



Biyolojik atık çamurdaki azot ve fosforun darbeli elektrik alan tekniği ile geri kazanımı ve strüvit eldesi

Recovery of nitrogen and phosphorus in sewage sludge by pulsed electrical field technique and strüvite production

Özlem SELÇUK KUŞÇU^{1*}, Vesile Ecem ÇELİK²

^{1,2}Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
ozlemkuscus@sd.u.edu.tr, vecemu32@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 27.06.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 24.10.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.41524

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Biyolojik arıtma çamurları organik madde, azot ve fosfor içeriği yönünden zengin bir kaynaktır. Bu nedenle tarımda kullanımı oldukça önemlidir. Magnezyum amonyum fosfat (MAP) çöktürmesi sonucu elde edilen strüvit, endüstriyel hammadde ve tarımsal gübre olarak kullanım için uygundur. Arıtma çamurlarından azot ve fosfor geri kazanımı için kullanılan yöntemlerin başında asidik şartlarda azot ve fosforun sıvı faza geçirilmesi gelmekte ve akabinde MAP çökmesi ile strüvit elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu yöntem için en büyük sorun asidifikasyon işlemi ile sıvı faza geçen ağır metallerin strüvite bağlanmasıdır. Çalışmamızda yeni bir çamur dezentegrasyon yöntemi darbeli elektrik alan (PEF) tekniği ile evsel nitelikteki biyolojik atık çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama; biyolojik atık çamurdaki azot ve fosforun kimyasal eklemeye PEF tekniği ile geri kazanımı. İkinci aşama ise PEF ön arıtımı sonrası sıvı fazda elde edilen yüksek azot ve fosfordan MAP çöktürmesi ile strüvit elde edilmesi şeklindedir. MAP çökeltim testlerinde optimum sıcaklık, pH ve çökeltme süresi sırasıyla 20 °C, 9,5 ve 24 saat olarak belirlenmiştir. En iyi çökeltme ve giderim verimi 2.5 ml MgCl₂.6H₂O (0.015 M) ve 2.5 ml H₃PO₄ (0.049M) eklenmiş örnekte elde edildi. Çökeltim sonrası TN ve TP giderim verimleri sırasıyla %52 ve %14'tür. Çökeltim sonrası kristal yapılı çökelti oluşumu gözlenmiş ve XRD analizi sonucunda bu çökeltinin strüvit olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Arıtma çamurları, Azot ve fosfor geri kazanımı, PEF, MAP, Strüvit

Abstract

Sewage sludge is a rich source of organic matter, nitrogen and phosphorus content. For this reason, its use in agriculture is very important. Strüvite obtained as a result of magnesium ammonium phosphate (MAP) settlement is suitable for use as industrial raw material and agricultural fertilizer. At the beginning of the methods used for the recovery of nitrogen and phosphorus from sludge, nitrogen and phosphorus are introduced into liquid phase under acidic conditions. Then the strüvite is obtained by MAP precipitation. The biggest problem for this method is the bonding of heavy metals passing liquid phase by acidification to strüvite. In our work, a new sludge disintegration method, pulsed electric field (PEF) technique, has been used to recover nitrogen and phosphorus from the domestic biological waste sludge. The study consists of two phases. In the first stage, nitrogen and phosphorus from biological waste sludge are recovered without the addition of chemical by PEF technique. In the second stage, the strüvite is obtained by MAP precipitation from liquid phase with high nitrogen and phosphore content. The optimum temperature, pH and precipitation time were determined as 20 °C, 9.5 and 24 hours, respectively for the formation of strüvite in the MAP precipitation tests. The best precipitate and removal efficiency was obtained to the sample with 2.5 ml of MgCl₂.6H₂O (0.015 M) and 2.5 ml of H₃PO₄ (0.049M). TN and TP removal efficiencies were obtained as 52% and 14% after precipitation. After sedimentation, crystalline precipitate formation was observed and XRD analysis revealed that this precipitate was strüvite.

