



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Tavuk Kesimhanesi Atıksularından Sürekli Akışlı Elektrokoagülasyon Prosesi ile Fosfor Giderimi

Nazlı Baldan PAKDİL ^{a,*}, Murat SOLAK ^b, Elif SAZAK ^a

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bolu, Türkiye

^b Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: pakedil_n@ibu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, elektrot materyali olarak paslanmaz çelik ve demirin kullanıldığı sürekli şartlarda işletilen Elektrokoagülasyon (EK) model reaktörü ile tavuk kesimhanesi atıksularından fosfor gideriminde pH (4-10), akım yoğunluğu (10-40 A/m²) ve elektroliz süresi (5-15 dk) gibi işletme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Elektrot materyalleri; ilk olarak anot ve katot elektrotun paslanmaz çelik (Anot-PÇ/Katot-PÇ) ve ikinci olarak anot demir, katot ise paslanmaz çelik materyalinden (Anot-Demir/Katot-PÇ) olacak şekilde iki farklı birleşim değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi ve optimum işletme şartlarının belirlenmesi amacı ile Box-Behnken istatistiksel analiz modeli kullanılmıştır. Optimize edilen koşullarda, PÇ/PÇ elektrotunun kullanıldığı EK model reaktöründe giderilen fosfor konsantrasyonu için R² (Regresyon) değeri 0,99 olarak; Fe/PÇ elektrotunun kullanıldığı EK model reaktöründe giderilen fosfor konsantrasyonu için R² değeri 0,98 olarak tespit edilmiştir. Fosfor konsantrasyonu gideriminin en yüksek olduğu optimum değerler; PÇ/PÇ elektrot türü için başlangıç pH 4, akım yoğunluğu: 23,3 A/m², elektroliz süresi: 9,2 dk olarak tespit edilirken, Fe/PÇ elektrot türü için elektrot türü için başlangıç pH 4, akım yoğunluğu: 40 A/m², elektroliz süresi: 15 dk olarak tespit edilmiştir. En yüksek giderimin sağlandığı şartlarda PÇ/PÇ elektrot türünde, Fe/PÇ elektrot türüne göre daha az akım yoğunluğu ve elektroliz süresine ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tavuk Kesimhanesi Atıksuları, Fosfor Giderimi, Box-Behnken İstatistiksel Dizayn

Phosphorus Removal from Poultry Slaughterhouse Wastewater by Continuous-Flow Electrocoagulation Process

ABSTRACT

In this study, the effect of operating parameters such as pH (4-10), current density (10-40 A / m²) and electrolysis time on removal of phosphorus from Poultry Slaughterhouse Wastewater by an EC (Electrocoagulation) model reactor operating under continuous mode, where SS (Stainless Steel) and Fe (iron) electrodes were used, was investigated. Electrode materials; two different combinations of anode and cathode electrodes were first considered as stainless steel (Anode-SS / Cathode-SS) and secondly anode iron and cathode as stainless steel material (Anode-Fe / Cathode-SS). The Box-Behnken statistical design was utilized for

optimization studies. Under the optimum conditions, the coefficient of determination (R^2) value for removal of phosphorus in the EC model reactor, where SS/SS and Fe/PC electrodes were used, was found to be 0.99 and 0.98, respectively. According to the results obtained, in the EC model reactor where SS/SS electrodes were used, it was found out that the optimum initial pH was 4, the optimum current density was 23.3 A/m², and electrolysis time was 9.2 min. In the case of Fe/SS electrode usage, the optimum values for the highest removal efficiency for phosphorus were obtained as 4 for the pH, 40 A/m² for the current density, and 15 min. for the electrolysis time. It has been determined that, under the conditions of maximum removal, less current density and electrolysis time are needed compared to Fe/SS electrode type in the type of SS/SS electrode.

Keywords: Poultry Slaughterhouse Wastewaters, Phosphorus removal, Box-Behnken Statistical Design

