

TEKNİK NOT/TECHNICAL NOTE

SABİT YATAKLI KOLONDA BOKSİT KULLANILARAK SULARDAN FOSFAT GİDERİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

H. Soner ALTUNDOĞAN^{1,2}, Fikret TÜMEN¹

ÖZ

Bu çalışmada orto, tripoli ve glisero fosfatların -50+100 mesh tane boyutundaki boksit kullanılarak sürekli bir kolon sisteminde giderilmesi araştırıldı. Başlangıç pH'sı 2,0, 2,5 ve 3,0 olan fosfat çözeltileriyle yapılan deneyler sonucu, etkin bir giderme için en uygun pH'ların orto ve tripoli fosfatlar için 2,5, glisero fosfat için ise 2,0 olduğu belirlendi. İncelenen fosfatların giderilme etkinliğinin ise glisero fosfat < tripoli fosfat < orto fosfat sırasıyla arttığı belirlendi. En uygun çözelti pH'larında, giriş derişiminin kolon çıkış derişimine eşit oluncaya kadar çözelti geçirilmesiyle birim boksit ağırlığı başına tutulan fosfat miktarları, orto fosfat için 0,301 mg-P/g, tripolifosfat için 0,163 mg-P/g ve gliserofosfat için 0,126 mg-P/g olarak bulundu.

Anahtar Kelimeler: Orto fosfat, Tripoli fosfat, Glisero fosfat, Adsorpsiyon, Kolon çalışması.

A STUDY ON THE PHOSPHATE REMOVAL FROM WATERS IN A FIXED-BED COLUMN SYSTEM BY USING BAUXITE

ABSTRACT

In this study, removal of ortho, tripoly and glycerophosphates was investigated by using a -50+100 mesh bauxite fraction in a continuous column system. Most suitable initial solution pHs for effective removing of phosphates were determined as 2.5 for ortho and tripoly phosphates and 2.0 for glycerophosphate. Also, it was determined that the removal effectiveness of phosphates were increased in the general order of glycerophosphate<tripoly phosphate<ortho phosphate. At the most suitable solution pH's, amounts of adsorbed phosphate per unit weight of bauxite were determined as 0.301, 0.163 and 0.126 mg-P/g for ortho, tripoly and glycerophosphates, respectively, by passing the phosphate solutions through the column until the concentration of effluent reached to that of feed solution.

Key Words: Ortho phosphate, Tripoly phosphate, Glycerophosphate, Adsorption, Columnar study.

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından FÜNAF-118 nolu proje ile desteklenmiştir.

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 23279 Elazığ.

² **Faks:** (424) 2415526; **e-posta:** saltundogan@firat.edu.tr

Geliş: 08 Mayıs 2002; **Düzeltilme:** 15 Ekim 2002; **Kabul:** 27 Kasım 2002.

1. GİRİŞ

Fosfat bileşikleri insani ve endüstriyel hareketler sonucunda yüzey sularına geçebilmekte ve organik kirliliğin de katkısıyla ötrofikasyona neden olmaktadır. Ortaya çıkan vahim sonuçlar büyük su havzalarının arıtımını bile gündeme getirmiştir (Lee, 1988). Bunun göze alınabilmesinde fosfor elementinin ötrofikasyonda anahtar element oluşunun önemi büyüktür. Şüphesiz ki fosforun yüzey sularındaki kötü etkilerini ortadan kaldırmak için en pratik ve ekonomik yol, sulara verilen kaynaklardaki fosfor kirlilik yükünün azaltılmasıdır. Yüzey suları için en önemli kirliletiçi kaynak olan evsel atıksularda fosfor, önemli ölçüde inorganik orto ve kondense fosfatların yanında daha az oranda da organik fosfat bileşikleri halinde bulunmaktadır.

Atıksularda bulunan fosforun giderilmesi için kullanılan en yaygın yöntemler, biyolojik, kimyasal ve bu ikisinin kombinasyonu olan yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerin beraberinde getirdiği bazı çevresel, teknolojik ve ekonomik sorunlar, atıksulardan fosfatların uzaklaştırılması için fizikokimyasal işlemleri içeren yöntemlerin yoğun olarak araştırılmasına neden olmuştur. Bu çalışmaların başında adsorpsiyon yönteminin bu alanda kullanılması için yapılan araştırmalar gelmektedir. Zira biyolojik ve kimyasal arıtım yöntemlerinin kullanılmasıyla oluşan büyük miktarlardaki atık çamurların tasfiyesi ve kullanılan kimyasallar nedeniyle sulara yeni kirliletiçilerin geçmesi gibi problemler, adsorpsiyon tekniklerinin kullanılmasıyla ortadan kaldırılabılır. Ayrıca çeşitli hammaddelerin ve değişik endüstrilerden gelen artıkların adsorbent olarak kullanılması, ekonomik açıdan kazanımlar sağlayabilmektedir.