Keywords: Sewage sludge, Nitrogen and phosphorus recovery, PEF, MAP, Strüvite

1 Giriş

Arıtma çamuru, atık su arıtımı sonucu oluşan sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0.25-12 katı madde içeriği olan katı atıktır [1]. Arıtma çamuru, oluştuğu endüstriyel kuruluşa göre; organik bileşikler, asitler, alkaliler, metal tuzları, fenoller, oksitleyiciler, boyalar, sülfatlar, hidrokarbonlar, yağlar, Fe, Cu, Al, Cd, As, Co, Pb, Cr, organik fosfor ve azot gibi maddeler içerebilmektedir [2]. Bunun yanında doğada ve canlılarda kalıcı özelliğe sahip poliklorlu bifeniller (PCB) gibi organik mikrokirleticiler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) gibi organik mikrokirleticiler de içerebilmektedirler [3]. Atık çamur yüksek azot ve fosfor içeriğine sahip olmasına rağmen patojen, ağır metal ve diğer kirleticiler nedeniyle gübre olarak tarımsal alanlarda doğrudan kullanılamaz [4]. Arıtma çamurlarının stabilize edilerek toprakta kullanımı mümkündür ve bu konuda yasal düzenlemeler mevcuttur [5]. İşlenmiş arıtma çamurunun tarım alanlarında kullanımı bazı olumsuz durumlara neden

olmaktadır. Uygulama oranının gerektiğinden fazla olması, tohumun filizlenmesini ve büyümesini engellemekte ve ürünlere zarar vermektir [3],[6]. Ayrıca azot ve fosforun toprakta birikmesine, toprak kirliliği ile birlikte yeraltı suyu kaynakları ve yüzeysel kaynakların kirlenmesine neden olmaktadır [3],[5]. Bu durum stabilize çamurun doğrudan kullanımı sınırlamaktadır.

Çamurdan nütrient geri kazanımı ile strüvit çöktürmesi atığın geri kazanımı ve çamur yönetimi açısından etkili bir yöntemdir [7]. Evsel atık çamur azot ve fosfor bakımından zengin bir nütrient kaynağıdır. Atıksu arıtımı boyunca gelen fosfor yüklemesinin %40-95'i uygulanan teknolojiye bağlı olarak arıtma çamuruna geçmektedir [8]. Atık çamurdan nütrient geri kazanımında temel prosedür (1) çamurun asidik ortamda çözündürülmesi (2) fosforca zengin sıvı fazın ayrılması (3) fosforca zengin sıvı fazdaki nütrientlerin strüvit (Magnezyum Amonyum Fosfat) formunda çöktürülmesi ve oluşan çökeltinin ayrılması şeklindedir [9],[10]. Asitlendirme yönteminde çamurun çözündürülerek fosforun sıvı faza salınımı

gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle yüksek fosfor konsantrasyonu elde edilmesine rağmen çamurda bulunan ağır metallerde sıvı faza geçmekte ve strüvite bağlanmaktadır [10],[11].

Çamur dezentegrasyonu çamurda mevcut azot ve fosfor'un sıvı faza geçmesi için uygun bir yöntemdir. Çamura dezentegrasyon işlemi uygulandığında, çamur flok yapısı bozulmakta ve mikrobiyal hücre duvarları tahrip edilmektedir. Hücre duvarının parçalanması ile hücre duvarı tarafından korunan maddeler sıvı faza geçmekte ve çözünür forma dönüşmektedir [12]. Dezentegrasyon sonrasında sıvı faz, hücre içi aminoasit, nükleik asit ve yağ asitleri gibi çözülmüş organik bileşikler içermektedir. Sıvı faz karbon, azot ve fosfor bileşiklerini bakımından oldukça zengindir [13]. Literatürde çamur dezentegrasyonu yöntemi ile çamurdan azot ve fosfor geri kazanımının araştırıldığı çalışmalar sınırlı sayıda bulunmaktadır [14]-[16]. Bu çalışmalarda çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı alkali hidroliz dezentegrasyon yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yeni bir dezentegrasyon yöntemi olan PEF sistemi kullanılarak çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı ve MAP çöktürmesi ile strüvit elde edilmesine yönelik çalışmalara henüz literatürde karşılaşılmamıştır. PEF prosesi ile yapılan çalışmaların çoğu çamur dezentegrasyonu ve anaerobik çürüme performansının artırılmasına yönelik araştırma sonuçlarını içermektedir [17]-[21].

