



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE GIDA ENDÜSTRİSİ
ATIKSUYUNDAN RENK GİDERİMİ**

OĞUZ ŞAHİNER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT SOLAK**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE GIDA ENDÜSTRİSİ
ATIKSUYUNDAN RENK GİDERİMİ

Oğuz ŞAHİNER tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Murat SOLAK
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Murat SOLAK
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Şeref KESKİN
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Nazlı BALDAN PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 02/08/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

2 Ağustos 2019

Oğuz ŞAHİNER

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat SOLAK'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen eşim Canan ŞAHİNER ile çocuklarım Eymen, Ömer ve Elif'e, ayrıca aile büyüklerim ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

2 Ağustos 2019

Oğuz ŞAHİNER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. MAYA ENDÜSTRİSİ.....	3
2.1. MAYA ÜRETİM AŞAMALARI.....	4
2.1.1. Melasın Hazırlanması	5
2.1.2. Ana Mayanın Elde Edilmesi.....	5
2.1.3. Ayırma, Susuzlaştırma	5
2.1.4. Kurutma, Paketleme, Depolama.....	5
2.2. MAYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN ÖZELLİKLERİ.....	5
2.3. ATIKSULARDAN RENK GİDERİM PROSESLERİ.....	6
2.3.1. Elektrokoagülasyon.....	6
2.3.2. Membran Prosesler	6
2.3.3. Fenton Proses.....	7
2.3.4. Ozon Oksidasyonu	9
2.3.5. UV Oksidasyon	10
2.3.6. Elektrooksidasyon	11
3. MATERYAL VE METOD.....	18
3.1. ATIKSU KARAKTERİZASYONU.....	18
3.2. OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI	18
3.3. DENEY DÜZENEGİ.....	19
3.3.1. EO Model Reaktörü	19
3.3.2. EO Model Reaktöründe DeneySEL İşlem	21
3.4. METOD.....	21
3.4.1. Renk Tayini.....	21
3.4.2. pH, İletkenlik, TDS ve KOİ Tayini.....	21
3.4.3. İstatistiksel Analiz	22
3.5. KULLANILAN EŞİTLİKLER	24
3.5.1. Akım Yoğunluğu	24
3.5.2. Enerji Tüketimi	25
3.5.3. Giderim verimi	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26

4.1. GRAFİT ELEKTROTLARIN KULLANILDIĞI ELEKTROOKSİDASYON PROSESİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI.....	26
4.2. TİTANYUM ELEKTROTLARIN KULLANILDIĞI ELEKTROOKSİDASYON PROSESİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI.....	36
4.3. PASLANMAZ ÇELİK ELEKTROTLARIN KULLANILDIĞI ELEKTROOKSİDASYON PROSESİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI.....	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
6. KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ.....	67



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Türkiyenin mayalar (canlı-cansız) mikroorganizmalar, kabartma tozları ihracat ve ithalat değerleri.	3
Şekil 2.2. Maya üretimi genel akım şeması	4
Şekil 2.3. Ozon reaksiyonları.....	9
Şekil 2.4. Elektrokimyasal arıtım şeması	11
Şekil 2.5. EO prosesinde kirleticilerin parçalanması	12
Şekil 3.1. Kesikli akışlı EO prosesinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan elektrotlar a) Grafit b) Titanyum c) Paslanmaz çelik.	20
Şekil 3.3. Box-Benhken dizaynı şematik gösterimi.....	22
Şekil 4.1. Renk giderim verimlerini maksimize eden optimum değerler.	31
Şekil 4.2. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Elektroliz Süresi: 45 dak.).....	31
Şekil 4.3. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Akım yoğunluğu: 120 A/m ²)..	33
Şekil 4.4. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde akım yoğunluğu-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (pH: 7,5).	35
Şekil 4.5. Renk giderim verimlerini maksimize eden optimum değerler.	41
Şekil 4.6. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Elektroliz Süresi: 45 dak.).....	41
Şekil 4.7. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Akım yoğunluğu: 110 A/m ²)...	43
Şekil 4.8. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde akım yoğunluğu-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (pH: 7).....	44
Şekil 4.9. Renk giderim verimlerini maksimize eden optimum değerler.	49
Şekil 4.10. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Elektroliz Süresi: 30 dak.).....	50
Şekil 4.11. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Akım yoğunluğu: 90 A/m ²).....	52
Şekil 4.12. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinde akım yoğunluğu-elektroliz süresinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (pH: 7).....	53

