



# Toprak bileşenlerinin bazı fosfor fraksiyonlarına etkisi

## Effect of soil components on some phosphorus fractions

İlknur YURDAKUL<sup>1\*</sup>, Sadık USTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yenimahalle, Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı, Dışkapı, Ankara

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0430-5958>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5739-9962>

### ÖZ

#### To cite this article:

Yurdakul, İ. & Usta, S. (2023). Toprak bileşenlerinin bazı fosfor fraksiyonlarına etkisi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 27(4): 610-623  
DOI: 10.29050/harranziraat.1357243

#### \*Address for Correspondence:

İlknur YURDAKUL

e-mail:

ilknur.yurdakul@tarimorman.gov.tr

#### Received Date:

08.09.2023

#### Accepted Date:

12.12.2023

Bitki yetiştiriciliğinde makro bitki besin elementi olan fosfor (P) bitki gelişiminde önemli bir besin kaynağıdır. Topraklarda yeterli P olmasına karşın bitkinin bu P'dan faydalanmadığı durumlar bitki gelişiminin kısıtlanmasına neden olmaktadır. Bu amaçla alınabilir P problemleri olan ağır bünyeli iki toprakta çalışma yapılmıştır. Toprakta kireç, organik madde ve demir oksitler uzaklaştırılarak P fraksiyonlarına etkileri takip edilmiştir. Organik madde giderme işlemi (OG) için toprağa %30'luk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilerek ısıtma işlemi yapılmış fazla H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yıkanarak uzaklaştırılmıştır. Kireç giderme işlemi (KG) için toprağa 1.0 N HCl çözeltisi ilave edilmiş, kabarma tamamlandığında toprak yüzeyindeki su yıkanarak sifonlanmıştır. Kireç, organik madde ve demir giderme işlemi (KODG) için toprak üzerine 0.5 M NaHCO<sub>3</sub>, 0.3 M Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub> çözeltisi ve Na-dithionite ilave edilerek su banyosunda ısıtılıp, buharlaştırılmış, renk beyazlaşınca kadar işleme devam edilmiştir. Her iki toprak için tek tek ve ardışık bileşen uzaklaştırma işlemi yapılarak OG, KG, Kireç ve organik madde giderme işlemi (KOG) ile KODG konuları oluşturulmuştur. Farklı ön işlemlerden geçirilerek toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların P-adsorpsiyon maksimumları (S<sub>max</sub>) bulunmuştur. Elde edilen denge çözeltisi P miktarları (C) ve adsorplanan P (S) verileri kullanılarak Langmuir adsorpsiyon izoterminin doğrusallaştırılmış denklemi oluşturulmuştur. P fraksiyonları, yaş yakma, kuru yakma ve NaHCO<sub>3</sub> (pH 8.5) ekstraksiyonu kullanılarak tayin edilmiştir. Düver ve Harran serisinde toplam fosfor (P<sub>T</sub>) 804 ve 858 mg kg<sup>-1</sup>, organik fosfor (P<sub>o</sub>) 430 ve 340 mg kg<sup>-1</sup>, inorganik fosfor (P<sub>i</sub>) 374 ve 518 mg kg<sup>-1</sup>, Olsen fosforu (P<sub>Ois</sub>) 4.10 ve 11.67 mg kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Toprak bileşenlerinin giderilmesi ile P<sub>T</sub> arasındaki regresyon, Düver serisinde önemli olmuştur (0.795\*). Giderme işlemleri P<sub>T</sub> değerinde azalma gerçekleştirmiş ve istatistiki anlamda önemli olmuştur (F=10.24\*, P<0.05; F=16.95\*\*, P<0.01). Giderme işlemleri ile P<sub>i</sub> miktarı arasındaki regresyon ilişkisi (0.905\* ve 0.789\*) önemli olmuştur. Düver serisinde istatistiki önem F=31.43\*\*, P<0.01 iken Harran serisinde F=51.15\*\*, P<0.01 elde edilmiştir. Her iki toprakta konular arasındaki önemlilik sırasıyla (F=6.06\*, P<0.05; F=8.59\*, P<0.05) %5 seviyesinde olmuştur. P<sub>T</sub>'un en düşük olduğu noktada (her üç bileşenin de topraktan uzaklaştırıldığı durum) S<sub>max</sub> değerinin de düşük olduğu görülmüştür. P<sub>T</sub> miktarındaki değişime karşın S<sub>max</sub> değişimi Düver serisi toprağında önemli olmamış, Harran serisi toprağında önemli olmuştur (F=7.75, P<0.05). Toprak bileşenlerinin giderilmesi toprağın S<sub>max</sub> ve P<sub>T</sub> miktarlarında artışa neden olurken P<sub>Ois</sub> miktarında azalmaya neden olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Fosfor fraksiyonu, demir, organik madde, kireç, toprak

#### - ABSTRACT

Phosphorus (P), a macro plant nutrient element in plant cultivation, is an important nutrient source for plant growth. Despite sufficient P in the soil, there are situations where the plant cannot utilize this P, leading to constraints in plant growth. To address this, studies were conducted on two heavy-textured soils with P availability issues. The effects of removing lime, organic matter, and iron oxides from the soil were monitored on P fractions. For organic matter removal (OG), 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was added to the soil and heated, and excess H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was washed away. For the lime removal process (KG), 1.0 N



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

HCl solution was added to the soil, and when swelling was completed, the water on the soil surface was washed and siphoned. For lime, organic matter and iron removal process (KODG), 0.5 M NaHCO<sub>3</sub>, 0.3 M Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub> solution and Na-dithionite were added to the soil, heated in a water bath and evaporated, and the process continued until the color turned white. OG, KG, lime and organic matter removal process (KOG) and KODG subjects were created by removing components individually and sequentially for both soils. P-adsorption maximums ( $S_{max}$ ) of soils from which soil components were removed by undergoing different pre-treatments were found. The obtained equilibrium solution P amounts (C) and adsorbed P (S) data were used to create the linearized equation of the Langmuir adsorption isotherm. The P fractions were determined using wet digestion, dry digestion and NaHCO<sub>3</sub> (pH 8.5) extraction. In the Düver and Harran series total phosphorus ( $P_T$ ) was found to be 804 and 858 mg kg<sup>-1</sup>, organic phosphorus ( $P_o$ ) was 430 and 340 mg kg<sup>-1</sup>, inorganic phosphorus ( $P_i$ ) was 374 and 518 mg kg<sup>-1</sup>, Olsen phosphorus ( $P_{Ols}$ ) was 4.10 and 11.67 mg kg<sup>-1</sup>. The regression between removal of soil components and  $P_T$  was significant (0.795\*) in the Düver series. Removals resulted in a decrease in the  $P_T$  value and was statistically significant ( $F=10.24^*$ ,  $P<0.05$ ;  $F=16.95^{**}$ ,  $P<0.01$ ). The regression relationship between removal processes and  $P_i$  amount was significant (0.905\* and 0.789\*). While statistical significance was obtained as  $F=31.43^{**}$ ,  $P<0.01$  in the Düver series,  $F=51.15^{**}$ ,  $P<0.01$  in the Harran series. The significance between the subjects in both soils was at the level of 5%, respectively ( $F=6.06^*$ ,  $P<0.05$ ;  $F=8.59^*$ ,  $P<0.05$ ). It was observed that at the point where  $P_T$  was lowest (when all three components were removed from the soil),  $S_{max}$  was also low. While there was no significant change in  $S_{max}$  in response to changes in  $P_T$  in the Düver series soil, it was significant in the Harran series soil ( $F=7.75$ ,  $P<0.05$ ). The removal of soil components led to an increase in  $S_{max}$  and  $P_T$  amounts of soil, while causing a decrease in the amount of  $P_{Ols}$ .

**Key Words:** Phosphorus fraction, iron, organic matter, lime, soil

## Giriş

Fosfor (P) bitkilerde, enerji transferinin yapılmasını, şekerlerin ve nükleik asitlerin oluşmasını, genetik özelliklerinin belirlenmesini, DNA'nın oluşumunu, hücre bölünmesini, çiçek ve meyve oluşumunu etkileyen önemli bir besindir (Foth, 1984; Plaster, 1992; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez ve ark., 2001; McCauley et al., 2009) Bitkiler P'ü fotosentez, solunum, nükleik asit ve zar biyosentezinde ve enzimlerde kullanılmaktadır (Xu et al., 2019; Hawkesford et al., 2022). Fosfor, bitkiler tarafından ortofosfatlar şeklinde alınmaktadır (Cong et al., 2020). Toprağın katı fazından çözeltisine P geçişi nedeniyle iki faz (Labil ve inlabil P havuzu) denge halinde kalabilmektedir. Hedley et al. (1982) fraksiyonasyonlarının labil P havuzu (reçine-P ve NaHCO<sub>3</sub>-P) metotları doğal P alımını taklit ettiği için yaygın olarak kullanılmaktadır (Hou et al., 2018; Johnson et al., 2003; Negassa and Leinweber, 2009; Klotzbücher et al., 2019, Gu et al., 2020).

immobilizasyon/mineralizasyon ve bitki alımı/bitki parçalanması gibi kimyasal ve biyolojik etkiler altındadır (Campbell and Edwards, 2001). Bununla birlikte bitkiler simbiyotik ilişkide oldukları mikorizal mantarlar ile toprak çözeltisinden az miktarda inorganik fosforu ( $P_i$ , ortofosfat-HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ya da H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) alabilmekte (Lambers, 2021), organik fosfor ( $P_o$ ) kök salgıları ve hidroliz ile alınabilmektedir (Ghahremani et al., 2019).