Çalışmamızda yeni bir dezentegrasyon yöntemi olan PEF prosesi ile çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı araştırılmıştır. PEF prosesi iki elektrot arasındaki materyale yüksek yoğunluklu genellikle 15-40 kV/cm elektrik darbelerinin uygulanması işlemidir [17]. Çamura uygulanan bu yüksek yoğunluklu elektrik darbeleri çamur dezentegrasyonunu sağlamaktadır. Çamura elektrik alan uygulandığında; çamurun flok yapısı bozulur, kompleks organik maddeler daha basit yapıya organik maddelere dönüşür, biyolojik hücre membranı zarar görür ve hücre bozulur [17]. Bu durum çamur sıvısında çözülmüş organik madde, azot ve fosfor miktarının artmasına neden olmaktadır. PEF tekniği ile çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı işlemi kullanılan klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında önemli bazı üstünlüklere sahiptir. Bunlar; (I) Azot ve fosfor geri kazanımı için çamura asitlendirme işlemi yapılmadığından çamurda mevcut ağır metaller ve diğer kirleticiler sıvı faza geçmezler. (II) Strüvit çökeltilmesi öncesi ağır metal giderimi için ön arıtım gerektirmemektedir. (III) PEF sistemi klasik sistemlerle karşılaştırıldığında sürekli akışlı bir sistemdir.

2 Deneysel yöntem

2.1 Çamur özellikleri

Çalışmada kullanılan biyolojik atık çamur Isparta Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinin aktif çamur havuzunun geri devir hattından temin edilmiştir. Alınan çamur örneğinin PEF öncesi karakteristik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

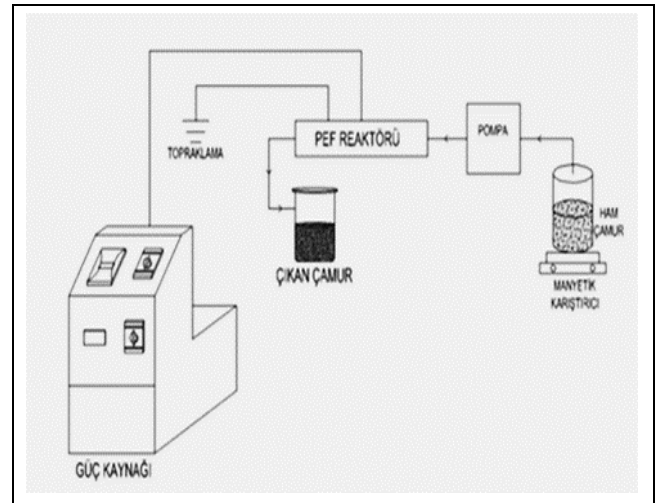
Tablo 1: PEF öncesi ve sonrası çamur numunesinin karakteristik özelliği.

Parametre	PEF Öncesi	PEF Sonrası
pH	6.9	6.8
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1298	1660
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	21	37
ÇKOİ (mg/L)	1231	2108
TN (mg/L)	123	420
TP (mg/L)	42	61
Mğ (mg/L)	32	64

2.2 Deneysel çalışmalar

Çalışmada biyolojik çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı iki aşamada gerçekleştirilmiştir. I. aşamada: PEF reaktör sistemine verilen biyolojik atık çamurun dezentegrasyona uğraması ile çamurun içindeki azot ve fosforun çözünür forma geçmesi sağlanmıştır. II. Aşamada: Çözünür forma geçen azot ve fosforun MAP çökmesi ile geri kazanımı ve akabinde strüvit oluşumu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan PEF sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir. Laboratuvar ölçekli kurulan PEF sistemi yüksek voltajlı güç kaynağı, pompalama sistemi ve PEF reaktöründen oluşmaktadır. Çamur örneği peristaltik pompa vasıtasıyla odacıklardan oluşan PEF reaktörüne verilmektedir. PEF reaktöründe yüksek yoğunluklu elektrik alan yaratan elektrik gerilimi yüksek gerilim verebilen (6-36 kV) güç trafosu ile sağlanmıştır. PEF reaktörüne verilen akım darbeleri yarım dalga sinüsler şeklindedir. PEF arıtım boyunca örneklerin homojenliğini sağlamak için örnekler manyetik karıştırıcı ile sürekli karıştırılmıştır.

PEF dezentegrasyonu sonrası PEF çıkış çamuru katı-sıvı ayrımı yapılmış ve üst sıvıda MAP çöktürmesi ile strüvit oluşumu gerçekleştirilmiştir. MAP çöktürmesi için gerekli optimum işletim değerleri çalışma boyunca belirlenmiştir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan PEF sistemi.