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Maya üretimi atıksuyu karakteristik değerleri.....	6
Çizelge 2.2. Farklı anot malzemelerin oksijen oluşum potansiyeli	14
Çizelge 2.3. Kimyasal reaksiyon oluşum potansiyeli	14
Çizelge 3.1. Ham atıksu karakterizasyonu.....	18
Çizelge 3.2. Elektrotlardan deney sistemine verilen akım yoğunlukları.	20
Çizelge 3.3. Üç faktör için Box-Behnken Tasarımı.....	23
Çizelge 3.4. Elektrot türüne göre deney aralıkları.	23
Çizelge 3.5. Grafit, Titanyum ve Paslanmaz çelik elektrolar için Box-Behnken deney tasarımı.....	24
Çizelge 4.1. Grafit elektrot deney sonuçları.	26
Çizelge 4.2. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 436 giderim verimleri için ANOVA analizi.	28
Çizelge 4.3. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 525 giderim verimleri için ANOVA analizi.	29
Çizelge 4.4. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 620 giderim verimleri için ANOVA analizi.	30
Çizelge 4.5. Farklı renk değerleri için belirlenen denklemler.	30
Çizelge 4.6. Titanyum elektrot deney sonuçları.	36
Çizelge 4.7. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 436 giderim verimleri için ANOVA analizi.	38
Çizelge 4.8. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 525 giderim verimleri için ANOVA analizi.	39
Çizelge 4.9. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 620 giderim verimleri için ANOVA analizi.	40
Çizelge 4.10. Farklı renk değerleri için belirlenen denklemler.	40
Çizelge 4.11. Paslanmaz çelik elektrot deney sonuçları.	45
Çizelge 4.12. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 436 giderim verimleri için ANOVA analizi.	46
Çizelge 4.13. Paslanmaz Çelik Elektrotların kullanıldığı EO Prosesi RES 525 Giderim Verimleri için ANOVA analizi.	47
Çizelge 4.14. Paslanmaz Çelik Elektrotların kullanıldığı EO Prosesi RES 620 Giderim Verimleri için ANOVA analizi.	48
Çizelge 4.15. Farklı Renk Değerleri için belirlenen denklemler.	48

KISALTMALAR

BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
EO	Elektrooksidasyon
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TF	Toplam Fenol
TOK	Toplam Organik Karbon
UV	Ultraviyole