I. GİRİŞ

Gıda sektöründe önemli bir yer tutan beyaz et tüketimi, dünya nüfusuna paralel olarak artış göstermiştir. TÜİK verilerine göre Türkiye’de piliç eti üretimi yaklaşık olarak 2010 yılında aylık ortalama 120 bin ton iken bu rakam 2016 yılında % 30’luk artışla aylık ortalama 157 bin ton değerine ulaşmıştır [1]. Sektörde oldukça yüksek miktarlarda su ihtiyacı (1 adet tavuk işlenmesi için yaklaşık 30 litre) olduğu dikkate alındığında artan talebi karşılamak için endüstrinin atıksu miktarı da yükselmektedir. Sektörde oluşan atıksu miktarı ve kirlilik yükleri Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Tavuk kesimhanelerinden ortaya çıkan atıksu miktarı ve kirlilik yükleri [2]

| Parametre | Kirlilik Yükü |
|----------------------|----------------------------------|
| Hacim | 27,6 m ³ / 1000 tavuk |
| Toplam katı madde | 12 kg / 1000 tavuk |
| Askıdaki katı madde | 7 kg / 1000 tavuk |
| Çökebilir katı madde | 4,3 kg / 1000 tavuk |
| Yağ | 0,6 kg / 1000 tavuk |
| BOİ ₅ | 13,6 kg / 1000 tavuk |

Tavuk sanayi atıksuları; tavuk kesimhanesinin günlük tavuk kesim miktarına, su tüketimine ve uygulamış olduğu süreçlere bağlı olarak yüksek oranda toplam katı madde (TKM), yağ-gres, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), yanı sıra azot, fosfor gibi maddeler içermektedir. Çalışmanın temelini oluşturan ve alıcı ortam açısından önemli bir parametre olan fosfor, alıcı ortamda büyük önem taşımaktadır. Arıtılmaksızın alıcı ortamlara verilen fosforca zengin atıksular, ötrofikasyona neden olmaktadır. Ötrofikasyon olayı, ekolojik sistemin dengesinin bozulmasına neden olurken, yüzeysel sulara çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalması ile septik şartların oluşarak, koku problemi ve yeraltısuyunun kirlenmesine neden olmaktadır [3]. Bu anlamda fosfor, atıksu akımlarından giderilmesi gereken önemli parametrelerden biridir.

Atıksu akımlarından fosfor gideriminde, adsorpsiyon [4], iyon değiştirme [5], membran [6], biyolojik arıtma [7], kimyasal koagülasyon [8], elektrokoagülasyon [9] gibi çeşitli prosesler kullanılmaktadır.

EK prosesi, DC güç kaynağına bağlanan anot ve katot elektrotların atıksu akımlarına verilmesiyle, anotta yükseltgenme, katotta indirgenme reaksiyonları neticesinde atıksu ortamına elektrot materyali tarafından salınan kimyasal madde ile kirleticilerin biraraya gelerek çökmesinin sağlandığı prosesidir. EK prosesini pH, akım yoğunluğu, elektroliz süresi, giderilecek kirleticinin konsantrasyonu, elektrot türü gibi parametreler etkilemektedir.

Günümüzde EK prosesi ile fosfor giderimi üzerine çalışmaların yürütüldüğü bilinmektedir. Literatür çalışmalarında, atıksu akımlarından EK prosesi ile fosfor gideriminde genellikle Alüminyum ve Demir elektrotlar kullanılmıştır. Çalışmada ise, anot/katot elektrot materyali olarak Paslanmaz Çelik/Paslanmaz Çelik (PÇ/PÇ) ve Demir/Paslanmaz Çelik (Fe/PÇ) elektrot bağlantı türleri kullanılarak tavuk kesimhanesi atıksularından fosfor giderimi üzerine pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi gibi parametrelerin Box-Behnken istatistiksel dizaynı ile optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

II. MALZEME VE YÖNTEM

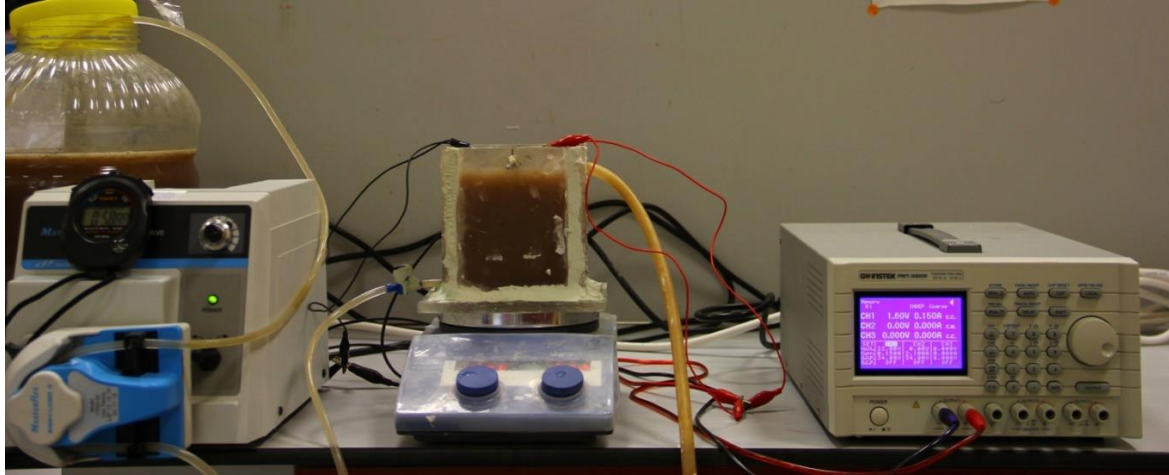
Ham atıksu, EK ile arıtım sürecinden önce karakterize edilmiştir (Çizelge 2). Sürekli akışlı EK model reaktörü ile ham atıksuyun arıtılması ve çıkış suyunun iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 2. Ham atıksu karakterizasyonu