2.3 Analitik metotlar

Çalışmanın değerlendirilmesi amacıyla toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (TKOI), çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ), toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM), toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), pH, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. TKOI, ÇKOİ, Katı madde analizleri APHA [22] metoduna göre, Toplam Azot (TN) (LCK 338) ve Toplam Fosfor analizleri ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) (LCK 350) Lange marka kitler kullanılarak Hach Lange marka DR6000 spektrofotometrede yapılmıştır [22]. MAP çöktürmesi sonrası strüvit oluşumunu değerlendirmek için XRD analizi Panalytical marka (PW3040) XRD cihazında ölçülmüştür.

3 Yöntem ve bulgular

PEF reaktörü ile çamurun dezentegrasyonunda çamurun katı madde içeriği, çamura uygulanan yüksek gerilim ve reaktöre verilen çamur debisi önemli işletim parametreleridir. Çalışmada atık aktif çamur PEF reaktörüne verilmeden önce 1-2 sa. bekletilmiş ve üst sıvı atılarak katı madde içeriği %2 TKM olacak şekilde ayarlanmıştır. %2 TKM içeren atık aktif çamur peristaltik pompa ile PEF reaktörüne verilmiş ve

çamurun arıtım öncesi ve sonrası karakteristik özellikleri test edilmiştir. PEF öncesi ve PEF sonrası çamurun karakteristik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. PEF ile arıtım 5 mL/dk. çamur akış hızında ve 36 kV voltaj değerinde gerçekleştirilmiştir. ÇKOİ, TN, TP, Mg değerleri incelendiğinde PEF sonrası bu değerlerin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. PEF ile dezentegrasyon sonrası çamurda ÇKOİ yaklaşık 2 kat, toplam azot yaklaşık 3 kat ve toplam fosfor yaklaşık 2 kat artış göstermiştir. Magnezyum değeri ise 32’ten 64 mg/L değerine yükselmiş ve yaklaşık 2 kat artmıştır. Lee ve diğ. [23] yaptıkları çalışmada PEF öncesi TN ve TP değerleri sırasıyla 7.3 mg/L ve 13.6 mg/L olan çamurun PEF sonrası TN değerinin 13.4 mg/L TP değerinin ise 22.2 mg/L değerine yükseldiğini belirlemişlerdir. Bu değer bizim bulduğumuz değerden oldukça düşüktür. PEF arıtımda, reaktör dizaynı, çamurun % TKM miktarı, uygulanan voltaj ve uygulanan çamur debisinin verim artışında önemli olduğu düşünülmektedir. Yaptığımız çalışmada PEF sonrası çamurun TN, TP ve Mg içeriğinin büyük bir kısmının sıvı faza geçtiği Tablo 1’den görülmektedir.

