



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kimyasal Spreyleme Atıksuyunun Arıtımında Elektrokoagülasyon Prosesinin Optimizasyonu: Box-Behnken Dizaynı

 Murat SOLAK^{a,*}

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* muratsolak@duzce.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.518579

ÖZET

Bu çalışmada, kot pantolon üretiminde kimyasal spreyleme işleminden oluşan atıksuyun, Alüminyum (Al) elektrot kullanılarak Elektrokoagülasyon (EK) Prosesi ile arıtımı incelenmiştir. EK prosesi ile KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) ve TÇK (Toplam Çözünmüş Katı) parametrelerinin giderimi için pH, akım yoğunluğu (A.Y.) ve elektroliz süresi (E.S.) gibi EK proses verimliliğinde önemli rol oynayan parametrelerin etkileri belirlenmiştir. Deneysel tasarımda Box-Behnken istatistiksel modeli kullanılmıştır. İstatistiksel analizler her iki kirletici için de sonuçların quadratik modele uygun olduğunu göstermiştir. EK reaktöründe KOİ ve TÇK'nın giderilmesi için regrasyon (R^2) değerinin sırasıyla 0,95 ve 0,99; R^2_{adj} değerinin sırasıyla 0,88 ve 0,99 olduğu bulunmuştur. R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1'e yakın olması, deney sonuçlarının ve istatistiksel çıkarımların uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir. KOİ ve TÇK giderimi için optimum pH değerleri sırasıyla 5,01 ve 6,66 olarak tespit edilirken, her iki kirletici için optimum akım yoğunluğu $59 \text{ A} / \text{m}^2$ ve elektroliz süresi 29 dk. olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokoagülasyon, Kimyasal Spreyleme Atıksuyu, Box-Behnken İstatistiksel Modeli

Optimization of the Electrocoagulation Process in the treatment of Chemical Spraying Wastewater: Box-Behnken Design

ABSTRACT

In this study, the treatment of wastewater consisting of the chemical spray process in jeans production by Electrocoagulation (EC) Process using Aluminum (Al) electrode was investigated. The effects of the parameters that play an important role in the EC process efficiency such as pH, current density (C.D.) and electrolysis time (E.T.) for the removal of the COD (Chemical Oxygen Demand) and TDS (Total Dissolved Solids) by EC process were determined. Box-Behnken Statistical Model was used in experimental design. Statistical analyzes show that the results for both pollutants match the quadratic model. The coefficient of determination (R^2) value for removal of COD and TDS in the EC reactor, was found to be 0.95 and 0.99, and R^2_{Adj} value was found to be 0,88 and 0,99, respectively. Being R^2 and R^2_{adj} values close to 1 indicates that the experimental results and statistical inferences were compatible and the Box-Behnken statistical design was effective in order to determine

the effects of process parameters. The optimum pH values for COD and TDS removal were determined as 6.51 and 6.4 respectively, whereas the optimum current density for both pollutants was 59 A / m² and the electrolysis time was 29 minutes.

Keywords: Electrocoagulation, Chemical Spraying Wastewater, Box-Behnken Statistical Design

I. GİRİŞ

Kot üretim sektörü üretim prosesleri gereğince yüksek miktarlarda su tüketen bir sektördür. Üretim proseslerinin çeşitliliği ve su tüketiminin fazlalığı oluşan atıksuyun kompleks ve fazla miktarda olmasına neden olmaktadır. Denim ürün üretim süreçlerinde oluşan atıksu, yüksek KOİ ve renk içermektedir. Kot pantolon üretim süreçlerinde bir proses olan kimyasal spreyleme işlemi denim ürünün istenen özelliklerinin sağlanması adına son derece önemlidir. Kimyasal spreyleme işleminde kot pantolona sprey yardımıyla potasyum permanganat gibi kimyasal maddeler püskürtülerek eskitme, istenen rengi elde etme gibi istenen özellikler kazandırılır. Kimyasal spreyn yapıldığı kabinin arka kısmında sürekli olarak su akmaktadır. Böylelikle, kimyasal sprey tabancasından çıkan kimyasalların işletme içinde doğrudan havaya karışması ve spreyleme işlemi yapan çalışana geri gelmesi engellenerek, yıkama kabinindeki suya geçmesi sağlanır. Kimyasal spreylemede kullanılan su yoğun kirlilik içeriğine ulaştığında yenilenir. Yenilenme sürecine kadar sürekli aynı havuzlarda bekletilerek tekrar tekrar aynı su kullanılır.