| Parametre | Değer/Konsantrasyon |
|--------------------|---------------------|
| pH | 6,88 |
| İletkenlik | 1893± 30 μ S/cm |
| PO ₄ -P | 93 mg/L ± 0,5 |
| KOİ | 1950 mg/L ± 50 |

A. SÜREKLİ AKIŞLI EK MODEL REAKTÖRÜ

EK prosesinin deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. EK Deney Düzeneği

DeneySEL çalışmalarında, akım ve voltaj kontrolü GPS-3303-Multi Output DC Power Supply (0-30V, 0-3A) model güç kaynağı ile sağlanmıştır. Karıştırma işlemi IKA RCT basic model karıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir. Elektrotların boyutları, 35*70*0,1 mm’dir. EK Model Reaktöre her bir deney için 1000 ml atıksu numunesi eklenmiştir.

B. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

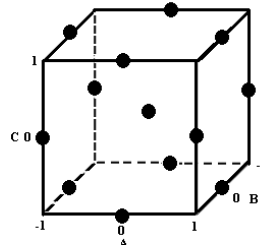
Sürekli akışlı olarak tasarlanan reaktöre atıksu, besleme tankından peristaltik pompa (Ecoline-ISMATEC) ile sağlanmıştır. pH, elektroliz süresi ve akım yoğunluğunun fosfor giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Anot ve katot elektrotlar paralel bağlantı sistemi ile bağlanmıştır. Anot ve Katot olarak PÇ/PÇ ve Anot ve Katot olarak Fe/PÇ elektrot türleri kullanılmıştır. Elektrotlar, tasarlanan elektrot bağlantı sistemine yerleştirildikten sonra elektroliz işlemine başlanmıştır. Atıksu sıcaklığının prosese etkisinin azaltılması için giriş suyu sıcaklığı su banyosu kullanılarak $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulmuştur. Reaktör içerisinde çökme olmaması ve giderim veriminin yükseltilmesi amacı ile çözelti içerisindeki anyon ve katyon temasını artırmak için 200 devir/dakika karıştırma hızında sürekli olarak karıştırılmıştır. Model reaktörden alınan çıkış suyu, $0,45 \mu\text{m}$ gözenek çapına sahip şırınga filtreden süzöldükten sonra parametre analizleri gerçekleştirilmiştir. Her deneyden önce elektrotlar yüzeyleri aseton ile yıkandıktan sonra deney süresince elektrot yüzeyinde biriken kirlilikleri gidermek için, elektrotlar, önceden hazırlanan temizleme çözeltisinde 1 dk. bekletilmiştir. Temizleme çözeltisi %20 'lik 100 ml HCl çözeltisinden oluşmaktadır. pH ayarlaması için HCl veya NaOH çözeltileri kullanılmıştır. İletkenlik ayarlaması NaCl ile yapılmıştır.

C. METOT

DeneySEL çalışmalarda, giriş ve çıkış suyu örneklerinde fosfor konsantrasyonlarının saptanması için Vanadomolibdofosforikasit kolorimetrik (SM 4500-P C) metot kullanılmıştır. pH ve iletkenlik, elektrometrik metoda (SM 4500-H+) göre Termo Scientific Orion 5 Star cihazı kullanılarak belirlenmiştir [10].

D. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bütün noktaların yarıçapı $\sqrt{2k}$ olan bir küre üzerinde olduğu kübik bir dizayn temeline dayanan Box-Behnken İstatistiksel dizaynında; kübik bölge her bir değişkenin alt ve üst sınırları tarafından oluşturulur. Küpün içindeki noktalar, prosesin fiziksel kısıtlamalarından dolayı uygulanması imkânsız veya çok yüksek maliyetli olan faktör-seviye kombinasyonlarını ifade ettiğinden avantajlı bir yöntemdir (Şekil 2) [11].



Şekil 2. Box-Behnken İstatistiksel Dizayn

Bu yöntemle göre; pH değeri, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi olmak üzere 3 adet bağımsız değişken seçilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Optimizasyon çalışması için proses faktörleri ve seviyeleri

| | | Seviyeler | | |
|-------------------|------------------|-----------|----|----|
| Faktörler | Birim | -1 | 0 | +1 |
| pH | - | 4 | 6 | 8 |
| Akım Yoğunluğu | A/m ² | 10 | 25 | 40 |
| Elektroliz Süresi | Dakika | 5 | 10 | 15 |

Proseste uygulanan işletme şartları Çizelge 4’te görülen işletme şartları uygulanarak bağımsız değişkenlere yanıt değişken olarak, işlem sonrası numunede fosfor giderim verimleri (%) belirtilmiştir.

Çizelge 4. Proseste Uygulanan İşletme Şartları

| pH | 4 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Akım Yoğunluğu (A/m ²) | 10 | 10 | 40 | 40 | 25 | 25 | 25 | 25 | 10 | 40 | 10 | 40 | 25 | 25 | 25 |
| Elektroliz süresi (Dk) | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 15 | 15 | 5 | 5 | 15 | 15 | 10 | 10 | 10 |

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. SÜREKLİ AKIŞLI EK PROSESİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Sürekli akışlı EK prosesinin optimizasyonu için pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi gibi işletme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Optimizasyon sonucu ANOVA analizi Çizelge 5’te verilmiştir. Modelde, etkin parametreler, $p < 0.05$ değerlerine göre değerlendirilmiştir. Buna göre, PÇ/PÇ elektrot türünde ($p < 0.05$) pH parametresinin en etkin parametre olduğu görülmektedir.

Fe/PÇ elektrot türünde ise, pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin fosfor gidermede daha etkin parametreler olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. Farklı elektrot türleri için ANOVA Analizi

| Anova Analizi (PÇ/PÇ) | | | | | | Anova Analizi (Fe/PÇ) | | | | | |
|-----------------------|----|---------|---------|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|---------|---------|
| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value | Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
| Model | 9 | 5316,01 | 590,67 | 55,83 | 0,000 | Model | 9 | 6306,71 | 700,75 | 31,82 | 0,001 |
| Linear | 3 | 4367,93 | 1455,98 | 137,63 | 0,000 | Linear | 3 | 1319,76 | 439,92 | 19,98 | 0,003 |
| pH | 1 | 4344,98 | 4344,98 | 410,73 | 0,000 | pH | 1 | 1152,00 | 1152,00 | 52,31 | 0,001 |
| A.Y. | 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,999 | A.Y. | 1 | 136,95 | 136,95 | 6,22 | 0,055 |
| E.S. | 1 | 22,95 | 22,95 | 2,17 | 0,201 | E.S. | 1 | 30,81 | 30,81 | 1,40 | 0,290 |
| Square | 3 | 851,35 | 283,78 | 26,83 | 0,002 | Square | 3 | 4914,20 | 1638,07 | 74,39 | 0,000 |
| pH*pH | 1 | 295,93 | 295,93 | 27,97 | 0,003 | pH*pH | 1 | 4908,97 | 4908,97 | 222,93 | 0,000 |
| | 1 | 207,69 | 207,69 | 19,63 | 0,007 | | 1 | 46,21 | 46,21 | 2,10 | 0,207 |
| A.Y.*A.Y. | | | | | | A.Y.*A.Y. | | | | | |
| | 1 | 296,09 | 296,09 | 27,99 | 0,003 | E.S.*E.S. | 1 | 52,97 | 52,97 | 2,41 | 0,182 |
| E.S.*E.S. | | | | | | | | | | | |
| 2-Way | 3 | 96,73 | 32,24 | 3,05 | 0,131 | 2-Way | 3 | 72,75 | 24,25 | 1,10 | 0,430 |