3.1 Strüvit çöktürmesi

PEF sisteminden geçirilen ve santrifüjlenen çamurun üst sıvısı alınarak MAP çöktürmesi uygulanmış ve strüvit çöktürmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada MAP çöktürmesi için Mg kaynağı olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (0.049 M) stok çözeltisi, fosfat kaynağı olarak H_3PO_4 (0.12 M) stok çözeltisi kullanılmıştır. İki aşamalı olarak gerçekleştirilen çalışmanın birinci aşamasında deney tüplerine sadece fosfor kaynağı eklenerek pH 9.5 ve 20 °C ortam şartlarında MAP çökmesi incelenmiştir. MAP çöktürmesi üzerine yapılan bir çalışmada [24] 20 °C’de MAP çözünlüğünün en yüksek değere ulaştığı ve evsel atıksularda MAP oluşumu için optimum pH değerinin 8-10 arasında olabileceğini bildirmişlerdir. 0.12 M hazırlanan stok H_3PO_4 çözeltisi 20 ml örneklerin üzerine sırasıyla 0-0.1-1-1.5-2 ve 2.5 ml eklenmiştir. 30 dk. karıştırma işleminden sonra (20 rpm) örnekler çökeltme işlemine tabi tutulmuş ve MAP çökmesi incelenmiştir. Çökeltme işlemi 24 sa. boyunca sürekli izlenmiştir. Bekleme sonunda en fazla çökeltim 2 ml ve 2.5 ml fosforik asit eklenen tüplerde gözlenmiştir. Straful, [25] yaptığı çalışmada MAP çöktürmesi için reaksiyon süresinin 1 dk.’dan 1 sa.’te çıkarılarak en büyük kristal büyüklüğünün 0.1 mm’den 3 mm’ye çıktığı sonucuna varmışlardır. Çalışmamızda çökeltme miktarının zamanla değişimi incelendiğinde 3 sa. gibi bir sürede çökeltmenin büyük bir kısmının gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Çökeltide strüvit olup olmadığı ise XRD analizi ile belirlenmiştir. Birinci çalışmada sadece 2.5 ml H_3PO_4 ilave edilen çökeltinin XRD analizi yapılmış ve elde edilen çökeltide çok az miktarda strüvit belirlenmiştir (Şekil 3). Bunun yanı sıra, büyük miktarda sodyumlu bileşiklerden dorfmanite ($Na_2(PO_3OH) \cdot 2H_2O$) adlı kompleks yapıların oluştuğu belirlenmiştir. Bu oluşumun yabancı iyonların etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tünay ve diğ. [26] yaptıkları çalışmada strüvit oluşturacak olan bileşiklerden (NH_4 , Mg, PO_4) bir veya birkaçının dozunun artırılmasıyla yabancı iyonların etkisinin azaltılabileceği ve daha yüksek miktarda strüvit oluşumunun gerçekleştirilebileceğini ifade etmektedirler. Aynı zamanda Mg konsantrasyonu strüvit oluşumunda sınırlayıcı bir faktördür [25]. Literatürde verilen bilgiler doğrultusunda çalışmanın 2. aşamasında 1. sette hazırlanan tüplere fosforik asit ile birlikte Mg ilave edilerek MAP çöktürmesi izlenmiştir. Magnezyum kaynağı olarak kullanılan stok $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (0.049 M) çözeltisinden her bir tüpe sırasıyla 0.5-1.0-1.5-2.0-2.5 ve 3.0 ml eklenmiştir. pH 9.5’da 24 sa. sonunda 2.5 mL magnezyum

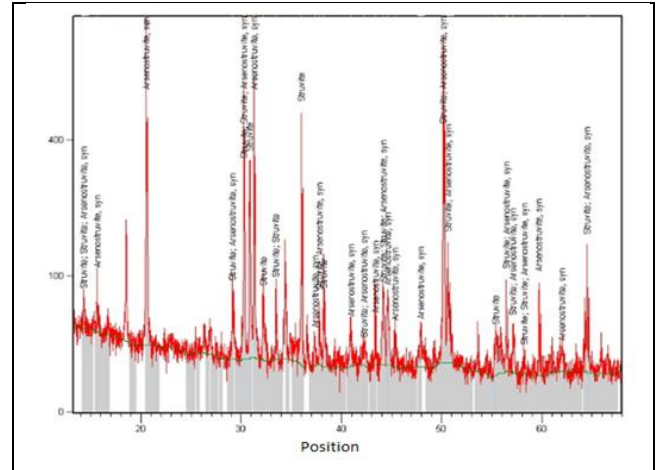
eklenen beşinci tüp (2.5 ml H_3PO_4 ve 2.5 ml $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ eklenen örnek)’de çökelti gözlenmiştir. Çalışma tekrar edilmiş ve çalışma sonucunda benzer sonuçlar bulunmuştur. Çökeltim sonrası bu iki tüpteki örneklerin üst suyu alınmış ve Mg, TN ve TP analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda çözelti içinde mevcut Mg ve TN’un %50’sinin, TP’un ise yaklaşık %13’ün azaldığı görülmüştür (Tablo 2). Çözeltide Mg, TN ve TP konsantrasyonlarının azalması bu bileşiklerin çökelti oluşturduğunu göstermektedir. XRD analizi sonucunda, oluşan çökeltinin büyük bir kısmının strüvit olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Mg ilavesi yapılan denemede, çökeltideki XRD sonucuna göre, strüvit miktarının bir önceki çalışma ile kıyaslandığında arttığı görülmektedir.

Tablo 2: Çökeltme öncesi ve sonrası TN, TP ve Mg değişimleri.