Kimyasal içeriğe sahip atıksuların arıtılmasında koagülasyon [1,2], oksidasyon [3], elektrokoagülasyon [4] gibi prosesler kullanılmaktadır. Koagülasyon prosesi özellikle koloidal kirliliğin fazla olduğu atıksularda etkin bir şekilde giderim sağlamaktadır. Oksidasyon prosesi çözülmüş organik maddelerin gideriminde etkin şekilde kullanılmaktadır. Yine kompleks ve birçok kirleticinin gideriminde etkin olarak kullanılan EK prosesi, anot, katot elektrot ve bu elektrotların bağlandığı DC Güç kaynağı ile redoks reaksiyonlarına bağlı olarak oluşan kimyasallar ile çözelti içerisindeki kirleticilerin giderildiği bir prosestir. Bu proseste, elektriksel alan varlığı ile çok küçük kirleticileri giderebilme, atıksu deşarj pH değerinde ayarlama gerektirmeme gibi birtakım avantajlara sahiptir. EK prosesinde ucuz, kolay temin edilebilmesi bakımından en çok kullanılan elektrot türü Al, Fe elektrotlarıdır. Fe elektrodu oksitlenmeden dolayı çözeltiliye renk verdiği için çalışmada Al elektrodu kullanılmıştır. Al elektrodunun kullanıldığı EK prosesinde gerçekleşen reaksiyonlar Eşitlik 1-3'te görülmektedir [5].

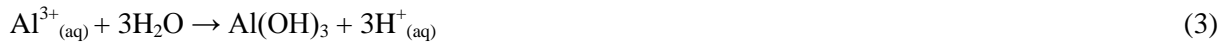
Anotta



Katotta



Çözeltide



Bu çalışmada da kimyasal spreyleme prosesinden kaynaklanan atıksuların Al elektrodunun kullanıldığı EK prosesi ile arıtımı gerçekleştirilmiştir. EK proses verimliliğini etkileyen pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi gibi parametreler KOİ, TÇK giderimine etkileri Box-Behnken istatistiksel metot kullanılarak değerlendirilmiştir.

II. MALZEME VE YÖNTEM

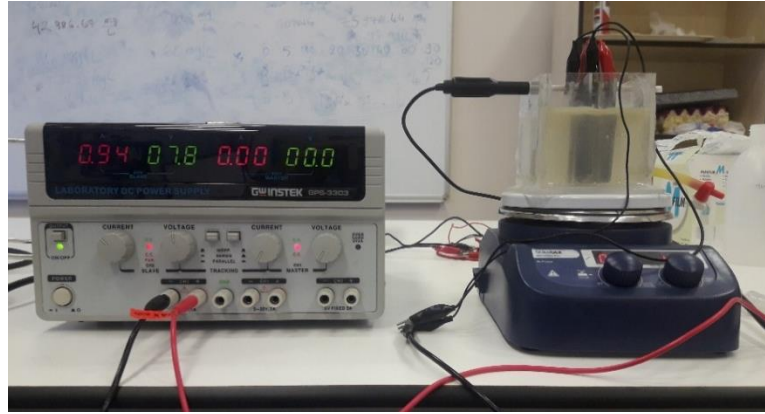
Kimyasal spreyleme ham atıksuyunun karakterizasyonu Tablo 1’de verilmiştir. Ham atıksu kot pantolon üretimi yapan bir tekstil firmasından temin edilmiştir.

Tablo 1. Ham atıksu karakterizasyonu

Parametre	Değer/Konsantrasyon
pH	7,56
İletkenlik	6,43± 0,2 mS/cm
KOİ	120 ± 10 mg/L
TÇK	3,24 ± 0,1 g/L

A. ELEKTROKOAGÜLASYON MODEL REAKTÖRÜ

EK prosesinin deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 1’de görülmektedir. Model reaktör, HxBXL 85x80x80 mm olarak tasarlanmıştır. Model reaktörde kullanılan Al elektrodunun boyutları, 40*80*0,1 mm’dir.

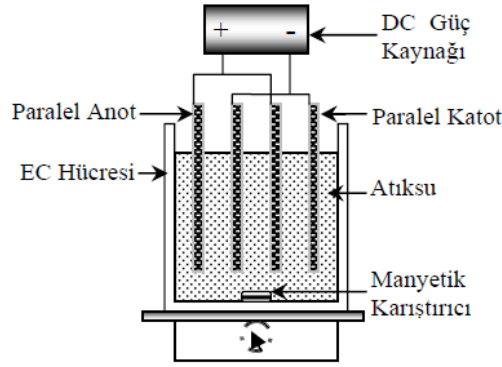


Şekil 1. EK Deney Düzeneği

B. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kesikli olarak işletilen reaktöre 350 mL atıksu numunesi eklenerek deneysel çalışmalara başlanmıştır. Çalışmada EK prosesini etkileyen en önemli parametreler olan pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin KOİ ve TÇK giderim verimine etkileri incelenmiştir. Paralel bağlantı sistemi kullanılmıştır (Şekil 2). Elektrotlar, tasarlanan elektrot bağlantı sistemine yerleştirildikten sonra elektroliz işlemine başlanmıştır. 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. Tüm deneyler oda sıcaklığında (~25°C) gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın sabit tutulması için ısıtıcı banyo kullanılmıştır. Reaktörden alınan

