorpsiyon izotermine göre değerlendirilebileceği saptanmıştır. Kireçli topraklarda zamanın fosfor tutulması üzerine etkisi ve P-adsorpsiyonunun araştırıldığı başka bir çalışmada da toprakların kil kapsamlarının tek tabaka şeklinde adsorpsiyonun sorumlusu olan toprak özelliği olduğu belirtilmiştir (Oskay 1986). Siradz (2007) tarafından bildirildiğine göre; kalsiyum ile sature edilmiş killerde sodyum ve potasyum ile sature edilmişlerden daha fazla fosfor kaldığını Kurtz (1953) tesbit etmiştir.

5.2.3 Silt fraksiyonunda toprak bileşenlerinin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisi toprağının silt fraksiyonunun 124 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu, organik madde uzaklaştırıldığında 124 ppm, kireç uzaklaştırıldığında 121 ppm seviyelerinde kalarak büyük bir değişim göstermemiştir. Kireç ve organik madde uzaklaştırılmış fraksiyonda 81 ppm'e ve her üç bileşenin de uzaklaştırıldığı durumda da 47 ppm seviyesine kadar düşmüştür. Harran serisi toprağı silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumu 135 ppm olarak belirlenmiştir. Silt fraksiyonunun 135 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu organik maddesiz silt fraksiyonunda 149 ppm, kireçsiz silt fraksiyonunda 182 ppm, kireçsiz ve organik maddesiz silt fraksiyonunda 217 ppm seviyesine yükselmiştir. Her üç bileşeni de içermeyen silt fraksiyonunun P adsorpsiyon maksimum değeri azalarak 59 ppm değerine düşmüştür (Şekil 5.3).

Harran serisi toprağının silt fraksiyonunun organik madde ve kireç giderildikten sonra fosfor adsorpsiyonunun bir miktar artması, Harran serisi toprağı silt fraksiyonundan demir oksitlerin giderildiği konumda fosfor adsorpsiyonunda düşme meydana gelmesi, bu fraksiyondaki demirin fosfor adsorpsiyonundaki en büyük etken olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda demirin fosfor adsorpsiyonunda, çok az organik maddenin ve dikkate değer miktarda kirecin maskeleye etkisinin olduğu görülmektedir. Düver serisi toprağı silt fraksiyonunda ise organik madde ve kirecin giderildikleri durumda P-adsorpsiyonunun düşmesinden, kendilerinin az da olsa fosfor adsorpsiyonu yaptığı ortaya çıkmaktadır.



OG: organik madde giderilmiş, KG: kireç giderilmiş, KOG: kireç-organik madde giderilmiş, KODG: kireç-organik madde-demir oksitler giderilmiş.

Şekil 5.3 Düver (Sarayköy) ve Harran (Koruklu) serisi topraklarının bazı toprak bileşenlerinin, silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumuna etkisi

5.2.3.1 Silt fraksiyonunda organik maddenin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait toprağın silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 124 ppm iken ortamdaki organik madde uzaklaştırıldığında, P-adsorpsiyon maksimumu 124 ppm seviyesinde kalmıştır. Harran serisi toprağının silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 135 ppm iken aynı toprağın organik maddesiz silt fraksiyonunda bu değer 149 ppm seviyesinde az da olsa yükselmiştir (Çizelge 5.1, Şekil 5.3).

Bu durum organik maddenin P-adsorpsiyon alanlarındaki maskeleyen etkisinin, kil fraksiyonunda olduğu gibi devam ettiğini göstermektedir. Organik maddenin fosfor adsorpsiyonuna etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda, bahsedilen bulguyu destekler nitelikte sonuçlar verilmiştir. Bu görüşe destek olarak, Sahu ve Sahu (1991) tek başına kilin kil-organik kompleksinden daha fazla fosfor adsorpladığını bildirmiştir. Organik madde uygulaması ile fosforlu gübreleme birlikte yapıldığında, fosforun bitkiye yararlılığının artmasının nedeninin bozulan organik madde sebebiyle fosfor sorpsiyonundaki azalmanın olduğu belirtilmiştir (Guppy vd. 2005) .

5.2.3.2 Silt fraksiyonunda kirecin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait toprağın silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 124 ppm bulunmuştur. Aynı fraksiyondan kireç uzaklaştırıldığında P-adsorpsiyon maksimum değeri 121 ppm seviyesinde kalmıştır. Bu durum, ortamdaki kirecin kendisinin de bir miktar P-adsorplama kabiliyetinin olduğunu düşündürmektedir. Harran serisi toprağının silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 135 ppm iken, kirecin uzaklaştırılmasının P-adsorpsiyon maksimum değerini 182 ppm seviyesine çıkardığı görülmüştür (Çizelge 5.1, Şekil 5.3).

Düver serisi toprağı silt fraksiyonundaki kirecin P-adsorpsiyonundaki etkisi ile Harran serisi toprağı silt fraksiyonundaki kirecin etkisi farklı gelişmiştir. Bu durumda toprakların kireç içeriklerindeki ve demir oksit içeriklerindeki farkın etkisinin olduğu düşünülmektedir. Harran serisi silt fraksiyonundaki fazla kireç miktarının, bu fraksiyondaki P-adsorpsiyon alanlarında, maskeleye etkisini, Düver serisi toprağına kıyasla daha belirgin ortaya koymuş olduğu düşünülmektedir. Bu konularda gerçekleştirilen çalışmalar göstermektedir ki; toprakların bulunan sorpsiyon kapasitelerinin demir içerikleri ve kil içerikleri ile yüksek korelasyon verirken, fosfor sorpsiyonunda kireç içeriğinin daha az bir rol oynamaktadır (Solis ve Torrent 1989).

5.2.3.3 Silt fraksiyonunda demir oksitlerin fosfor adsorpsiyonuna etkisi

Düver serisine ait toprağın silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 124 ppm iken kireç ve organik madde uzaklaştırması yapıldıktan sonra silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon değeri 81 ppm seviyesine inmiştir (Çizelge 5.3, Şekil 5.3).

Bu durum, silt fraksiyonundaki kireç ve organik maddenin varlığının fraksiyonun P-adsorpsiyonunda az da olsa etkisinin olduğunu göstermektedir. Silt fraksiyonunda kireç ve organik maddenin ayrı ayrı P-adsorplama kabiliyetleri göz önüne alındığında demirli

bileşiklerin silt fraksiyonunun P-adsorpsiyonunda daha etken olduğunu söylenebilir. Harran serisine ait toprağın silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 135 ppm iken bu fraksiyondan kireç ve organik madde uzaklaştırması yapıldığında P-adsorpsiyon maksimumu değeri 217 ppm değerine yükselmiştir (Çizelge 5.1, Şekil 5.3). Koruklu mevki toprağının silt fraksiyonunda kireç ve organik madde giderildiği durumdaki P-adsorpsiyon artışının nedeni olarak; silt fraksiyonundaki etkili faktörün demirli bileşiklerden kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır. Düver serisine ait toprağın silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumu değeri 124 ppm iken, silt fraksiyonundan, toprak bileşenlerinden kireç, organik madde ve demir oksitler birlikte uzaklaştırıldıklarında 47 ppm değerine kadar düşmektedir (Çizelge 5.1, Şekil 5.3). Aynı durum Harran serisi silt fraksiyonu içersindedeyerçekleşmektedir. Harran serisi silt fraksiyonundan ilave olarak demir oksitlerin de uzaklaştırıldığı durumda P-adsorpsiyon maksimum değerinin 217 ppm'den 59 ppm seviyesine düşmesi silt fraksiyonundaki demir oksitlerin P-adsorpsiyonundaki etkisinin önemini ortaya koymaktadır. Bu konuyu ilgilendiren çalışma sonuçları ile de demirin P-adsorpsiyonundaki etkisi ortaya konulmaktadır. Ryan vd. (1985) toprakların fosfor sorpsiyonunun kireç içeriğinden daha çok demir oksit içeriği ile ilgili olduğunu bildirmiştir.

5.3 Toprakların Fosfor Doymunluğu Değerlendirmesi

Araştırma konusu topraklar fosfor doymunluğu bakımından incelenerek sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir. Düver serisi toprağının fosfor doymunluğu %2,46 iken, Harran serisi toprağının fosfor doymunluk değeri %7,47 olarak bulunmuştur. Toprakların kil fraksiyonları fosfor doymunluk değerleri, Düver serisi toprağında %6,89 iken Harran serisi toprağında %16,46 olarak bulunmuştur. Toprakların silt fraksiyonları bazında fosfor doymunluk değerlendirmesine bakıldığında %4,97 Düver serisi toprağı değeri ve %7,22'de Harran serisi toprağı fosfor doymunluk değeri bulunmuştur (Çizelge 5.2).