ÖZET

ELEKTROKİMYASAL PROSES İLE GIDA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNDAN RENK GİDERİMİ

Oğuz ŞAHİNER

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat SOLAK

Ağustos 2019, 66 sayfa

Çalışmada, maya endüstrisi biyolojik atıksu arıtma tesisi deşarj atıksuyundan, grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı Elektrooksidasyon (EO) prosesi ile renk giderim etkinliği ve EO prosesi sonrası elde edilen suyun endüstrinin farklı proseslerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi gibi işletme parametrelerinin RES 436, RES 525 ve RES 620 renk parametrelerinin giderimi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda optimum bağımsız değişkenlerin tespiti amacı ile yüzey yanıt metodlarından biri olan Box-Behnken istatistiksel modeli kullanılmıştır. İstatistiksel analiz sonucunda Quadratik modele uyumlu olduğu belirlenen modelin, grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde R^2 ve R^2_{adj} değerleri RES 436, RES 525 ve RES 620 için sırasıyla 0,94-0,83 0,92-0,76 ve 0,95-0,85 olarak, titanyum elektrodun kullanıldığı EO prosesinde R^2 değerleri RES 436, RES 525 ve RES 620 için sırasıyla 0,99-0,97, 0,99-0,97 ve 0,98-0,95 olarak; paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinde R^2 değerleri RES 436, RES 525 ve RES 620 için sırasıyla 0,99-0,98, 0,97-0,93 ve 0,99-0,98 olarak tespit edilmiştir. Sonuçlarda, R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1'e yakın olması, renk giderim veriminin Box-Behnken istatistiksel modeli ile açıklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi için optimum pH değerleri sırasıyla, 4,57, 4,50, 4,84 olarak; akım yoğunlukları sırasıyla, 139,84 A/m², 84,23 A/m² ve 60,15 A/m² olarak; elektroliz süresi sırasıyla 58 dak., 43 dak. ve 45 dak. olarak belirlenmiştir. Optimum şartlarda grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotlar için renk giderim verimleri sırasıyla RES 436 %97, RES 525 ve RES 620 parametreleri için %99,99; RES 436 %89, RES 525 %98 ve RES 620 %99,99; RES 436 %98, RES 525 %95 ve RES 620 %99,99 olarak belirlenmiştir. Enerji tüketimleri grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrot için sırasıyla 30-117,86 / 34,2-122,2 / 4,64-42,86 kWsa/m³ aralıklarında değişim göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Elektrooksidasyon, Grafit elektrot, Titanyum elektrot, Paslanmaz çelik elektrot, Renk giderimi.

ABSTRACT

COLOUR REMOVAL FROM FOOD INDUSTRY WASTEWATER BY ELECTROCHEMICAL PROCESS

Oğuz ŞAHİNER

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Materials
Technology

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Murat SOLAK

August 2019, 66 pages

In this study, the color removal efficiency of the electrooxidation (EO) process from yeast industry biological wastewater treatment plant discharge wastewater using graphite, titanium and stainless steel electrodes and the usability of water obtained after EO process in different processes of the industry were investigated. The effects of operating parameters such as pH, current density and electrolysis time on the removal of color parameters RES 436, RES 525 and RES 620 were determined. In the experimental studies, Box-Behnken statistical model, one of the surface response methods, was used to determine the optimum independent variables. Statistical analysis showed that the model was found to be compatible with the Quadratic model, R^2 - R^2_{adj} values for RES 436, RES 525 and RES 620 were 0,94-0,83, 0,92-0,76 and 0,95-0,85 in EO process using graphite electrodes, in the EO process using titanium electrode, R^2 values for RES 436, RES 525 and RES 620 were 0,99-0,97, 0,99-0,97 and 0,98-0,95, respectively; In the EO process using stainless steel electrodes, R^2 values for RES 436, RES 525 and RES 620 were determined as 0,99-0,98, 0,97-0,93 and 0,99-0,98, respectively. As a result, it is concluded that R^2 values are close to each other, R^2 and R^2_{adj} values are close to each other and color removal efficiency can be explained by Box-Behnken statistical model. Optimum pH values for the EO process using graphite, titanium and stainless steel electrodes were 4,57, 4,50, 4,84, respectively; current density was determined as 139,84 A / m², 84,23 A / m² and 60,15 A / m² respectively; electrolysis time was determined as 58 min, 43 min and 45 min., respectively. Colour removal efficiencies for graphite, titanium and stainless steel electrodes at optimum conditions were determined as 97% for RES 436, 99,99% for RES 525 and 99,99% for RES 620 respectively; 89% for RES 436, 98% for RES 525 and 99,99% for RES 620; 98% for RES 436, 95% for RES 525, 99,99% for RES 620, respectively. Energy consumption varies between 30-117,86 kWh/m³ / 34,2-122,2 kWh/m³ / 4,64-42,86 kWh/m³ for graphite, titanium and stainless steel electrodes, respectively.

Keywords: Electrooxidation, graphite electrode, titanium electrode, stainless steel electrode, color removal.

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan taleplerin karşılanması amacıyla bir çok endüstriyel tesis günümüzde hızla gelişmektedir. Üretim süreçlerinde yüksek miktarlarda su tüketen işletmelerden biri olan gıda endüstrilerinde atıksu miktarı oldukça fazla oluşmaktadır [1], [2]. Bu gıda üretim tesislerden biri de maya endüstrisidir.