çıkış suyu, 0,45 µm gözenek çapına sahip şırınga filtreden süzöldükten sonra parametre analizleri yapılmıştır. pH ayarlaması için HCl ve NaOH çözeltileri, iletkenlik ayarlaması için NaCl kullanılmıştır.



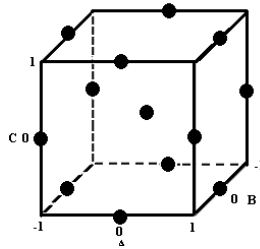
Şekil 2. Paralel Bağlantı Sistemi

C. METOT

Deneyel çalışmalarda, giriş ve çıkış suyu örneklerinde KOİ konsantrasyonlarının belirlenmesi için Standart Metot (5220 D) metot kullanılmıştır. pH ve iletkenlik, elektrometrik metoda (SM 4500-H+) göre Hanna cihazı kullanılarak belirlenmiştir [6]. Akım ve voltaj kontrolü Gwinstek GPS 3303 DC Power Supply (0-30V, 0-3A) model güç kaynağı ile sağlanmıştır. Karıştırma işleminde SCIllogex MSH 280-Pro model karıştırıcı kullanılmıştır. pH ölçümleri Hanna HI 2211 model pH metre ile elektrometrik, iletkenlik ve TÇK ölçümleri Hach İletkenlik-TDS metre ile elektrometrik yöntem ile gerçekleştirilmiştir.

D. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Deneyel çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla, Box-Behnken istatistiksel analizi kullanılmıştır (Şekil 3). Box-Behnken, dizaynı yanıt yüzey dizaynlarından biri olup, ikinci derecedir. Diğer yanıt yüzeylerine göre daha az veri girişi gerektirir.



Şekil 3. Box-Behnken İstatistiksel Dizaynı

Atıksuyun pH değeri, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır. Box-Behnken istatistiksel analizi, Design Expert (trial) programı kullanılarak; ANOVA tablosu çıkarılarak, P, R², F değerleri elde edilmiştir.

Dizayn tablosuna göre yapılan deneyler sonucunda bulunan KOİ ve TÇK giderim verileri kullanılarak aşağıda verilen denklemde b1, b2, b3... katsayıları belirlenmiştir (Eşitlik 4). Bu katsayılar kullanılarak

KOİ ve TÇK giderim değerini maksimum seviyeye getirecek bağımsız parametrelerin alabileceği optimum değerler belirlenmiştir.

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3+b_{11}X_1^2+b_{22}X_2^2+b_{33}X_3^2 \quad (4)$$

Bu yöntemle göre; pH değeri, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi olmak üzere 3 adet bağımsız değişken için laboratuvarındaki ön çalışmalarda elde edilen aralıklar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Optimizasyon çalışması için proses faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Birim	Seviyeler		
		-1	0	+1
pH		5	7	9
Akım Yoğunluğu	A/m ²	10	35	60
Elektroliz Süresi	dk.	10	20	30

Proseste uygulanan işletme şartlarına göre değişkenlere yanıt değişken olarak, işlem sonrası numunede KOİ ve TÇK giderim verimleri (%) belirlenmiştir.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

A. EK PROSESİ ANALİZ SONUÇLARI VE İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

EK prosesi ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda pH değerinin pH 8 hariç, diğer tüm deneysel çalışmalarda arttığı görülmüştür (Tablo 3). Katot elektrottaki suyun indirgenme reaksiyonu sonucunda oluşan hidroksitler atıksu pH değerini artırmıştır [7]. pH 9 değerinde de bir miktar azalma gözlenmiştir. EK prosesinin atıksu çözeltisini oluşan hidroksitlerden dolayı nötralize etme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. İletkenlik değerlerinde de azalma olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Deneysel Sonuçlar