Harran serisi toprağının ve fraksiyonlarının fosfor doygunluğu, Düver serisi toprağının ve fraksiyonlarının fosfor doygunluk yüzdelerinden yüksek olmakla birlikte, her iki toprakta da kil fraksiyonundaki fosfor doygunluk yüzdesinin diğer kısımların değerinden fazla olduğu görülmektedir. Gerçekleşen bu olayda, kil fraksiyonunda ve bu fraksiyonda yer alan bileşenlerde P-adsorpsiyonun ve dolayısı ile alınabilir forma geçebilecek fosforun daha fazla miktarda bulunduğu bir göstergesi olabilir. Araştırma topraklarında hakim kil grubunun montmorillonit olduğu tesbiti yapılmıştır. Alınabilir fosfor miktarındaki artış, P-adsorpsiyon kapasitesiyle ilgili olarak, fosfor doygunluk yüzdesini etkilemektedir. Kil miktarı ile P-sorpsiyonu arasındaki korelasyonun önemliliğinin, fosfor sorpsiyonunda özel yüzey alanlarının etkisinin olduğuna bir işaret olabileceği, çalışmalar sonucunda ortaya konmuştur (Loganathan vd. 1987, Solis ve Torrent 1989). Araştırmacılar, toprakların adsorpsiyon kapasitelerinin kil içeriği ile $r= 0,957$; $P<0,01$ önemli bir ilişki verdiğini bildirmişlerdir. Toprağın kil içeriğinin bilinmesinin onun fosfor statüsünün tahmininde önemli olduğunu belirtilmektedir (Boyd ve Munsiri 1996). Valladares (2003) killi topraklarda adsorpsiyon maksimumuna fiziksel ve kimyasal özelliklerin etkisini araştırmıştır. Araştırmacı kil, Fe ve Al ile P-adsorpsiyon maksimumu arasındaki ilişkinin önemli olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.2 Toprakların ve fraksiyonların P-doygunluk değerleri

Konular	Fosfor Doygunluğu (%)
Düver Serisi	
Toprak	2,46
Kil fraksiyonu	6,89
Silt fraksiyonu	4,97
Harran Serisi	
Toprak	7,47
Kil fraksiyonu	16,46
Silt fraksiyonu	7,22

5.4 Sonuç

Düver serisi toprakları fosfor doygunluğu bakımından incelendiğinde (Çizelge 5.2), fosfor doygunluğunun toprakta %2,46, kil fraksiyonunda %6,89 ve silt fraksiyonunda %4,96 olduğu bulunmuştur. Harran serisi toprakları fosfor doygunluğu bakımından incelendiğinde, toprağın fosfor doygunluk yüzdesi %7,47, kil fraksiyonunun %16,46 ve silt fraksiyonunun fosfor doygunluk değeri %7,22 bulunmuştur.

Araştırma topraklarının fosfor doygunluk değerleri, kil fraksiyonunda biraz yükselmekle birlikte, düşük bulunmuştur. Doygunluğun yüksek olduğu durumlarda çevresel açıdan problemler oluşacağı, doygunluğun düşük olduğu alanlarda da bitki yetiştirmeye olumsuz cevaplar alınacağı için fosfor doygunluk değerinin takip edilip, kontrol altına alınması gerekmektedir. Toprağın çevreye fosfor bırakma yeteneğini, toprağın P-adsorpsiyon kapasitesi ile fosforun tutulma mekanizmaları belirlemektedir. Topraklara uygulanan fosforla birlikte, sorplanan fosfor miktarı yükseldikçe, doygunluğun yüksek değerlerinde, adsorpsiyon desorpsiyon ile yer değiştirmeye başlamakta (Breeuwsma ve Silva 1992, Sharpley 1995), takip eden aşamada topraktan solusyona, yüzey ve yer altı sularına ve çevreye fosfor salınımı başlamaktadır. Bu değer topraktan toprağa farklılık gösteren, her toprağa özel bir değerdir.

Fosfor adsorpsiyon maksimumu 167 ppm olan %69,74'ü kil, %28,47'si silt ve %1,79'u kum olan Düver serisi toprağının, toprak bileşenleri uzaklaştırıldıktan sonraki toprak P-adsorpsiyon maksimumu, kil fraksiyonunun adsorpsiyon maksimumu ve silt fraksiyonunun adsorpsiyon maksimumu sırası ile 125, 105 ve 47 ppm seviyesinde olmuştur. Fosfor adsorpsiyon maksimumu 156 ppm olan %56,59'ü kil, %28,62'si silt ve %14,79'u kum olan Harran serisi toprağının, toprak bileşenleri uzaklaştırıldıktan sonraki toprak P-adsorpsiyon maksimumu, kil fraksiyonunun adsorpsiyon maksimumu ve silt fraksiyonunun adsorpsiyon maksimumu sırası ile 92, 435 ve 59 ppm seviyesinde olmuştur.

Topraklardaki organik maddenin uzaklaştırılması Düver serisi toprağında P-adsorpsiyonunu azaltırken (167 ppm–143 ppm), kil fraksiyonunda yükseltmiştir (192 ppm–213 ppm), silt fraksiyonunda önemli bir etkisi olmamıştır (124 ppm–124 ppm). Harran serisi toprağında da organik maddenin uzaklaştırılması toprakta P-adsorpsiyonunu önemli olacak şekilde etkilememiştir (156 ppm–154 ppm), kil fraksiyonunda arttırmış (213 ppm–323 ppm) ve silt fraksiyonunda çok etkili olmamıştır (135 ppm–149 ppm).

Topraklardan kirecin uzaklaştırılması Düver serisi toprağında P-adsorpsiyonunu arttırmış (167 ppm–182 ppm), kil fraksiyonunda P-adsorpsiyonu artmış (192 ppm–256 ppm), silt fraksiyonunda önemli bir fark oluşmamıştır. Harran serisi toprağında kirecin uzaklaştırılması P-adsorpsiyonunu değiştirmemiş (156 ppm), kil fraksiyonunda P-adsorpsiyonu artmış (213 ppm–1000 ppm), silt fraksiyonunda ise diğer toprağın silt fraksiyonu ile kıyaslandığında, önemli bir fark oluşturarak P-adsorpsiyonu artmıştır (135 ppm–182 ppm) (Çizelge 4.6).

Topraklardan kireç ve organik madde uzaklaştırması gerçekleştirildikten sonra, Düver serisi toprağında 167 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu 182 ppm değerine, Harran serisi toprağında 156 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu 161 ppm değerine yükselmiştir. Kireç ve organik maddesi uzaklaştırılmış kil fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumu Düver serisi toprağında 192 ppm den 400 ppm seviyesine, Harran serisi toprağında 213 ppm'den 417 ppm seviyesine yükselmiştir. Düver serisi toprağının silt fraksiyonunda uzaklaştırma işlemleri neticesinde P-adsorpsiyonunda azalma (124 ppm–81 ppm), Harran serisi toprağının silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimumunda artma oluşmuştur (135 ppm–217 ppm).

Topraklardan kireç, organik madde ve demir oksit uzaklaştırması gerçekleştirildikten sonra, Düver serisi toprağında 167 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu 125 ppm değerine, Harran serisi toprağında 156 ppm olan P-adsorpsiyon maksimumu 92 ppm değerine düşmüştür. Kireç, organik madde ve demir oksitleri uzaklaştırılmış kil fraksiyonunun P-

adsorpsiyon maksimumu Düver serisi toprağında 192 ppm den 105 ppm seviyesine düşerken, Harran serisi toprağında 213 ppm'den 435 ppm seviyesine yükselmiştir. Düver serisi toprağının silt fraksiyonunda uzaklaştırma işlemleri neticesinde P-adsorpsiyonunda azalma (124 ppm–47 ppm), Harran serisi toprağının silt fraksiyonunda da P-adsorpsiyon maksimumunda azalma oluşmuştur (135 ppm–59 ppm).

Araştırmaya alınan ağır bünyeli topraklarda ve fraksiyonlarda, kireç ve organik maddenin toprağın P-adsorplama özelliği gösteren bileşikleri üzerinde adsorpsiyonu maskeleyici etkisinin olduğu, ancak bu etkinin kireçte daha fazla bulunduğu görülmüştür. Araştırma sonuçlarına dayanılarak, Düver serisi toprağında demir oksitli bileşiklerin, Harran serisi toprağında ise kil mineralojisinin ve demir oksitli bileşiklerin P-adsorpsiyon maksimumunu artırıcı baskın etkenler olduğu açığa çıkmıştır. Çalışma sonuçlarından, Düver serisi toprağında P-adsorpsiyon maksimumu 167 ppm iken aynı toprağın kil fraksiyonunda 192 ppm ile topraktan daha fazla olmuştur. Kil fraksiyonunun P-adsorpsiyonu yapabilecek yüzeylerinin daha fazla olmasının bunda net etkisi bulunmaktadır. Aynı toprağın silt fraksiyonunun P-adsorpsiyon maksimum değeri 124 ppm olarak toprağın ve kil fraksiyonunun adsorpsiyon maksimumundan daha düşük olduğu bulunmuştur. Harran serisi toprağında ise 156 ppm olan toprak P-adsorpsiyon maksimumu kil fraksiyonunda 213 ppm değerine yükselerek kil fraksiyonunda adsorpsiyonun daha fazla olduğunu göstermiştir. Harran toprağının 135 ppm olan silt fraksiyonu P-adsorpsiyon değeri aynı toprağın P-adsorpsiyon değerinden daha düşük olmuştur. Çalışma, kil fraksiyonunun P-adsorplama kabiliyetinin, aynı toprağın P-adsorplama kabiliyetinden daha yüksek olduğunu, toprağın mineralojik yapısının P-adsorpsiyonundaki önemini ortaya koymaktadır.