Maya üretimi Türkiye’de ve Dünya’da önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde üretilen maya miktarı yıllara göre artarak devam etmektedir. 2013 yılı maya üretimi yaklaşık 139.000 ton iken bu rakam 2014 yılında %7 artış ile yaklaşık 150.000 ton civarında olmuştur [3]. Ülkemiz canlı maya ihracatında dünyada ilk sıralarda yer almaktadır. Cansız maya ihracatında ise dünya sıralamasında 32. sırada bulunmaktadır [4]. Ekmek mayası ülkemizde farklı formlarda üretilmektedir. Yaş ve kuru maya olarak üretilen mayalar genellikle pres maya olarak pazarlanırlar ancak, fırıncılık sektöründe genellikle yaş maya formunda kullanılmaktadır [5].

Maya üretim aşamasında özellikle fermantasyon ünitelerinin yıkanması aşamasında kullanılan sular ile Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ), renk gibi yüksek organik kirletici içeriğine sahip atıksular oluşmaktadır [6], [7]. Maya endüstrisi atıksularının arıtımında çeşitli prosesler kullanılmaktadır. Biyolojik arıtma [7], [8] kimyasal arıtma [9] ve ileri arıtma yöntemleri [10] bunların başında gelmektedir. Maya atıksuyunun KOİ, BOİ ve diğer birtakım parametreleri biyolojik ve kimyasal arıtma ile giderilebilirken renk parametresi biyolojik arıtma yöntemleri ile tam olarak giderilemeyebilir [7].

Atıksu ortamlarında kirletici ve alıcı ortam açısından önemli bir parametre olarak ele alınan renk, gerçek ve zahiri renk olmak üzere ikiye ayrılır [11]. Koyu renkli atıksuların alıcı ortama verilmesi ışık geçirgenliğinin ve çözünmüş oksijen miktarının azalmasına yol açabilmektedir. Böylece canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir.

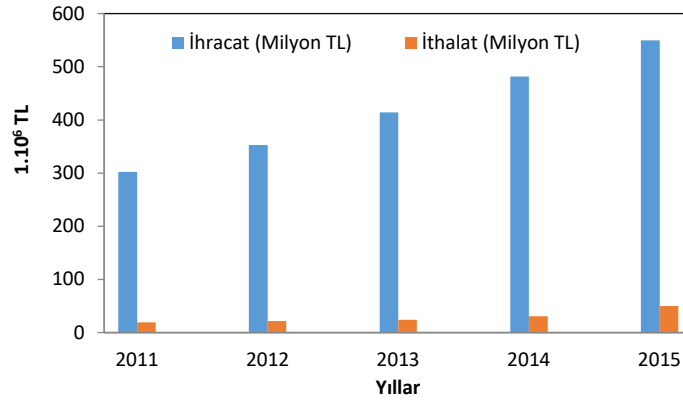
Atıksudan renk gideriminde temel hedef rengi oluşturan kromoforların parçalanması ve renksizleştirilmesi esasına dayanır [11]. Atıksulardan renk giderimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Temelde hidroksil radikali (OH) oluşturarak oksidasyon prosesleri ile

giderimi etkindir [12]. Renk gideriminde etkin olarak kullanılan ileri prosesler, membran prosesleri [13], ozon oksidasyonu [14], fenton oksidasyonu [7], foto kimyasal oksidasyon [15], ultraviyole (UV) oksidasyon prosesleridir [16]. İleri arıtma proseslerine alternatif olarak renk gideriminde kullanılabilecek bir diğer teknik ise elektrokimyasal proseslerden biri olan EO prosesidir. EO prosesi, mekanizma bakımından doğrudan ve dolaylı oksidasyon olmak üzere iki şekilde gerçekleşebilir [17]. Doğrudan oksidasyon işleminde; anot yüzeyinde adsorbe edilen kirleticiler daha sonra elektron transfer reaksiyonu ile giderilir. Organik kirleticilerin doğrudan oksidasyon hızı, anodun özelliklerine, organik bileşiklerin yapısına ve uygulanan akım şiddetine bağlıdır. Dolaylı oksidasyon işleminde ise elektrokimyasal olarak üretilen klor, ozon ve hidrojen peroksit gibi güçlü oksidanlar kirletici ile reaksiyona girer [18]. EO prosesinde kullanılan elektrotlar suda çözünmeyen özelliktedir [19]. Bunlar; grafit [20], [21], bor kaplı elmas [22], [23], kaplanmış titanyum [24], [25], platin [26], [27] olarak sayılabilir [17]. Elektrokimyasal bir proses olan EO prosesinin renk giderimi üzerine etkin olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Hazır kahve ve kahve ürünleri üretim atıksuyu arıtımı [28], kanola yağı rafineri atıklarının arıtımı [29], arıtma tesisi aktif çamur kirleticilerinin giderilmesi [30], zeytin karasuyunun arıtımı [17], antep fıstığı işleme atıksularının arıtımı [31], endüstriyel atıksu arıtımı [18] bunlardan bazılarıdır.