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
pH	9	7	7	7	7	5	7	9	5	7	9	7	5	5	9	7	7
A.Y. (A/m ²)	35	60	35	10	35	35	60	10	10	10	35	35	35	60	60	35	35
E.S. (dk.)	10	30	20	10	20	10	10	20	20	30	30	20	30	20	20	20	20
Potansiyel Fark (V)	8,8	14	9	3,8	8,9	9,8	14	4	3	3,7	11	9	8,7	16	13	9	9
pH _s	8,45	8,74	7,64	7,22	7,57	7,5	7,8	8,18	6,27	7,4	9,22	7,64	6,32	6,15	8,5	7,6	7,62
E.İ. _i (mS/cm)	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
E.İ. _s (mS/cm)	5,86	3,4	4,86	5,5	4,8	6,11	5,4	5,96	6,64	5,7	4,41	4,88	5,1	2,23	4,66	4,84	4,86

A.Y.: Akım Yoğunluğu, E.S.: Elektroliz Süresi, pH_s: Son pH, E.İ._i: İlk Elektriksel İletkenlik E.İ._s: Son Elektriksel İletkenlik

EK prosesinin optimizasyonu için pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi gibi işletme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Optimizasyon sonucu ANOVA analizi Tablo 4’te verilmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda quadratik modele uyum sağladığı belirlenmiştir. Quadratik model için elde edilen verilere göre etkin parametreler, p<0.05 değerlerine göre değerlendirilmiştir. Buna göre,

($p < 0.05$) kimyasal sprey atıksuyundan EK prosesi ile KOİ ve TÇK giderim veriminde akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin oldukça önemli olduğu belirlenirken, pH parametresinin diğer iki parametreye göre daha az öneme sahip olduğu görülmüştür. Burada pH değeri, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin artmasıyla birlikte çözünen elektrot materyali ve oluşan hidroksitlerden dolayı pH değeri nötral/bazik aralıkta kalmıştır. Bu nedenle pH değeri asidik olsa bile elektroliz prosesi sonucundan pH değeri nötral ve bazik seviyelere gelmiştir.

EK reaktöründe KOİ ve TÇK'nın giderilmesi için regrasyon (R^2) değerinin sırasıyla 0,95 ve 0,99; R^2_{adj} değerinin sırasıyla 0,88 ve 0,99 olduğu bulunmuştur. R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1'e yakın olması, deney sonuçlarının ve istatistiksel çıkarımların uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. ANOVA Analizi

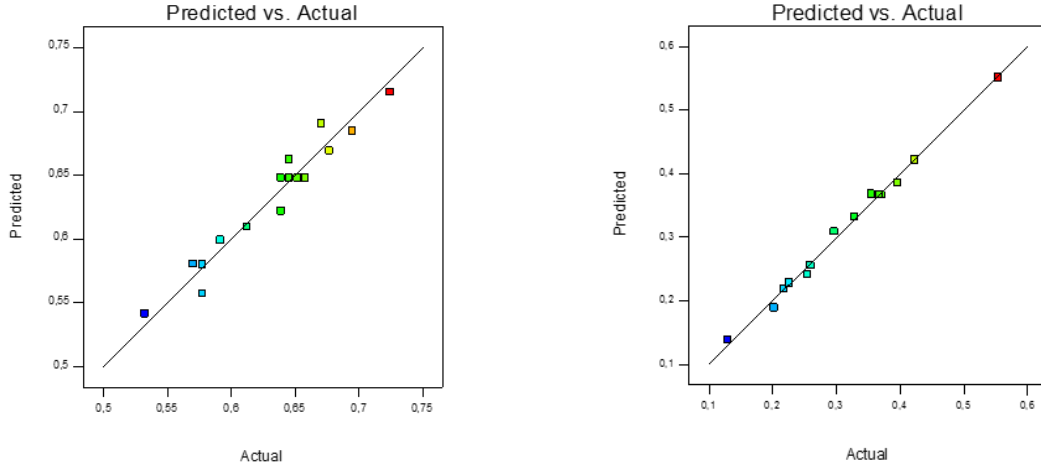
Source	KOİ Giderim Verimi				TÇK Giderim Verimi			
	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	0,037	4,164E-003	13,76	0,0011	0,16	0,018	128,99	< 0,0001
A-pH	2,007E-003	2,007E-003	6,63	0,0367	9,602E-004	9,602E-004	6,95	0,0336
B-A.Y.	0,021	0,021	68,15	< 0,0001	0,10	0,10	732,54	< 0,0001
C-E.S.	0,010	0,010	34,47	0,0006	0,019	0,019	138,66	< 0,0001
AB	1,045E-004	1,045E-004	0,35	0,5753	3,376E-003	3,376E-003	24,45	0,0017
AC	9,213E-005	9,213E-005	0,30	0,5982	1,978E-003	1,978E-003	14,32	0,0068
BC	1,127E-003	1,127E-003	3,72	0,0950	7,276E-003	7,276E-003	52,70	0,0002
A ²	5,104E-005	5,104E-005	0,17	0,6936	0,024	0,024	173,65	< 0,0001
B ²	2,099E-003	2,099E-003	6,94	0,0337	1,966E-007	1,966E-007	1,424E-003	0,9710
C ²	8,333E-004	8,333E-004	2,75	0,1410	1,602E-003	1,602E-003	11,60	0,0113
Residual	2,118E-003	3,026E-004			9,665E-004	1,381E-004		
Lack of Fit	1,904E-003	6,345E-004	11,84	0,0186	9,445E-004	3,148E-004	57,13	0,0010
Pure Er.	2,144E-004	5,360E-005			2,204E-005	5,511E-006		
Cor	0,040				0,16			
Total								
	R-Squared	0,9465			R-Squared	0,9940		
	Adj R-Squared	0,8777			Adj R-Squared	0,9863		

