

Kireçli ana materyal üzerinde oluşan topraklarda fosfor fraksiyonları ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkiler

Hasan Hadi Mahdi Mahdi^a, Veli Uygur^{b*}, Burak Durgun^b

^aBilim ve Teknoloji Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Müdürlüğü, Toprak ve Su Araştırma Bölümü, Bağdat/İrak

^bIsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, 32260 Isparta/Türkiye
*Sorumlu yazar/corresponding author: veliuygur@sdu.edu.tr

Geliş/Received 09/03/2018

Kabul/Accepted 18/11/2018

ÖZET

Fosfor (P), birçok fizyolojik ve biyokimyasal süreçte önemli bir element olduğu için bilinen tüm canlılar için mutlak gereklidir. Toprak oluşum süreçlerine ve arazi kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan toprak özellikleri topraklarda fosforunun yayınlılığı ve jeokimyasal fraksiyonlarında değişikliklere neden olmaktadır. Bu çalışmada Atabey Ovası'ndan toplam 71 adet yüzey toprak örneği (0-20 cm) alınmıştır. Topraklarda kademeli fosfor fraksiyonlaması yapılmıştır. Bu fraksiyonlar; sodyum bikarbonat [NaHCO₃-P (organik Po, inorganik Pi ve total Pt)], sodyum hidroksit [NaOH-P (organik Po, inorganik Pi ve total Pt)], sitrat bikarbonat dithionit (CBD-P), hidroklorik asit ile ekstrakte edilebilen (Ca-P) ve bakiye (Res-P) fosfor şeklindedir. Fosfor fraksiyonlarının toprak özellikleri ile olan ilişkileri tanımlayıcı istatistik analizleri, Pearson korelasyon analizi ve kemometrik analizlerle ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ova topraklarında fraksiyonların ortalama dağılım sırası büyükten küçüğe doğru Ca-P (% 50.36) > Res-P (% 19.94) > CBD-P (% 12.17) > NaOH-Pt (% 6.94) > NaOH-Pi (% 6.24) > NaHCO₃-Pt (% 1.82) > NaHCO₃-Pi (% 1.57) > NaOH-Po (% 0.71) > NaHCO₃-Po (% 0.25) şeklinde izlenmiştir. Bu fraksiyonların oransal dağılımının arazi kullanım şekline bağlı gübreleme miktarına göre değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:
Atabey Ovası
Fosfor (P)
Kemometrik analizler
Sıralı ekstraksiyon

The relations between phosphorus fractions and some soil properties in soils forming on calcareous parent material

ABSTRACT

Phosphorus (P) is essential to all known life forms because it is a key element in many physiological and biochemical processes. Soil properties due to soil formation processes and land use have impacts on the availability of phosphorus in soils and on the change in geochemical fractions. Thus, total of 71 surface soil samples (0-20 cm) were taken from the Atabey Plain. The sequential extraction procedure was executed in the samples. The determined fractions were: sodium bicarbonate [NaHCO₃-P (organic Po, inorganic Pi and Total Pt)], sodium hydroxide [NaOH-P (organic Po, inorganic Pi and Total Pt)], citrate bicarbonate dithionite (CBD-P), hydrochloric acid (Ca-P), and residual (Res-P) phosphorus. Relations of phosphorus fractions with soil properties were revealed by descriptive statistics, Pearson correlation analysis and chemometric analysis. The average distribution of fractions in the plain soils in descending order were: Ca-P (% 50.36) > Res-P (% 19.94) > CBD-P (% 12.17) > NaOH-Pi (% 6.24) > NaHCO₃-Pi (% 1.57) > NaOH-Po (% 0.71) > NaHCO₃-Po (% 0.25). It was determined that the fractal distribution of these fractions changed according to the land use pattern-dependent on fertilizer usage.

Keywords:
Atabey Plain
Phosphorus (P)
Chemometric analyses
Sequential extraction

© OMU ANAJAS 2019

1. Giriş

Topraklarda fosfor; organik fosfor ve inorganik fosfor olmak üzere iki ana grup altında toplanabilir.

Değişen toprak koşulları, gübreleme programı ve bitki örtüsü bu fraksiyonların kendi içerisinde ve farklı fraksiyonlar arasında fosfor geçişlerini etkilemektedir (Uygur ve ark., 2017). Çeltik topraklarında başat

inorganik fosfor fraksiyonu olarak belirlenen Ca-P fraksiyonunun indirgen toprakların pH değişimlerine bağlı olarak ve toprakların CaCO₃ içeriğindeki azalmaya bağlı olarak sürekli azaldığı saptanmıştır. Karbonatlar tarafından tutulmuş fosfor (Ca-P) fraksiyonunu miktarda, CBD-P (Demir oksitler ile hidroksi oksitler içerisinde oklüde olmuş fosfor) ve Al-P + Fe-P (Alüminyum ve demire bağlı oklüde olmamış fosfor) ve bakiye-P fraksiyonları izlemiştir (Kacar ve Katkat, 2009). Fosfat iyonları ayrıca ortamdaki Ca, Mg, Al ve Fe gibi elementlerle birleşerek çökelti oluşturmak suretiyle de yarayışsız hale geçtiği bilinmektedir (Kacar ve Katkat, 2009; Karaman, 2012).