Bu çalışmada, biyolojik arıtma süreçleri sonrası deşarj atıksuyundan EO prosesi ile Avrupa Birliği'nde kullanılan renk parametresi RES olarak renk giderimi üzerine grafit, titanyum, paslanmaz çelik elektroları ile akım yoğunluğu, pH ve elektroliz süresi gibi işletme parametrelerinin etkisi Box-Behnken istatistiksel metodu ile belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MAYA ENDÜSTRİSİ

Ekmek mayası üretimi Türkiye’de ve Dünya’da önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde ekmek mayası üretimi yapan 7 şirket bulunmaktadır ve yıllık yaklaşık 160.000 ton üretim yapılmaktadır. Ülkemiz 2006 yılı verilerine göre 5 milyon 634 bin dolar, 2007 yılı verilerine göre 6 milyon 838 bin dolarlık maya ithalatı yapılmıştır. Maya ithalatını yaptığımız ülkeler İngiltere, Fransa ve Danimarka; İhracat yapılan ülkeler ise Cezayir ve Rusya olarak sayılabilir. Dünya canlı maya ithalatı yüksek olan ülkeler ABD, Hollanda, Fransa, Brezilya ve Cezayir olarak sayılabilir. 2006 verilerine göre ABD, Cezayir ve Fransa maya ithalatı en fazla olan ülkeler arasındadır [32]. Türkiye canlı maya ihracatında dünyada önemli bir yere sahiptir. Şekil 2.1’de ülkemizde üretilen maya, kabartma tozlarının dış ticaretteki payı yıllara göre artarak devam ettiği görülmektedir [33].



Şekil 2.1. Türkiyenin mayalar (canlı-cansız) mikroorganizmalar, kabartma tozları ihracat ve ithalat değerleri [33].