Deneysel tasarım sonunda elde edilen eşitlikler Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. KOİ ve TÇK Giderimi için elde edilen eşitlikler

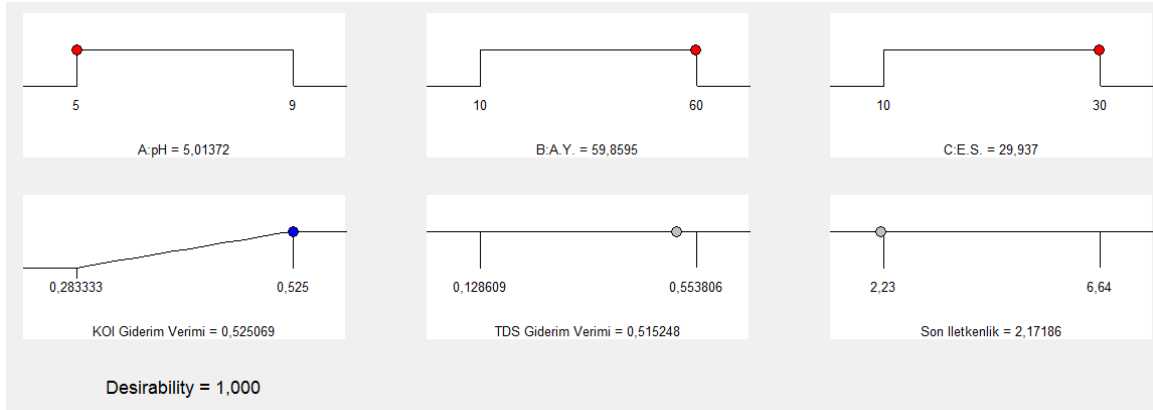
KOİ Giderim Verimi	=	TÇK Giderim Verimi	=
+0.65		+0.37	
-0.016	* pH	+0.011	* pH
+0.051	* A.Y.	+0.11	* A.Y.
+0.036	* E.S.	+0.049	* E.S.
+5.110E-003	* pH * A.Y.	-0.029	* pH * A.Y.
+4.799E-003	* pH * E.S.	-0.022	* pH * E.S.
+0.017	* A.Y. * E.S.	+0.043	* A.Y. * E.S.
+3.482E-003	* pH ²	-0.075	* pH ²
-0.022	* A.Y. ²	+2.161E-004	* A.Y. ²
-0.014	* E.S. ²	-0.020	* E.S. ²

Şekil 4'te EK prosesi ile KOİ ve TÇK gideriminde elde edilen deneysel sonuçlar ve modelin tahminlediği sonuçlar görülmektedir.

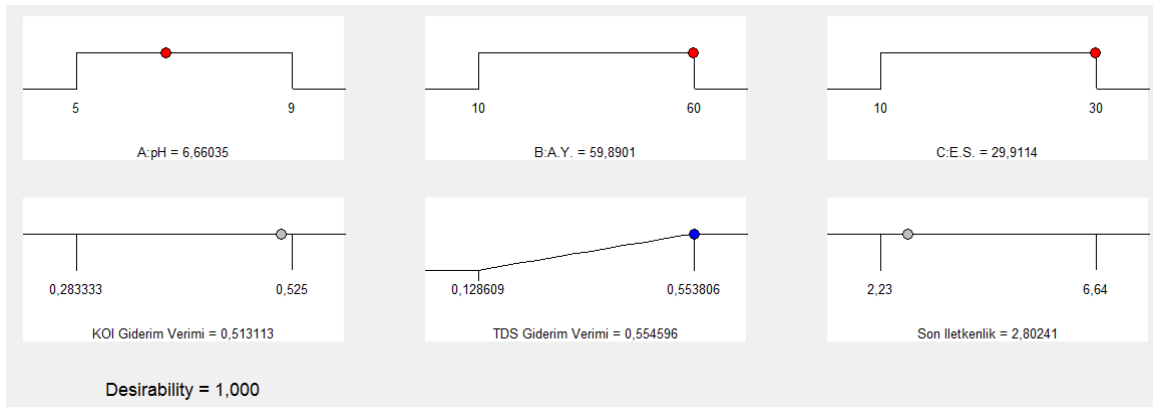


Şekil 4. Deneysel Çalışmalarda Elde Edilen ve Modelin Tahminlediği Veriler
a) KOİ Giderimi b) TÇK Giderimi

Şekil 5'te EK prosesi ile KOİ giderimindeki optimum şartlar, Şekil 6'da TÇK giderimindeki optimum şartlar görülmektedir.