Adsorpsiyon işlemiyle sulardan fosfatların giderilmesinin araştırıldığı çalışmalarda, demir ve alüminyum oksit esaslı adsorbentler başta olmak üzere, çeşitli inorganik ve organik esaslı adsorbentlerle orto fosfatları ve sınırlı sayıdaki çalışmada da kondense ve organik fosfatları giderme özelliklerinin incelendiği görülmektedir. Bu amaçla araştırılan adsorbentler arasında çeşitli alüminalar (Gangoli ve Thodos, 1974; Chen vd., 1973; Urano ve Tachikava, 1991; Brattebao ve Odegaard, 1986), alüminyum hidroksit (Shang vd., 1990; Shang vd., 1992; Violante vd., 1991; Lijklema, 1980), sentetik böhmüt (Bleam vd., 1991), jibsit (Van Riemsdijk ve Lyklema, 1980), kaolinit (Chen vd., 1973), demir (III) hidroksit (Shang vd., 1992), jeotit (Van Der Meeren vd., 1989; Ognalaga vd., 1989; Hawke vd., 1989), alüminohematit (Barron vd., 1980), çeşitli topraklar (Mehadi ve Taylor, 1988), serpentin (Bulusu vd., 1978), poröz cam ve SiO₂ (Dalas ve Koutsoukos, 1992), kum (James vd., 1992), aktif karbon (Ferro-Garcia vd., 1992; Bhargava ve Sheldarkar, 1993), uçucu kül (Gangoli ve Thodos, 1974; Deborah ve Marcia, 1979; Tü-

men, 1988), kırmızı çamur (Shiao ve Akashi, 1977; Komanova vd., 1997), pirit külü (Tümen vd., 1988), ferrokrom curufu (Tümen vd., 1989) ve yüksek fırın curufu (Yamada vd., 1986) sayılabilir. Anlaşılacağı üzere, araştırılan adsorbentlerin önemli bir kısmı mamul veya yarı mamul maddeler, bir kısmı hammaddeler ve bir kısmı da çeşitli endüstrilerin artıklarıdır. Ayrıca dikkate değer diğer bir husus, yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunun kesikli deneylerle yürütülen ve sadece orto fosfatların adsorpsiyonunun araştırıldığı çalışmalar olmasıdır. Diğer taraftan fosfor için en önemli emisyon kaynağı olan evsel atıksularda bulunan fosforun yaklaşık % 50'sinin inorganik orto fosfatlardan, % 40'ının inorganik kondense fosfatlardan ve geri kalanının ise organik fosfat türlerinden oluştuğu belirtilmektedir (Jenkins vd., 1971). Bu durum inorganik kondense fosfatlar ile organik fosfatların da adsorpsiyon özelliklerinin belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca farklı kaynaklarda evsel atıksular için ortalama toplam fosfor derişiminin 10 mg/l civarında olduğu belirtilmektedir (Jenkins vd., 1971; Uslu ve Türkman, 1987).

Yaptığımız çalışmalarda alüminyum endüstrisinin önemli bir hammaddesi olan boksit kullanılarak sulu ortamdan çeşitli fosfat türlerinin uzaklaştırılması kapsamlı olarak araştırılmıştır (Altundoğan, 1998; Altundoğan ve Tümen, 2002). Çalışmanın bu kısmında, farklı fosfat türlerinin bir kolon sisteminde uzaklaştırılmasının araştırıldığı deneylerin sonuçları verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

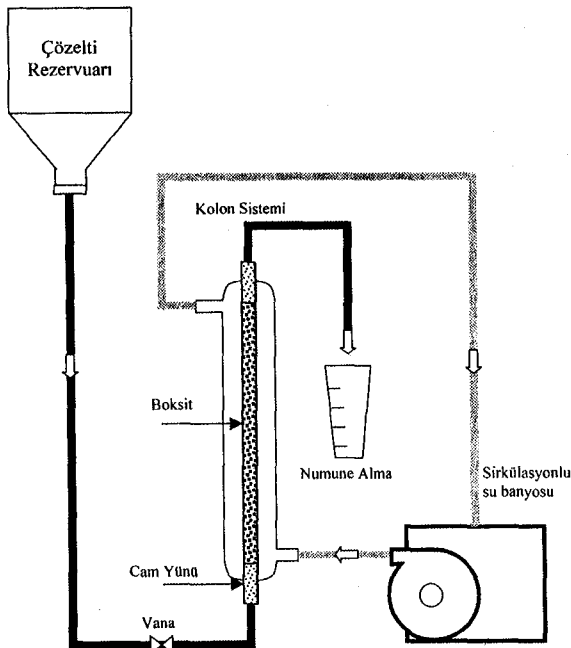
Deneylerde kullanılan boksit örneği, Etibank Seydişehir Alüminyum İşletmeleri'nden (Konya-Türkiye) temin edildi. Örnek kırılıp, bir bilyalı değirmende öğütüldü ve yaş eleme ile -50+100 mesh tane boyutu elde edildi. 100°C'de kurutulan bu boksit örneği çalışmada kullanıldı. Boksit örneğinin kimyasal ve mineralojik bileşimi Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Boksitin Kimyasal ve Mineralojik Bileşimi.