Asit topraklarda Al-P ve Fe-P'deki artış, esasen indirgeyici çözünebilir ve oklüde-P formlarının baskınlığı nedeniyle, Ca-P'deki azalmadan daha az gerçekleştiği tespit edilmiştir (Tandon, 1987). Kireçli topraklar üzerinde yapılan birçok çalışma, P davranışının esas olarak az miktarda bulunan demir veya alüminyum oksitlerin varlığı ile kontrol edildiğini göstermiştir (Solis ve Torrent, 1989). Buna karşılık Korkmaz (2005), kireçli topraklardaki toplam fosforun sırasıyla Ca-P > CDB-P > CB-P > Al-P+Fe-P fraksiyonlarında dağılım gösterdiğini bildirmiştir. Saltalı ve ark. (2007) çayır-mera topraklarının tarıma açılmasıyla organik ve inorganik P fraksiyonlarının önemli ölçüde azaldığını tespit etmiştir. Halajnia ve ark. (2009) inorganik gübreleme yapılmış kireçli topraklarda Olsen-P ile NH₄-asetatta çözünen Al ve aktif kireç arasında pozitif bir ilişki belirlemiştir. Aynı çalışmada ilk 30 günde CBD-P'nin miktarındaki artış, Fe oksitlerin topraklarda P sorpsiyonunda önemini ortaya koymuştur. Fosfor fraksiyonlarının oransal dağılımı HCl-P > OAc-P > Organic-P > CBD-P > Olsen-P > NaCl-NaOH-P sırasını izlemiştir.

Dieter ve ark. (2010) İnceptisol, Alfisol ve Oxisol ordolarındaki topraklarda arazinin jeolojisi, topoğrafyası ve bitki örtüsünün fonksiyonu olarak hareketli P fraksiyonundaki inorganik ve organik fosforun oransal miktarının % 4.7-11.4 arasında değişim gösterdiğini bildirmiştir. Diğer taraftan Achat ve ark. (2016), asidik ve asidik olmayan topraklarda fosfat iyonlarının dinamiklerinin kontrolünde alüminyum ve demir oksitlerin ve organik karbonun baskın rolünü ortaya koymuştur. Gübrelemenin fosfor fraksiyonlarına etkisinin anlaşılması açısından Alovise ve ark. (2016) yaptıkları çalışma, inorganik P gübrelemesinin orta labil ve labil P fraksiyonları üzerine etkisinin yüksek olduğunu göstermiştir. Organik P fraksiyonlardan NaHCO₃-Po fraksiyonu bitki beslemesine katkıda bulunan tek fraksiyon olduğu gözlenmiştir. Bu duruma paralel olarak Maranguit ve ark. (2017), yarayışlı P fraksiyonları (H₂O-Pi, NaHCO₃-Pi ve Po) ve toplam organik P miktarı ile karbon içeriği arasında kuvvetli pozitif korelasyon gözlemişlerdir.

Mevcut literatürler ışığında bu çalışmada Atabey Ovası topraklarında fosfor fraksiyonları üzerine toprak özellikleri tanımlayıcı istatistikler, Pearson korelasyon

ve temel bileşen analizleri kullanılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Toprak örneklerinin alınması

Atabey Ovası'nda yer alan 20 toprak serisinden her bir seriden en az üç alt örnek olmak üzere toplamda 71 adet kompozit yüzey toprağı örneği (0-20 cm) alınmıştır (Durgun, 2016). Topraklar, hava kuru durumuna geldikten sonra 2 mm'den elenmiş ve aşağıda belirtilen tanımlayıcı analizler ve P fraksiyonlaması yapılmıştır.

2.2. Toprakların tanımlayıcı özellikleri

Toprak örneklerinde, amonyum asetatla ekstrakte edilebilen Na, K, Ca ve Mg (Rhoades, 1982), organik madde (OM) modifiye edilmiş Walkley-Black metodu ile potasyum dikromat (K₂Cr₂O₇) ile yaş yakarak (Nelson ve Sommers, 1982), toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenliğini sırasıyla pH-metre ve Wheatstone köprüsü prensibiyle saturasyon çamurunda, yarayışlı fosfor Olsen metodu ile, kation değişim kapasitesi (KDK) sodyum asetat (1 M, pH 8.2) yöntemi ile (Rhoades, 1982), tekstür Bouyoucos hidrometresi ile belirlenmiştir (Gee ve Bauder, 1986). Toprakların kireç eşdeğerleri Scheibler kalsimetresinde manometrik metot ile belirlenmiştir (Nelson, 1982). Topraklarda aktif kireç Drouineau (1942) tarafından bildirildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerinde belirlenmiş olan parametrelere ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.

2.3. Fosfor fraksiyonlarının belirlenmesi

Topraklar, Hedley ve ark. (1982) ve Kuo (1996) kademeli ekstraksiyonlarının kombinasyonundan oluşan bir sıralı ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Reaktifler ve operasyonel olarak tanımlanan kimyasal fraksiyonlar aşağıdaki gibidir:

Fraksiyon I (NaHCO₃-P): Bitkiye yarayışlılığı en yüksek olan detayı Olsen ve ark. (1954) tarafından bildirildiği şekilde pH'sı 8.5'e ayarlanmış 0.5 M'lık NaHCO₃ çözeltisiyle 1:20 oranında yapılan ekstraksiyondur. Bu fraksiyon ikiye ayrılmıştır: I) molibdat ile reaksiyona girebilen inorganik (NaHCO₃-Pi) ve II) konsantre HNO₃ ile yakma sonucunda elde edilen toplam P'den inorganik P'nin çıkartılması ile elde edilen organik P (NaHCO₃-Po). Her iki fraksiyon da askorbik asit yöntemi ile renklendirildikten sonra spektrofotometrede (T 80 UV / VIS spektrofotometre) kolorimetrik olarak tayin edilmiştir (Murphy ve Riley, 1962).