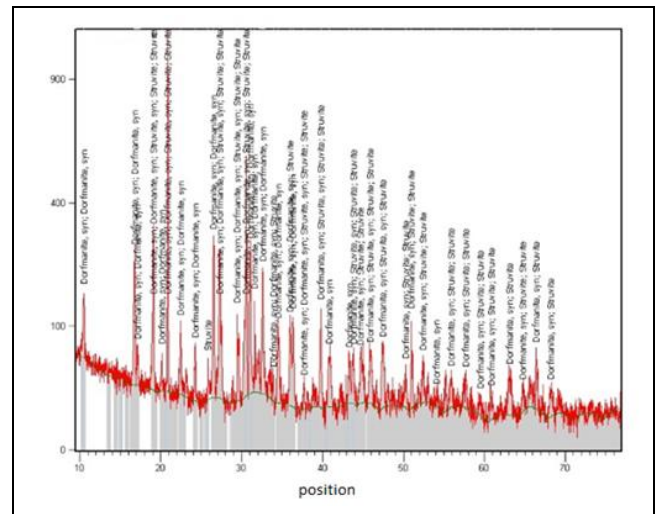
Parametre (mg/L)	I. Deneme		II. Deneme	
	Başlangıç	Çökeltme sonrası	Başlangıç	Çökeltme sonrası
Mg	63	31	63	33
TN	646	321	646	310
TP	67	59	67	58

*: Birinci ve İkinci deneme= 2,5 ml H_3PO_4 ve 2,5 ml $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ eklenen örnek.

*: İkinci tüp: 2,5 ml H_3PO_4 ve 2,5 ml $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ eklenen örnek.



Şekil 2: Sadece fosfat kaynağı eklenen örneğe ait çökeltinin XRD pikleri.



Şekil 3: Fosfat ve magnezyum kaynağı eklenen örneğe ait çökeltinin XRD pikleri.

3.2 Strüvit oluşum şartlarının belirlenmesi

3.2.1 pH

MAP çöktürmesinde pH önemli bir parametredir. pH denemesi için 20 ml örnek bulunan her bir tüpe bir önceki çalışmada belirlenen 2.5 ml fosforik asit ve 2.5 ml magnezyum stok çözeltisi eklenmiştir. Çalışma 20 °C ortam sıcaklığında ve 24 sa. bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Her bir örneğin pH değeri sırasıyla 7.17(I), 8.5(II), 9.0(III), 9.5(IV), 10.0(V) ve 10.5(VI) olacak şekilde ayarlanmıştır. MAP çöktürmesi denemesinde 24 sa. bekleme süresi sonunda I No.lu ve II No.lu örnekte herhangi bir çökelen madde gözlenmemiştir. pH değerleri 9.0-10.0 ve 10.5 olan üç örnekte ise çökelen maddeye rastlanmış ama XRD sonucunda strüvit oluşmadığı sadece IV numaralı pH 9.5 olarak ayarlanan örnekte strüvit oluştuğu belirlenmiştir.

3.2.2 Bekleme süresi

Bekleme süresinin değişken olarak kullanıldığı çalışmada 2.5 ml fosforik asit ve 2.5 ml magnezyum eklenmiş her bir örneğin pH değeri 9.5'a ayarlanmış ve 20 °C'de çökeltim denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bekleme süresinin MAP çökeltme miktarı üzerindeki etkisini belirlemek için örneklerin çökeltme süreleri 1 (I), 3 (II), 6 (III), 18 (IV) ve 24 sa. (V) olarak ayarlanmış ve çökeltme sonrası çökeltinin miktarı Tablo 3'te gösterilmektedir. Bekleme süresi belirleme çalışmasında MAP çöktürmesinin 1 sa. gerçekleştiği fakat en fazla çökeltmenin 24 sa.'lik bekleme sonunda gerçekleştiği gözlenmiştir. Bekleme süreleri sonrasındaki gözlemler ve tartım sonuçlarına bakılarak 1, 3 ve 6 sa.'lik bekleme sürelerinde strüvitin daha az miktarda, 24 sa. bekleme süresinde ise miktar olarak daha fazla strüvitin biriktiği belirlenmiştir.

Tablo 3: Bekleme süresi ile strüvit miktarı değişimi.