Toprakta hareketsiz P'un mobilizasyonu, karboksilat veya fosfataz salınımı ile absorbe edilmiş inorganik fosfor ( $P_i$ ) veya  $P_o$ 'un ayrışarak yarıyışlı formlara dönüşümü ile oluşmaktadır. Bu mekanizma bitkilerin küme kökleri ve mikorizal mantar türleri ile sağlanmaktadır. Bitkiler mantarlarla mikorizal kolonizasyon oluşturularak çok sayıda kök oluşturur ve kök rizosferine uzak bölgelerin P'una ulaşabilir (Mai et al., 2019, Lambers, 2021).

Genelde topraklarda toplam fosfor ( $P_T$ ) 500-1000 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişmektedir (Schulte and Kellikng, 1996). Toplam  $P_i$ 'un %75'i asidik topraklarda demir/alüminyum fosforu (Fe/Al-P) ve alkali topraklarda kalsiyum fosforu (Ca-P)'dan oluşmakta ve toprağa ilave edilen P'dan bu formlar etkilenmezken Olsen fosforu/alınabilir fosfor ( $P_{Ols}$ ) etkilenmektedir (Marschner et al., 2005; Voort,

Topraktaki P dinamiği, adsorpsiyon/desorpsiyon, çökme/tekrar çözünme,

2010). Organik fosfor yarı kurak iklim bölgelerinde  $P_r$ 'un önemli bir bölümünü oluşturmakta, toprağın  $P_o$ 'unun pek çoğu Fe-P ve Al-P'u olarak tutulmakta ve  $P_i$ 'un çoğu ise Ca-P'u formunda tutulmaktadır (Cross and Schlesinger, 2001). Kireçli topraklarda  $P_i$  daha fazla kalsiyum fosfatlar halinde bulunmakta (%69-71) gerisi demir fosfatlar olarak tutulabilmektedir (Cross and Schlesinger, 2001; Shen et al., 2003). Ağır metal kirliliğinin söz konusu olduğu topraklarda  $P_o$  fraksiyonu kirliliğin olmadığı topraklara göre Fe/Al-P formunda daha fazla bulunmaktadır (Wagai and Mayer, 2007; Zhang et al., 2008). Kireçli topraklarda P hareketliliği düşük olurken, P fiksasyonunda demir oksitler ve kalsit etkisi görülmekte, bitki kökleri hidroksil (OH<sup>-</sup>) ve hidrojen (H<sup>+</sup>) salgılayarak rizosfer pH'sını hızla değiştirmektedirler (Bertrand et al., 1999).

Toprak bileşenlerinden organik madde (Li et al., 2007), kireç (Carreira et al., 2006; Sardi and Csatho 2002; Braschi et al., 2003; Gahrooe, 2003) ve demir oksitler (Castro and Torrent, 2003; Li et al., 2007) yüksek kireçli kurak bölge topraklarında P adsorpsiyonunu etkilemektedir. Bu topraklarda P, Ca-fosfat olarak çökelp alınabilirliği azalmaktadır (Sardi and Chasto, 2002; Braschi et al., 2003; Gahrooe, 2003). Organik maddenin düşük olduğu topraklarda fosfor adsorpsiyon maksimumu ( $S_{max}$ ) Fe ve Al bileşiklerinin etkisinde kalmaktadır (Wang et al., 2005; Tajamul et al., 2019). Toprağa  $P_i$  ve tavuk gübresi ilavesi yapılarak dikey P hareketi oluşmaktadır (Gebirim, 2010). Organik P ve  $P_i$  ilavelerinin yapıldığı toprakların P adsorpsiyonunda  $P_o$  ve  $P_i$  arasında bir yarış oluşmakta ve  $P_o$  hızlıca adsorbe olurken  $P_i$ 'un desorpsiyonu gerçekleşmektedir (Berg and Joern, 2006). Reddy ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada tropikal topraklara buğday+soya artıkları+ $P_i$  ilave edilmesi ile NaHCO<sub>3</sub> ile ekstrakte edilen P ve NaOH ile ekstrakte edilebilir P artarken HCl ile ekstrakte edilebilir P azalmıştır.

Aritma çamuru ardışık fraksiyonlama yöntemi (CaCl<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, NaOH, HCl ve HNO<sub>3</sub>+HClO<sub>4</sub>) ile ekstrakte edilen P dağılımında, toprağın labil fraksiyonu (CaCl<sub>2</sub> ile ekstrakte edilen P ve) orta labil fraksiyonunu (NaOH ile ekstrakte edilen P) %11.2'den %20.3'e yükseltmektedir (Munhoz et

al., 2011). Orman topraklarında, organik yüzey katmanı bulunmuyorsa, bağlı olmayan P formları (reçine-P, NaOH ile ekstrakte edilen P) ve organik formlar (NaHCO<sub>3</sub> ile ekstrakte edilen P, NaOH ile ekstrakte edilen P, HCl ile ekstrakte edilen P) diğer bağlı P formlarından (HCl ile ekstrakte edilen P, kalıntı P) daha düşük konsantrasyonda olmaktadır (Chacon and Dezzio, 2004).

Toprakta bitkinin alabileceği formda kalan P, tarım topraklarında bitkilere P sağlanması açısından önemli rol oynamaktadır (Matar et al., 1992; Gallet et al., 2003). Bitkilerin bakiye P'dan %22.5 ile 62.7 oranında faydalandığı bilinmektedir (Gallet et al., 2003). Aşırı miktarda uygulanan P'lu bileşiklerin bakiye etkileri nedeniyle gübrelemeden önce var olan P'un dikkate alınması gereklidir (Amrani et al., 1999). Tarım topraklarındaki P uygulamaları, sanayi atıkları ve çevresel atıklardan dolayı ortaya çıkan çevre sorunlarının idaresi ve P yönetim stratejileri için P'un topraktaki dinamiğinin anlaşılması, etken faktörlerin yeterli çalışmalarla ortaya konulması önemlidir. Fosforun etkin ve ekonomik yönetim stratejisinin oluşturulması için fraksiyonlarının, dinamiklerinin ve ağır bünyeli topraklardaki etkileşimlerinin bilinmesi gereklidir. Toprakta P fazlalığı suların kirlilik riskini de artırarak, olumsuz etkilerde bulunulacağı için ayrıca önemlidir (Carpenter et al., 1998). Organik maddenin, kirecin ve demir oksitlerin toprakların P'u üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalar, ardışık fraksiyonlama ile P fraksiyonlarının karşılaştırıldığı çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, toprakta P tutulmasını etkileyen toprak bileşenlerinin, toprakta varlığı/yokluğu durumunda kıyaslamaların yapıldığı çalışmalar fazla değildir. Topraklar tarafından P'un adsorpsiyon ve desorpsiyonunu bilmek, toprak kalitesi ve gübre kullanım etkinliğinde önemlidir (Zhou and Li, 2001; Nwoke et al., 2004). Toprak bileşenlerinin, P adsorplama kapasitesine etkileri ve bu etkinin P formlarına katkısının bilinmesi, pratik çalışmalarda, gübrelerin daha etkin kullanımına, olayın toprak yapısı bakımından açıklanmasına önemli yorumlar katacağı gibi ülkemizde bu yönde yeni bilgilere ulaşma fırsatı da verecektir. Sağlıklı ve verimli ürün

yetiştirebilmek için toprak bileşenlerinin olduğu ve olmadığı durumları kıyaslamak sureti ile toprağın P formlarındaki değişikliğini ortaya koymak üzere bu çalışma planlanmıştır. Çalışmada kurak bölgenin ağır bünyeli, kireci orta ve yüksek olan iki toprak kullanılmıştır. Toprak strüktür bileşenleri topraktan tek tek ve birlikte uzaklaştırılmış ve her uzaklaştırma işleminden sonra elde edilen ön işlem görmüş toprak ile işlem görmemiş toprakta P fraksiyonlarının ( $P_T$ ,  $P_o$ ,  $P_{Ois}$  ve  $P_i$ ) tayini yapılarak toprak bileşenlerinin etkileri değerlendirilmiştir.