Şekil 5. KOİ giderimi için optimum şartlar

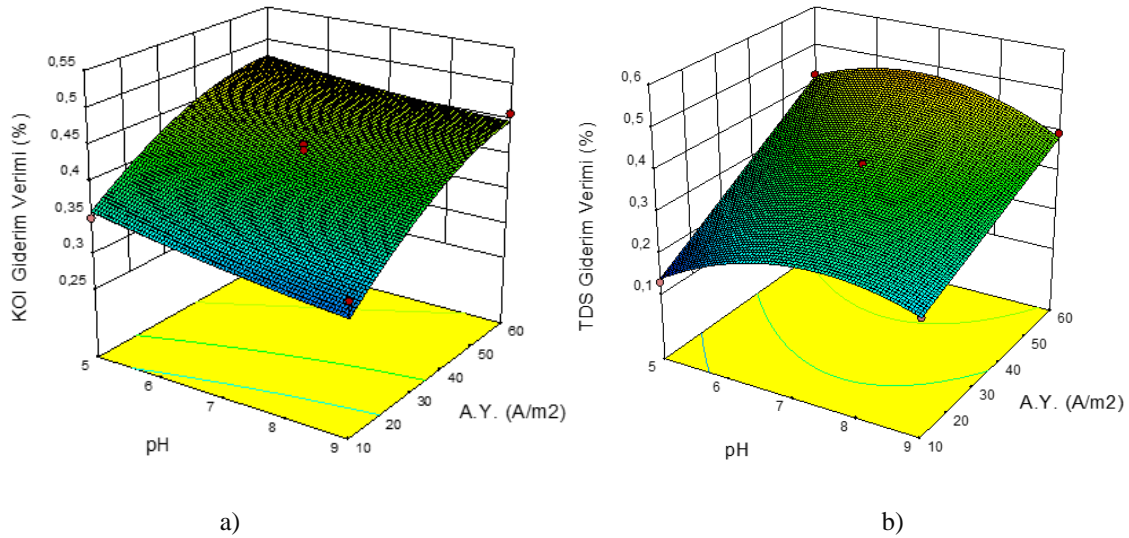


Şekil 6. TÇK giderimi için optimum şartlar

B. pH ve AKIM YOĞUNLUĞUNUN KOİ/TÇK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

pH ve akım yoğunluğu parametreleri EK prosesi ile kirletici gideriminde önemli rol oynamaktadır [7]. Atıksu içerisinde düşük pH değerlerinde Al^{3+} ve $Al(OH)_2^+$ gibi katyonik monomerik Al türleri mevcuttur. pH değeri 4-9 aralığında $Al(OH)_2$ gibi monomerik bileşikler, $Al_6(OH)_{15}^{3+}$ gibi polimerik bileşikler kompleks polimerizasyon ve/veya presipitasyon mekanizması ile çözünmez amorf $Al(OH)_{3(s)}$ floğuna dönüşür. pH değeri 8'den büyük olması durumunda monomerik $Al(OH)_4$ konsantrasyonu artar, çözünmez amorf $Al(OH)_{3(s)}$ floğunun miktarını azaltır [8].