Bekleme Süresi (saat)	Miktar (gr)
1	0.86
3	0.90
6	2.58
18	4.54
24	6.43

3.2.3 Sıcaklık

Ortam sıcaklığının değişken olarak kullanıldığı çalışmada 2.5 ml fosforik asit ve 2.5 ml magnezyum eklenmiş her bir örnek pH=9.5'a ayarlanmış ve farklı ortam sıcaklıklarında MAP çöktürmesi araştırılmıştır. Çalışmada MAP çöktürmesi 10 °C (I), 20 °C (II) ve 30 °C (III) ortam sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmiştir. 10 °C denemesi yapılan tüpteki örnekte kum şeklinde bir beyaz tortu oluşmuş ancak oluşan tortuların kristal görünümünde olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca çökelti şeklinde oluşmayan tortunun çökmeyerek bekledikçe dağıldığı gözlenmiştir. 20 °C ortam sıcaklığında 24 sa. bekleme süresi sonucunda kristal yapıda çökeltme gözlenmiştir. 30 °C'de su banyosundan çıkarılan numunede ise herhangi bir çökeltme gözlenmemiştir.

4 Sonuç ve öneriler

Avrupa Birliği arıtılmış çamurlarının arazide geri kullanımını önermekte ve bu konuyu teşvik etmektedir. Bu amaçla arıtma çamurlarının tarımda gübre olarak kullanılması ve bu konuda yapılan çalışmalar atığın değerlendirilmesi ve bertarafı açısından önemli bir stratejidir. Gerçekleştirilen çalışma ile arıtma tesisi atık çamurlarının tarımda gübre olarak kullanımı amacıyla yeni bir dezentegrasyon tekniği olan PEF sistemi ile

çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı ve akabinde gübre özelliği taşıyan strüvit oluşumu gerçekleştirilmiştir. PEF sistemi ile her hangi bir kimyasal işlem uygulanmadan çamurdan azot ve fosfor geri kazanılabilmektedir. Çalışmada PEF arıtım sonrası çamurun TN miktarı yaklaşık 3 kat ve toplam fosfor miktarı ise 2 kat artış göstermiştir. Klasik yöntemle çamurdan azot ve fosfor geri kazanımında kullanılan asitlendirme yöntemi ile çamur içindeki ağır metallerin çözünür forma geçtiği ve strüvite bağlandığı bilinmektedir. Bu durum saf strüvit üretimi için ek ön arıtım işlemlerinin yapılmasına neden olmaktadır. Çalışmada kullanılan PEF sistemi sürekli akışlı bir proses olması, azot ve fosfor geri kazanımı için her hangi bir kimyasal gerektirmemesi, sistemin kullanımının basit ve etkili olması kullanılan klasik yöntemlere göre önemli üstünlükler sağlamaktadır. Çalışma bu anlamda ilktir ve yapılan çalışma ile etkili, ucuz, sürekli ve daha saf strüvit üretimi sağlayan geri kazanım sistemi test edilmiştir. PEF sisteminin bu üstünlükleri endüstriyel uygulamalar için önemli avantaj sağlamaktadır.

5 Teşekkür

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı "4621-YL1-16" No.lu proje tarafından desteklenmiştir.

6 Kaynaklar

- [1] Durak Z. Adana Sofulu Düzensiz Çöp Depolama Alanında Oluşan Çöp Sızıntı Sularının Bitki Yetiştirilmesinde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2005.
- [2] Taşatar B. Endüstriyel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1997.
- [3] Uzun P, Bilgili U. "Arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanakları". *Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 135-146, 2011.
- [4] Uysal A, Tuncer D, Kir E, Koseoglu TS. "Recovery of nutrients from digested sludge as struvite with a combination process of acid hydrolysis and donnan dialysis". *Water Science Technology*, 76(9-10), 2733-2741, 2017.
- [5] Resmi Gazete. "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik". Ankara, Türkiye, 2010.
- [6] Filibeli A. *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi*. DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye, 1996.
- [7] Martí N, Barat R, Seco A, Pastor L, Bouzas A. "Sludge management modeling to enhance p-recovery as struvite in wastewater treatment plants". *Journal of Environmental Management*, 196, 340-346, 2017.
- [8] Berg U, Schaum C. "Recovery of phosphorus from sewage sludge and sludge ashes application in Germany and Northern Europe". *I. National Treatment Sludge Symposium*, Izmir, Turkey, 23-25 March 2005.
- [9] Weideler A, Brechtel K, Maier W, Krampe J, Rott U. "Recovery of phosphorus from sewage sludge as MAP". *IWA/WISA Conference on the Management of Residues Emanating from Water and Wastewater Treatment, IWA World Water Congress and Exhibition*, Montreal, Canada, 9-12 September 2005.