## Materyal ve Metot

### Materyal

#### Toprak özellikleri

Çalışma, Vertisol büyük toprak grubunda yer alan İç Anadolu Bölgesi, Düver serisi toprağı ve Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan, Harran serisi toprağı ile gerçekleştirilmiştir. Düver serisi ağır bünyeli, alt katmanları geçirimsiz, kurak dönemde hegzagonal çatlakları olan bir topraktır (Arcak, 2003). Harran serisi ağır bünyeli, horizonlarındaki kil mineralleri dağılımlarına göre smektit ve paligorskit silikat killerin baskın olduğu anlaşılmaktadır. Alt katmanlarda kireç cepleri bulunmaktadır (Dinç ve ark., 1988; Öztürkmen ve ark., 2021).

### Metot

Çalışmada Düver ve Harran serisine ait ağır bünyeli iki toprakta bazı toprak bileşenleri uzaklaştırılarak bileşenlerin fosfor fraksiyonlarına etkisi kontrol edilmiştir. Toprak örnekleri, 0-20 cm derinlikten (Jackson, 1962) alanı temsil edecek şekilde tarladan alınan örneklerin harmanlanması ile elde edilmiştir. Toprak bileşenlerinden OG için %30'luk  $H_2O_2$  ilavesi ve fazlasının yıkama ile uzaklaştırılması Hartge (1971) göre gerçekleştirilmiştir. Kireç giderme işlemi için 1.0 N HCl çözeltisi kullanılarak yıkama yapılmış ve fazla su sifonlanarak uzaklaştırılmıştır (Uzunoğlu, 1992). Kireç organik madde ve demir oksitlerin giderilmesi için 5 ml 0.5 M  $NaHCO_3$  ve 40 ml 0.3 M  $Na_2C_2O_4$  çözeltisi üzerine Na-ditiyonit ( $Na_2S_2O_4$ ) ilave edilerek, karışım rengi beyazlaşıncaya kadar

Aquiera ve Jackson (1953) ile Mehra ve Jackson (1960) yöntemlerine uygun çalışma yapılmıştır.

Toprak bileşenlerinden her birinin uzaklaştırma işlemi her iki toprak için tek tek ve ardışık olacak şekilde OG, KG, KOG ile KODG olacak şekilde konular oluşturulmuştur. Bu işlemler çoklu tekrar edilerek analizler için yeterli olabilecek miktarda bileşenleri giderilmiş topraklar biriktirilmiştir. Uzaklaştırma işlemi yapılmamış doğal iki toprak ile tek tek ve ardışık uzaklaştırma işlemleri yapılmış sekiz farklı toprak elde edilmiştir. Toplamda 10 farklı bileşenlere sahip toprak kullanılarak fosfor fraksiyonları ( $P_T$ ,  $P_o$  ve  $P_i$ ) tayin edilmiştir.

Farklı ön işlemlerden geçirilerek toprak bileşenleri (kireç, organik madde ve demir) giderilmiş toprakların P-adsorpsiyon maksimumları bulunmuştur. P-adsorpsiyon maksimumunun bulunması için  $KH_2PO_4$  çözeltisi ile hazırlanmış 0–50 mg P  $L^{-1}$  içerikli çözeltiler ile 0.01 M  $CaCl_2$  çözeltileri hazırlanmıştır. 1.00 g hava kuru toprak kullanılmak sureti ile bu çözeltilerden 25 ml üzerine ilave edilerek 25 °C'de 24 saat çalkalanmıştır. Elde edilen çözelti Whatman No:42 filtre kağıdı ile filtre edilip sıvı fazı ayrılıp dengedeki fosfor konsantrasyonu spektrofotometre (Jenway 6300) ile tayin edilmiştir (Pierzynski, 2000). Elde edilen denge çözeltisi fosfor miktarları (C) ve adsorplanan fosfor (S) verileri kullanılarak Langmuir adsorpsiyon izoterminin aşağıda verilen doğrusallaştırılmış denklemi oluşturulmuştur (Denklem 1). Langmuir P-adsorpsiyon izoterm grafiğinin eğim ( $S_{max}=1/eğim$ ) ve kayma ( $k=1/(kayma*S_{max})$ ) değerleri kullanılarak  $S_{max}$  ve k hesaplamaları yapılmıştır (Guilherme et al., 2000; Pant and Reddy, 2001; Allen, 2002).

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

S : Adsorplanan fosfor miktarı (mg  $kg^{-1}$ )

C : Denge çözeltisinin fosfor konsantrasyonu (mg  $L^{-1}$ )

$S_{max}$ : Fosfor adsorpsiyon maksimumu (mg  $kg^{-1}$ )

k: Fosfor yükleme enerjisi

### Toprak analizlerinde kullanılan metotlar

Toprak örnekleri hava kuru özelliklerde 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Toprakların bünyesi

hidrometre metodu (Bouyoucous, 1951) kullanılarak, su ile doyguluk toprak saf su ile doyurularak, toprak reaksiyonu, suya doyurulmuş toprakta pH-Metre (Jenway 3510) kullanılarak, alınabilir potasyum, 1 N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH 7.0) ekstraksiyonunda fleymfotometre ile (Model PFP7) ölçülerek, toplam kireç, Scheibler kalsimetresi kullanılarak tayin edilmiştir (Richards, 1954, Martin and Reeve, 1955). Toplam tuz, kondaktivimetre aleti (Jenway 4520 Conductivimeter) ile tayin edilmiştir (Richards, 1954; Yurdakul, 2018). Organik madde miktarı, hot plate (Lab Tech EG20B)'de organik maddenin yakılması ve demir sülfat ile geri titrasyon yapılarak tayin edilmiştir (Walkley and Black, 1934). Alınabilir fosfor, 0.5 M NaHCO<sub>3</sub> (pH 8.5) ekstraksiyonunda spektrofotometre (Jenway 6300) ile tayin edilmiştir (Olsen et al., 1954). Katyon değişim kapasitesi (KDK) 1 M sodyum asetat metoduna göre (Polemio and Rhoades, 1977) yapılmıştır. Toplam fosfor tayininde HClO<sub>4</sub> ile yakma metodu (Page et al., 1982) kullanılmıştır. Toplam demir asit karışımı ile yakılarak AAS ile (Jackson, 1958) tayin edilmiştir. Bileşenleri giderilerek biriktirilen sekiz toprak ve doğal iki toprak numunesinde fosfor fraksiyonları tayin

edilmiştir. Toplam fosfor tayininde HClO<sub>4</sub> ile yakma metodu (Page et al., 1982) kullanılmıştır. Organik P 550 °C'de kuru yakma metoduna göre belirlenmiştir (Page et al., 1982), Olsen fosforu, 0.5 M NaHCO<sub>3</sub> (pH 8.5) ekstraksiyonu kullanılarak (Olsen et al., 1954) tayin edilmiştir. İnorganik fosfor, P<sub>T</sub> ile P<sub>O</sub> farkından hesap yöntemi (Saygan, 2007) ile bulunmuştur.

#### Analiz ve değerlendirme yöntemleri

Ağır bünyeli iki toprakta toprak bileşenlerinin (organik madde, kireç ve demir oksitler) uzaklaştırılması durumunda fosfor fraksiyonları arasındaki fark kontrolü ve işlemler arasındaki ilişkinin kontrolü MSTAT programı kullanılarak yapılmıştır.

#### Araştırma Bulguları ve Tartışma

Düver serisi toprağının bünyesi killi, reaksiyonu orta derecede alkalın, kireç içeriği orta derecede, organik madde ve alınabilir P miktarı düşük bir topraktır. Harran serisi toprağının bünyesi killi, reaksiyonu hafif alkalın, kireç miktarı fazla, organik madde miktarı az, alınabilir P miktarı orta seviyededir (Çizelge 1).

Çizelge1. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Some physical and chemical properties of soils

	Kum Sand	Silt Silt	Kil Clay	pH	Tuz Salt	CaCO <sub>3</sub>	OM	KDK	P	P <sub>Ols</sub>	P <sub>T</sub>	P <sub>O</sub>	Fe <sub>T</sub>
Top. Soil	%				dS/m	%		me/100g	%	kg/da	mg/kg		%
1	1.79±0.06	28.47±0.12	69.74±0.08	8.09±0.03	1.50±0.07	12±0.57	1.88±0.03	36.51±0.57	0.016±0.006	2.3±0.42	804±1.41	430±7.07	3.12±0.03
2	14.79±0.01	28.62±0.06	56.59±0.13	7.64±0.04	1.51±0.04	24±0.71	1.95±0.14	31.29±0.30	0.054±0.004	6.2±0.42	858±1.41	340±7.07	1.19±0.06

1: Düver serisi (0-20cm), 2: Harran serisi (0-20 cm), pH: Toprak reaksiyonu, OM: Organik madde, KDK: Katyon değişim kapasitesi

P: Alınabilir fosfor, P<sub>Ols</sub>: Olsen fosforu, Toplam demir: Fe<sub>T</sub>

#### Fosfor adsorpsiyon maksimumları

Düver serisinin doğal ve toprak bileşenleri giderilmiş toprağına ait S<sub>max</sub> değerleri 182-125 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur. Kirecin daha yüksek olduğu ve pH değerlerinin daha fazla olduğu (Çizelge 2), Düver serisi toprağının adsorpsiyon kapasitesi daha fazla bulunmuştur (Shen et al.,

2019). En yüksek S<sub>max</sub> KG toprağında ve KOG toprağında (182 mg kg<sup>-1</sup>) bulunmuştur. En düşük S<sub>max</sub> değeri ise KODG toprakta 125 mg kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Çizelge 3). Harran serisi toprağında S<sub>max</sub> 161-92 mg kg<sup>-1</sup> arasında belirlenmiştir. En yüksek S<sub>max</sub> değeri KOG topraktan 161 mg kg<sup>-1</sup> olarak elde edilirken, en düşük S<sub>max</sub> değeri her üç

bileşenin de topraktan uzaklaştırıldığı KODG konusundan  $92 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak elde edilmiştir (Çizelge 3). Çalışmada Düver serisine ait doğal toprakta  $S_{\max}$   $167 \text{ mg kg}^{-1}$  ve Harran serisine ait doğal toprakta  $S_{\max}$   $156 \text{ mg kg}^{-1}$  bulunmuştur.