| Interaction | | | | | Interaction | | | | | | |
|-------------|----|---------|-------|------|-------------|-------------|----|---------|-------|------|-------|
| pH*A.Y. | 1 | 2,61 | 2,61 | 0,25 | 0,641 | pH*A.Y. | 1 | 36,00 | 36,00 | 1,63 | 0,257 |
| pH*E.S. | 1 | 0,42 | 0,42 | 0,04 | 0,851 | pH*E.S. | 1 | 30,25 | 30,25 | 1,37 | 0,294 |
| | 1 | 93,70 | 93,70 | 8,86 | 0,031 | | 1 | 6,50 | 6,50 | 0,30 | 0,610 |
| A.Y.*E.S. | | | | | | A.Y.*E.S. | | | | | |
| Error | 5 | 52,89 | 10,58 | | | Error | 5 | 110,10 | 22,02 | | |
| Lack-of-Fit | 3 | 42,70 | 14,23 | 2,79 | 0,275 | Lack-of-Fit | 3 | 89,16 | 29,72 | 2,84 | 0,271 |
| Pure Error | 2 | 10,19 | 5,09 | | | Pure Error | 2 | 20,94 | 10,47 | | |
| Total | 14 | 5368,90 | | | | Total | 14 | 6416,82 | | | |

EK Model reaktöründen alınan çıkış suyu numunelerinde fosfor konsantrasyonu için regrasyon değeri PÇ/PÇ elektrot türü için 0,99; Fe/PÇ elektrot türü için 0,98 olarak belirlenmiştir. Elde edilen eşitlikler (Denklem 1, 2) aşağıda verilmiştir.

$$Ce_{PÇ/PÇ} \text{ (mg/L)} = -38,7 + 36,74 \text{ pH} - 0,800 \text{ A.Y.} - 4,66 \text{ E.S.} - 2,081 \text{ pH} * \text{pH} + 0,03100 \text{ A.Y.} * \text{A.Y.} + 0,3330 \text{ E.S.} * \text{E.S.} - 0,0250 \text{ pH} * \text{A.Y.} - 0,030 \text{ pH} * \text{E.S.} - 0,0600 \text{ A.Y.} * \text{E.S.} \quad (1)$$

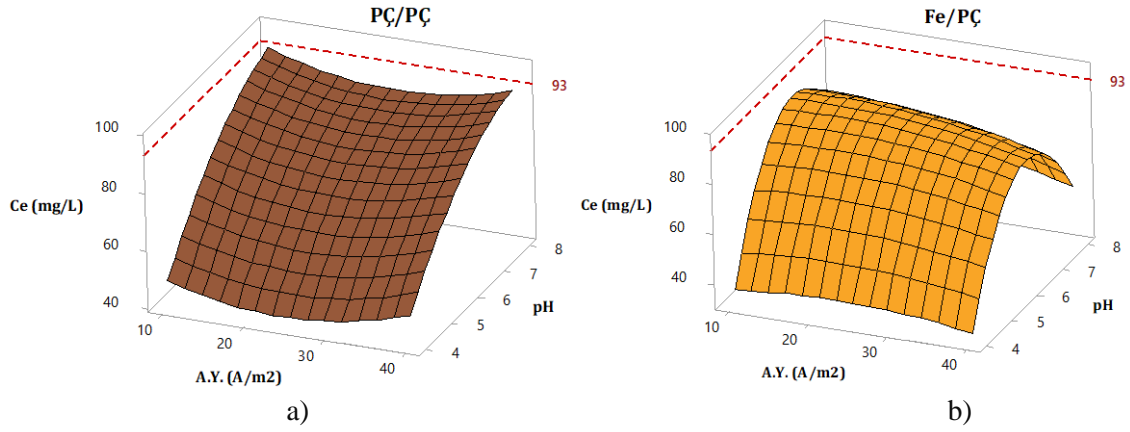
$$Ce_{Al/PÇ} \text{ (mg/L)} = -326,6 + 120,64 \text{ pH} + 1,280 \text{ A.Y.} + 4,71 \text{ E.S.} - 9,116 \text{ pH} * \text{pH} - 0,0157 \text{ A.Y.} * \text{A.Y.} - 0,1515 \text{ E.S.} * \text{E.S.} - 0,1000 \text{ pH} * \text{A.Y.} \quad (2)$$

Ce: Çıkış Fosfor Konsantrasyonu

B. pH VE AKIM YOĞUNLUĞUNUN FOSFOR GİDERİMİNE ETKİSİ

PÇ/PÇ elektrot türünün kullanıldığı EK prosesinde pH ve Akım Yoğunluğu parametrelerine bakıldığında düşük pH değerlerinde giderilen fosfor konsantrasyonunun yüksek olduğu görülmektedir. Akım yoğunluğu, pH parametresine göre fosfor giderimde daha az etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 3a). Fe/PÇ elektrot türüne bakıldığında nötral pH değerlerinde giderilen fosfor konsantrasyonunun düşük olduğu, yüksek akım yoğunluklarında ise giderimin fazla olduğu gözlenmiştir (Şekil 3b). İstatistiksel analiz sonucunda optimum başlangıç pH değeri her iki elektrot bağlantı türü için 4 olarak elde edilmiştir.