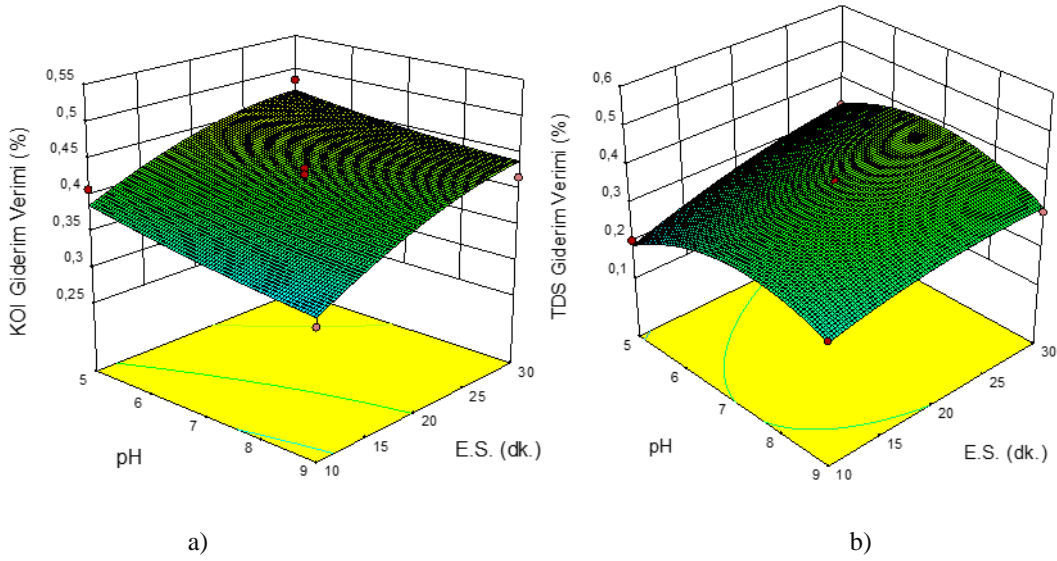
Akım yoğunluğu parametresi koagülant oluşum hızını, kabarcık üretimini düzenlemesi, flok büyümesini ve bunlara bağlı olarak EK prosesinin reaksiyon hızını etkilemesinden dolayı en önemli parametredir [7;9]. Şekil 7'de görüldüğü üzere, akım yoğunluğunun artmasıyla KOİ giderim verimi artmıştır. Akım yoğunluğu atıksu ortamında salınan elektrot materyalini de artırarak süpürme etkisiyle kirleticilerin daha kolay giderilmesini sağlamaktadır. Akım yoğunluğunun KOİ ve TÇK gideriminde oldukça etkin parametre olduğu görülmektedir. Akım yoğunluğunun artmasıyla KOİ, renk gideriminin arttığı da literatürdeki çalışmada belirtilmiştir [7].



Şekil 7. Elektroliz Süresinin 20 dk. olduğu deney şartlarında pH ve Akım Yoğunluğunun Etkisi
a) KOİ Giderim Verimi b) TÇK Giderim Verimi

C. pH ve ELEKTROLİZ SÜRESİNİN KOİ/TÇK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

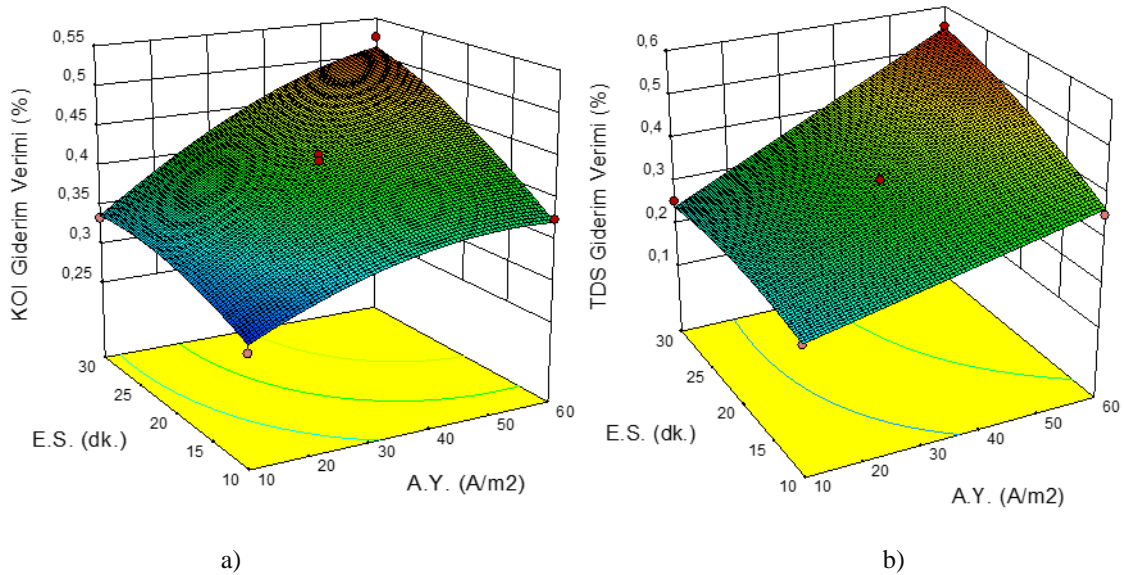
pH ve elektroliz süresi parametrelerinin KOİ giderim verimine etkisine bakıldığında, pH değerinin çok büyük etkisi olmazken, elektroliz süresi daha etkin bir parametredir. Ancak elektroliz süresinin artmasıyla KOİ giderim verimi anlamlı şekilde artmamıştır (Şekil 8a). TÇK giderim verimi açısından bakıldığında ise, pH parametresinin elektroliz süresine göre daha etkin parametre olduğu görülmektedir (Şekil 8b).