Gaziantep yöresi topraklarının  $S_{\max}$   $58\text{--}113.3 \text{ mg kg}^{-1}$  (Derici and Ağca 1999), killi topraklarda  $S_{\max}$   $48\text{--}1429 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında olması (Valladares et al., 2003) çalışmada bulunan  $S_{\max}$  değerleri ile örtüşmektedir.

Çizelge 2. Toprak bileşenleri uzaklaştırılmış toprakların reaksiyonları

Table 2. Reactions of soils from which soil components have been removed

Toprak	Doğal toprak	OG toprak	KG toprak	OKG toprak	KODG toprak
	Natural soil	OG soil	KG Soil	OKG soil	KODG soil
			pH (%)		
1	8.09	7.90	6.98	7.10	9.18
2	7.64	7.80	7.29	6.96	9.01

1: Düver serisi (0-20 cm), 2: Harran serisi (0-20 cm)

OG: Organik madde giderilmiş, KG: Kireç giderilmiş, OKG: Organik madde kireç giderilmiş, KODG: Organik madde kireç demir oksitler giderilmiş

Çizelge 3. Toprakların fosfor adsorpsiyon değerleri

Table 3. Phosphorus adsorption values of soils

Konular Subjects	$S_{\max}$ ( $\text{mgkg}^{-1}$ )	k ( $\text{Lmg}^{-1}$ )	$r^2$	Langmuir eşitliği Langmuir equality
<b>Düver</b>				
Toprak Soil	167	8.57	0.902	$y = 0.006x + 0.0007$
OG toprak OG soil	143	14.00	0.992	$y = 0.007x + 0.0005$
KG toprak KG soil	182	18.33	0,999	$y = 0.0055x - 0.0003$
KOG toprak KOG soil	182	2.62	0.861	$y = 0.0055x + 0.0021$
KODG toprak KODG soil	125	0.49	0.837	$y = 0.008x + 0.0165$
<b>Harran</b>				
Toprak Soil	156	12.8	0.988	$y = 0.0064x + 0.0005$
OG toprak OG soil	154	9.29	0.967	$y = 0.0065x + 0.0007$
KG toprak KG soil	156	10.67	0.987	$y = 0.0064x - 0.0006$
KOG toprak KOG soil	161	0.91	0.973	$y = 0.0062x + 0.0068$
KODG toprak KODG soil	92	8.38	0.989	$y = 0.0109x + 0.0013$

OG: Organik madde giderilmiş, KG: Kireç giderilmiş, KOG: Kireç ve organik madde giderilmiş, KODG: Kireç organik madde ve demir giderilmiş

### Toprak bileşenlerinin fosfor fraksiyonları ile ilişkileri

Düver ve Harran serisi toprağı  $P_T$  içeriğı sırası ile  $804$  ve  $858 \text{ mg kg}^{-1}$   $P_o$  içeriğı  $430$  ve  $340 \text{ mg kg}^{-1}$   $P_i$  içeriğı  $374$  ve  $518 \text{ mg kg}^{-1}$   $P_{ois}$  içeriğı  $4.10$  ve  $11.67 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur (Çizelge 4). Türkiye topraklarının  $P_T$  içeriğini belirlemek için yapılan çalışmalarda en yüksek  $P_T$   $978 \text{ mg kg}^{-1}$  ile Çarşamba ovasında, en düşük  $P_T$  ise  $449 \text{ mg kg}^{-1}$  miktarında Trakya yöresinde tespit edilmiştir (Kacar ve Katkat, 1997). Kireç taşı ve benzeri ana materyalden oluşmuş toprakların  $P_T$  içeriğı ana materyal kaynağı

kireç olmayanlara göre daha yüksektir (Frossard et al., 2000; George et al., 2003). Düver serisi ve Harran serisinin doğal topraklarının  $P_o$ 'u  $P_T$ 'lerinin %54-40'ını oluşturmuştur. Genelde toprakların organik fosfor miktarı ile toplam fosfor miktarı arasındaki oran 3/4 olarak belirtilmektedir (Walker and Adams, 1958). Doğal toprağın  $P_o$  ile işlem (organik madde, kireç ve demir giderme) yapılmış toprakların  $P_o$  değerleri arasındaki farkın giderme işlemleri esnasında serbest kalan  $P$ 'un  $P$ -adsorpsiyon yüzeyleri tarafından tutulmasından kaynaklanmış olabileceğı düşünölmektedir. Bu

olay inorganik fosfor artışına neden olmuştur (Benzing and Richardson, 2005).

Çizelge 4. Giderme işlemi yapılmış toprakların P fraksiyonlarının miktarları  
Table 4. Quantities of the P fractions of the removed soils

Konular	P <sub>T</sub> (mgkg <sup>-1</sup> )	P <sub>o</sub> (mgkg <sup>-1</sup> )	P <sub>i</sub> (mgkg <sup>-1</sup> )	P <sub>ois</sub> (mgkg <sup>-1</sup> )
<b>Düver Serisi</b>				
Toprak (Soil)	804	430	374	4.10
OG toprak	338	-	338	23.06
KG toprak	372	170	202	139.71
KOG toprak	216	-	216	68.95
KODG toprak	135	-	135	67.79
<b>Harran Serisi</b>				
Toprak (Soil)	858	340	518	11.67
OG toprak	406	-	406	17.27
KG toprak	405	128	277	97.00
KOG toprak	277	-	277	109.00
KODG toprak	277	-	277	76.77

OG: Organik madde giderilmiş, KG: Kireç giderilmiş, KOG: Kireç organik madde giderilmiş, KODG: Kireç, organik madde ve demir giderilmiş

#### Toprak bileşenlerinin uzaklaştırılmasının toplam fosfora etkisi

Toprakta peş peşe gerçekleştirilen giderme işlemleri sonucunda P<sub>T</sub> değerinde dikkate değer bir azalma gerçekleşmiştir (Çizelge 4, Şekil 1). Toprak bileşenlerinin giderilmesi ile P<sub>T</sub> arasındaki regresyon ilişkisi Düver serisinde önemli olmuştur ( $r^2= 0,795^*$ )(Çizelge 5). Toprakta uzaklaştırılan her bileşene göre toprağın P<sub>T</sub> miktarı biraz daha azalmıştır. Organik maddenin giderilmesi P<sub>T</sub> değerini normal toprağa göre Düver serisinde %58, Harran serisinde %47 azaltmıştır. Organik madde, mineral P ve mineral ve toplam Fe arasında denge rolü oynamaktadır, P'un demir tarafından tutunmasında aracıdır (Voort, 2010). Diğer konularla kıyaslandığında P<sub>T</sub>'da kireç giderilmiş konu ile organik madde giderilmiş konu arasında büyük bir fark oluşmamıştır. P<sub>T</sub>'da en çok azalma konuların birlikte giderildiği durumlarda olmuştur. P<sub>T</sub>'un büyük bir bölümünü oluşturan P<sub>i</sub>'un %75'i Fe/Al-P ve Ca-P'undan oluştuğu için giderilen Ca ve Fe toplam fosforun azalmasına neden olmuştur (Yang et al., 2002). Düver serisinde her üç toprak bileşeninin giderildiği konudan 135 mg kg<sup>-1</sup> P<sub>T</sub> elde edildiği bunu organik ve kirecin birlikte giderildiği

konunun takip ettiği (216 mg kg<sup>-1</sup>) görülmektedir. Düver serisinde P<sub>T</sub> meydana gelen azalma istatistiki anlamda önemli olmuştur ( $F=10.21^*$ ,  $P<0.5$ ) (Çizelge 6). Harran serisinde ikili ve üçlü giderme işlemleri sonucunda P<sub>T</sub>'da azalma gerçekleşmekle birlikte iki giderme işleminin birbirleri arasında fark oluşmamıştır. Harran serisi toprağında giderme işlemleri ile P<sub>T</sub> ilişkisi istatistiksel anlamda önemli olmuştur ( $F=16.95^{**}$ ,  $P<0.01$ ). Bu durumun oluşmasında Harran toprağının diğer toprağa göre daha düşük demir içeriğine sahip olması nedeniyle Ca-P ve organik madde ile tutulup giderme işleminden sonra açığa çıkan P'un Fe tarafından adsorplanmadığını göstermektedir. Nitekim organik maddenin olmadığı durumda adsorpsiyona asıl etki metal bileşikler tarafından gerçekleştirilmektedir (Chacon and Dezzio, 2004). Organik maddenin ve kirecin ayrı ayrı giderildiği toprakların P<sub>T</sub> değerlerinin de diğer topraklar içerisinde en yüksek değerler olduğu görülmektedir (Çizelge 4). Bu olay toprağın P havuzunu daha fazla P<sub>o</sub> ve CaCO<sub>3</sub>'a bağlı fosforun oluşturduğunu düşündürmektedir (Samadi, 2006). Toprağın bileşenlerinin giderilmesinin P<sub>T</sub> üzerine etkisi Düver serisi ve Harran serisi topraklarında önemli

olmuştur ( $F=10.21^*$ ,  $P<0.05$ ), ( $F=16.95^{**}$ ,  $P<0.01$ ) (Çizelge 6).