Fraksiyon II. sodyum hidroksit (NaOH-P): Bir önceki aşamadan kalan toprak örnekleri 0.1 N NaOH + 1 M NaCl çözeltisinin 50 ml'si ile 17 saat çalkalanmış ve daha sonra iki kez 25 Ml'lik 1 M NaCl ile yıkanmış ve tüm çözeltiler bir kapta toplanmıştır. Bu fraksiyon da

Çizelge 1. Araştırma topraklarının rutin özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikleri (N:71)

Toprak	Min	Maks.	Ort.	Std.	Çarpıklık	Basıklık	Medyan	Mod	Varyans
pH	6.78	8.03	7.69	0.29	-1.56	1.69	7.79	7.84	0.08
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	105.2	762	294.6	120.2	1.03	2.06	276	210	14450
OM (%)	0.51	6.94	2.07	0.97	2.22	8.63	1.99	2.04	0.95
Kireç (%)	0.66	41.53	11.13	10.73	1.18	0.56	7.82	0.93	115.1
Aktif kireç (%)	0.50	2.83	1.20	0.56	0.64	-0.14	1.18	0.57	0.31
Kum (g kg^{-1})	5.70	695	384.8	163.3	-0.18	-0.43	379.3	5.70	26695
Silt (g kg^{-1})	118.0	667	247.4	95.86	1.45	3.93	225	167	9188
Kil (g kg^{-1})	146.9	7034	367	125.3	0.58	0.16	353	146	15708
KDK (cmol kg^{-1})	11.20	62.9	33.68	10.51	0.57	0.34	32.80	27.5	110.4
Ca (cmol kg^{-1})	6.90	42	25.32	8.04	-0.39	-0.16	27	28.10	64.65
Mg (cmol kg^{-1})	1.20	15.8	5.49	3.10	1.14	1.11	4.92	1.41	9.63
K (cmol kg^{-1})	0.41	3.60	1.59	0.80	0.86	-0.09	1.35	0.76	0.64
Na (cmol kg^{-1})	0.05	2.15	0.61	0.27	2.32	16.15	0.61	0.61	0.07
P (mg kg^{-1})	3.91	96.7	18.6	19.36	2.81	7.95	13.0	4.48	374.7

önceki fraksiyonda olduğu gibi iki alt fraksiyona (NaOH-Pi ve NaOH-Po) ayrılmıştır.

Fraksiyon III (CBD-P): Kuo (1996) tarafından tarif edilen sitrat-bikarbonat-ditiyonit ekstraksiyon yöntemi ile ayrılmıştır. Bu fraksiyon, çoğunlukla serbest demir oksitlere bağlı orta derecede yarıyışlı P'yi içermektedir. Renklendirme çözeltisinden renk oluşumunu iyileştirmek için 1.5 mL/25 mL % 5 amonyum molibdat çözeltisi eklenmiştir (Weaver, 1974).

Fraksiyon IV (Ca- P): Örneklerdeki bakiye $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ oksidasyonu sağlandıktan sonra toprak örneği üzerine 50 mL 0.5 M HCl ilave edilip ve 1 saat çalkalanarak santrifüjlenmiş ve sıvı ayrılmıştır. Santrifüjlemeden sonra ekstrakt 100 mL'lik ölçü balonuna konularak 25 mL doymuş NaCl çözeltisiyle 2 defa daha yıkanmış ve hacim doymuş NaCl ile 100 mL'ye tamamlanmıştır.

Fraksiyon V (Bakiye-P): Bu fraksiyon; dirençli, bitkiye yarıyışlılığı çok düşük olan, çoğunlukla primer minerallerin yapısında ve/veya çözünmemiş organik maddenin yapısında bulunan P fraksiyonlarını içermektedir. Dirençli fraksiyon yaş yakma ($\text{HNO}_3:\text{HCl}$, 3:1, V / V) yöntemiyle çözülmüş ve fosfor miktarı Murphy ve Riley (1962) metodu 880 nm dalga boyunda kolorimetrik olarak tespit edilmiştir.

2.4. İstatistiksel analizler

Toprakların fiziko-kimyasal özelliklerine ve fosfor fraksiyonlarına (konsantrasyon ve oransal değerler) SPSS 17.0 paket programında tanımlayıcı istatistik analizleri uygulanmıştır. Yapılan temel tanımlayıcı istatistikler sonucunda normal dağılım göstermeyen yani çarpıklık değeri ≥ 2 x çarpılığın standart sapması olan özelliklerde log transformasyonu yapılarak veri setinin normal dağılıma sahip olması ya da normal dağılıma yaklaştırılması sağlanmıştır (Berkman ve Reise, 2012). Daha sonra fraksiyonların toprak özellikleri ile olan ilişkileri konvansiyonel korelasyon analizi ile incelenmiştir. Topraklarda belirlenen fosfor fraksiyonları ile tanımlayıcı toprak özelliklerine veri indirgeme yöntemi olan temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır (SPSS, 2004).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fosfor fraksiyonlarının tanımlayıcı istatistikleri