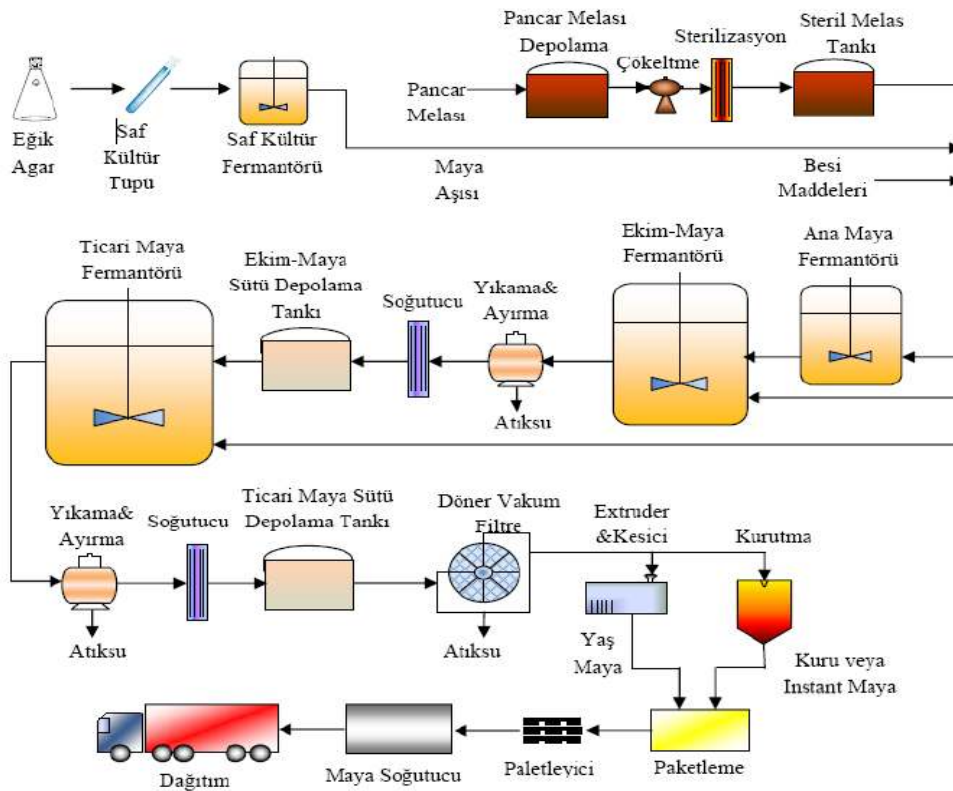
Ülkemiz fırıncılık sektörünün tamamına yakını ekmek üretiminde yaş maya kullanmaktadır. Yaş maya içeriğinde %40 kuru madde %60 su içerir. Yaş mayanın raf ömrü yaklaşık 10-40 gün arasında değişmektedir ve bu sebeple yaş mayanın soğuk zincirde depolanması ve taşınması gerekmektedir. Pres veya sıvı formda olabilen yaş ekmek mayası Türkiye’de genellikle pres maya formunda satılmaktadır. Pres maya;

Kuru madde içeriği yaklaşık %30 olan ve süzölmüş mayanın preslenmesi ile elde edilir. [5].

2.1. MAYA ÜRETİM AŞAMALARI

Mayalar, bir mikroorganizma türüdür. Gözle görölemeyizler ve tek hücreli canlılardır. Ekmek yapımında kullanılan maya türü “ *Saccharomyces cerevisiae*”dır [4], [34]. Maya hücreleri, aerobik şartlar altında (serbest oksijen veya aşırı hava ortamı) işletilen fermantasyon tankları içinde geliştirilirler. Aerobik şartlar verimin düşmemesi açısından önemlidir [4], [35]. Ekmek mayası üretiminde hammadde olarak melas kullanılmaktadır. Melas; şeker fabrikalarının yan ürünü olup, koyu kahve renkli bir sıvıdır. Melas, %45-55 oranında sukroz, glukoz ve fruktoz formlarında şeker içerir [36].

Maya üretimimi genel olarak; 1-Melasın hazırlanması, 2-Ana mayanın elde edilmesi, 3-Ayırma, susuzlaştırma, 4-Kurutma, paketlenme, depolama aşamalarından oluşmaktadır [37]. Maya üretim prosesi genel akım şeması Şekil 2.2’de görölmektedir [38].



Şekil 2.2. Maya üretimi genel akım şeması [38].

2.1.1. Melasın Hazırlanması

Melasın hazırlanmasındaki amaç, yabancı maddelerin uzaklaştırılması ve melasın renginin berraklaştırılmasıdır. Böylece melasın fermantasyon yeteneği artar ve muhafazası kolaylaşır. Berraklaştırma işlemi, melasın sulandırıldıktan sonra pH'sının 4,5-5 olarak ayarlanarak kaynatılması şeklinde yapılmaktadır [39], [40]. Elde edilen yeni ürüne besin maddeleri ilave edilerek mayanın gelişmesi sağlanır.

2.1.2. Ana Mayanın Elde Edilmesi

Maya üretimi laboratuvar ortamında üretilir. Eğik agardaki kültüre mayanın gelişmesi için besin maddesi eklenir ve sonuçta maya kültürü elde edilir. Daha sonra işletmelerdeki fermentörlere verilir ve gerekli tuz ve besin maddeleri eklenir. 18-20 saat sonunda maya kütleğinde artış gerçekleşir [4], [40].