Çizelge 5. Bazı toprak özellikleri ile fosfor formlarının regresyon ( $r^2$ ) parametreleri  
Table 5. Regression ( $r^2$ ) parameters of some soil properties and phosphorus forms

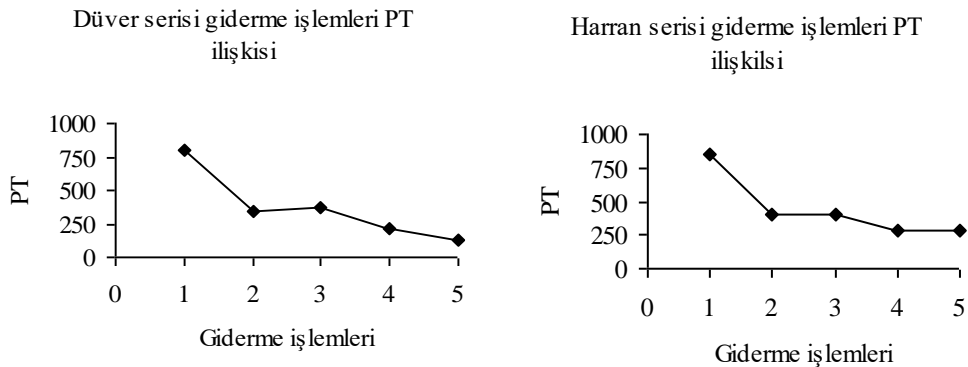
Konular Subjects	$P_T$		$P_i$		$P_{Ols}$	
	1	2	1	2	1	2
$P_T$	-	-	-	-	-	-
$P_i$	0.648	0.822*	-	-	-	-
$P_{Ols}$	0.232	0.504	0.531	0.839*	-	-
$S_{max}$	0.106	0.128	0.025	0.113	0.132	0.013
$T_G$	0.795*	0.724	0.905*	0.789*	0.273	0.603

1: Düver serisi, 2: Harran serisi, TG: Toprak bileşeni giderme işlemleri, \*:  $P<0.05$

Çizelge 6. Bazı toprak özellikleri ile fosfor formlarının varyasyon (F) kriterleri  
Table 6. Criteria for variation (F) of phosphorus forms with some soil properties

Konular Subjects	$P_T$		$P_i$		$P_{Ols}$	
	1	2	1	2	1	2
$P_T$	-	-	-	-	-	-
$P_i$	0.93	0.63	-	-	-	-
$P_{Ols}$	6.98*	12.26**	14.57**	30.01**	-	-
$S_{max}$	3.36	7.75*	4.11	16.93**	14.53**	11.47**
$T_G$	10.21*	16.95**	31.43**	51.15**	6.06*	8.59*

1: Düver serisi, 2: Harran serisi, TG: Toprak bileşeni giderme işlemleri, \*:  $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$



1: Doğal toprak, 2: OG toprak, 3:KG toprak, 4: OKG toprak, 5: OKDG toprak

Şekil 1. Toprağın bileşenlerini giderme işlemlerinin  $P_T$  miktarlarına etkileri

Figure 3. Effects of soil decomposition processes on  $P_T$  amounts

### Toprak bileşenlerinin uzaklaştırılmasının inorganik fosfora etkisi

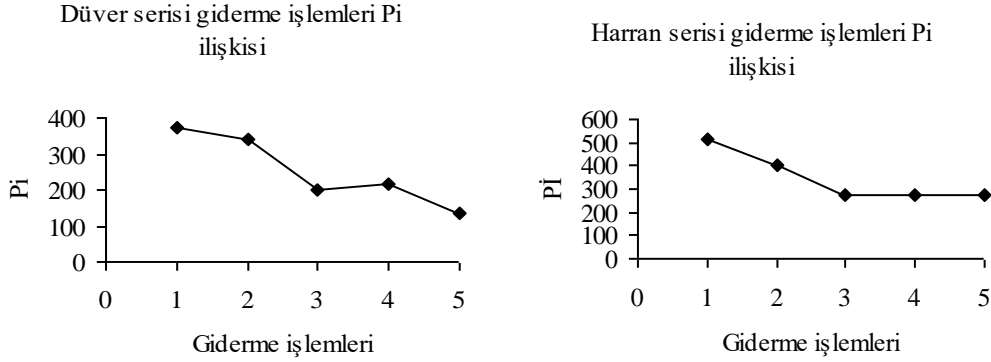
Topraklarda giderme işlemleri ile  $P_i$  miktarı arasındaki regresyon ilişkisi Düver serisi ve Harran serisi toprağında  $0.905^*$  ve  $0.789^*$  ile önemli olmuştur (Çizelge 5). Düver serisinde istatistiki önem  $F=31.43^{**}$ ,  $P<0.01$  iken Harran serisinde  $F=51.15^{**}$ ,  $P<0.01$  elde edilmiş ve toprak bileşenlerini giderme işlemlerinin  $P_i$  üzerine etkisi önemli olmuştur (Çizelge 6). Topraklarda gerçekleştirilen her giderme işlemi sonunda  $P_i$ 'da azalma meydana gelmiştir (Şekil 2). En düşük pH değeri kireç giderme işleminden sonra 6.98-7.29 olarak elde edilmiştir. Topraklardan demir giderme

işlemi sonucunda toprak pH değerinde 9.01-9.18 arasında yükselme oluşmuştur. Ortamda kireç varken giderilen Fe/Al ortam pH'sında yükselmeye neden olmakta açığa çıkan  $PO_4^{3-}$  Ca tarafından adsorplanmaktadır (Benzing and Richardson, 2005) (Çizelge 2). Bitkilerin toprak çözeltisinden  $P_i$  (Ortofosfat) alımında toprak reaksiyonu önemli bir etken olmakla birlikte, bitki özelliklerinin de toprak pH'sı üzerine etkisi bulunmaktadır. Azalan pH değerlerinde de  $P_i$  alımının arttığı, fosfor az olduğu zaman toprağın P tamponlama kapasitesi ile P difüzyon kapasitesinin de önemliliği ortaya çıkmaktadır (Lambers, 2022). Düver serisi ve Harran serisi toprağında kirecin topraktan



uzaklaştırılmasının  $P_i$  miktarına etkisi diğer bileşenlerin uzaklaştırılmasından fazla olmuştur. Her iki topraktaki kireç miktarının bu olayda etken olduğu görülmektedir (Carreira et al., 2006). Kurak ve yarı kurak iklimlerde kirecin toprakların  $P_i$  miktarında dominant faktör olduğu görülmektedir. Toprakta üç bileşen (organik madde, kireç ve demir oksitler) birlikte uzaklaştırıldığında  $P_i$  değeri

en düşük miktar olan 135-277  $\text{mg kg}^{-1}$  seviyesine inmiştir (Çizelge 4, Şekil 2). Ortamdan kireç giderildiğinde açığa çıkan fosfor Fe/Al tarafından tutulmakta iken Fe'li bileşiklerin de giderilmesi ile P-adsorpsiyon alanlarındaki eksilmeden dolayı,  $P_i$ 'da azalma oluşmuştur (Benzing ve Richardson, 2005).



1: Doğal toprak, 2: OG toprak, 3: KG toprak, 4: OKG toprak, 5: OKDG toprak

Şekil 2. Toprağın bileşenlerini giderme işlemlerinin  $P_i$  miktarlarına etkileri  
Figure 4. Effects of soil decomposition processes on  $P_i$  amounts

#### Toprak bileşenlerinin giderilmesinin Olsen fosforuna etkisi

Toprak bileşenlerinin (kireç, organik madde ve demir oksitler) giderilmesi ve  $P_{Ols}$  arasındaki regresyon ilişkisi Düver serisi (0.273) ve Harran serisi (0.603) toprağında önemli olmazken (Çizelge 5), her iki toprakta konular arasındaki önemlilik sırasıyla  $F=6.06^*$  ve  $F=8.59^*$  olarak %5 seviyesinde olmuştur (Çizelge 6). Organik maddenin topraktan giderilmesi  $P_{Ols}$ 'unu Düver serisinde, normal toprağın 5 katından daha fazla ( $4.1-23.06 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Harran serisinde  $\frac{1}{2}$  katı ( $11.67-17.27 \text{ mg kg}^{-1}$ ) arttırmıştır.