Toprakların P-adsorpsiyon kapasiteleri ve fosfor doymunluk yüzdelerinin bilinmesi bitki yetiştiriciliğinde fosforun, toprak özellikleri göz önüne alınarak uygulanmasındaki önemini ortaya çıkarmaktadır. Toprağa çeşitli kaynaklardan gübreleme yapıldığında, toprak denge durumuna ulaşmaya kadar sorpsiyon gerçekleşmektedir. Toprak çözeltisinin fosfor iyon konsantrasyonu arttıkça, bu iyonların adsorplanma olayı da artmaktadır. Aynı anda (bitki

kökleri tarafından alın) toprak çözeltisinin iyon konsantrasyonu azalmaya başladığı durumda da aynı iyonların toprak çözeltisine bırakılmaları söz konusu olmaktadır. Bitkinin topraktan fosfor aldığı durumda, kolay çözünen fosfor kaynaklarından, fosforun toprak çözeltisine doğru ilerleyişi söz konusu olmaktadır. Topraklarda fosfor çözünürlüğü, demir içeren çözeltilerin çözünürlüğüne, yarıyışlı Ca^{++} ve kalsiyum bileşiklerine, humus miktarına bağlı olarak değişmektedir. Araştırma sonuçları, topraklarda fosfor adsorpsiyonunda en etkili bileşenlerin demir bileşikleri, kireç ve organik madde sırasını takip ettiğini, fraksiyonlar bazında değerlendirme yapıldığında ise kil fraksiyonundaki fosfor adsorpsiyonunun silt fraksiyonundan daha baskın olduğu görülmüştür. Kil ve silt fraksiyonlarında kirecin etkinliğinin kil minerallerinin ve demir oksitlerin fosfor adsorpsiyonunu maskeleyici etkisi oluşmuştur. Bu sonuçta, gübre kullanımında, toprağın sorpsiyon kapasitesinde, toprağı oluşturan kireç, demir ve organik madde gibi toprak bileşenlerinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Fosfor sorpsiyon prosesinde, topraktaki kolay çözünen fosforun, toprağın fosfor adsorpsiyon kapasitesine bağlı olarak, yönlendirici gibi davrandığı, fosforlu gübrelemede toprak bileşenlerine, toprağın mineralojik yapısına dikkat edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Toprakların P-adsorpsiyon kapasiteleri ve fosfor doyumluk yüzdeleri bitki yetiştiriciliğinde makro besin kaynağı olan fosforun, toprak özellikleri göz önüne alınarak uygulanmasındaki önemini ortaya çıkarmaktadır. Temel toprak verimlilik analizleri gözetilerek yapılan gübre tavsiyelerinde, toprağın özelliklerinin (demir, kireç, organik madde ve kil içeriği) fosforlu gübrelemedeki etkileri dikkate alınmalıdır. Çalışma sonuçlarının ışığında; fosforlu gübrelemeye cevap alınamayan topraklarda, problemin kaynağının teşhis edilebilmesinde P-adsorpsiyon yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. P-adsorpsiyon değerinin her toprağı göre değiştiği unutulmamalıdır. Toprakların P-adsorpsiyon kapasiteleri de verimlilik programlarına alınması gerekli, takip gerektiren analizler kapsamında olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Afif, E., Matar, A. and Torrent, J. 1993. Availability of Oshosphate Applied to Calcareous Soils of West Asia and North Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 756–760.
- Agbenin, O.J. 2003. Extractable Iron and Aluminium Effects on Phosphate Sorption in a Savanna Alfisol. *Soil Science of America Journal*, 67, 589–595.
- Ağca, N. and Derici, M.R. 1999. Determination of Phosphorus Adsorption Using Varius Form of Isotherms in Soils of Adıyaman Çamgazi Plain. *Tr. J. Agriculture and Forestry. Tübitak*, 23(2), 404–407.
- Aktaş, M. 1998. Bitkilerde Beslenme Bozuklukları Nedenleri ve Tanınmaları. *Nurol Matbaacılık A.Ş.*, 31–33, Ankara.
- Almeida, J.A., 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, Udesc. Caixa Postal 281*.
- Allen, D. 2002. Standarditaion of Soil Test for Phosphorus. *Chemistry Centere (Wa), Grains Research and Development Corporation: Part 1 Sorption*
- Allison, L.E. 1965. *Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Part II, 1367–1378. Madison, Wisconsin.*
- AMAS. 1997. Phosphorus Fixation as Influenced By Soil Characteristics of Some Mauritian Soils. *Food and Agricultural Research Council Reduit Mauritius.*
- Amer, F. Mahmoud, A.A. and Sabet, V. 1985. Zeta Potential and Surface Area of Calcium carbonate as Related to Phosphate Sorption. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1137–1142.
- Andrade, A.T., Fernandes, L.A. and Faquin, V. 2002. Organic Residue, Limestone, Gypsum and Phosphorus Adsorption by Lowland Soils. *Sci. Agric*, 59(2).
- Ann, Y., Reddy, K.R. and Delfino, J.J. 2000. Influence of Redox Potential on Phosphorus Solubility in Chemically Amended Wetland Organic Soils. *Ecological Engineering*, 14, 69–180.
- Anonim, 2005. *Tarımsal Yapı ve Üretim. Şanlıurfa Tarım İl Müdürlüğü Proje İstatistik Şubesi. Şanlıurfa.*

- Arcak, Ç. 2003. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Sarayköy Araştırma ve Deneme İstasyonu Toprakları. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü, Teknik Rapor No:3, Ankara.
- Aquiera, N.H. and Jackson, M.L. 1953. Iron Oxide Removal From Soils and Clays. Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 17, 359–364.
- Aydemir, O. 1992. Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Atatürk Üniversitesi Yayınları No:734, Ziraat Fakültesi No: 315, Ders Kitapları Serisi No: 67, Erzurum.
- Aydemir, O. 1997. Toprak Verimliliği II Toprak-Bitki İlişkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları Yayın No:192, Erzurum.
- Bache, B.W. 1964. Aluminium and Iron Phosphate Studies Relating to Soil II. Reactions Between Phosphate and Hydrous Oxides. Journal of Soil Science, 15, 111–116.
- Bayraklı, F. 1998. Toprak Kimyası. Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:1, Baskı No:26, Samsun.
- Bennani, F., Badraoui, M. and Mikou, M. 2005. Monocalcium Phosphota Monohydrate Concentration in Soil Suspension Amended With Organic Matter. Phys. Iv. France, 123, 159–163.
- Bierman, P. 2001. Phosphorus Forms Transformations Availability and Transport. Plant Nutrients in The Environment Soil, 3416. <http://www.soils.umn.edu/academics/classes/soil3416>.
- Bolster, C. 2007. A Convenient Spreadsheet Method For Fitting Thr Nonlinear Langmuir Equation To Sorption Data. Bowling Green, Kentucky.
- Borggaard, O.K. 1983. The Influence of Iron Oxides on Phosphate Adsorption by Soil. European Journal of Soil Science, 34(2), 333–341.
- Borggaard, O.K., Jdrghsen, S.S. Moberg, J.P. and Raben-Lange, B. 1990. Influence of Organic Matter on Phosphate Adsorption by Aluminium and Iron Oxides in Sandy Soils. European Journal of Soil Science, 41, 443–449.
- Borggaard, O.K., Szilas, C., Gimsing, A.L. and Rasmussen, L.H. 2003. Estimation of Soil Phosphate Adsorption Capacity by Means of a Pedotransfer Function. Chemistry Department, Royal Veterinary and Agricultural University, 40, Thorvaldsensvej, Dk–1871, Frederiksberg C, Denmark.
- Boruvka, L. and Rechcigl, J.E. 2003. Phosphorus Retention by The Ap Horizon of a Spodosol as Influenced by Calcium Amendments. Soil Science, 168(10), 699–706.

- Bouyoucus, G.J. 1951. A Recalibration of The Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soil.
- Boyd, C.E. and Munsiri, P. 1996. Phosphorus Adsorption Capacity and Availability of Added Phosphorus in Soils from Aquaculture Areas in Thailand. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27(2). 160–167.
- Brasil, E. C. and Muraoka, T. 1995. Phosphorus Adsorption Capacity of Yellow Latosol and Red Yellow Podzolic Soil From Eastern Amazonia. *Boletim Da Faculdade De Ciencias Agrarias Do Para*, No: 24, 81–91.
- Breeuwsma, A. 1973. Adsorption of Ions On Hematite. *Med. Landbouw Hogeschool*, 73–1 Wageningen.
- Breeuwsma, A. and Silva, S. 1992. Phosphorus Fertilization and Environmental Effects in the Netherlands and the Po Region (Italy). *Agric. Res. Dep. 57*, Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Res., Wageningen, Netherlands.
- Bushiazzo, D.E., Hevia, G.G. and Hepper, E.N. 1990. Variation of Phosphorus Adsorption and Soil Properties in a Soil Climosequence of The Semiarid Argentinian Pampas. *Ciencia Del Suelo*, 8(2), 119–126.
- Campbell, K.L. and Edwards, D.R. 2001. Phosphorus and Water Quality. W. F. Ritter and A. Shirmonhamadi (Ed.), *Agricultural Nonpoint Source Pollution, Waterahed Management and Hydrology*, 91-107 Boca Raton, New York. Washington. D.C.
- Cole, C.V., Olsen, S.R. and Scott, C.O. 1953. The Nature of Phosphate Sorption by Calcium Carbonate. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 17, 352–356.
- Çakmak, M. E. 2007. Adsorpsiyon Teorisi. www.odevarsivi.com, Erişim Tarihi: 13/ 06/ 2007
- Dağlı, S. ve Akça, L. 2007. Yapay Sulakalan Sisteminde Fosfor Giderimine Ortam Malzemesinin Etkisi. *İTÜ Dergisi*, Cilt:17, Sayı:1, 51–59.
- Dainello, F.J. 2000. *Vegetable Production and Marketing News*. Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System, College Station, Texas.
- Daly, K., Jeffrey, D. and Tunney, H. 2001. The Effect of Soil Type on Phosphorus Sorption Capacity and Desorption Dynamics in Irish Grassland Soils. *Soil Use and Management*, 17(1), 12–20.
- D'Angelo, E.M., Sikora, F.J., Thom, W.O. and Crutchfield, J.D.A. 2001. Phosphorus Behavior in Soils and Potential Impacts on Water Quality. Department of Agronomy, Agricultural Water Quality Plan, University of Kentucky.