2.1.3. Ayırma, Susuzlaştırma

Bu aşamada amaç elde edilen maya ile sıvı kısımların birbirinden ayrılmasıdır. Bunun için maya içeren sıvı ayırıcı makinelerden geçirilerek maya kreması sıvı kısımdan ayrılır. Yıkayıp, tekrar makinelerden geçirilir ve gerekirse bu işlem tekrarlanabilir. pH ayarlaması yapıldıktan sonra soğumaya bırakılır [40].

2.1.4. Kurutma, Paketleme, Depolama

Mayanın kurutulması veya filtre pres makinesinden geçirilmesi nihai ürün formuna göre değişmektedir. Ülkemizde mayalar yaş veya pres maya formunda pazarlanmaktadır.

2.2. MAYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN ÖZELLİKLERİ

Gıda endüstrisinde, üretim süreci ve sonrasında çok miktarda su kullanılmaktadır. Gıda endüstrisi atıksuyunun en önemli karakteristik özelliği; şeker, karbonhidrat, organik bileşikler vb. ürünler içermesidir [36]. Atıksularda bulunan organik bileşikler alıcı ortamlarda istenmeyen sorunlara neden olmaktadır [41]. Maya endüstrisi atıksuları da alıcı ortamlarda birtakım sorunlara sebep olabilmektedir. Özellikle atıksulardaki koyu kahverengi renk, yüksek KOİ ve BOİ içeriği çevresel problemlere sebep olabilecek niteliktedir [6]. Ayrıca organik maddelerin anaerobik ayrışması sonucu ortaya çıkan koku da gıda endüstrileri için bir sorundur [42].

Çizelge 2.1'de maya üretimi atıksularının karakteristik özelliği gösterilmiştir [36].

Çizelge 2.1. Maya üretimi atıksuyu karakteristik değerleri [36].

Parametre	Değer Aralığı
pH	5-6
Sıcaklık (°C)	20-28
KOI (mg/l)	10000-30000 (ort 20000)
BOİ ₅ (mg/l)	7000-21000 (ort 20000)
Süspanse katılar (mg/l)	50-1200
Sülfatlar (mg/l)	1300-2700
Toplam Azot (mg/l)	250-1200
Toplam Fosfor (mg/l)	27
Atıksu Üretimi (m ³ /ton)	7,8

2.3. ATIKSULARDAN RENK GİDERİM PROSESLERİ

Atıksulardan renk gideriminde membran, adsorpsiyon, iyon değişimi gibi fiziksel prosesler, koagülasyon, oksidasyon gibi kimyasal prosesler, elektrokoagülasyon, EO gibi elektrokimyasal prosesler kullanılmaktadır. Renk giderim prosesleri mekanizmaları aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir.

2.3.1. Elektrokoagülasyon

Elektrokoagülasyon iyon oluşturmak üzere elektrotları kullanan, birçok kimyasal ve fiziksel prosesleri içeren bir yapıdır [43]. Su ortamında bulunan kirleticilerin, ortama elektrik akımı verilerek oluşan kimyasal reaksiyon sonucu flotasyonla veya çöktürme işlemleri ile giderimini içerir. Elektrokoagülasyon prosesinin arıtma prensibi flotasyon, adsorbsiyon, absorpsiyon, koagülasyon ve çöktürme ve proseslerine dayanmaktadır [31], [44]. Alüminyum ve demir gibi metal anotların kullanıldığı proseste dışardan kimyasal takviyesi yapılmaksızın anotların çözünmeye uğraması ve hidrolizi ile çok az çözünen, Fe(OH)₂, Al(OH)₃ ve Fe(OH)₃ gibi metal hidroksitlerin oluşması şeklindedir [45], [46]. Bu proses özellikle, kolloidal kirleticilerin gideriminde oldukça etkin bir şekilde uygulanmaktadır.