Toprakların kademeli olarak çözülen, farklı fosfor fraksiyonlarına ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 2'de fraksiyonların tamamının tipik normal dağılıma sahip olmadığı çarpıklık ve / veya basıklık değeri ≥ 2 x standart hata değerine sahip olmasından anlaşılmaktadır. Genelde çarpıklık katsayısının mutlak değeri fraksiyonun yarıyışlılığı ile doğru orantılı olarak değişim göstermiştir. Yani yarıyışlılığı yüksek P fraksiyonları (NaHCO₃-Po, NaHCO₃-Pi, NaOH-Pi ve NaOH-Po) daha yüksek pozitif çarpıklık göstermektedir. Bu fraksiyonlardaki pozitif kuyruklanma, topraklarda genel itibarıyla büyük ölçüde yapılan gübreleme uygulamaları ve/veya kısmen toprak oluşum süreçlerinin etkisiyle bazı topraklarda aşırı bir yükselmenin olduğuna işaret etmektedir. Bu da çalışma sahasının büyüklüğü ve toprak oluşum süreçlerindeki benzerlikler, özellikle iklim ve ana materyalin genelde benzerliği (Akgül ve ark., 2001) göz önüne alındığında yapılan tarımsal uygulamaların etkisini ön plana çıkarmaktadır. Genelde kurak yarı kurak bölgelerde kireçli ana materyal üzerinde oluşan topraklarda yarıyışlı P içeriği düşüktür. Çalışma sahası topraklarında yarıyışlı P olarak kabul edilen Olsen-P (NaHCO₃-Pi) 3.91-96.68 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermekte ve ortalaması da 18.68 mg kg⁻¹ dir. Bu da gösteriyor ki topraklar oldukça yüksek bir kimyasal gübreleme altındadır. Kireçli topraklara aşırı gübreleme yapıldığında muhtemelen Fe / Al oksitlerin veya karbonat minerallerinin bolluğuna ve termodinamik koşulların yönetimine bağlı olarak Ca-P ve / veya CBD-P'de birikir. Bu durum Ca-P bileşiklerinin alkalın kireçli şartlarda daha stabil ve Fe çözünürlüğünün düşük olduğu düşünüldüğünde (Lindsay, 1979; Uygur ve Karabatak, 2009) beklenen bir durumdur. Solis ve Torrent (1989) topraktaki fosfor sitrat-bikarbonat-ditiyonit (CBD) ekstraksiyonu oklüde fosfor fraksiyonunun, CBD ile ekstrakte edilen Fe ile ve

Çizelge 2. Fosfor fraksiyonlarına transformasyon uygulanmadığı durumdaki tanımlayıcı istatistikler (N:71)

Fraksiyonlar (mg kg ⁻¹)	Min.	Maks.	Ortalama		Std. Sapma	Varyans	Çarpıklık		Basıklık	
			İstatistik	Std.			İstatistik	Std.	İstatistik	Std.
NaHCO ₃ -Pt	5.17	117.2	21.42	2.55	21.47	461.0	3.04	0.28	9.34	0.56
NaHCO ₃ -Pi	3.91	96.68	18.67	2.30	19.36	374.7	2.81	0.28	7.95	0.56
NaHCO ₃ -Po	0.27	20.52	2.75	0.43	3.65	13.34	3.16	0.28	12.11	0.56
NaOH-Pt	28.04	257.8	76.66	4.81	40.55	1644.5	2.12	0.28	6.25	0.56
NaOH-Pi	25.99	226.6	69.43	4.47	37.69	1420.4	2.15	0.28	6.06	0.56
NaOH-Po	0.51	31.20	7.23	1.01	8.47	71.81	1.54	0.28	1.29	0.56
CBD-P	41.78	312.6	127.5	5.88	49.54	2453.9	1.36	0.28	3.40	0.56
Ca-P	200.2	1454.9	573.1	32.1	270.9	73420	1.16	0.28	1.55	0.56
Res-P	55.27	490.4	215.4	12.8	108.1	11690	0.92	0.28	-0.10	0.56

oklüde P'nin Fe-P minerallerinin kristal örgüsüyle ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Düşük çarpıklık ilgili fraksiyondaki göreceli değişimin daha düşük seviyelerde gerçekleştiğini işaret etmektedir. Çoğunlukla primer minerallerden ve organik maddenin yapısında yer alan P'den oluşan Res-P düşük çarpıklık ve negatif basıklık olan tek fraksiyondur. Organik maddeden kaynaklanan etkinin büyük bir kısmı önceki aşamalarda (özellikle de NaHCO₃ ve NaOH gibi alkali ekstraksiyon aşamaları) ayırt edilmiştir. Geride alkali ile çözünmeyen ancak okside olabilen organik maddelerden kaynaklanan bir kısım kalmıştır ki bu da veri setinde göreceli olarak daha düşük çarpıklık katsayısı şeklinde kendini göstermiştir. Walkers ve Syers (1976)'nin önerdiği "conceptual model" e göre Res-P fraksiyonunun önemli bir kısmının apatit formunda olduğu bildirilmektedir.

3.2. Fosfor fraksiyonları ve toprak özellikleri arasındaki ilişkiler

Bazı toprak fiziko-kimyasal özellikleri ile P-fraksiyonları arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir. NaHCO₃-Pi fraksiyonu ile OM miktarı ($r = 0.617^{**}$), EC ($r = 0.411^{**}$), kum ($r = 0.259^*$), K ($r = 0.369^{**}$), NaHCO₃-Pt ($r = 0.98^{**}$), NaHCO₃-Po ($r = 0.516^{**}$), NaOH-Pt ($r = 0.524^{**}$), NaOH-Pi ($r = 0.780^{**}$), CBD-P ($r = 0.465^{**}$), Ca-P ($r = 0.457^{**}$) ve toplam-P ($r = 0.646^{**}$) arasında önemli pozitif korelasyon, kil ($r = -0.255^*$) içeriği ile önemli negatif korelasyonlar bulunmuştur (Çizelge 3 ve 4). Toprakların NaHCO₃-Pi ile ekstrakte edilebilir fosfor fraksiyonlarının OM, EC, kum, K, NaHCO₃-Pt, NaHCO₃-Po, NaOH-Pt, NaOH-Pi içeriği, CBD-P, Ca-P ve toplam-P arasındaki pozitif ilişki gübreleme programıyla açıklanabilir. Kil miktarının azalması, yarayışlı fosfor miktarını artırmaktadır ki bunun da adsorpsiyon mekanizmaları ile ilişkili olduğu düşünülebilir. Lyons ve ark. (1998) nehir teras topraklarında inorganik fosforun, adsorpsiyon kapasitesi ve drenaja bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

Maranguit ve ark. (2017) yarayışlılığı yüksek P fraksiyonları (H₂O-Pi, NaHCO₃-Pi ve Po) ile toplam organik P miktarı ve karbon içeriği arasında güçlü bir pozitif korelasyon tespit etmiştir.