- DelBubba, M., Ariasb, C.A. and Brix, H. 2003. Phosphorus Adsorption Maximum of Sands for Use as Media Insubsurface Flow Constructed Reed Beds as Measured by The Langmuir Isotherm. *Water Research*, 37(14), 3390–3400.
- Delgado, A. and Torrent, J. 2000. Phosphorus Form and Desorption Pattern in Heavily Calcareous and Acid Soils. *Soil Science of America Journal*, 64, 2031–37.
- Derici, M.R. and Ağca, N. 1999. Phosphorus Adsorption of The Soils of The Gaziantep Kayacık Plain. *Tr. J. Agriculture and Forestry, Tübitak*, 23(2), 395–400.
- DİE. 1998. Tarımsal Yapı (Üretim, Fiyat, Değer). Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Yayınları, DİE Matbaası, Ankara.
- Dinç, 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, A. K., Yılmaz, K., Tunçgöğüs, B., Çavuşgil, V., Özbek, H., Gülüt, K. Y., Karaman, C., Dinç, O., Öztürk, N., Kara, E. E. 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) 1. Harran Ovası. TUBİTAK Tarım ve Ormanlık Grubu GÜDÜMLÜ Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, Proje TOAG-534.
- Douglas, S., Brian, H. and Chi Hua, H. 2004. Sediment Phosphorus Dynamics for Three Tile Fed Drainage Ditches in Northeast Indiana. *Agricultural Water Management, Indiana*.
- Duffera, M. and Robarge, W.P. 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.
- Dunne, E., Culleton, N., O'donovan, G. and Harrington, R. 2005. Phosphorus Retention and Sorption by Constructed Wetland Soils. Rmıs 4649a, Johnstown Castle Research Centre, Wexford.
- El-Nennah, M. 2007. Phosphate Adsorption by Na-, Mg- and Ca-Saturated Soil Clays. *Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde*, 138(1), 33–37.
- Ergene, A. 1993. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniversitesi Yayın No:586, Ziraat Fakültesi Yayın No:267, Ders Kitapları Seri No:42, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi. Erzurum.
- Falcao, N.P.S. and Silva, J.R.A. 2004. Phosphorus Adsorption Characteristics in Some Central Amazonian Soils. *Acta Amaz*, 34, No:3.
- Fox, R.L. and Kamprath, E.G. 1970. Phosphate Sorption Isotherm for Evaluating The Phosphate Requirements of Soil. *Soil Science. Soc. Am. Proc*, 34, 383–411.

- Freeman, J.S. and Rowell, D.L. 1981. The Sorption and Precipitation of Phosphate onto Calcite. *J. Soil. Sci*, 32, 75–84.
- Fried, M. and Shapiro, R.E. 1960. Soil Plant Relations in Phosphorus Uptake. *Soil Science*, 60, 69–76.
- Frossard, E. Brossard, M. Hedley, M.J. and Metherell, A. 2002. Phosphorus in the Global Environment. Institute for Plant Sciences, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), CH-8092 Zürich, Switzerland.
- Garcia, R. 1999. Soil Phosphorus Notes. Natural Resources Conservation Service. Soil Conservationist ve Water Quality Specialist, Reginal Precision Farming Pilot Project.
- Ghanbari, A. Maftoun, M. and Karimian, N. 1998. Phosphorus Adsorption Desorption Characteristics of Some Selected Highly Calcareous Soil of Fars Province. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 29(1), 181–194.
- Gimsing, A.L. and Borggaard, O.K. 2002. Competitive Adsorption and Desorption of Glyphosphate and Phosphate on Clay Silicats and Oxides. *Clay Minerals*, 37(3), 509–515.
- Gimsing, A.L. Borggaard, O.K. and Bang, M. 2004. Influence of Soil Composition on Adsorption of Glyphosate and Phosphate by Contrasting Danish Surface Soils. *European Journal of Soil Science*, 55, 183.
- Glass, A., 2004. Soil to Plant. Web Sitesi. <http://www.botany.ubc.ca/biol351/351c.htm>. Erişim Tarihi: 12.10.2004.
- Guilherme, L.R.G., Curi, N., Silva, M.L.N., Reno, N.B. and Machado, R.A.F. 2000. Phosphorus Adsorption in Lowland Soils From Minas Gerais State Brazil. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 24(1), 27–34.
- Guppy, C.N., Menzies, N.W., Blamey, F.P.C. and Moody, P.W. 2005. Do Decomposing Organic Matter Residues Reduce Phosphorus Sorption in Highly Weathered Soils. 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, K.H. 1971. Die Physikalische Untersuchung Von Böden. Enke Verlag Stuttgart. Pp. 31–50.
- Hatipoğlu, F. 1981. Orta Güney Anadolu Bölgesi Elma Ağaçlarının Demir Durumu ve Bu Topraklarda Elverişli Demir Miktarının Belirlenmesinde Kullanılacak Yöntemler Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:787, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler No:467, Ankara.
- Haygarth, P. 1997. Agriculture as a Source of Phosphorus Transfer to Water. Sources and Pathways. Scientific Committee on Phosphates in Europe, Newsletter European Chemical Industry Council, No: 21–15, Belgium.
- Holford, I.C.R., Chater, M. and Mattingly, G.E.G. 1990. Effects of Decalcification on The Phosphate Sorption Characteristics of Eight Calcareous Soils. Australian Journal of Soil Research, 28(6), 919–928.
- Jackson, M.L. 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall. Inc. Eng. Cliffs. New Jersey, Usa.
- Jackson, M.L. 1962. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall. Inc. Eng. Cliffs. N. J., Usa.
- Jiao, Y., Whalen, J.K. and Hendershot, W.H. 2007. Phosphate Sorption and Release in a Sady-Loam Soil as Influenced by Fertilizer Sources. Soil Science Soc. Am. J., 71, 118–124.
- Jin, V.L., Haines, B.L. West, L.T. and Peterson, C.J. 2004. Phosphorus Adsorption in Costa Rican Soils Along a Forest-Pasture Gradient. Department of Crop and Soil Sciences University of Georgia Athens, Ga.30602, Usa.
- Johan, E. Matsue, N. and Henmi, T. 1997. Phosphate Adsorption on Nano-Ball Allophane and Its Molecular Orbital Analysis. Abstract of Clay Science, 10(3).
- Jordao, C. P., Alves, N. M. and Pereira, J. L. 2000. Adsorption Of Cu^{+2} Ions by a Humic Yellow Red Oxisol. Quimica Nova, 23(1), 5-11.
- Karthikeyan, G. and Ilango, S.S. 2007. Fluoride Sorption Using Moringa Indica-Based Activated Carbon. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering, 4(1), 21–28.
- Khalid, R.A. Patrick, W.H. and Deluance, R.D. 1977. Phosphorus Adsorption Characteristics of Flooded Soils. Soil Science Society of American Journal, 41, 305–310.

- Klages, M.G., Olsen, R.A. and Haby, V.A. 1988. Relationship of Phosphorus Isotherm to Nahco₃-Extractable Phosphorus as Affected by Soil Properties. *Soil Science*, 146, 85–91.
- Kordlaghari, K.P. 2006. Sorption-Desorption Behavior of Phosphorus and Potassium in Four Soil Series of Isfahan. 18. World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, Usa.
- Korkmaz, K. 1977. Kireçli Toprakların Fosfor Durumlarının Belirlenmesi ve Fosfor Uygulamasının Mısır Verimine Etkisi. Tez (Doktora) - Çukurova Üniversitesi, Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Proje No: Zf2004d8(108–125), Adana.
- Kpombekou, A.K. and Tabatabai, M.A. 1997. Effect of Cropping Systems on Quantity /Intensity Relationships of Soil Phosphorus. *Soil Sci.*, 162, 56–68.
- Lajthal, K. and Harrison, A.F. 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.
- Li, H.X., Zhang, X.M. and Liu, Y.J. 2000. Soil Components Affecting Phosphota Sorption Parameters of Acid Paddy Soils in Guangdong Province. *Pedosphere*, 10(4), 317–321.
- Li, Y., Pang, R., Jie, X., Tan, J. and Liu, S. 2002. Influence of Low-Molecular Weigth on Phosphorus Adsorption - Desorption by Calcereous Aquent Soil. *Journal of Henan Agricultural University*, 36(2), 137.
- Lilienfein, J., Qualls, R.G., Uselman, S.M. and Bridgham, S.D. 2004. Adsorption of Dissolved Organic and Inorganic Phosphorus in Soils of a Weathering Chronosequence. *Soil Science of America Journal*, 68, 620–628.
- Lin, Z., Wu, X., Wang, X.P. and Yu, Y.M. 1991. Phosphorus Nutrition in Tea Soil in Red Earth Region of China. *Proceeding of The International Symposium on Tea Science Shizuoka*, 722–726, Japan.
- Loganathan, P., Isirimah, N.O. and Nwachuku, D.A. 1987. Phosphorus Sorption by Ultisols and Inceptisol of The Niger Delta in Southern Nigeria. *Soil Sci.*, 144, 330–338.
- Lopez, P., Lluch, X., Vidal, M. and Morgui, J.A. 1996. Adsorption of Phosphorus on Sediments of The Balearic Island Related to Their Composition. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42(2), 185–196.
- Low, Ks. and Lee, Ck. 1995. Crome Waste as Adsorbent For The Removel of Arsenic(V) From Aqueous Solution. *Environ. Technol.*, 16, 65–71.