Kimyasal Bileşim		Mineralojik Bileşim	
Bileşenler	Ağırlıkça %	Mineraller	Ağırlıkça %
Al ₂ O ₃	56,91	Böhmüt [Al(OH) ₃]	59,10
Fe ₂ O ₃	16,95	Kaolinit [Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₅]	11,34
SiO ₂	8,62	Diaspor [AlO(OH)]	1,76
TiO ₂	2,40	Hematit [α-Fe ₂ O ₃]	15,39
CaO	0,91	Anatas [TiO ₂]	1,49
CO ₂	0,78	Kalsit [CaCO ₃]	1,29
P ₂ O ₅	0,13	Kuartz [SiO ₂]	0,86
V ₂ O ₅	0,032	Amorf maddeler	
S	0,032	ve diğerleri	8,77
K.K. (1000°C)	12,36		

Deneylerde kullanılan fosfat çözeltileri analitik saflıktaki tuzlarından hazırlandı. Orto fosfat çözeltileri bir sodyum dihidrojen fosfat tuzundan ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -Merck, 6576) hazırlandı. Kondense fosfat bileşiği olarak sodyum tripoli fosfat ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$ -Sigma, 7758-29-4) ve organik fosfat bileşiği olarak da bir sodyum glisero fosfat bileşiği ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_2\text{PO}_4\text{Na}_2$ -Merck, 3108) kullanıldı. İlgili tuzlardan hazırlanan 1000 mg/l derişimindeki stok çözeltiler, kesin bileşimi bilinen bir fosfat tuzu ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ -Merck, 1207) karşılaştırma çözeltisi olarak kullanılarak, ayarlandı. Çalışmada kullanılan çözeltiler, sabit bir iyonik kuvvet sağlamak üzere, stok çözeltilerin 0.01 M NaCl çözeltisiyle seyreltilmesiyle elde edildi. Çözelti pH'ları 2,0, 2,5 ve 3,0 olacak şekilde HCl çözeltileriyle ayarlandı.

Kolonda gerçekleştirilen sürekli adsorpsiyon deneylerinin yürütüldüğü düzenek Şekil 1'de görülmektedir. Deneylerde 9 mm iç çapına ve 26 cm yüksekliğe sahip olan ceketli cam kolonlar kullanıldı. Bu kolonların her iki tarafı cam yünüyle kapatıldı ve 25,0 g boksit örneğiyle dolgulandırıldı. Kolonların boksit örneği ile dolgulandırılmış kısmının uzunluğu 20 cm'dir. Kolonların üst kısmında bulunan çözelti depolarının kolon seviyesinden yüksek tutulmasıyla, deney çözeltilerinin kendi ivmesiyle kolondan geçişi sağlandı. Kolon girişine yerleştirilen vana yardımıyla sabit bir akış hızı elde edildi. Bütün deneyler $25,0 \pm 5,0$ ml/saat akış hızında gerçekleştirildi. Çözelti akış hızı, kolon çıkışına yerleştirilen bir mezüre birim zamanda alınan çözelti hacminin belirlenmesiyle ölçüldü. Ayrıca kolonların dış tarafındaki ceketlerden bir sirkülasyonlu su banyosu yardımıyla (Grant LTD 6G) dolaştırılan su ile sıcaklık



Şekil 1. Deney Düzeneğinin Şeması.

$25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ 'de sabit tutuldu. Bu şartlarda kolonlardan yaklaşık 2 yatak hacmine denk olan 25 ml'lik örnekler sürekli olarak alındı. Örneklerin pH'ları ölçüldü ve daha sonra fosfat içerikleri tayin edildi. Bu işleme, kolon çıkışından alınan çözeltinin derişimi, giriş çözeltisinin derişimine yaklaşık eşit oluncaya kadar devam edildi.

Çözeltilerde fosfat analizleri, orto fosfat için direkt kolorimetrik askorbik asit yöntemiyle gerçekleştirildi. Tripoli fosfat içeren çözeltiler sülfürik asit hidroliziyle, glisero fosfat içeren çözeltiler ise H_2SO_4 - HNO_3 parçalama yöntemiyle orto fosfata dönüştürüldükten sonra aynı yöntem ile analiz edildi (APHA-AWWA-WPCF, 1989). Analizlerde Jenway 6105 D UV-Visible spektrofotometresi kullanıldı.