Organik maddenin parçalanarak topraktan giderilmesi esnasında ortaya çıkan  $P_o$ , P-adsorpsiyon yüzeyleri tarafından adsorplanarak  $P_i$ 'un açığa çıkmasına neden olmuştur (Chacon and Dezzo, 2004; Voort, 2010). Bununla beraber diğer giderme işlemleri ile kıyaslandığında en az artışı bu işlem oluşturmuştur. Bikarbonatta ekstrakte olabilen  $P_{Ols}$ 'nun toprağın organik C, kil ve okzalatta ekstrakte olabilen Al, Fe ve mangan (Mn) ile pozitif, pH ve  $\text{CaCO}_3$  ile negatif korelasyon verdiği (Turner et al., 2003, Benzing ve Richardson,

2005), bu olaya organik maddenin olmadığı durumda P-adsorpsiyonunda etkenlik mineral yüzeyleri ile olduğu ve alkalik ortamda organik maddenin parçalanmasının serbest minerallerin oluşumuna neden olarak da bir miktar  $P'$ u adsorplayarak diğer bileşenlere göre daha az artış sağladığı görülmektedir (Chacon and Dezzo, 2004; Voort, 2010). Düver serisi toprağında ortamdan sadece kirecin uzaklaştırılması  $P_{Ols}$ 'unu en fazla arttıran etki olmuştur, Harran serisinde sadece kireç giderme ve kireç ile organik maddenin birlikte giderilmesi işlemlerinin birbirleri arasında fark oluşmamıştır. Olsen fosforu en fazla bu giderme işlemlerinden sonra elde edilen toprakta bulunmuştur. Çünkü, kalsiyum karbonat P-adsorpsiyonunu artırarak yarayışlı fosforun azalmasına neden olmaktadır.  $\text{CaCO}_3$ 'ün giderilmesi fosforun açığa çıkmasına ve yarayışlılığının artmasına neden olmaktadır (Tisdale et al., 1985; Laljee, 2012). Düver ve Harran serisi topraklarının bileşenlerinin üçlü giderildiği ortamlarda  $P_{Ols}$ 'da yaklaşık aynı değerlere ulaşılmış ( $67.79 - 76.77 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve  $P_{Ols}$  miktarında doğal toprağa göre çok fazla artış oluşmuştur. P-adsorpsiyon özelliği olan

bileşenlerin giderilmesi ile killerin P-adsorplama kabiliyeti toprağın fosforunu tutan ana özellik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumda  $P_{Ols}$ 'nin artışına meydan vermektedir. Nitekim faklı tampon kapasitelerine, toprak bileşenlerinin etkisi, sırasıyla Demir>kil>değişebilir Alüminyum olarak belirtilmektedir (Bahl and Singh, 2009).

#### *Toplam fosfor ile fosfor adsorpsiyon maksimumu ilişkileri*

Her iki toprakta da  $P_T$ 'nin en düşük olduğu noktada (her üç bileşenin de topraktan giderildiği durum)  $S_{max}$ 'nin en düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4).  $P_T$  ile  $S_{max}$  arasındaki regresyon ilişkisi Düver serisinde önemli olmazken (Çizelge 5), Harran serisi toprağında önemli olmuştur (Çizelge 6). Düver serisinde  $P_T$ 'da artış olması (ortamda demirli bileşikler mevcut), Harran serisinde  $P_T$ 'da artış olmasa da ortamda demirli bileşiklerin varlığı  $S_{max}$ 'da artış oluşturmuş olabilecektir. Düver serisinde ortamda kirecin olmadığı durumda da  $P_T$  artışı ile  $S_{max}$  artışı devam etmiştir. Nitekim biyokatinin kalsiyumu çöktürüldüğünde en fazla ekstrakte edilebilir P elde edildiği, kireçli topraklarda en çok HCl'de ekstrakte edilen P bulunduğu bunun da Ca-P'u olduğu, Fe/Al ile düşük korelasyon elde edildiği, kurak bölge topraklarında P tutulması ve fiksasyonunda  $CaCO_3$ 'ün birincil etkili olduğu bildirilmektedir (Bertrant et al., 1999; Carreira et al., 2006). Harran serisinde ortamda kirecin olmadığı durumda  $P_T$  artışı ile  $S_{max}$ 'da değişim oluşmamıştır. İnorganik P'un dolayısı ile  $P_T$ 'un önemli bir bölümünü Ca-P ve Fe/Al-P oluşturmaktadır. Bu özelliklerin toprakta bulunması  $S_{max}$ 'nin artmasında etkili olmuştur (Wang et al., 2005; Benzing and Richardson, 2005). Kalsiyumlu ve demirli bileşiklerin ortamda bulunmasına karşın, organik maddenin uzaklaştırılması ile  $P_T$  arttırılsa dahi  $S_{max}$  değerinde düşüş oluşturmuştur. Bu da asıl P-adsorpsiyon alanlarını işgal etmede kirecin etkisinin organik maddenin etkisinden daha fazla olduğunu göstermekle birlikte, parçalanmış organik maddenin bir kısmının Fe/Al bileşenleri üzerindeki P-adsorpsiyon yüzeylerini işgal etmiş olmasından kaynaklanmaktadır (Alam, 1999; Zhang et al.,

2008). Her üç bileşenin de toprakta bulunduğu konumda normal toprakta  $P_T$  artışına karşın  $S_{max}$  değerinde azalma oluşmuştur. Bunda da toprak bileşenlerinin kendilerinin P-adsorplama yeteneklerinin yanı sıra diğer P-adsorpsiyon alanlarını işgal etmeleri etkili olmuştur. Sadece toprak bileşenlerinin uzaklaştırıldığı konularda,  $P_T$  ve  $S_{max}$  ilişkisini pH'yı göz önüne alarak değerlendirdiğimizde düşük  $P_T$  ve düşük  $S_{max}$  değerinde en yüksek pH değerini görmekte iken, yüksek  $P_T$  ve yüksek  $S_{max}$  değerinde de en düşük pH değerini görmekteyiz. Düşük pH değerlerinde ortamda kirecin olmaması demirli bileşiklerin adsorpsiyon güçlerinin artmasına neden olarak  $P_T$ 'u yükseltmektedir. Toprak reaksiyonunun yüksek olduğu ortamda (organik madde, kireç ve demirli bileşiklerin giderildiği durum) P-adsorpsiyonunda etken yüzeylerin topraktan uzaklaştırılmış olması  $S_{max}$  değerinin azalmasını açıklamaktadır.

#### **Sonuçlar**

Düver serisi ve Harran serisi toprağının  $P_T$  içeriği 804 ve 858  $mg\ kg^{-1}$   $P_o$  içeriği 430 ve 340  $mg\ kg^{-1}$   $P_i$  içeriği 374 ve 518  $mg\ kg^{-1}$   $P_{Ols}$  içeriği de 4.10 ve 11.67  $mg\ kg^{-1}$  olarak bulunmuştur. Toprakların  $P_T$  ve  $P_i$ 'u toprak bileşenlerinin giderilmesi ile azalmış, en fazla azalma da her üç bileşenin de giderildiği durumda gerçekleşmiştir. Olsen fosforu her iki toprakta da kireç giderildiği konumda en fazla artışı oluştururken, her üç bileşeninde giderildiği konumda yine artış göstermiştir. Giderme işlemleri esnasında açığa çıkan P, tercih edilerek adsorlanmış bu fosfor  $P_{Ols}$  miktarını arttırmıştır. Toprak bileşenlerinin giderilmesi, toprağın  $S_{max}$  ve  $P_T$  miktarlarına azaltma etkisinde bulunurken,  $P_{Ols}$  miktarında artmaya neden olmuştur. Ekonomik ve çevreye dost bir gübreleme programı yapabilmek için toprağın  $P_T$ ,  $S_{max}$  ve  $P_{Ols}$  miktarlarının bilinmesi ve aralarındaki ilişkinin sorgulanması, gübreleme programının bu bilgiler ışığında gerçekleştirilmesi, verimlilik ve çevre koruma anlamında önemlidir.

#### **Ekler**

Bu çalışmada kullanılan veriler Ağır Bünyeli

Toprakta Bazı Toprak Bileşenlerinin Fosfor Adsorpsiyon Kapasitesine Etkilerinin Langmuir İzotermi ile Araştırılması (TOVAG-1060300) projesinin bir bölümünden alınmıştır. Proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

**Çıkar Çatışması:** Bu çalışmada çıkar çatışma beyanı gereksinimi bulunmamaktadır. Çalışmanın tamamı makalenin yazarı tarafından yapılmıştır.