- Lu, W., Zhang, F., Cao, Y., Wang, J. and Lu, W. 1999. Influence of Low-Molecular Weight Organic Acids on Kinetics of Phosphorus Adsorption by Soils. *Acta Pedologica Sinica*, 36(2), 189–197.
- Mann, R.A. and Bavor, H.J. 1993. Phosphorus Removal in Constructed Wetlands Using Gravel and Industrial Waste Substrata. *Wat. Sci. Technol.*, 27, 107–113
- Maughli, L., Westfall, D.G., Boukhal, A., Ryan, J. and Matar, A. 1991. Soil Phosphorus Adsorption and Evaluation of Soil Phosphorus Buffering Capacity Indices. Fertilizer Use Efficiency Under Rainfed Agriculture in West Asia and North Africa: Proceedings of The Fourth Regional Workshop Agadir, Morocco, 28–38. Icarda.
- Martin, A. E. and Reeve, R. 1955. A rapid manometric method for determining soil carbonate. *Soil Sci.* 79.187-197.
- Matar, A., Torrent, J. and Ryan, J. 1992. Soil and Fertilizer Phosphorus and Crop Responses in The Dryland Mediterranean Zone. *Adv. Soil Sci.*, 18, 81–146.
- Mehra, O.P. and Jackson, M.L. 1960. Iron Oxide Removal From Soil and Clays by a Dithionite-Citrate System Buffered With Sodium Bicarbonate. *Proc. 7th Natl. Conf. on Clays and Clay Minerals*, 317–327, New York.
- McLaren, R.G. and Cameron, K.C. 1996. *Soil Science. Sustainable Production and Environmental Protection*, Oxford University Press., 209–213, Melbourne Oxford, New York.
- Minor, H.C., Stecker, J. and Brown, J.R. 1993. Phosphorus in Missouri Soils. Department of Agronomy University of Missouri.
- Nagda, G.K., Ghole, V.S. and Diwan, A.M. 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.
- Naidu, R., Syersy, J.K., Tillman, R.W. and Kirkman, J.H. 1990. Effect of Liming on Phosphate Sorption by Acid Soils. *European Journal of Soil Science*, 41(1), 165–175.
- Nair, V.D., Portier, K.M., Graetz, D.A and Walker, M.L. 2004. An Environmental Threshold For Degree of Phosphorus Saturation in Sandy Soils. *J. Environ. Qual.*, 33, 107–113.
- Netter, R. and Bischofsberger, W. 1990. Sewage Treatment by Planted Soil Filters. P, F, Findlater Bc. (Eds.), *Constructed Wetlands In Water Pollution Control*, Pergamon Press., 525–528, Oxford.

- Ni, W.Z., Zhang, Y.S. 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, O.C., 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, S.R., Cole, V., Watanable, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of Avaible Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate. U. S. Dept. of Agr. Cir., 939, Washington. D.C.
- Oskay, K.S. 1986. The Influence of Time on Phosphate Retention and the Description of P Adsorption by Means of Langmuir Isotherm in Calcareous Soils. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 2, 252–261.
- Özkan, İ. 1985. Toprak Fiziği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 946, Ders Kitabı No:270, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- Page, A.L. Miller, R.H. and Keeney, D.R. 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, H.K. and Reddy, K.R. 2001. Phosphorus Sorption Characteristics of Estuarine Sediments Under Different Redox Conditions. *Journal of Environmental Quality*, 30, 1474–1480.
- Pereira, J.R. and De Faria, C.M.B. 1997. Phosphorus Sorption in Some Soils of The Semi-Arid Region of The Brazilian Northeast. *Aceito Para Publicação, Cpatsa.*
- Pierzynski, G.M. Sims, J.T. and Vance G.F. 1994. *Soil and Environmental Quality.* Lewis Publishers, Boca Raton.
- Pierzynski, G.M. 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.
- Pierzynski, G.M., Sims, J.T. and Vance, G.F. 2000. *Soil and Environmental Quality.* Lewis Publ., Fl.459, Boca Raton.
- 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.

- Ponnamperuma, F.N. 1972. The Chemistry of Submerged Soils. *Advances in Agronomy*, 24, 29–97.
- 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.
- Prasetyo, B.H. and Gilkes, R.J. 1994. Properties of Iron Oxides from Red Soil Driven from Volcanic Tuff in West Jawa. *Aust. J. Soil. Sci*, 32, 781–794.
- Randall, L.D., Zhang, H., Schroder, J.L., Wang, J.J., Payton, M.E. and Zazulak, A. 2005. Soil Characteristics and Phosphorus Level Effect on Phosphorus Loss in Runoff. *J. Environ. Qual.*, 34, 1640–1650.
- Reddy, K.R., Overcash, M.R., Khaleel, R. and Westerman, P.W. 1980. Phosphorus Adsorption-Desorption Characteristics of Two Soils Utilised for Disposal of Animal Wastes. *Journal of Environmental Quality*, 9, 86-92.
- Reddy, K.R., Connor, O.G.A. and Gale, P.M. 1998. Phosphorus Sorption Capacities of Wetland Soils and Stream Sediments Impacted by Dairy Effluent. *Journal of Environmental Quality*, 27, 438–447.
- Reddy, S.S., Kotaiah, B., Reddy, N.S.P. and Velu, M. 2006. The Removal of Composite Reactive Dye From Dyeing Unit Effluent Using Sewage Sludge Derived Activated Carbon. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 30, 367–373.
- Rhoton, F.E. and Bigham, J.M. 2005. Phosphate Adsorption by Ferrihydrite-Amended Soils. *J. Environ. Qual.*, 34, 890–896, Usa.
- Rhue, R.D. and Harris, R.G. 1999. Phosphorus Sorption-Desorption Reactions in Soils and Sediments. In Reddy, K. R. O'connor, G. A. And Schleske, C. L. (Eds.) *Phosphorus Biogeochemistry in Subtropical Ecosystems*, Lewis Publishers, 186-206, Boca Raton.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils*. U. S. Dep. Agr. Handbook 60.
- Roberts, J.C. 2005. Impact of Manure and Soil Test Phosphorus on Phosphorus Runoff From Soils Subjected to Simulated Rainfall. A Thesis Submitted to The Graduate Faculty of North Carolina State University in Partial Fulfillment of The Requirements For The Degree of Master of Science.
- Ryan, J., Curtin, D. and Cheema, M.A. 1985. Significance of Iron Oxides and Calcium Carbonate Particle Size in Phosphate Sorption by Calcareous Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 74–76.

- Sah, R.N., Mikkelsen, D.S. and Hafez, A.A. 1989. Phosphorus Behavior in Flooded Drained Soils. Iron Transformation and Phosphorus Sorption. Soil Science Society of America Journal, 53, 1723–1729.
- Saha, U. and Inoue, K. 1997. A Comparison of Some Commonly Used Adsorption Isotherms in Describing Phosphate Adsorption by Hydroxy-Interlayered Expansible Clays. Abstract of Clay Science, 10(3).
- Sahu, N.C. and Sahu, S.S. 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.
- Samadia, A. and Gilkesa, R.J. 1999. Phosphorus Transformation and Their Relationships With Calcareous Soil Properties of Southern Western Australia. Soil Science Society of America Journal, 63, 809–815
- Sanyal, S.K. and De Datta, S.K. 1991. Chemistry of Phosphorus Transformations in Soil. Advances in Soil Science, 16, 1–120.
- Sardi, K. and Csatho, H. 2002. Studies on The Phosphorus Adsorption of Different Soil Types and Nutrient Levels. 17.Wcss., Thailand.
- Sharma, K.N., Harjit, S., Vig, A.C. and Singh, H. 1994. Influence of Continuous Cropping and Fertilization on Adsorption and Desorption of Soil Phosphorus. Fertilizer Research, 40(2), 121–128.
- Sharyley, A.N. and Smith, S.J. 1985. Fractionation of Inorganic and organic Phosphorus in Virgin and Cultivated Soils . Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 127–130.
- Sharpley, A.N. 1995. Dependence of Runoff Phosphorus on Extractable Soil Phosphorus . J. Environ. Qual., 24, 920–926.
- Sezen, Y. 1995. Gübreler ve Gübreleme. Atatürk Üniversitesi Yayınları, Ziraat Fak.Yayın No:303, Ders Kitapları Serisi No:55, Erzurum.
- Siradz, S. 2007. IV. Phosphorus Sorption Characteristics of Soil, Kaolin and Iron Oxide Concentrates. Faculty of Agriculture, Gadjah Mada University, 55281, Indonesia.
- Solis, P. and Torrent, J. 1989. Phosphate Sorption by Calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. Soil Sci. Soc. Am. J., 53, 456–459.
- Sözüdoğru OK, S., Omar, S.M. ve Usta, S. 1996. Topraklarda Bor Adsorpsiyonu. Tarım Bilimleri, 2 (1), 19–22.