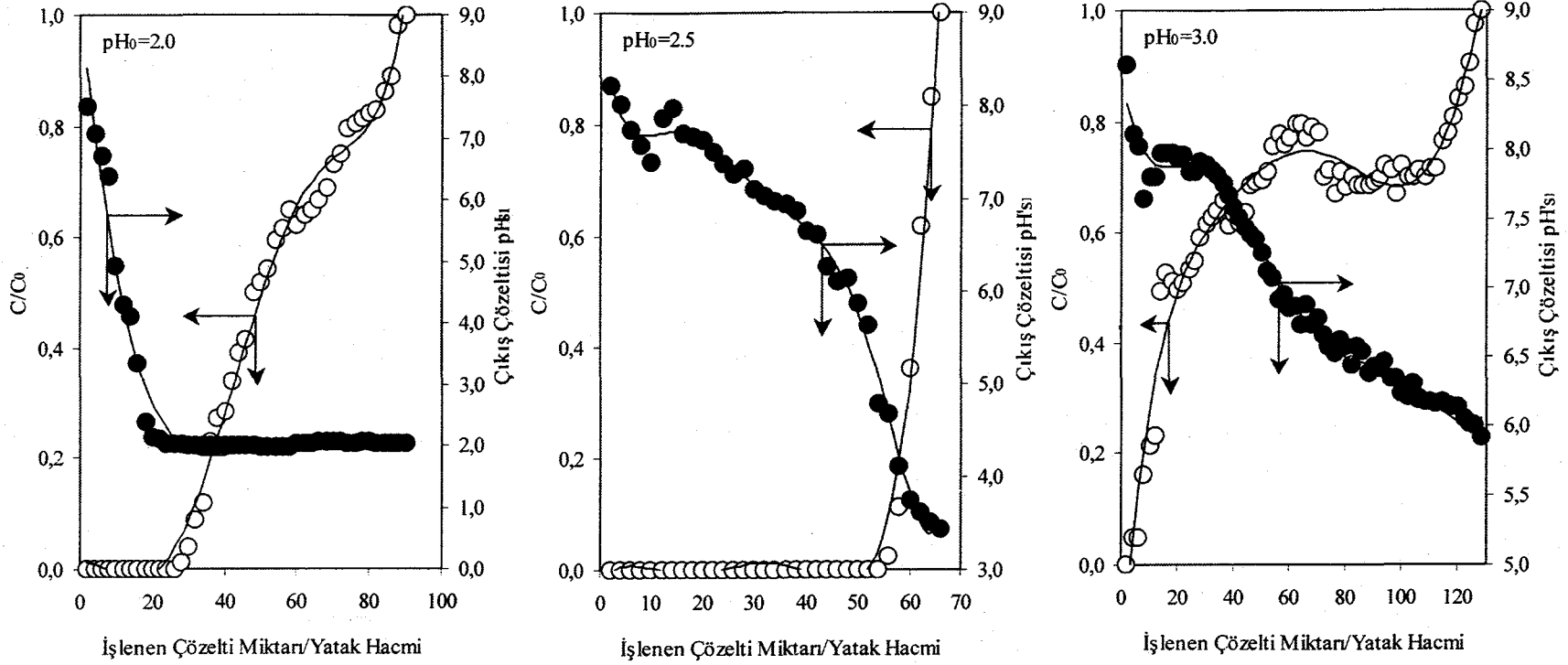
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan ön denemeler daha küçük boyuttaki taneler üzerinden kararlı bir akış elde edilemediğini gösterdiğinden, çalışma $-50+100$ mesh tane boyutundaki boksit örneği ile gerçekleştirilmiştir.

Başlangıç derişimleri 10 mg-P/l ve pH'ları 2, 2,5 ve 3 olan orto fosfat çözeltileri için kolonda işlenen çözelti miktarına bağlı olarak elde edilen son pH'lar ve bağlı derişimler Şekil 2'de görülmektedir.

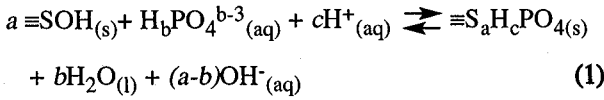
Görüldüğü gibi üç farklı pH için elde edilen fosfat giderme eğrileri farklı şekiller arz etmektedir. Başlangıç pH'sı 2,0 olan orto fosfat çözeltisi için belli bir süre boyunca bağlı derişim değerleri sıfır iken, daha sonra yavaşça artarak 1'e ulaşmakta, pH'sı 2,5 olan çözelti için aniden yükselerek 1'e ulaşmakta ve pH'sı 3,0 olan çözelti için ilk örneklerden itibaren bağlı derişim değerleri 0,5-0,8 civarında seyredip yaklaşık yatak hacminin 120 katı çözelti geçirildikten sonra 1 değerine ulaşmaktadır.

Kolon sisteminde sürekli olarak orto fosfatın giderilmesi önemli ölçüde çözelti başlangıç pH'sına bağlıdır. Başlangıç pH'sı 2,0 olan orto fosfat çözeltisi için yatak hacminin yaklaşık 25 katı kadar çözelti geçirildiği durumda elde edilen çıkış çözeltisindeki fosfat derişimi tayin sınırlarının altında olmaktadır. Bu durum, pH'sı 2,5 ve 3,0 olan çözeltiler için sırasıyla yatak hacminin 54 ve 4 katı çözeltiler geçirildiğinde elde edilmektedir. Dolayısıyla en iyi sonuçların başlangıç pH'sı 2,5 olan çözeltiyle elde edildiği söylenebilir. Çıkış akımında tayin sınırlarında fosfat geçtiğinin belirlendiği ana kadar birim adsorbent ağırlığı başına giderilen fosfat miktarları başlangıç pH'ları 2, 2,5 ve 3 olan çözeltiler için sırasıyla 0,130, 0,270 ve 0,02 mg-P/g civarında olmuştur. Kolon çıkış akımı derişimlerinin giriş akımı derişimlerine eşit oluncaya kadar birim adsorbent tarafından tutulan fosfat miktarları ise aynı pH'lar için sırasıyla 0,268, 0,301 ve 0,226 mg-P/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Farklı pH'lardaki Ortofosfat Çözeltilerinin Kolon Sisteminde Boksit ile Giderilmesi Sırasında Gözlenen Bağlı Derişimler ve Elde Edilen Çıkış Çözeltisi pH'ları (10 mg-P/I başlangıç derişimi; 0,01 M NaCl; 25 g -50+100 mesh boksit örneği; 12,5 ml yatak hacmi; 25±5ml/saat akış hızı; 25°C sıcaklık).