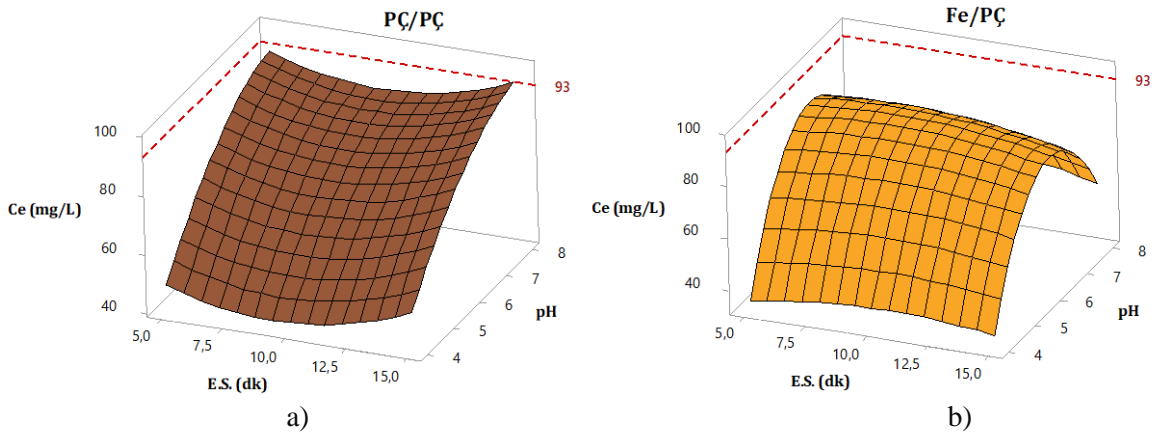
İrdemez vd. [9], Fe elektrodunun kullanıldığı EC prosesi ile atıksulardan fosfat giderimine pH değerinin etkisini belirledikleri çalışmada, optimum sistem pH'sını 3 olarak bulmuşlardır. Bu bulgu mevcut Fe/PÇ elektrot türünü destekler niteliktedir. Ayrıca, yine Al elektrodunun kullanımıyla fosfor gideriminin yapıldığı çalışmada, akım yoğunluğu ve başlangıç atıksu pH değerinin EK prosesini etkileyen önemli parametreler olduğunu belirlemişlerdir [12]. Asidik pH değerlerinde, serbest Al^{3+} iyonu ve $Al(OH)^{2+}$ bileşikleri baskındır ve pH'nın 4,0-9,0 olduğu durumlarda, çözünmez amorf $Al(OH)_{3(s)}$ oluşturmak için Al^{3+} ve OH^- iyonlarının elektrotlar tarafından üretilmektedir. Fosfat presipitasyonunun, su içinde çözünmüş katyonların bulunması durumunda, $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ veya $Al(OH)_3 - AlPO_4$ bileşikleri oluşumu şeklinde gerçekleştiği ve en yüksek fosfor giderim veriminin (% 99) başlangıç pH değerinin 5 (çıkış pH değeri 8,2) olduğu durumlarda sağlandığı belirtilmektedir [13].



Şekil 3. Elektroliz Süresinin 10 dk. olduğu deney şartlarında pH ve Akım Yoğunluğunun Giderilen Fosfor Konsantrasyonuna Etkisi a) PÇ/PÇ elektrot türü b) Fe/PÇ elektrot türü

C. pH VE ELEKTROLİZ SÜRESİNİN FOSFOR GİDERİMİNE ETKİSİ

PÇ/PÇ elektrot türünün kullanıldığı EK prosesinde pH ve elektroliz süresi parametrelerine bakıldığında düşük pH değerlerinde fosfor giderim veriminin yüksek olduğu gözlenmiştir. 8-12 dk aralığındaki elektroliz sürelerinde giderilen fosfor konsantrasyonu yükselmiştir. Ancak giderilen fosfor konsantrasyonu bakımından pH elektroliz süresine göre daha etkin bir parametredir (Şekil 4a). Fe/PÇ elektrot türüne bakıldığında nötral pH değerlerinde giderilen fosfor konsantrasyonunun düşük olduğu belirlenmiştir. Elektroliz süresi arttıkça giderilen fosfor konsantrasyonunda da artış olduğu gözlenmiştir (Şekil 4b).