- Sui, Y. and Thompson, M.L. 2000. Phosphorus Sorption, Desorption and Buffering Capacity in a Biosolids-Amended Mollisol. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 164–169.
- Şenvar, C. 1981. *Temel Kimya*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları Yayın No:A 17, Öztekin Matbaacılık, Ankara.
- Taylor, A.W. and Kunishi, H.M. 1971. Phosphate Equilibria on Stream Sediment and Soil in a Watershed Draining an Agricultural Region. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 19, 827–831.
- Tofflemire, T.J. and Chen, M. 1977. Phosphate Removal by Sands and Soils. *Ground Water*, 15, 377–387.
- Tomura, S., Mameda, M., Inukai, K., Ohashi, F., Suzuki, M., Shibasaki, Y. and Suzuki, S. 1997. Water Vapor Adsorption Property of Various Clays and Related Materials for Applications to Humidity Self-Control Materials. *Abstract of Clay Science*, 10(3)
- Tüzüner, A. ve Küçtemur, İ.H. 1986. Toprakta Organik Madde Kireç Tuz Jips ve Demir Oksit Miktarlarının Bünye Analizine Olan Etkileri. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Genel Yayın No:138, Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayınları, 19, Ankara.
- Uzunoglu, S. 1992. Toprak Bünyesi ve Analiz Metotları. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No:184, Teknik Yayın No:T-64, Ankara.
- Valladares, G.S., Pereira, M.G. and Dos Anjos, U.H.C. 2003. Phosphate Sorption in Low Activity Clay Soils. *Bragantia Campinas*, 62(1), 111–118.
- Van Der Zee, S.E.A.T.M. and Riemsdijk, W.H. 1988. Model for Long-Term Phosphate Reaction Kinetics in Soil. *J. Environ. Qual.*, 17, 35–41.
- Van Der Houwen, J.A. and Valsami, J. 2001. The Application of Calcium Phosphate Precipitation Chemistry to Phosphorus Recovery: Influence of Organic Ligands. *Environmental Technology*, 122, 1325–1335.
- Veeresh, H., Patil, C.V., Vishwanath, J., Doyel, C. and Chaudhuri, D. 2001. Phosphorus Adsorption Characteristics in a Flyash Amended Vertisol. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, :49(2), 255–259.

- Walkley, A. and Black, I. A. 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.
- Yoo, J.H., Woo, H.M., Choi, Wi J., Yoo, S.H. and Han, K.H. 2006. Phosphorus Adsorption and Removal by Sediments of a Constructed Mars in Korea. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, 441-707, Republic of Korea.
- Yuan, T.L. 1980. Adsorption of Phosphate and Water Extractable Soil Organic Material by Synthetic Aluminium Silicates and Acid Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 951–955.
- Yurtsever, N. 1984. Deneysel İstatistik Metotlar. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Yayın No:121. Ankara.
- Zhang, N.W.Z. 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.
- Zhang, M.K., He, Z.L., Cakvert, D.V. and Stoffela, P.J. 2003. Colloidal Iron Oxide Transport in Sandy Soil Induced by Excessive Phosphorus Application. *Soil Science*, 168(9), 617–626.
- 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.

EKLER

EK 1 Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları	129
EK 2 Organik madde uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları	130
EK 3 Kireç uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	131
EK 4 Organik madde ve kireç uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	132
EK 5 Organik madde, kireç ve demir uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	133
EK 6 Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	134
EK 7 Organik madde uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	135
EK 8 Kireç uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	136
EK 9 Organik madde ve kireç uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	137
EK 10 Organik madde kireç ve demir uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çöztisi sonuçları.....	138
EK 11 S' ve S Değerlerinin hesaplanması.....	139
EK 12 Langmuir parametrelerinin hesaplanması	140
EK 13 Fosfor doyunluğu yüzdesinin hesaplanması.....	141

EK 1 Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Toprak	0	4,1	0	4,1	0
	0	4,1	0	4,1	0
	0	4,1	5	9,1	0
	0	4,1	5	9,1	0
	0	4,1	12,5	16,6	0
	0	4,1	12,5	16,6	0
	0	4,1	25	29,1	0
	0	4,1	25	29,1	0
	1,2575	4,1	93,5625	97,6625	0,012876
	1,2575	4,1	93,5625	97,6625	0,012876
	2,9125	4,1	177,1875	181,2875	0,016066
	2,9125	4,1	177,1875	181,2875	0,016066
Kil fraksiyonu	0	13,26	0	13,26	0
	0	13,26	0	13,26	0
	0	13,26	5	18,26	0
	0	13,26	5	18,26	0
	0	13,26	12,5	25,76	0
	0	13,26	12,5	25,76	0
	0	13,26	25	38,26	0
	0	13,26	25	38,26	0
	0,831	13,26	104,225	117,485	0,007073
	0,87	13,26	103,25	116,51	0,007467
	2,5255	13,26	186,8625	200,1225	0,01262
	2,5255	13,26	186,8625	200,1225	0,01262
Silt fraksiyonu	0	6,13	0	6,13	0
	0	6,13	0	6,13	0
	0	6,13	5	11,13	0
	0	6,13	5	11,13	0
	0	6,13	12,5	18,63	0
	0	6,13	12,5	18,63	0
	0	6,13	25	31,13	0
	0	6,13	25	31,13	0
	1,558	6,13	86,05	92,18	0,016902
	1,5725	6,13	85,6875	91,8175	0,017126
	5,282	6,13	117,95	124,08	0,042569
	5,2915	6,13	117,7125	123,8425	0,042728

EK 2 Organik madde uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Organik madde uzaklaştırılmış toprak	0	23,06	0	23,06	0
	0	23,06	0	23,06	0
	0	23,06	5	28,06	0
	0	23,06	5	28,06	0
	0	23,06	12,5	35,56	0
	0	23,06	12,5	35,56	0
	0	23,06	25	48,06	0
	0	23,06	25	48,06	0
	1,501	23,06	87,475	110,535	0,013579
	1,501	23,06	87,475	110,535	0,013579
	5,3215	23,06	116,9625	140,0225	0,038005
	5,0345	23,06	124,1375	147,1975	0,034202
Organik madde uzaklaştırılmış kil fraksiyonu	0	36,68	0	36,68	0
	0	36,68	0	36,68	0
	0	36,68	5	41,68	0
	0	36,68	5	41,68	0
	0	36,68	12,5	49,18	0
	0	36,68	12,5	49,18	0
	0	36,68	25	61,68	0
	0	36,68	25	61,68	0
	0,801	36,68	104,975	141,655	0,005655
	0,801	36,68	104,975	141,655	0,005655
	2,7615	36,68	180,9625	217,6425	0,012688
	2,7615	36,68	180,9625	217,6425	0,012688
Organik madde uzaklaştırılmış silt fraksiyonu	0	12,44	0	12,44	0
	0	12,44	0	12,44	0
	0	12,44	5	17,44	0
	0	12,44	5	17,44	0
	0	12,44	12,5	24,94	0
	0	12,44	12,5	24,94	0
	0	12,44	25	37,44	0
	0	12,44	25	37,44	0
	1,5335	12,44	86,6625	99,1025	0,015474
	1,538	12,44	86,55	98,99	0,015537
	5,154	12,44	121,15	133,59	0,038581
	5,169	12,44	120,775	133,215	0,038802

EK 3 Kireç uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Kireç uzaklaştırılmış toprak	0	139,71	0	139,71	0
	0	139,71	0	139,71	0
	0	139,71	5	144,71	0
	0	139,71	5	144,71	0
	0	139,71	12,5	152,21	0
	0	139,71	12,5	152,21	0
	0	139,71	25	164,71	0
	0	139,71	25	164,71	0
	1,72	139,71	82	221,71	0,007758
	1,7685	139,71	80,7875	220,4975	0,00802
	8,2565	139,71	43,5875	183,2975	0,045044
	8,266	139,71	43,35	183,06	0,045155
Kireç uzaklaştırılmış kil fraksiyonu	0	98,41	0	98,41	0
	0	98,41	0	98,41	0
	0	98,41	5	103,41	0
	0	98,41	5	103,41	0
	0	98,41	12,5	110,91	0
	0	98,41	12,5	110,91	0
	0	98,41	25	123,41	0
	0	98,41	25	123,41	0
	1,373	98,41	90,675	189,085	0,007261
	1,373	98,41	90,675	189,085	0,007261
	3,338	98,41	166,55	264,96	0,012598
	3,289	98,41	167,775	266,185	0,012356
Kireç uzaklaştırılmış silt fraksiyonu	0	30,24	0	30,24	0
	0	30,24	0	30,24	0
	0	30,24	5	35,24	0
	0	30,24	5	35,24	0
	0	30,24	12,5	42,74	0
	0	30,24	12,5	42,74	0
	0	30,24	25	55,24	0
	0	30,24	25	55,24	0
	2,167	30,24	70,825	101,065	0,021442
	2,162	30,24	70,95	101,19	0,021366
	6,3235	30,24	91,9125	122,1525	0,051767
	6,3285	30,24	91,7875	122,0275	0,051861