Şekilden görüldüğü gibi her üç başlangıç pH'sı için de elde edilen ilk çıkış çözeltilerinin pH'ları oldukça yüksek olup, alınan çözelti miktarındaki artışla pH'lar giderek düşmektedir. Bu düşüş adsorpsiyon olayı devam ettikçe, veya diğer bir deyişle bağli derişim değerleri 1'e yaklaşıncaya kadar devam etmektedir. Bu durumda pH 2, 2,5 ve 3,0 çözeltileri için ilk alınan çözelti pH'ları sırasıyla 7,51, 8,23 ve 8,61 olmuştur. Başlangıç pH'sı 2 olan çözelti için, kolon hacminin 20 katı kadar çözelti geçirildiğinde elde edilen son pH değeri başlangıç pH'sı civarında olmaktadır. Başlangıç pH'sı 2,5 ve 3 olan çözeltiler için ise bağli derişim değerlerinin 1'e eşit olduğu durumda bile elde edilen son pH'lar başlangıç pH'sına göre yüksek olup sırasıyla 3,45 ve 5,92 olarak belirlenmiştir. Bu durumun tespiti, oksit yapısındaki yüzeylere anyonların adsorpsiyon mekanizmasının ortaya konması açısından oldukça önemlidir. Fosfatların oksidik yüzeylere adsorpsiyonu sırasında pH'da gözlenen artışlar, bir ligand değişim mekanizmasıyla açıklanabilir (Goldberg ve Sposito, 1985). Buna göre sulu ortamda hidroksil yapısındaki bir mineral yüzeyine fosfatın adsorpsiyonu sırasında aşağıdaki gibi temsil edilen bir ligand değişim tepkimesi meydana gelmekte ve adsorpsiyon sonucunda ortam pH'sı yükselmektedir.



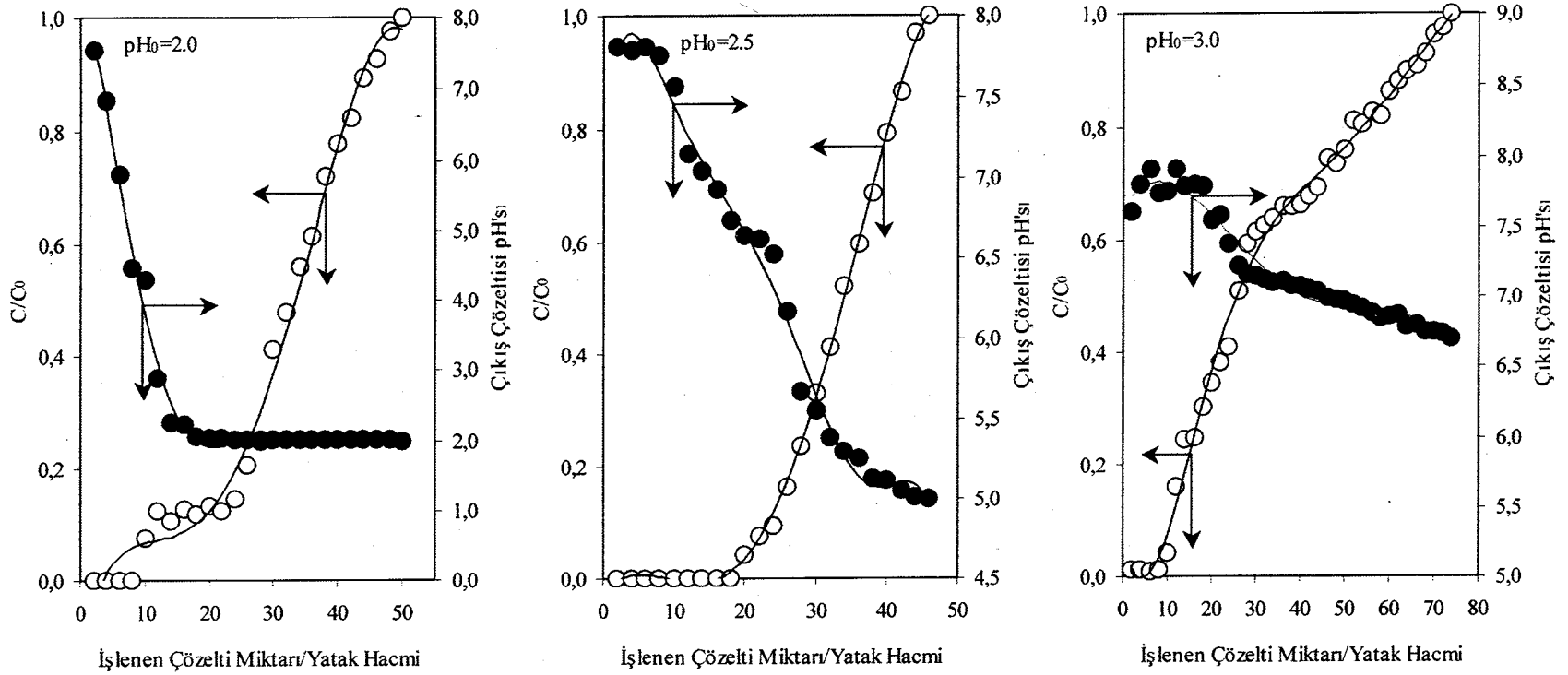
Burada a, b ve c stokiometrik katsayılardır. $b \leq 3$ olup fosfat iyonunun proton alma derecesini göstermektedir. Tepkimeden anlaşılacağı üzere oluşan yüzey komplekslerinde, yüzey Lewis asit bölgeleri (S) ile adsorbe olmuş iyonlar arasında hiç su molekülü yoktur. Bu tip kompleksler iç küre kompleksleri olarak adlandırılırlar (Sposito, 1989). Tepkime gereği meydana gelen ligand değişim olayında fosfat iyonları yüzey hidroksil iyonlarıyla yer değiştirmekte ve sonuçta çözeltiliye geçen hidroksil iyonları elde edilen çözelti pH'sını yükseltmektedir. Daha önce tarafımızdan gerçekleştirilen kesikli fosfat adsorpsiyon çalışmaları sırasında da benzer durumun meydana geldiği belirtilmiş ve aynı mekanizmanın geçerli olduğu vurgulanmıştı (Altundoğan ve Tümen, 2002).