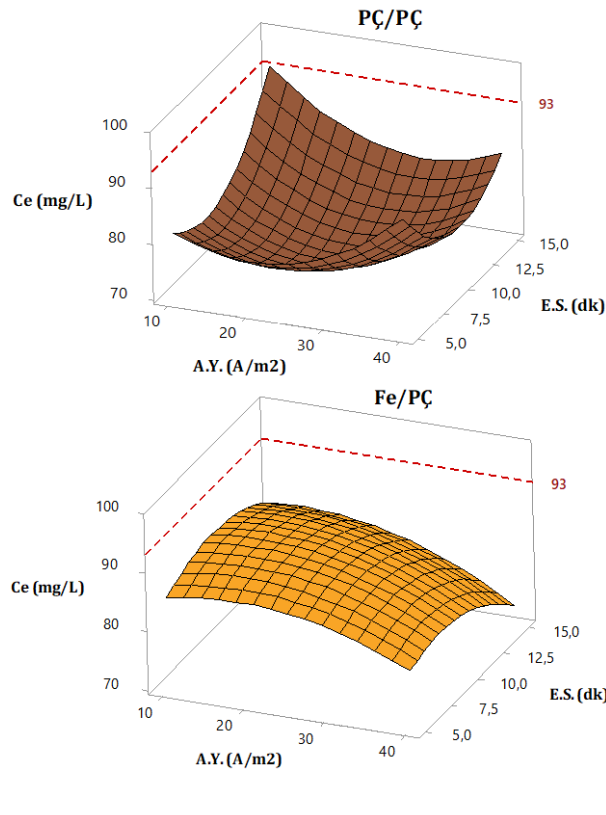
Şekil 4. Akım Yoğunluğunun 25 A/m² olduğu deney şartlarında pH ve Elektroliz Giderilen Fosfor Konsantrasyonuna Etkisi a) PÇ/PÇ elektrot türü b) Fe/PÇ elektrot türü

D. AKIM YOĞUNLUĞU VE ELEKTROLİZ SÜRESİNİN FOSFOR GİDERİMİNE ETKİSİ

PÇ/PÇ elektrot türünün kullanıldığı EK prosesinde akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerine bakıldığında akım yoğunluğunun 20-30 A/m², elektroliz süresinin 8-12 dk olduğu değerlerde giderilen fosfor konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda optimum akım yoğunluğu 23,33 A/m², elektroliz süresi 9,24 dk olarak belirlenmiştir. Düşük akım

yoğunluğu, yüksek elektroliz sürelerinde ise giderilen fosfor konsantrasyonu oldukça düşüktür. (Şekil 5a). Buna karşın Fe/PÇ elektrot türüne bakıldığında akım yoğunluğunun ve elektroliz süresinin artmasıyla giderilen fosfor konsantrasyonu artmıştır. Bu elektrot türünde optimum akım yoğunluğu 40 A/m², elektroliz süresi 15 dk olarak tespit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise, Fe/PÇ elektrot türünü kullandığı EK prosesinin, PÇ/PÇ elektrot türünün kullandığı EK prosesine göre daha fazla elektroliz süresi ve akım yoğunluğuna ihtiyaç duyduğu görülmektedir. İşletme maliyeti açısından aynı giderim verimleri için PÇ/PÇ elektrot türünün kullanılması daha uygun olacağı düşünülmektedir (Şekil 5b). Ayrıca, her iki elektrot türü için EK prosesi ile fosfor giderimi etkindir.

Paslanmaz çeliğin kullandığı EC prosesi ile sentetik atıksudan organik fosfat türü olan adenosin monofosfat (AMF) ve kondanse fosfat olan sodyum hegzametafosfat (SHMF) giderimi üzerine yapılan çalışmada EK prosesi ile AMF ve SHMF gideriminin etkin bir proses olduğu belirtilmiştir [14].