EK 4 Organik madde ve kireç uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Organik madde–Kireç uzaklaştırılmış toprak	0	68,95	0	68,95	0
	0	68,95	0	68,95	0
	0	68,95	5	73,95	0
	0	68,95	5	73,95	0
	0	68,95	12,5	81,45	0
	0	68,95	12,5	81,45	0
	1,3405	68,95	0	68,95	0,019442
	0,9805	68,95	0,4875	69,4375	0,014121
	1,973	68,95	75,675	144,625	0,013642
	1,973	68,95	75,675	144,625	0,013642
	5,8815	68,95	102,9625	171,9125	0,034212
	4,3485	68,95	141,2875	210,2375	0,020684
Organik madde–Kireç uzaklaştırılmış kil fraksiyonu	2,84	181,78	0	181,78	0,015623
	2,8305	181,78	0	181,78	0,015571
	2,845	181,78	0	181,78	0,015651
	2,846	181,78	0	181,78	0,015656
	2,737	181,78	0	181,78	0,015057
	2,742	181,78	0	181,78	0,015084
	2,894	181,78	0	181,78	0,01592
	2,889	181,78	0	181,78	0,015893
	4,3585	181,78	16,0375	197,8175	0,022033
	4,3535	181,78	16,1625	197,9425	0,021994
	6,5445	181,78	86,3875	268,1675	0,024405
	6,5545	181,78	86,1375	267,9175	0,024465
Organik madde–Kireç uzaklaştırılmış silt fraksiyonu	0	35,41	0	35,41	0
	0	35,41	0	35,41	0
	0	35,41	5	40,41	0
	0	35,41	5	40,41	0
	0	35,41	12,5	47,91	0
	0	35,41	12,5	47,91	0
	0	35,41	25	60,41	0
	0	35,41	25	60,41	0
	2,799	35,41	55,025	90,435	0,03095
	2,799	35,41	55,025	90,435	0,03095
	8,1695	35,41	45,7625	81,1725	0,100644
	8,1695	35,41	45,7625	81,1725	0,100644

EK 5 Organik madde, kireç ve demir oksit uzaklaştırılmış Düver serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Organik madde–Kireç– Demir oksit uzaklaştırılmış toprak	1,572	67,79	0	67,79	0,023189
	1,5915	67,79	0	67,79	0,023477
	2,545	67,79	0	67,79	0,037542
	2,54	67,79	0	67,79	0,037469
	2,1225	67,79	0	67,79	0,03131
	2,1225	67,79	0	67,79	0,03131
	2,255	67,79	0	67,79	0,033264
	2,255	67,79	0	67,79	0,033264
	4,993	67,79	0,175	67,97	0,073464
	4,993	67,79	0,175	67,97	0,073464
	8,239	67,79	44,025	111,8	0,073684
	8,249	67,79	43,775	111,6	0,073939
Organik madde–Kireç–Demir oksit uzaklaştırılmış kil fraksiyonu	6,652	104,97	0	105	0,06337
	6,642	104,97	0	105	0,063275
	8,715	104,97	0	105	0,083024
	8,718	104,97	0	105	0,083052
	7,359	104,97	0	105	0,070106
	7,35	104,97	0	105	0,07002
	7,812	104,97	0	105	0,074421
	7,821	104,97	0	105	0,074507
	11,565	104,97	0	105	0,110174
	11,575	104,97	0	105	0,11027
	21,72	104,97	0	105	0,206916
	21,5975	104,97	0	105	0,205749
Organik madde–Kireç–Demir oksit uzaklaştırılmış silt fraksiyonu	0,167	7,28	0	7,28	0,02294
	0,167	7,28	0	7,28	0,02294
	1,056	7,28	0	7,28	0,145055
	1,059	7,28	0	7,28	0,145467
	0,4865	7,28	0,3375	7,618	0,063866
	0,4865	7,28	0,3375	7,618	0,063866
	0,8205	7,28	4,4875	11,77	0,069726
	0,8255	7,28	4,3625	11,64	0,070904
	3,9795	7,28	25,5125	32,79	0,121354
	3,999	7,28	25,025	32,31	0,123789

EK 6 Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Toprak	0	11,67	0	11,67	0
	0	11,67	0	11,67	0
	0	11,67	5	16,67	0
	0	11,67	5	16,67	0
	0	11,67	12,5	24,17	0
	0	11,67	12,5	24,17	0
	0	11,67	25	36,67	0
	0	11,67	25	36,67	0
	1,0855	11,67	97,8625	109,5325	0,00991
	1,0855	11,67	97,8625	109,5325	0,00991
	4,2045	11,67	144,8875	156,5575	0,026856
	4,2105	11,67	144,7375	156,4075	0,02692
Kil fraksiyonu	0	35,03	0	35,03	0
	0	35,03	0	35,03	0
	0	35,03	5	40,03	0
	0	35,03	5	40,03	0
	0,9485	35,03	0	35,03	0,027077
	0,9485	35,03	0	35,03	0,027077
	1,0715	35,03	0	35,03	0,030588
	1,0715	35,03	0	35,03	0,030588
	2,236	35,03	69,1	104,13	0,021473
	2,216	35,03	69,6	104,63	0,021179
	4,171	35,03	145,725	180,755	0,023075
	4,181	35,03	145,475	180,505	0,023163
Silt fraksiyonu	0	9,76	0	9,76	0
	0	9,76	0	9,76	0
	0	9,76	5	14,76	0
	0	9,76	5	14,76	0
	0	9,76	12,5	22,26	0
	0	9,76	12,5	22,26	0
	0	9,76	25	34,76	0
	0	9,76	25	34,76	0
	1,8565	9,76	78,5875	88,3475	0,021014
	1,8565	9,76	78,5875	88,3475	0,021014
	4,753	9,76	131,175	140,935	0,033725
	4,753	9,76	131,175	140,935	0,033725

EK 7 Organik madde uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Organik madde uzaklaştırılmış toprak	0	17,27	0	17,27	0
	0	17,27	0	17,27	0
	0	17,27	5	22,27	0
	0	17,27	5	22,27	0
	0	17,27	12,5	29,77	0
	0	17,27	12,5	29,77	0
	0	17,27	25	42,27	0
	0	17,27	25	42,27	0
	1,5475	17,27	86,3125	103,5825	0,01494
	1,567	17,27	85,825	103,095	0,0152
	4,343	17,27	141,425	158,695	0,027367
	4,343	17,27	141,425	158,695	0,027367
Organik madde uzaklaştırılmış kil fraksiyonu	0,958	223,33	0	223,33	0,00429
	0,948	223,33	0	223,33	0,004245
	0,958	223,33	0	223,33	0,00429
	0,948	223,33	0	223,33	0,004245
	0,968	223,33	0	223,33	0,004334
	0,958	223,33	0	223,33	0,00429
	1,027	223,33	0	223,33	0,004599
	1,027	223,33	0	223,33	0,004599
	1,2135	223,33	94,6625	317,9925	0,003816
	1,194	223,33	95,15	318,48	0,003749
	1,341	223,33	216,475	439,805	0,003049
	1,346	223,33	216,35	439,68	0,003061
Organik madde uzaklaştırılmış silt fraksiyonu	0	38,01	0	38,01	0
	0	38,01	0	38,01	0
	0	38,01	5	43,01	0
	0	38,01	5	43,01	0
	0	38,01	12,5	50,51	0
	0	38,01	12,5	50,51	0
	0	38,01	25	63,01	0
	0	38,01	25	63,01	0
	1,9425	38,01	76,4375	114,4475	0,016973
	1,9425	38,01	76,4375	114,4475	0,016973
	5,3875	38,01	115,3125	153,3225	0,035138
	5,3875	38,01	115,3125	153,3225	0,035138

EK 8 Kireç uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Kireç Giderilmiş Toprak	0	97	0	97	0
	0	97	0	97	0
	0	97	5	102	0
	0	97	5	102	0
	0	97	12,5	109,5	0
	0	97	12,5	109,5	0
	0	97	25	122	0
	0	97	25	122	0
	3,732	97	31,7	128,7	0,028998
	3,732	97	31,7	128,7	0,028998
	7,416	97	64,6	161,6	0,045891
	7,4495	97	63,7625	160,7625	0,046339
Kireç Giderilmiş Kil Fraksiyonu	2,864	646,28	0	646,28	0,004432
	2,864	646,28	0	646,28	0,004432
	2,805	646,28	0	646,28	0,00434
	2,8065	646,28	0	646,28	0,004343
	2,782	646,28	0	646,28	0,004305
	2,782	646,28	0	646,28	0,004305
	2,7145	646,28	0	646,28	0,0042
	2,7195	646,28	0	646,28	0,004208
	3,65	646,28	33,75	680,03	0,005367
	3,6405	646,28	33,9875	680,2675	0,005352
	4,8315	646,28	129,2125	775,4925	0,00623
	4,846	646,28	128,85	775,13	0,006252
Kireç Giderilmiş Silt Fraksiyonu	1,066	101,78	0	101,78	0,010474
	1,0515	101,78	0	101,78	0,010331
	1,1445	101,78	0	101,78	0,011245
	1,1545	101,78	0	101,78	0,011343
	1,0905	101,78	0	101,78	0,010714
	1,0905	101,78	0	101,78	0,010714
	1,287	101,78	0	101,78	0,012645
	1,2625	101,78	0	101,78	0,012404
	3,675	101,78	33,125	134,905	0,027241
	3,6945	101,78	32,6375	134,4175	0,027485
	7,5365	101,78	61,5875	163,3675	0,046132
	7,5515	101,78	61,2125	162,9925	0,04633