Tripoli ve glisero fosfatların kolon sisteminde giderilmesi için farklı başlangıç pH'larına sahip olan çözeltilerle işlenen çözelti miktarına bağli olarak elde edilen bağli derişimler ve çıkış çözeltileri pH'ları sırasıyla Şekil 3 ve 4'de görülmektedir. Tripoli fosfat durumunda başlangıç pH'sı 2,5 olan çözelti ile en iyi sonuçlar elde edilirken, glisero fosfat durumunda ise pH'sı 2 olan çözelti ile elde edilen sonuçlar fosfat adsorpsiyon etkinliği açısından daha iyi olmuştur. Bu pH'larda çıkış akımında fosfatın tayin sınırına yükseldiği ana kadar her

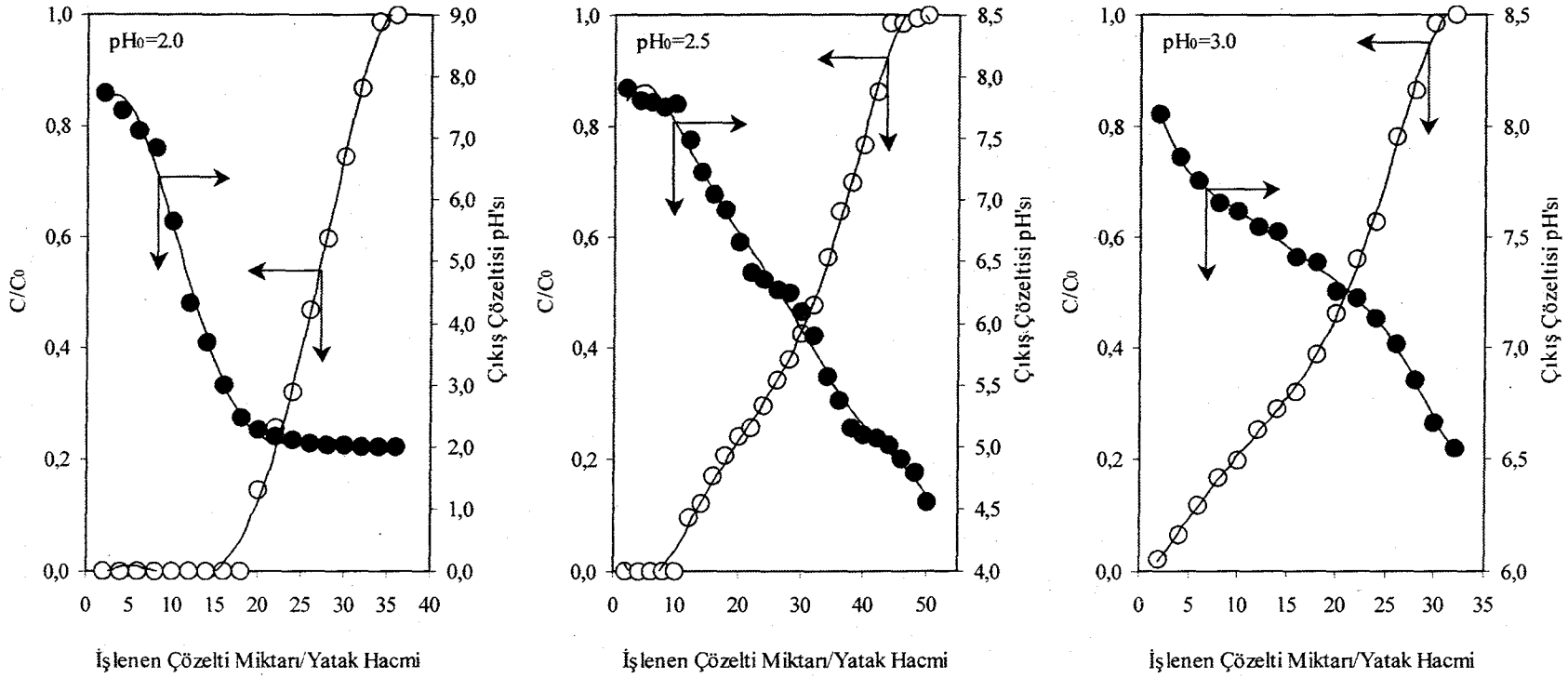
iki fosfat türü durumunda da yatak hacminin yaklaşık 18 katı kadar çözeltinin artırılması mümkün olmaktadır.