**Yazar Katkısı:** Fikir/hipotez, materyal, metot, araştırma, veri toplama ve işleme, veri analiz, görselleştirme, veri yönetim, yazma, gözden geçirme ve düzeltme İlknur YURDAKUL tarafından yapılmıştır.

**Etik Kurulu Kararı:** Yayın etik kurulu gerektirmemektedir.

#### Kaynaklar

- Allen, D. (2002). Standarditaion of Soil Test for Phosphorus. Chemistry Centere (Wa), Grains Research and Development Corporation: Part 1 Sorption.
- Amrani, M., Westfall, D.G., & Moughli, L. (1999). Evaulation of residual and cumulative phosphorus effects in contrasted moroccon calcareous soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 55:231-238. <https://doi.org/10.1023/A:1009855609746>.
- Aquiera, N.H., & Jackson, M.L. (1953). Iron oxide removal from soils and clays. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 17: 359-364. <https://doi.org/10.2136/sssaj1953.03615995001700040015x>
- 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.
- Bahl, G.S., & Singh, N.T. (2009). Phosphorus diffusion in soils in relation to some edaphic factors and its influence on P uptake by maize and wheat. *The Journal of Agricultural Science*, 107(2): 335-341. <https://doi.org/10.1017/S002185960008713X>.
- Benzing, P., & Richardson, C.J. (2005). CaCO<sub>3</sub> Causes underestimation of NaOH extractable phosphorus in sequential fractionations. *Soil Sci.*, 170(10): 802-809. DOI: 10.1097/01.ss.0000190501.98437.d1.
- Berg, A., & Joern, S.B.C. (2006). Sorption dynamics of organic and inorganic phosphorus compounds in soil. *J. Environ Qual.*, 35(5):1855-62. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0420>.
- Bertrand, I., Hinsinger, P., Jaillard, B., & Arvieu, J.C. (1999). Dynamics of phosphorus in the rhizosphere of maize and rape grown on synthetic phosphated calcite and goethite. *Plant and Soil*, 211(1):111-119. <https://doi.org/10.1023/A:1004328815280>.
- Bhadoria, S.P., Steringrobe, B., Claassen, N., & Liebersbach, H. (2002). Phosphorous efficiency of Wheat and sugar beet seedlings grown in soil with mainly calcium or iron and aliminium phosphate. *Plant and Soil*, 246:41-52. <https://doi.org/10.1023/A:1021567331637>.
- Blake, L., Johnston, A.E., Poulton, P.R., & Goulding, K.W.T. (2003). Changes in soil phosphrus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant and Soil*, 254:245-261. <https://doi.org/10.1023/A:1025544817872>.
- Bouyoucus, G.J. (1951). A Recalibration of The Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soil. Contribution from the Soil Science Department of the Michigan Agricultural Experiment Station, East Lansing, Mich. Authorized for publication by the Director as Journal Article No:1199. <https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>.
- Braschi, N.C., Ciavatta, C., Giovannini, C., & Gessa, C. (2003). Combined effect of water and organic matter on phosphorous availability in calcareous soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67:67-74. <https://doi.org/10.1023/A:1025143809825>.
- Bolat, İ. & Kara, Ö. (2017). Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1): 218-228. DOI: 10.24011/barofd.251313
- Campbell, K.L. & Edwards, D.R. (2001). Phosphorus and Water Quality. W. F. Ritter and A. Shirmonhammadi (Ed.), *Agricultural Nonpoint Source Pollution, Waterahed Management and Hydrology*, 91-107 Boca Raton, New York. Washington. D.C.
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., & Smith, V.H. (1998) Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.*, 8:559-568.
- Carreira, J.A., Vinegla, B., & Lajtha, K. (2006). Secondary CaCO<sub>3</sub> and precipitation of P-Ca compounds control the retention of soil P in arid ecosystems. *J. Arid Environ.*, 64(3):460-473. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.003>.
- Castro, B., & Torrent, J. (2003). Phosphate sorption by calcareous vertisols and inceptisols as evaluated from extended P- sorption curves. *Eur. J. Soil Sci.*, 49(4):661-667. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.1998.4940661.x>.
- Chacon, N., & Dezzeo, N. (2004). Phosphorus fractions and sorption processes in taken in forest-savanna sequence of the gran in southern Venezuela. *Biol Fertil. Soils*, 40:14-19. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0733-7>.
- Condron, M.L. (2003). Dynamics and Availability of Organic Phosphorus in Soil. Proceedings of 2nd Internal Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil Plant Contium p: 14-15.
- Cong, W.F., Suriyagoda, L.D.B., & Lambers, H. (2020). Tightening the phosphorus cycle through phosphorusefficient crop genotypes. *Trends Plant Sci.*, 25:967-75.

- Cross, A.F., and Schlesinger, W. (2001). Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry*, 52:155-172. <https://doi.org/10.1023/A:1006437504494>.
- Derici, M.R., ve Ağca, N. (1999). Phosphorus adsorption of the soils of the gaziantep kayalık 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., Kay, a 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., ve Kara, E.E. (1988). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) 1. Harran Ovası. TÜBİTAK Tarım ve Ormanlık Grubu Güdümlü Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, Proje TOAG-534.
- Elser, J.J., Bracken, M.E.S., Cleland, E.E., Gruner, D.S., Harpole, W.S., Hillebrand, H., Ngai, J.T., Seabloom, E.W., Shurin, J.B., & Smith, J.E. (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10:1135-42. doi:10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x.
- Frossard, E., Condron, L.M., Oberson, A., Sinaj, S., & Fardean, J.C. (2000). Processes governing phosphorus availability in temperate soils. *Journal of Environmental Quality*, 29(1):15-23. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.004724250029000100003x>.
- Gahrooe, R.F. (2003). Increased microbial activity affects the extractable phosphorus in Ca-rich arid and semi-arid soils. Proceedings of 2nd Internal Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Contium 46-47.
- Gallet, A., Flish, R., Ryser, J., Nosberger, J., Frossard, E., & Sinaj, S. (2003). Uptake of residual phosphate and freshly applied diammonium phosphate by *lolium perenne* and *trifolium repens*. *J. Plant Nutr. Sci.*, 166(5): 557-567. <https://doi.org/10.1002/jpln.200321075>.
- Gebirim, F.O., Novais, R.F., Silva, I.R., Schulthais, F., Vergütz, L., Procopio, L.C., Moreira, F.F., & Jesus, G.L. (2010). Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. *R. Brass. Ci. Solo*, 34:1195-1205. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400019>.
- George, T.S., Richardson, A.E., Hadobas, P.A., & Simpson, R.J. (2003). Rhizosphere Limitations to The Efficiency of Phytase-Phtate Interactions. Proceedings of 2nd Internal Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Contium, 48-49.
- Ghahremani, M., Tran, H., Biglou, S.G., O'Gallagher, B., She, Y.M., & Plaxton, W.C. (2019). A glycoform of the secreted purple acid phosphatase AtPAP26 copurifies with a mannose-binding lectin (AtGAL1) upregulated by phosphate-starved *Arabidopsis*. *Plant Cell Environ*, 42:1139-57.
- Gu, C., Wilson, S.G., & Margenot, A.J. (2020) Lithological and bioclimatic impacts on soil phosphatase activities in California temperate forests. *Soil Biol. Biochem.*, 141:107633. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107633>.
- Guilherme, L.R.G., Curi, N., Silva, M.L.N., Reno, N.B. & 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.
- Hartge, K.H. (1971). Die Physikalische Untersuchung Von Böden. Enke Verlag Stuttgart. pp. 31-50.
- Hawkesford, M.J., Cakmak, I., Coskun, D., De Kok, L.J., Lambers, H., et al. (2022). Functions of macronutrients. In Marschner's Mineral Nutrition of Plants, ed. Z Rengel, I Cakmak, PJ White. London: Elsevier. 4th Ed.
- Hedley, M., Stewart, J. & Chauhan, B. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976. <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600500017x>
- Hou, E., Tan, X., Heenan, M., & Wen, D. (2018) A global dataset of plant available and unavailable phosphorus in natural soils derived by Hedley method. *Sci. Data.*, 5:180166.
- Jackson, M.L. (1958). Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall. Inc. Eng. Cliffs. New Jersey, USA. UW-Madison Libraries Parallel Press. Amazon.co.uk. <https://books.google.com.tr>.
- Jacson, M. L. (1962). Soil Chemical Analysis, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Eng. Cliffs.
- Johnson, A.H., Frizano, J., & Vann, D.R. (2003) Biogeochemical implications of labile phosphorus in forest soils determined by the Hedley fractionation procedure. *Oecologia*, 135:487-499. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1164-5>
- Kacar, B. ve Katkat, V.A. (1997). Tarımda Fosfor. Bursa, Ticaret Borsası Yayınları. Yayın No: 5, Bursa.
- Klotzbücher, A., Kaiser, K., Klotzbücher, T., Wolff, M., & Mikutta, R. (2019) Testing mechanisms underlying the Hedley sequential phosphorus extraction of soils. *J. Soil Sci. Plant. Nutr.*, 182:570-577. <https://doi.org/10.1002/jpln.201800652>
- Laljee, B. (2012). Phosphorous Fixsation as Influenced by Soil Characteristics of Some Mauritian Soils. University of Mauritius. <http://www.gov.mu/portal/sites/ncb/moa/farc/am as97/html/p15.htm>.
- Lambers, H. (2021). Annual review of plant biology phosphorus acquisition and utilization in plants. *Annual Review of Plant Biology.*, 73:17-42. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102720>
- Li, M., Hou, Y.L., & Zhu, B. (2007). Phosphorus sorption-desorption by purple soils of China in relation to their properties. *Aust. J. Soils.*, 45:182-189. <https://doi.org/10.1071/SR06135>
- Mai, W., Xue, X., Feng, G., Yang, R., & Tian, C. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi—15-fold enlargement of the soil volume of cotton roots for phosphorus uptake in intensive planting conditions. *Eur. J. Soil Biol.*, 90:31-35. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.12.002>
- Marschner, P., Solaiman, Z., & Rengel, Z. (2005). Growth, phosphorus uptake and rhizosphere microbial-