Şekil 5. pH değerinin 6 olduğu deney şartlarında Akım Yoğunluğu ve Elektroliz Süresinin Giderilen Fosfor Konsantrasyonuna Etkisi (a) PÇ/PÇ elektrot türü (b) Fe/PÇ elektrot türü

IV. SONUÇ

Çalışmada, Anot/katot elektrot materyali olarak Paslanmaz Çeliğin (PÇ/PÇ) ve Demir-Paslanmaz Çeliğin (Fe/PÇ) kullandığı Elektrokoagülasyon (EK) Prosesi ile tavuk kesimhanesi atıksularından fosfor giderimi üzerine yapılan çalışmada pH parametresinin her iki elektrot bağlantı türü için de akım yoğunluğu ve elektroliz süresine göre daha etkin parametre olduğu tespit edilmiştir. Akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin ikisinin değerlendirilmesi durumunda ise, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin artmasıyla giderilen fosfor konsantrasyonu artmıştır. Ancak istenilen yüksek değerlere ulaşılamamıştır. Bunun nedeni olarak da tavuk kesimhane atıksuyu içerisinde bulunan farklı parametrelerin fosfor giderimini olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

Akım yoğunluğunun ve elektroliz süresinin daha fazla artırılması ile giderilen fosfor miktarında artış olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, istatistiksel olarak elde edilen R^2 değerlerinin elektrot bağlantı türleri için PÇ/PÇ ve Fe/PÇ için sırasıyla % 99,01 ve % 98,28 olması EK prosesi ile fosfor giderim prosesini etkileyen parametreleri açıklamada Box-Behnken istatistiksel modelinin önemli bir rolü olduğunu göstermiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (AİBU/BAP) tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2013.09.04.605)

V. KAYNAKLAR

- [1] TÜİK, (24.03.2017), [Online]. Erşim:<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=80&locale=tr> .
- [2] S. Otles, Gıda Endüstrisinde Atıkların Değerlendirilmesi (Et ve Et Endüstrisi Atıksuları). <http://eng.ege.edu.tr/~otles/foodwaste-meat.tripod.com/id3.html>, 2011.
- [3] A. Günay, E. Debik, E. “Evsel Atıksulardan biyolojik nütrient giderimi”, I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, Türkiye, 1998.
- [4] E. Oğuz, A. Gürses, N. Canpolat Cement and Concrete Res. 33, 1109-1112, 2003.
- [5] B. Kıvanç, “Adsorpsiyon ve İyon Değişimi Yöntemi ile Sulu Çözeltilerden Fosfat Gideriminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2011.
- [6] D. Dolar, K. Kosutic, B. Vucic, RO/NF "Treatment of Wastewater from Fertilizer Factory: Removal of Fluoride and Phosphate", *Desalination*, vol. 265, pp. 237-241, 2011.
- [7] T. Tunçal, “Management of Phosphorus Removal in Municipal Wastewater Treatment Plants”. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2008.
- [8] S. Tanada, M. Kabayama, N. Kawasaki, T. Sakiyama, T. Nakamura, M. Araki, T. Tamura, “Removal of Phosphate by Aluminum Oxide Hydroxide” *Journal of Colloid and Interface Sci.*, vol. 257, no. 1, pp. 135-140, 2003.
- [9] Ş. İrdemez, N. Demircioğlu, Y.Ş. Yıldız, “The Effects of pH on Phosphate Removal from Wastewater by Electrocoagulation with Iron Plate Electrodes” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 137, no. 2, pp.1231-1235, 2006.
- [10] American Public Health Association (APHA), 2005. *Standard Methods for the Examination of Waste and Wastewater* (19th ed.), Washington.
- [11] N. Duman, Frükto-Oligosakkaritlerin Zeolitler tarafından Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta-Türkiye, 2011.

- [12] Ş. İrdemez, N. Demircioğlu, Y.Ş. Yıldız, V. Tosunoğlu, “Optimization of Phosphate Removal from Wastewater by Electrocoagulation with Aluminum Plate Electrodes” *Separation and Purification Tech.*, vol. 52, pp. 394-401, 2006.
- [13] M. Kobyay, E. Demirbaş, A. Dedeli, M.T. Şensoy, “Treatment of Rinse Water form Zinc Phosphate Coating by Batch and Continuous Electrocoagulation Processes” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 173, pp. 326-334, 2010.
- [14] M.B. Miranzadeh, D. Rabbani, S. Dehqay, “Electrocoagulation Process for Removal of Adenosine-5'-Monophosphate and Sodium Hexamethaphosphate from the Synthetic Wastewater” *International Journal of Physical Sciences*, vol. 7, no. 10, pp. 1571-1577, 2012.