Çizelge 3. Fosfor fraksiyonları ve bazı toprak özellikleri arasındaki Pearson korelasyon matrisi (N:71)

Toprak Özellikleri	Fosfor Fraksiyonları									
	NaHCO ₃			NaOH			CBD-P	Ca-P	Res-P	Top-P
	Pt	Pi	Po	Pt	Pi	Po				
OM	0.65**	0.61**	0.56**	0.62**	0.61**	0.25*	0.46**	0.50**	0.29*	0.63**
Kireç	0.14	0.13	0.13	0.06	0.08	-0.08	0.02	0.31**	-0.02	0.22
Aktif	0.16	0.14	0.21	0.11	0.14	-0.06	0.13	0.47**	0.21	0.41**
pH	-0.09	-0.08	-0.10	-0.20	-0.18	-0.18	-0.13	0.25*	-0.12	0.07
EC	0.39**	0.41**	0.14	0.16	0.19	-0.09	-0.05	0.19	0.03	0.19
Kum	0.24*	0.25*	0.06	0.27*	0.26*	0.11	0.06	0.17	-0.06	0.18
Silt	-0.1	-0.10	0.01	-0.10	0.02	-0.11	0.08	0.05	0.03	0.02
Kil	-0.24*	-0.25*	-0.08	-0.28*	-0.29*	-0.06	-0.13	-0.26*	0.05	-0.24*
KDK	-0.03	-0.03	-0.02	-0.09	-0.08	-0.11	-0.11	-0.01	0.29*	0.03
Ca	-0.01	-0.01	0.02	-0.17	-0.15	-0.16	-0.18	0.12	0.14	0.05
K	0.34**	0.36**	0.081	0.255*	0.282*	-0.034	0.094	0.36**	0.14	0.36**
Mg	0.008	0.007	0.01	0.03	0.008	-0.04	0.024	0.24*	0.16	0.20
Na	0.128	0.137	0.028	0.216	0.165	0.30*	0.125	-0.09	-0.18	-0.03
P	0.98**	1.00**	0.51**	0.76**	0.78**	0.169	0.46**	0.45**	0.229	0.64**

korelasyonlar, kil ($r = -0.264^*$) önemli negatif korelasyon bulunmuştur (Çizelge 3 ve 4). Toprakların Ca-P ile ekstrakte edilebilir fosfor fraksiyonlarının OM olan ilişkisi bitki örtüsünden kaynaklanan gübreleme uygulamaları ile açıklanabilir. Diğer özelliklerle olan pozitif korelasyonlar yörede uygulanan aşırı fosforlu gübrelemenin bir sonucu olarak kısa ve uzun vadede tamponlama yapan fraksiyonlardaki artış ile ilişkili olduğu düşünülebilir. Negatif ilişkiler ise ilave edilen P'nin Ca-P fraksiyonunda birikmesine engel olan toprak özellikleriyle ilgilidir. Nitekim bu çalışmada Ca-P fraksiyonu ile kil özellikleri arasında negatif ilişkiler bulunmuştur. Yani söz konusu toprak bileşenlerinin yüksek olduğu durumlarda toprağa ilave edilen P'nin Ca-P fraksiyonu yerine kil yüzeylerinde adsorbe edildiğinin bir işaretidir. Patiram ve ark. (1990) asit topraklarda P'nin ağırlıklı olarak CBD-P fraksiyonunda bulunduğunu. Al-P ve Ca-P'nin fraksiyonlarının önemli miktarda değişmediğini bulmuşlardır. Tandon (1987), nötr-alkalin topraklarda toplam P'nin yaklaşık % 40-50'sini Ca-P fraksiyonunun oluşturduğunu ve hatta kireçli topraklarda bu oranın % 50'nin de üzerine çıktığını bildirmişlerdir. Bu bağlamda bu araştırmada tespit edilen aktif kireç ile Ca-P arasındaki yüksek ilişki Ca-P'nin bu topraklarda stabil bir fosfor fraksiyonu olduğunu göstermektedir.