- community. Composition of a phosphorous-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168:343–51. <https://doi.org/10.1002/jpln.200424101>.
- Martin, A.E., & Reeve, R. (1955). A rapid manometric method for determining soil carbonate. *Soil Sci.*, 79(3):187-197.
- Matar, A., Torrent, J., & Ryan, J. (1992). Soil and fertilizer phosphorus and crop responses in the dryland mediterranean zone. *Advances in Soil Science*, 18:81-146. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2844-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2844-8_3).
- Mehra, O.P. & 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.
- Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical methods. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of American Society of Agronomy. 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series No: 5.
- Munhoz, R.O., Berton, R.S., & Camargo, O.A. (2011). Phosphorus sorption and redistribution on soil solid phase in a Brazilian Haplorthox amended with biosolids. *Applied and Environmental Soil Sci., Special Issue:7* <https://doi.org/10.1155/2011/283061>.
- McCauley, A., Jones, C. & Jacobsen, J. (2009). Nutrient Management. Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service. Publication, 4449-9, 1–16.
- Negassa, W. & Leinweber, P. (2009). How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review. *J. Plant. Nutr. Soil. Sci.* 172:305–325. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800223>
- Nwoke, O.C., Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., & Osonubi, O. (2004). The Distribution of phosphorus fractions and desorption characteristics of some soils in the moist savanna zone of West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69:127–141. <https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000029677.09424.ef>.
- Oehl, F., Frossard, E., Fliessbach, A., Dubois, D., & Oberson, A. (2004). Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology and Biochemistry Soil Biology and Biochemistry*, 36(4):667–675. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.12.010>.
- Olsen, S.R., Cole, V., Watanable, F.S., & Dean, L.A. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U. S. Dept. of Agr. Cir., 939, Washington. D.C.
- Öztürkmen, A.R., Ramazanoğlu, E., Çakmaklı, M. & Çakmaklı E. (2021). Harran ovası yaygın toprak serilerinin su tutma eğrilerinin belirlenmesi, *BEU Journal of Science*, 10(3):1009-1018. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.877500>
- Page, A.L., Miller, R.H., & 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., & Reddy, K.R. (2001). Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. *Journal of Environmental Quality*, 30:1474–1480. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.3041474x>
- 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.
- Polemio, M., & Rhoades, J.D. (1977). Determining cation exchange capacity: new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41(3):524-528. <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100030018x>.
- Reddy, D.D., Rao, S.A., & Singh, M. (2005). Changes in P fractions and sorption in an alfisol following crop residues application. *J. of Plant Nutrition and Soil Sci.*, 168(2):241-247. <https://doi.org/10.1002/jpln.200421444>
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils. U. S. Dep. Agr. Handbook 60.
- Richardson, A.E. (1994). Soil Microorganisms and Phosphorus Availability. Pankhurst, C. E.; Doube, B. M.; Gupta, V. V. S. R.; Grace, P. R.(eds.) Book chapter: Soil biota: management in sustainable farming systems. pp.50-62 ref.107. ISBN: 9780643055995, Record Number: 19951907604, Publisher: CSIRO Publications
- Ron, V.M., Edwards, A.C., Shand, C.A., & Cresser, M.S. (1993). Phosphorus fractions in soil solution: influence of soil acidity and fertilizer addition. *Plant and Soil*, 148:175-183. <https://doi.org/10.1007/BF00012855>.
- Samadi, A. (2006). Phosphorus Sorption characteristics in relation to soil properties in some calcareous soils of Western Azarbaijan province. *J. Agric. Sci. Technol.*, 8:251-264.
- Sardi, K., & Csatho, H. (2002). Studies on The Phosphorus Adsorption of Different Soil Types and Nutrient Levels. 17.Wcss., Thailand.
- Sattari, S.Z., Bouwman, A.F., Giller, K.E., & Van Ittersum, M.K. (2012) Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle. *Proc Natl Acad Sci.*, 109:6348–6353. <https://doi.org/10.1073/pnas.111367510>
- Schulte, E.E., & Kelling, K.A. (1996). Soil and Applied Phosphorus. Understanding Plant Nutrients. A2520. University of Wisconsin System Board of Regents and University of Wisconsin Extension, Cooperative Extension.
- Shah, T.J, Rai, A.P, & Ma, A. (2019). Relationship of Phosphorus Fractions with Soil Properties in Mothbean Growing Acid Soils of North Western Indian Himalayas, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1604730>
- Shen, J., Rengel, Z., Tang, C., & Zhang, F. (2003). Role of phosphorus nutrition in development of cluster roots and release of carboxylates in soil-grown lupinus albus. *Plant and Soil*, 248:199-206.

- <https://doi.org/10.1023/A:1022375229625>.
- Saygan, E.P. (2007). Harran ovasındaki bazı toprak serilerinin fosfor fraksiyonları. T.C. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Anabilim Dalı, <http://acikerisim.harran.edu.tr>.
- Tisdale, J.L., Nelson, W.L., & Beaton, J.D. (1985). Soil and Fertilizer Phosphorus in Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publishing Company, New York, U.S.A. 189-248.
- Turner, B.L., Cade-Menun, B.J., & Westermann, D.T. (2003). Organic phosphorus composition and potential bioavailability in semi-arid Arable soils of Western United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67(4):1168-1179. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1168>.
- U.S. Salinity Laboratory Staff (1954). Methods for Soil Characterization Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils Agricultural Handbook. No: 60. U.S.A. Washington, D.C.
- Uzunoğlu, 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., & Dos Anjos, U.H.C. (2003). Phosphate sorption in low activity clay soils. *Bragantia Campinas*, 62(1), 111-118.
- Vance, C.P., Uhde-Stone, C., & Allan, D.L. (2003) Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol.*, 157:423-447. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>
- Voort, J. (2010). The effect of carbon on grass-encroachment in the Dutch coastal dunes. Master Thesis Research. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamic.
- Wagai, R., & Mayer, M.R. (2007). Sorptive stabilization of organic matter in soils by hydrous iron oxides. *Geochimical et Cosmochimica Acta*, 71(1):25-35. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.08.047>.
- Walker, T.W., & Adams, A.F.R. (1958). Studies on soil organic matter:1. influence of phosphorus content of organic phosphorus in grassland soil. *Soil Sci.*, 85(6): 307-318.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37(1): 29-38.
- Wang, S., Jin, X., Pang, Y., Zhao, H., Zhao, W., & Wu, F. (2005). Phosphorus fractions and phosphate sorption characteristics in relation to the sediment compositions of shallow lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River region, China. *J. of Colloid and Interface Sci.*, 289:339-346. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.03.081>.
- Xu, X., Zhu, T., Nikonorova, N., & De Smet, I. (2019). Phosphorylation-mediated signalling in plants. In Annual Plant Reviews Online, ed. JA Roberts, pp. 909-32. Chichester, UK: Wiley and Sons
- Yang, J.E., Jones, C.A., Kim, H.J., & Jacobsen, J.S. (2002). Soil inorganic phosphorus fractions and Olsen-P in phosphorus-responsive calcareous soils: Effects of fertilizer amount and incubation time. *Soil Sci. And Plant Analysis*, 33(5-6): 855-871. <https://doi.org/10.1081/CSS-120003071>.
- Zhang, R., Wu, F., Liu, C., Fu, P., Li, W., Wang, L., Liao, H., & Guo, J. (2008). Characteristics of organic phosphorus fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and Southwestern Plateau, China. *Environmental Pollution*, 152(2):366-372. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.024>.
- Zhou, M., & Li, Y. (2001). Phosphorus sorption characteristics of calcareous soils and limestone from the southern everglades and adjacent farmlands. *Soil Science Society of America Journal*, 65(5):1404-1412. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6551404x>.