- [10] Uysal A, Yılmazel YD, Demirer GN. "Anaerobik olarak çürütülmüş arıtma çamurlarından strüvit çöktürmesiyle nütrient geri kazanımı". *İTÜ Dergisi/Su Kirlenmesi Kontrolü*, 21(1), 25-32, 2011.
- [11] Neyens E, Baeyens J, Weemas M, De Heyder B. "Hot acid hydrolysis as a potential treatment of thickened sewage sludge". *Journal of Hazardous Materials*, 98(1-3), 275-293, 2003.
- [12] Vranitzky R, Lahnsteiner J. "Sewage sludge disintegration using ozone. a method of enhancing the anaerobic stabilization of sewage sludge". *Va Tech Wabah, R&D Process Engineering, Siemensstrasse*, 89, A-1211, 2005.
- [13] Müller JA, Winter A, Strünkmann G. "Investigation and assessment of sludge pretreatment processes". *Water Science and Technology*, 49(10), 97-104, 2004.
- [14] Tong J, Chen YG. "Recovery of nitrogen and phosphorus from alkaline fermentation liquid of waste activated sludge and application of the fermentation liquid to promote biological municipal wastewater treatment". *Water Research*, 43(12), 2969-2976, 2009.
- [15] Wei B, Yiyong L, Yongyou H. "Recovery of phosphorus and nitrogen from alkaline hydrolysis supernatant of excess sludge by magnesium ammonium phosphate". *Bioresource Technology*, 166, 1-8, 2014.
- [16] Toor UA, Dong-Jin K. "phosphorus extraction and sludge dissolution by acid and alkali treatments of polyaluminum chloride (PAC) treated wastewater sludge". *Bioresource Technology*, 217, 233-238, 2016.
- [17] Rittmann BE, Lee H, Zhang H, Alder J, Banaszak JE, Lopez R. "Full-Scale application of focused-pulsed pre-treatment for improving biosolids digestion and conversion to methane". *Water Science & Technology*, 58(10), 1895-1901, 2008.
- [18] Loeffler M, Schmidt W, Schuhmann R, Röttering A. "Treatment of sewage sludge with pulsed electric fields". *International Conference on Pulsed Power Applications Gelsenkirchen, Germany*, 27-29 March 2001.
- [19] Salerno MB, Lee S, Parameswaran PE, Rittmann B. "Using a pulsed electric field as a pretreatment for improved biosolids digestion and methanogenesis". *Water Environment Research*, 81(8), 831-839, 2009.
- [20] Zhang H, Banaszak JE, Parameswaran P, Alder J, Brown R, Rittmann BE. "Focused-Pulsed sludge pre-treatment increases the bacterial diversity and relative abundance of acetoclastic methanogens in a full-scale anaerobic digester". *Water Research*, 43(13), 4517-4526, 2009.
- [21] Lee IS, Rittmann EB. "Effect of low solids retention time and focused pulsed pre-treatment on anaerobic digestion of waste activated sludge". *Bioresource Technology*, 102, 2542-2548, 2011.
- [22] APHA-AWWA. WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21nd ed. Washington, DC, USA, 2005.
- [23] Lee S, Parameswaran P, Alder JM, Rittmann BE. "Feasibility of focused-pulsed treated waste activated sludge as a supplemental electron donor for denitrification". *Water Environment Research*, 82(12), 2316-2324, 2010.
- [24] Rettmer RS. "The simultaneous chemical precipitation of ammonium and phosphate in the form of magnesium-ammonium-phosphate". *Water Science & Technology*, 23, 659-667, 1991.
- [25] Straful I, Scrimshaw MD, Lester JN. "Conditions influencing the precipitation of magnesium ammonium phosphate". *Water Research*, 35(17), 4191-4199, 2001.
- [26] Tünay O, Kabdaşlı I, Orhon D, Kolçak S. "Ammonia removal by magnesium ammonium phosphate precipitation in industrial wastewater". *Water Science & Technology*, 36(2-3), 225-228, 1997.