Res-P fraksiyonu ile OM miktarı ($r = 0.291^*$), KDK ($r = 0.295^*$), Ca-P ($r = 0.352^{**}$) ve toplam-P ($r = 0.556^{**}$) arasında önemli pozitif korelasyon bulunmuştur (Çizelge 3 ve 4). KDK ile olan ilişki toprak oluşum süreçlerinde P'yi tutabilme yeteneği yüksek kil minerallerinden dolayı bir artışa işaret ederken, OM ile olan ilişki topraklarda gerek genetik gerekse amenajman kaynaklı organik madde artışında toplam fosforun önemli bir kısmının organik madde içerisinde yer aldığına işaret etmektedir. Patiram ve ark. (1990), Res-P'nin toplam ve organik P ile yüksek oranda ilişkili olduğunu, ancak diğer inorganik P formlarıyla negatif bir ilişkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Bu yaklaşımın tersi düşünüldüğünde aşırı gübreleme yapıldığında topraklarda termodinamik açıdan stabil olan apatit mineralinin oluşması söz konusu olabilir. Gerek ayrışmanın göreceli olarak daha az gerçekleştiği gerekse aşırı gübrelemenin yaygın olduğu çalışma alanı topraklarında Res-P'nin yüksek olması bu bağlamda beklenen bir durumdur. Shukla ve ark. (2016) ve Uygur ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmalarda kireçli topraklarda Res-P'nin göreceli olarak yüksek miktarlarda bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Toplam-P NaOH-Po dışındaki tüm diğer fraksiyonlarda çok önemli korelasyon katsayıları vermiştir. En yüksek korelasyon katsayıları ise Ca-P (0.924^{**}) ve NaOH-Pi (0.733^{**}) fraksiyonlarında elde edilmiştir. Bu durum, topraklara ilave edilen inorganik fosforun orta dereceli yarıyışlı NaOH-Pi ya da Fe ve Al oksit yüzeylerinde oklüde olmadan tutulduğunu sonraki aşamada ise kireçli topraklarda termodinamik açıdan

stabil olan Ca-P fraksiyonuna (Lindsay, 2001; Uygur ve Karabatak, 2009) dönüştüğüne işaret etmektedir. NaHCO₃-P fraksiyonlarıyla olan yüksek ilişki ise toprakların aşırı fosforlu gübre altında olduğunun bir belirtisi kabul edilebilir.

3.3. Kemometrik ilişkiler

Topraklarda belirlenen fosfor fraksiyonları ile tanımlayıcı toprak özelliklerine veri azaltma yöntemi olan temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır. SPSS'in varimax rotasyon rutini ile korelasyon matrisi kullanılarak özdeğeri 1'den büyük olan 6 ayrı temel bileşen elde edilmiştir (Çizelge 5). Bu bileşenlerle toplamda meydana gelen varyansın % 77.37'si açıklanabilmektedir. Temel bileşenler (PC1-6) toplam varyansın sırasıyla % 28.96, 21.49, 9.41, 6.65, 6.03 ve 4.81'lik bir kısmını açıklayabilmektedir. İzole edilen 6 bileşenden dördü, P fraksiyonlarının açık kavramsal gruplamaları ile bağlantılı olarak, ilgili fraksiyonları etkileyen bazı toprak özellikleri ile ilişkilidir: PC1, NaHCO₃-Pt, NaHCO₃-Pi, NaHCO₃-Po, NaOH-Pt, NaOH-Pi, CBD-P, Ca-P, Res-P ve toplam-P; PC4 NaOH-Po, Ca-P, Res-P ve toplam-P; PC5 NaHCO₃-Po ve CBD-P ve PC 6 NaOH-Po ile yüksek yüklenme değerlerine sahiptir. PC2 ve PC3 ayrıca, toprakların fizikokimyasal özelliklerinin P fraksiyonlarına etkisini açıklamaktadır (Çizelge 6). PC1 ve PC2'nin dağılım grafiği incelendiğinde bazı toprakların önemli farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. "0" dan geçen hatlar altında temel bileşenlerinin en etkili olduğu hattı göstermektedir. Bu açıdan X eksenine paralel "0" noktasında geçen hattın negatif ucunda yer alan topraklar (44, 41, 40) PC1 ile negatif yüklenme değerleri veren toprak özellikleriyle -ki bu açıdan herhangi bir toprak özelliği -0.3'ün üzerinde dikkate değer bir yüklenme değerine sahip değildir- (Çizelge 6); hattın sağ ucunda yer alan topraklar (55, 9,33, 64, 63) ise PC1 ile pozitif yüklenme değerleri veren toprak özellikleri nedeniyle farklılık göstermektedir. Bu özelliklere ilave olarak kısmen toprak amenajman pratiklerinin kısmen de toprak oluşum süreçlerinin etkisi altında olan OM (0.747) pozitif yüklenme değerine sahiptir (Çizelge 6). Bu da toprakların fosfor yarıyışlılığında OM maddenin önemli bir katkısının olduğunu göstermektedir. Nitekim yapılan çalışmalar topraklara organik madde ilavesinin yarıyışlı P miktarını arttırdığını bildirmektedir (Uygur ve Karabacak, 2009).

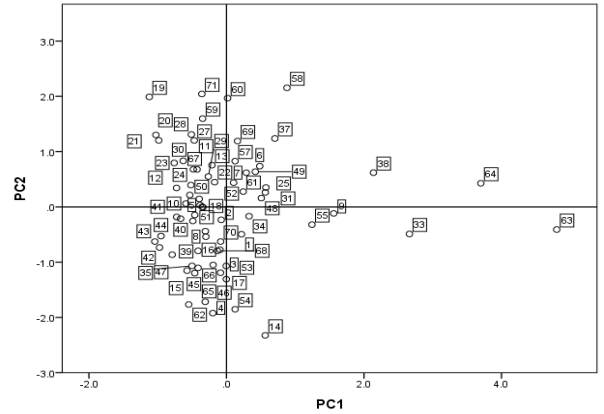
Y eksenine paralel "0" noktasında geçen hattın negatif ucunda yer alan topraklar (4, 54, 46, 65) PC2 ile negatif yüklenme değerleri veren toprak özellikleriyle yani; kum ve Na miktarı ile hattın üst ucunda yer alan topraklar (60, 71) ise PC2 ile pozitif yüklenme değerleri veren toprak özelliklerinden kireç, aktif kireç, EC, pH, silt, kil, KDK, yarıyışlı K, Ca ve Mg değişkenlerinin etkisi altındadır (Şekil 1).