Şekil 8. Akım Yoğunluğunun 35 A/m^2 olduğu deney şartlarında pH ve Elektroliz Süresinin Etkisi
a) KOİ Giderim Verimi b) TÇK Giderim Verimi

D. AKIM YOĞUNLUĞU VE ELEKTROLİZ SÜRESİNİN KOİ/TÇK GİDERİM VERİMİNE ETKİSİ

Akım yoğunluğu Al iyonu çözünme hızını artırdığından EK prosesinde önemli bir parametredir [10]. Bu çalışmada da akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin KOİ giderim veriminde önemli iki parametre olduğu belirlenmiştir (Şekil 9a). Yüksek akım yoğunluğu ve yüksek elektroliz süresinde en yüksek KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Aynı trend TÇK giderim verimi açısından da gözlenmiştir (Şekil 9b).



Şekil 9. pH değerinin 7 olduğu deney şartlarında Akım Yoğunluğu ve Elektroliz Süresinin Etkisi
a) KOİ Giderim Verimi b) TÇK Giderim Verimi

IV. SONUÇ

Çalışmada, elektrot materyali olarak Al elektrodunun kullanıldığı Elektrokoagülasyon (EK) Prosesi ile kot pantolon üretim sürecinde kimyasal spreyleme prosesi atıksularının arıtımı üzerine yapılan çalışmada akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin pH değerine göre daha etkin parametre olduğu tespit edilmiştir. EK reaktöründe KOİ ve TÇK'nın giderilmesi için regrasyon (R^2) değerinin sırasıyla 0,95 ve 0,99; Adj R^2 değerinin sırasıyla 0,88 ve 0,99 olduğu bulunmuştur. R^2 ve R^2 adj değerlerinin 1'e yakın olması, deney sonuçlarının ve istatistiksel çıkarımların uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermiştir. En yüksek KOİ ve TÇK giderimleri (>%50) için optimum pH değerleri sırasıyla 5,01 ve 6,66 olarak tespit edilirken, her iki kirletici için optimum akım yoğunluğu 59 A/m² ve elektroliz süresi 29 dk. olarak belirlenmiştir. Atıksuyun EK prosesi ile arıtımı sonrası elde edilen pH değerleri deşarj standartları olan 6-9 aralığında elde edilmiştir. EK prosesi sonrası atıksu pH değeri herhangi ayarlamaya gerek kalmaksızın deşarj edilebilir niteliktedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] E. GilPavasa, I. Dobrosz-Gómez, M. Á. Gómez-García, “Optimization of sequential chemical coagulation - electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 22, pp. 73-79, 2018.
- [2] A. Kumar, P.V. Nidheesh, M.S. Kumar, “Composite wastewater treatment by aerated electrocoagulation and modified peroxi-coagulation processes,” *Chemosphere*, vol. 205, pp. 587-593, 2018.
- [3] E. Güneş, E. Demir, Y. Güneş, A. Hanedar, “Characterization and treatment alternatives of industrial container and drum cleaning wastewater: Comparison of Fenton-like process and combined coagulation/oxidation processes,” *Separation and Purification Technology*, vol. 209, pp. 426-433, 2019.
- [4] A. D. Barbosa, L.F.d. Silva, H. M. de Paula, L. L. Romualdo, G. Sadoyama, L.S. Andrade, “Combined use of coagulation (M. oleifera) and electrochemical techniques in the treatment of industrial paint wastewater for reuse and/or disposal,” *Water Research*, vol.145, pp. 153-161, 2018.
- [5] Chen, X., Chen, G.C., Yue, P.L., “Separation of Pollutants from Restaurant Wastewater by Electrocoagulation,” *Separation and Purification Technology*, vol. 19, pp. 65-76. 2000.
- [6] APHA, American Public Health Association (APHA), Standard Methods for the Examination of Waste and Wastewater (19th ed.), Washington. 2005.
- [7] A.K. Verma, “Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation employing Fe-Al composite electrode,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 20, pp. 168-172, 2017.
- [8] K. Merzouk, A. Madani, “Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies,” *Desalination*, vol. 250, pp. 573-577, 2010.

[9] M. Kobya, E. Demirbas, "Evaluations of operating parameters on treatment of can manufacturing wastewater by electrocoagulation," *Journal Water Process Engineering*, vol. 8, pp. 64-74, 2015.

[10] C.J. Nawarkar, V.D. Salkar, "Solar powered Electrocoagulation system for municipal wastewater treatment," *Fuel*, vol. 237, pp. 222-226, 2019.