EK 9 Organik madde ve kireç uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Organik madde– Kireç uzaklaştırılmış toprak	1,8325	109,16	0	109,16	0,016787
	1,8325	109,16	0	109,16	0,016787
	1,93	109,16	0	109,16	0,01768
	1,9315	109,16	0	109,16	0,017694
	2,0445	109,16	0	109,16	0,018729
	2,0445	109,16	0	109,16	0,018729
	2,2805	109,16	0	109,16	0,020891
	2,281	109,16	0	109,16	0,020896
	4,7735	109,16	5,6625	114,8225	0,041573
	4,7735	109,16	5,6625	114,8225	0,041573
	8,3995	109,16	40,0125	149,1725	0,056307
	8,4095	109,16	39,7625	148,9225	0,056469
Organik madde–Kireç uzaklaştırılmış kil fraksiyonu	2,459	272,2	0	272,2	0,009034
	2,435	272,2	0	272,2	0,008946
	2,5255	272,2	0	272,2	0,009278
	2,5285	272,2	0	272,2	0,009289
	2,6085	272,2	0	272,2	0,009583
	2,604	272,2	0	272,2	0,009566
	3,1485	272,2	0	272,2	0,011567
	3,134	272,2	0	272,2	0,011514
	3,5005	272,2	37,4875	309,6875	0,011303
	3,5005	272,2	37,4875	309,6875	0,011303
Organik madde–Kireç uzaklaştırılmış silt fraksiyonu	0,771	158,93	0	158,93	0,004851
	0,771	158,93	0	158,93	0,004851
	0,781	158,93	0	158,93	0,004914
	0,791	158,93	0	158,93	0,004977
	2,0395	158,93	0	158,93	0,012833
	2,0395	158,93	0	158,93	0,012833
	2,051	158,93	0	158,93	0,012905
	2,091	158,93	0	158,93	0,013157
	3,9135	158,93	27,1625	186,0925	0,02103
	3,9245	158,93	26,8875	185,8175	0,02112
	8,0555	158,93	48,6125	207,5425	0,038814
	8,0495	158,93	48,7625	207,6925	0,038757

EK 10 Organik madde, kireç ve demir oksit uzaklaştırılmış Harran serisi toprağı ile kil ve silt fraksiyonlarının denge çözeltisi sonuçları

	Final P C (mg/L)	Yüzey P So (mg/kg)	Ads. P S' (mg/kg)	Toplam Ads. P S (mg/kg)	C/S
Organik madde–Kireç– Demir oksit uzaklaştırılmış toprak	0,5305	76,77	0	76,77	0,00691
	0,53	76,77	0	76,77	0,006904
	0,6155	76,77	0	76,77	0,008017
	0,6155	76,77	0	76,77	0,008017
	0,673	76,77	0	76,77	0,008766
	0,668	76,77	0	76,77	0,008701
	0,8205	76,77	4,4875	81,2575	0,010098
	0,8205	76,77	4,4875	81,2575	0,010098
Organik madde–Kireç–Demir oksit uzaklaştırılmış kil fraksiyonu	8,254	431,62	0	431,62	0,019123
	8,18	431,62	0	431,62	0,018952
	7,766	431,62	0	431,62	0,017993
	7,7855	431,62	0	431,62	0,018038
	7,954	431,62	0	431,62	0,018428
	7,91	431,62	0	431,62	0,018326
	8,755	431,62	0	431,62	0,020284
	8,691	431,62	0	431,62	0,020136
	8,534	431,62	0	431,62	0,019772
	8,5435	431,62	0	431,62	0,019794
Organik madde–Kireç–Demir oksit uzaklaştırılmış silt fraksiyonu	0,732	58,89	0	58,89	0,01243
	0,732	58,89	0	58,89	0,01243
	1,243	58,89	0	58,89	0,021107
	1,244	58,89	0	58,89	0,021124
	0,9775	58,89	0	58,89	0,016599
	0,975	58,89	0	58,89	0,016556
	1,0955	58,89	0	58,89	0,018602
	1,095	58,89	0	58,89	0,018594
	2,81	58,89	54,75	113,64	0,024727
	2,8135	58,89	54,6625	113,5525	0,024777

EK 11 S' ve S Değerlerinin hesaplanması

$$S'(\text{mg/kg}) = (C_o (\text{mg/L}) - C (\text{mg/kg})) * f$$

$$S = S_o + S'$$

- S : Toplam adsorplanan fosfor miktarı (mg/kg)
C : Denge çözeltisinin fosfor konsantrasyonu (mg/ L)
C_o : Başlangıç fosfor konsantrasyonu (mg/L) (Ekst. çözeltilisine ilave edilen P)
S_o : Başlangıçta adsorplanmış fosfor miktarı (mg/kg) (Olsen P analiz değeri)
S' : Denge esnasında adsorplanan fosfor miktarı P(mg/L)
f : Birim çevirme faktörü

EK 12 Langmuir parametrelerinin hesaplanması

Lineer Langmuir İzoterm Eşitliği:

$$C/S = 1/kS_{\max} + C/S_{\max}$$

S : Adsorplanan fosfor miktarı (mg/kg)
C : Denge çözeltisinin fosfor konsantrasyonu (mg/ L)
S_{max} : Fosfor adsorpsiyon maksimumu (mg/kg)
k : Tutma enerjisi (L/mgP)

$$S_{\max} = 1/(\text{eğim değeri})$$
$$k = 1/(\text{kayma değeri} * S_{\max})$$

S_{max} : Fosfor adsorpsiyon maksimumu (mg/kg)
k : Tutma enerjisi (L/mgP)

EK 13 Fosfor doyunluğu yzdesinin hesaplanması

$$\% P = \text{Olsen fosfor değeri (mg/kg)} * 100 / S_{\text{max}} \text{ (mg/kg)}$$

P : Fosfor doyunluk (saturasyon) değeri

ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI : İlknur YURDAKUL

DOĞUM YERİ : Niğde

DOĞUM TARİHİ : 1966

MEDENİ HALİ : Evli

YABANCI DİLİ : İngilizce

EĞİTİM DURUMU:

Lise : Ankara Kız Lisesi (1983)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği (1987)

Yüksek Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü (2003)

ÇALIŞTIĞI KURUMLAR ve YILI:

Kimya Mühendisi: Türkiye Süt Endüstrisi Kurumu (1988-1991)

Kimya Mühendisi: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü (Kalite Yöneticisi) (1991-...)

YAYINLARI:

1. Gedikoğlu, İ. Kalınbacak, K. Yalçıklı, A. **Yurdakul, İ.** 1995. Potansiyel Toksik Olan Bazı Ağır Metallerin Bitki Gelişimine Olan Etkileri ve Toprakta Ekstrakte Edilmelerinde Farklı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Kıyaslanması. İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu. CiltII, 2-11, Ankara.
2. Gedikoğlu, İ. Kalınbacak, K. Yalçıklı, A. **Yurdakul, İ.** 1996. Azot, Fosfor ve Potasyumun Domatesin Bazı Kalite Özelliklerine Olan Etkisi. Toprak ve Su Kaynakları Araşt.Yıllığı, Yayın No.102. 322-343, Ankara.

3. Gedikoğlu, İ. Kalınbacak, K. **Yurdakul, İ.** Yalçıklı, A. 1997. Bazı Ağır Metallerin Toprakтан Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Buğday Yetiştirilerek Kalibrasyonu. Toprak ve Su Kaynakları Araşt. Yıllığı, Yayın No. 106. 330-345, Ankara.
4. Gedikoğlu, İ. Kalınbacak, K. Yalçıklı, A. **Yurdakul İ.** 1997. Toprak ve Bitkide Çinkonun Toksiklik Sınırının Belirlenmesi ve Biyoyarayışlı Çinko Miktarının Belirlenmesinde Çeşitli Ekstraksiyon Yöntemlerinin Buğday ile Kalibrasyonu. 1.Ulusal Çinko Kongresi. 303-310, Eskişehir.
5. Gedikoğlu, İ. Kalınbacak, K. **Yurdakul, İ.** 2001. Çeşitli Deterjan Yüzey Aktif Maddelerinin Buğday, Domates ve Soyada Gelişim ve Verim Üzerine Etkileri, Toprak ve Su Kaynakları Araşt. Yıllığı, Yayın No.119. 314-330, Ankara.
6. Gedikoğlu, İ. Kalınbacak, K. **Yurdakul, İ.** 2001. Toprağa ve Yaprաđa Uygulanan Kalsiyumun Domateste Çiçek Burnu Çürüklüğüne Etkisi. Toprak ve Su Kaynakları Araşt. Yıllığı, Yayın No.119. 346-356, Ankara.
7. Eyüpoğlu, F. Arcak, Ç. **Yurdakul, İ.** 2001. Trakya Bölgesi Topraklarının Verimlilik Durumu. Trakya Toprak Su Kaynakları Sempozyumu. 279-285, Kırklareli.
8. **Yurdakul, İ.** 2003. Isparta Yöresi Elma Bahçelerindeki Toprakların Bitkiye Yarayışlı Fosforunun Belirlenmesinde Değişik Ekstraksiyon Yöntemlerinin Araştırılması Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
9. Erdal, İ. **Yurdakul, İ.** 2004. Aydemir, O. Isparta Yöresi Elma Bahçelerinin Verimlilik Durumları. 3. Ulusal Gübre Kongresi.1061-1070, Tokat.
10. **Yurdakul, İ.** Kalınbacak, K. Terzi, D. Peker, M. 2008. Bazı Ağır Metallerin Tarla Koşullarında Buğday ve Nohut Bitkilerinin Verimlerine Etkileri ve Toksiklik Belirtileri. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yayın No. TAGEM-BB-TOPRAKSU-2008/53. Genel Yayın No.241. Rapor Seri No. R-153. Ankara.