Tripoli ve glisero fosfat çözeltileriyle yapılan deneylerde de işlenen çözelti miktarına bağli olarak elde edilen bağli derişim değişimleri ve pH değişimleri orto fosfat sonuçlarına benzer eğilimler göstermektedir. Ancak tripoli ve glisero fosfat durumunda her üç pH'daki çözeltiler için gerek kolon çıkış çözeltilerinde tayin sınırlarında fosfat belirlendiği ana kadar ve gerekse çıkış derişiminin giriş derişimine eşit olduğu ana kadar işlenen çözelti miktarları orto fosfata göre oldukça düşüktür. Dolayısıyla birim yatak ağırlığı başına giderilen fosfat miktarları da daha az olarak gerçekleşmiştir. Tripoli fosfat durumunda pH 2,0, 2,5 ve 3,0 olan çözeltiler için çıkış derişiminin giriş derişimine eşit olduğu ana kadar birim adsorbent ağırlığı başına giderilen fosfat miktarları sırasıyla 0,152, 0,163 ve 0,155 mg-P/g olarak belirlenmiştir. Bu değerler glisero fosfat için sırasıyla 0,126, 0,145 ve 0,089 mg-P/g'dır. Bu durum kesikli fosfat adsorpsiyon çalışmalarından (Altundoğan, 1998) elde edilen sonuçlara benzer olarak, sürekli sistemde fosfatların giderilme etkinliğinin glisero fosfat < tripoli fosfat < orto fosfat sırasıyla arttığını göstermektedir. Ayrıca vurgulanması gereken bir nokta da orto, tripoli ve glisero fosfat için belirlenen adsorpsiyon yoğunluklarının, daha önce tarafımızdan aynı tane boyutundaki örnekle yapılan kesikli deneyler sonucu elde edilen adsorpsiyon yoğunluklarından oldukça yüksek olduğudur. 10 mg-P/l derişimindeki orto, tripoli ve glisero fosfat çözeltilerinin 10 g/l dozunda -50+100 mesh tane boyutundaki boksit örneği ile optimum süre ve pH'larda çalkalanmasıyla yapılan kesikli deneylerde elde edilen adsorpsiyon yoğunlukları sırasıyla 0,113, 0,085 ve 0,049 mg-P/g'dır (Altundoğan, 1998). Bu durum kolon sisteminde boksitin sürekli olarak taze çözelti ile temas ettirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, sulu ortamda bulunan orto ve tripoli fosfatlar ile organik yapıdaki glisero fosfatın sabit yatakta dolgulanmış olan boksite sürekli adsorpsiyonla giderilmesinin mümkün olduğu söylenebilir. Boksitin bu sistemdeki adsorpsiyon ilgisinin, kesikli sistemde bulunan sonuçtaki gibi (Altundoğan ve Tümen, 2002) glisero fosfat < tripoli fosfat < orto fosfat sırasında arttığı bulunmuştur. Böylece evsel atıksuların bileşiminde bulunan çeşitli fosfat tiplerinin sürekli sistemlerde de adsorpsiyonla giderilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca bunun boksit ile yapılabilmesinin en önemli tarafı, fosfatı adsorbe etmiş boksitin alumina elde edilmesinde kullanılabilmesinin mümkün görünmesidir. Bu takdirde, en azından, alumina üreten tesisler civarında bulunan atıksuların arıtımı projelerinde bu düşünce değerlendirilebilir.



Şekil 3. Farklı pH'lardaki Tripoli Fosfat Çözeltilerinin Bir Kolon Sisteminde Boksit ile Giderilmesi Sırasında Gözlenen Bağlı Derişimler ve Elde Edilen Çıkış Çözeltisi pH'ları (10 mg-P/l başlangıç derişimi; 0,01 M NaCl; 25 g -50+100 mesh boksit örneği; 12,5 ml yatak hacmi; 25 ± 5 ml/saat akış hızı; 25°C sıcaklık).



Şekil 4. Farklı pH'lerdeki Glisero Fosfat Çözeltilerinin Bir Kolon Sisteminde Boksit ile Giderilmesi Sırasında Gözlenen Bağlı Derişimler ve Elde Edilen Çıkış Çözeltisi pH'ları (10 mg-P/I başlangıç derişimi; 0,01 M NaCl; 25 g -50+100 mesh boksit örneği; 12,5 ml yatak hacmi; 25 ± 5 ml/saat akış hızı; 25°C sıcaklık).