Çizelge 5. Temel bileşenlerle açıklanan özdeğeri “1”den büyük olan varyanslar

Bileşenler	Başlangıç Özdeğerleri			Döndürülmüş Kareli Yüklerin Toplamı		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	6.662	28.964	28.964	6.662	28.964	28.964
2	4.943	21.490	50.454	4.943	21.490	50.454
3	2.166	9.419	59.874	2.166	9.419	59.874
4	1.530	6.651	66.525	1.530	6.651	66.525
5	1.388	6.034	72.559	1.388	6.034	72.559
6	1.107	4.813	77.372	1.107	4.813	77.372

Kumun yüksek olması, kolayca yıkanmayı sağlayıp fosforun toprakta tutulmasını önlemektedir. Sodyum ise organik maddenin çözünürlüğünü artırarak adsorpsiyon yüzeylerinde yarıyışlı P ile rekabete neden olabilmektedir. Özellikle NH_4 -asetat ile ekstrakte edilebilir Ca miktarı KDK ile birlikte, ki en yüksek yükleme değerlerini vermiştir, P'nin toprakta yarıyışsız olarak tutulmasında en önemli etkenlerdendir (Akinremi ve Cho, 1991) ve Ca-P kireçli alkalın topraklarda termodinamik açıdan en stabil P katı fazıdır (Lindsay, 2001; Uygur ve Karabatak, 2009). “0” eksenlerinden uzaktaki noktalar her iki bileşen ile yüksek yükleme değerine sahip toprak özellikleri nedeniyle ayrımlıdır. Örneğin 35, 42, 47 nolu topraklar her iki bileşenle negatif yükleme değeri veren toprak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak diğer topraklardan farklılık göstermektedir. 19, 20 ve 21 nolu topraklar ise PC1 ile negatif PC2 ile pozitif yükleme değerleri nedeniyle ayrımlıdır. Bu topraklar “0” eksenlerine uzaklığı

derecesinde temel bileşenin ilgili toprak özelliklerine ait yükleme derecesindeki payı artmaktadır.



Şekil 1. PC1 ve PC2 ile ilişkili parametreler çerçevesinde toprakların dağılımı

Çizelge 6. Temel bileşenlerle toprak özellikleri arasındaki yükleme matrisi*

Toprak özellikleri	Temel bileşenler					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
NaHCO₃-Pt	0.891					
NaHCO₃-Pi	0.865					
NaHCO₃-Po	0.654				-0.315	
NaOH-Pt	0.880					
NaOH-Pi	0.888					
NaOH-Po				0.327		0.622
CBD-P	0.646				-0.382	
Ca-P	0.741			-0.333		
Res-P	0.352			-0.656		
Toplam-P	0.892			-0.352		
OM	0.778					
Kireç		0.317	0.775			
Aktif Kireç	0.338	0.589	0.454			
pH		0.522	0.542		0.398	
EC	0.315	0.589		0.427	0.379	
Kum		-0.827			0.402	
Silt		0.579	0.416		-0.375	
Kil		0.635	-0.527			
KDK		0.803	-0.484			
Ca		0.915				
K	0.387	0.496			0.399	
Mg		0.516				0.531
Na		-0.467		0.524		