KAYNAKÇA

- Altundoğan, H.S. (1998). Boksit Kullanılarak Sulardan Fosfat Giderilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Altundoğan, H.S. ve Tümen, F. (2002). Removal of phosphates from aqueous solutions by using Bauxite. I: Effect of pH on the adsorption of Various Phosphates. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77, 77-85.
- APHA-AWWA-WPCF (1989). *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 17th Edn., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Barron, V., Herruzo, M. ve Torrent, J. (1988). Phosphate adsorption by aluminous hematites of different shapes. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 647-651.
- Bhargava, D.S. ve Sheldarkar, S.B. (1993). Use of TNSAC in phosphate adsorption studies and relationship: Literature, experimental methodology, justification and effects of process variables. *Water Research*, 27(2), 303-312.
- Bleam, W.F., Pfeffer, P.E., Goldberg, S., Taylor, R.W. ve Dudley, R. (1991). A 31P solid state nuclear magnetic resonance study of phosphate adsorption at the Boehmit-aqueous solution interface. *Langmuir*, 7, 1702-1712.
- Brattebo, H. ve Odegaard, H. (1986). Phosphorus removal by granular activated alumina. *Water Research*, 20(8), 977-986.
- Bulusu, K.R., Kulkarni, D.N. ve Lutode, S.L. (1978). Phosphate removal by serpentine mineral. *Indian Journal of Environmental Health*, 20(3), 268-271.
- Chen, Y.S.R., Butler, J.N. ve Stumm, W. (1973). Kinetic study of phosphate reaction with aluminum oxide and kaolinite. *Environmental Science*, 7(4), 327-332.
- Dalas, E. ve Koutsoukos, P.G. (1990). Phosphate adsorption at the porous glass/water and SiO₂/water interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 134(2), 299-304.
- Deborah, L.V. ve Marcia, H.B. (1979). High calcium fly ash for tertiary phosphorus removal. *Water & Sewage Works*, 6, 62-104.
- Ferro-Garcia, M.A., Corrasco-Marin, F., Rivera-Utrilla, C., Utrera-Hidalgo, E. ve Moreno-Castilla, C. (1990). The use of activated carbon columns for the removal of ortho-phosphate ions from aqueous solutions. *Carbon*, 28(1), 91-95.
- Gangoli, N. ve Thodos, G. (1974). Kinetics of phosphate adsorption on alumina and fly ash. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 46(8), 2035-2042.
- Goldberg, S. ve Sposito, G. (1985). On the mechanism of specific phosphate adsorption by hydroxylated mineral surfaces: A review. *Communication in Soil Science Plant Analyses*, 16(8), 801-821.
- Hawke, D., Carpenter, P.D. ve Hunter, K.A. (1989). Competitive adsorption of phosphate on goethite in marine electrolyte. *Environmental Science and Technology*, 23(2), 187-191.
- James, B.R., Rabenhorst, M.C., Frigon, G.A. (1992). Phosphorus sorption by peat and sand amended with iron oxide or steel wool. *Water Environment Research*, 64(5), 699-705.
- Jenkins, D., Ferguson, J. F., Menar, A. B. (1971). Chemical processes for phosphate removal. *Water Research*, 5, 369-389.
- Koumanova, B., Drame, M., Popangaloca, M. (1997). Phosphate removal from aqueous solutions using red mud wasted in bauxite bayer's process. *Resources, Conservation and Recycling*, 19, 11-20.
- Lee, R. (1988). Lake treatment with alum. *Public Works*, August, 56-58.
- Lijklema, L. (1980). Interaction of orthophosphate with iron (III) and aluminium hydroxide. *Environmental Science and Technology*, 14(5), 537-540.
- Mehadi, A.A. ve Taylor, R.W. (1988). Phosphate adsorption by two highly-weathered soils. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 627-632.
- Ognalaga, M., Frossard, E. ve Thomas, F. (1994). Glucose-1-Pphosphate and myo-inositol hexaphosphate adsorption mechanisms on goethite. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 332-337.
- Shang, C., Huang, P.M. ve Stewart, J.W.B. (1990). Kinetics of adsorption of organic and inorganic phosphates by short-range ordered precipitate of aluminum. *Canadian Journal of Soil Science*, 70, 461-471.
- Shang, C., Stewart, J.W.B. ve Huang, P.M. (1992). pH effect on kinetics of adsorption of organic and inorganic phosphates by short-range ordered precipitate of aluminum and iron. *Geoderma*, 53, 1-14.

- Shiao, S.J. ve Akashi. K. (1977). Phosphate removal from aqueous solution by activated red mud. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 49, 280-285.
- Sposito, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York.
- Tümen, F. (1988). Removal of phosphates from aqueous solutions by fly ash. *Journal of Fırat University Science and Technology*, 3(1), 123-130.
- Tümen, F., Arslan, N., Dağışan, E. ve Bildik, M. (1989). Phosphate removal by pyrite cinder. *Doğa Turkish Journal of Engineering and Environment*, 13(1), 83-93.
- Tümen, F., Arslan, N., Özer, A. ve Bildik, M. (1988). Phosphate adsorption from aqueous solutions by activated ferrochrome slag. *Journal of Fırat University Science and Technology*, 3(2), 41-51.
- Urano, K. ve Tachikawa, H. (1991). Processes development for removal and recovery of phosphorus from wastewater by a new adsorbent: 1. Preparation method and adsorption capability of a new adsorbent. *Industrial Engineering Chemical Research*, 30, 1893-1896.
- Uslu, O. ve Türkman, A. (1987). *Su Kirliliği ve Kontrolü*. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Dizisi, 1, Ankara.
- Van Der Meeren, P., Van Der Deelen, J. ve Baert, L. (1989). Monolayer adsorption of phosphate and phospholipids onto goethite. *Colloids and Surfaces*, 42, 9-22.
- Van Riemsdijk, W.H. ve Lyklema, J. (1980). Reaction of phosphate with gibbsite ($Al(OH)_3$) beyond the adsorption maximum. *Journal of Colloid And Interface Science*, 76(1), 55-66.
- Violante, A., Colombo, C. ve Buondonno, A. (1991). Competitive adsorption of phosphate and oxalate by aluminum oxides. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 65-70.
- Vordonis, L., Koutsoukos, P.G., Tzannini, A. ve Lycourghiotis, A. (1988). Uptake of inorganic orthophosphate by greek fly ashes characterized using various techniques. *Colloids and Surfaces*, 34, 55-68.
- Yamada, H., Kayama, M., Saito, K. ve Hara, M. (1986). A fundamental research on phosphate removal by using slag. *Water Research*, 20(5), 547-557.