4. Sonuç

Atabey Ovası'ndan 20 toprak serisinden alınan toplam 71 adet toprak örneğinde tanımlayıcı detaylı analizler yapılmıştır. Tanımlayıcı analizler topraklarda OM'nin ve yarıyıllık P özelliklerinin bitki örtüsü ve aşırı gübreleme nedeniyle dikkate değer bir artma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Ova topraklarında fraksiyonların ortalama dağılım sırası büyükten küçüğe doğru; Ca-P (% 50.36) > Res-P (% 19.94) > CBD-P (% 12.17) > NaOH-Pt (% 6.94) > NaOH-Pi (% 6.24) > NaHCO₃-Pt (% 1.82) > NaHCO₃-Pi (% 1.57) > NaOH-Po (% 0.71) > NaHCO₃-Po (% 0.25) şeklinde izlenmiştir. Topraklarda potansiyel olarak yarıyıllıklığı yüksek olan fraksiyonların ortalama miktarının (NaOH-Pt + NaHCO₃-Pt) % 8.76 olduğu bu değer de göreceli olarak bazı topraklarda anormal derecede, çevre kirliliğine neden olabilecek seviyede, yüksek olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, ayrıca Atabey Ovası topraklarındaki eksiklik / toksisite mekanizmalarını anlamak için önemli bir veri tabanı oluşturmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından 4886-YL1-17 nolu yüksek lisans projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Achat, D.L., Pousse, N., Nicolas, M., Brédoire, F., Augusto, L., 2016. Soil properties controlling inorganic phosphorus availability: general results from a national forest network and a global compilation of the literature. *Biogeochemistry*, 127(2): 255-272. doi: 10.1007/s10533-015-0178-0.
- Akinremi, O.O., Cho, C.M., 1991. Phosphate and accompanying cation transport in a calcareous cation-exchange resin system. *Soil Science Society of America Journal*, 55 (4): 959-964. doi:10.2136/sssaj1991.03615995005500040010
- Akgül, M., Başayığıt, L., Uçar, Y., Müjdecı, M., 2001. Atabey Ovası toprakları. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, 71s, Isparta.
- Alovisi, A.M.T., Neto, A.E.F., Serra, A.P., Alovisi, A.A., Tokura, L.K., Lourente, E.R.P., da Silva, R.S., da Silva, C.F.B., Fernandes, J.S., 2016. Phosphorus and silicon fertilizer rates effects on dynamics of soil phosphorus fractions in oxisol under common bean cultivation. *African Journal of Agricultural Research*, 11(30): 2697-2707. doi:10.5897/ajar2016.11304.
- Berkman, E. T., Reise, S. P., 2012. A conceptual guide to statistics using SPSS. Sage ISO 690.
- Dieter, D., Elsenbeer, H., Turner, B.L., 2010. Phosphorus fractionation in lowland tropical rainforest soils in Central Panama. *Catena*, 82 (2): 118-125. doi.org/10.1016/j.catena.2010.05.010.
- Durgun, B., 2016. Atabey Ovası'ndaki toprak serilerinde çinko fraksiyonlarının belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Isparta.
- Drouineau, G., 1942. Dosage rapide du calcaire actif de sols. Nouvelles donnes sur la repartition et la nature des fractions calcaires. *Annales de Agronomie*, 12: 441-450.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis. In: Klute A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI., USA. pp. 383-411.
- Halajnia, A., Haghnia, G.H., Fotovat, A., Khorasani, R., 2009. Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure. *Geoderma*, 150 (1): 209-213. doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.02.010.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., Chauhan, B.S., 1982. Changes in inorganic and organic soil-phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 970-976. doi:10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x.
- He, Z. L., Yang, X., Yuan, K. N., Zhu, Z. X., 1994. Desorption and plant-availability of phosphate sorbed by some important minerals. *Plant Soil*, 162 (1): 89-97.
- Karaman, M.R., 2012. Bitki besleme. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 14021, 1066s, Ankara.
- Kacar, B., Katkat, A.V., 2009. Bitki besleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 849, 659s, Ankara.
- Kacar, B., 2013. Temel gübre bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 695, 502s, Ankara.
- Korkmaz, K., 2005. Kireçli toprakların fosfor durumlarının belirlenmesi ve fosfor uygulamasının mısır verimine etkisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s, Adana.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: Sparks, DL (ed.). *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods*. Soil Science Society of America, Series No: 5, WI, USA. pp. 869-920.
- Lindsay, W.L., 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Lindsay, W.L., 2001. *Chemical equilibria in soils*. The Blackburn Press, USA.
- Lyons, J.B., Gorres, J.H., Amador J.A., 1998. Spatial and temporal variability of phosphorus retention in a riparian forest soil. *Journal of Environmental Quality*, 27: 895-903. doi:10.2134/jeq1998.00472425002700040025x.
- Maranguit, D., Guillaume, T., Kuzyakov, Y., 2017. Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. *Catena*, 149: 385-393. doi.org/10.1016/j.catena.2016.10.010.

- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36. doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L. et al (Eds). *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. Second Edition*, Soil Science Society of America, Agronomy No: 9, WI, USA. pp. 539-579.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe F.S., Dean. L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US. Department of Agriculture, Circ. 939.
- Patiram, R.N., Raj, M.M., Prasad, R.N., 1990. Forms of soil phosphorus and suitable extractants for available phosphorus in acid soils of Sikkim. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 38 (1): 237-242.
- Rhoades, J.D., 1982. Cation exchange capacity. In: Page, A.L. et al (Eds). *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. Second Edition*, Soil Science Society of America, Agronomy No: 9, WI, USA. pp. 149-147.
- Saltalı, K., Kılıç, K., Koçyigit, R., 2007. Changes in sequentially extracted phosphorus fractions in adjacent arable and grassland ecosystems. *Arid Land Research and Management*, 21(1):81-89. doi.org/10.1080/15324980601074602.
- SPSS, I., 2004. SPSS 13.0 for windows. Chicago, Illinois, USA.
- Solis, P., Torrent, J., 1989. Phosphate fractions in calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 53: 462-466. doi.10.2136/sssaj1989.03615995005300020026x.
- Shukla, K., Kumar, B., Naaz, A., Narayan, C., 2016. Phosphorus fractions in irrigated and rainfed agricultural soils of Central India. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 64 (2): 148-156. doi.10.5958/0974-0228.2016.00019.0.
- Tandon, H.L.S., 1987. Phosphorous research and agricultural production in India. Fertility Development and Consultant Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Greater Kailash 1, New Delhi.
- Uygur, V., Karabatak, I., 2009. The effect of organic amendments on mineral phosphate fractions in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(3): 336-345. doi.10.1002/jpln.200700326.
- Uygur, V., Durgun, B., Şenol, H., 2017. Chemical fractions of phosphorus: the effect of soil orders, soil properties, and land use. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48: 1319-1335. doi.org/10.1080/00103624.2017.1341919.
- Violante, A., Pigna, M., Ricciardella, M., Gianfreda, L., 2002. Adsorption of phosphate on variable charge minerals and soils as affected by organic and inorganic ligands. *Development in Soil Science*, 28A: 279-295.
- Walker, T., Syers, J., 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 15: 1-19. doi.org/10.1016/S0166-2481(02)80057-5.
- Weaver, R. M. 1974. A simplified determination of reductant-soluble phosphate in soil phosphate fractionation schemes. *Soil Science Society of American Proceedings*, 38: 153-54.
- Wei, S., Tan, W., Liu, F., Zhao, W., Weng, L., 2014. Surface properties and phosphate adsorption of binary systems containing goethite and kaolinite. *Geoderma*, 213: 478-484. doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.09.001.
- Yi-Chao, S.H.I., Ziadi, N., Messiga, A.J., Lalande, R., Zheng-Yi, H.U., 2015. Soil phosphorus fractions change in winter in a corn-soybean rotation with tillage and phosphorus fertilization. *Soil Science Society of China*, 25 (1): 1-11. doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60071-0.