2.3.2. Membran Prosesler

Membran prosesler atıksulardan kirleticilerin ayrılması için kullanılır [47]. Ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğerine maddelerin taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabaka olarak ifade edilir [48]. Membran ayırma prosesleri başlıca ultrafiltrasyon,

ters osmoz, elektrodializ ve nanofiltrasyon olarak sınıflandırılabilir [4]. Membran proseslerin avantajları; arıtımı zor olan atıklara uygulanabilmesi, düşük çamur üretimi, çıkış suyu kalitesi, reaktör için ihtiyaç duyulan alanın küçük olması vb. olarak sayılabilir [49], [50].

Membran prosesi ile maya atıksuyu üzerine yapılan bir çalışmada; Mikrofiltrasyon ve nanofiltrasyon membranları ile (0,8 µm mikrofiltrasyon ve 400 Da nanofiltrasyon membranlarının kombinasyonu ile) KOİ ve renk giderimi üzerine çalışılmıştır. KOİ ve renk için giderim verimleri sırasıyla %72, %89 optik yoğunluk için giderim verimi %94 olarak elde edilmiştir [13].

Membran prosesin kullanıldığı bir başka çalışmada; Halı fabrikasına ait baskı ve asit boyama atıksuların arıtımı ve geri kazanımına yönelik en uygun membran proses araştırılmıştır. Ön arıtmaya tabi tutulmuş ve kimyasal çöktürme yapılmış olan baskı boyama atıksularından, optimum doz uygulanarak %91 renk ve bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Bu atıksu için daha sonra nanofiltrasyon ve ultrafiltrasyon prosesleri ile renk ve bulanıklık giderim verimleri >%90 olarak belirlenmiştir. Ayrıca asit boyama atıksuları için en uygun ön arıtma prosesinin mikrofiltrasyon olduğu tespit edilmiştir. Asit boyama atıksularından %82 renk, %77 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Yapılan çalışmanın her ikisi de pH'nın düşük olduğu durumlarda daha verimli gerçekleşmiştir [51].

İleri oksidasyon prosesleri; Fotokimyasal, UV/O₃, UV/H₂O, fenton, fotofenton, elektrofenton, fotokataliz, fotoelektrokataliz ve ıslak hava oksidasyonu olarak sınıflandırılabilir. İleri oksidasyon proseslerinden en sık kullanılanları; fenton, ozon oksidasyonu, UV oksidasyonu ve EO olarak sayılabilir.

2.3.3. Fenton Prosesi

Fenton prosesi asidik şartlarda Fe⁺² tuzları karışımının doğrudan atıksuya ilave edildiği ve Fe⁺² iyonunun hidrojen peroksit ile reaksiyonuna dayanan ileri oksidasyon teknolojisidir [52], [53]. Fenton prosesinde gerçekleşen reaksiyonlar Denklem (2.1), (2.2)'de görülmektedir.



Fenton prosesi pH ayarlama, oksidasyon reaksiyonları, nötralizasyon işlemi ve koagülasyon ile çöktürme işlemi olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır [53], [54].

Tekstil atıksularından fenton proses ile renk gideriminin incelendiği çalışmada; Diğer ileri oksidasyon yöntemlerine göre daha yüksek renk giderim verimleri elde edildiği görülmüş ve tekstil atıksularından renk gideriminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [12].

Metal kaplama endüstrisi sentetik atıksu numunesinden Cr^{6+} ve renk parametrelerinin fenton oksidasyonu ile arıtılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada; Optimum şartlarda (pH=1,5, H_2O_2 konsantrasyonu 800 mg/L, FeSO_4 konsantrasyonu 800 mg/L) %99 renk giderimi sağlanmıştır [55].

Kağıt endüstrisi atıksu arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Kimyasal oksidasyon ve fenton prosesi birlikte kullanılmıştır. Akım yoğunluğu, elektrot malzemesi, hava basıncı ve sodyum varlığı gibi çeşitli çalışma parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Katot olarak karbon keçe, modifiye karbon keçe ve gaz difüzyon elektrotu kullanılırken anot olarak titanyum ve bor katkılı elmas kullanılmıştır. Optimum şartlarda elektro-fenton prosesi ile Toplam Organik Karbon (TOK) arıtma veriminin yüksek olabileceği görülmüştür. [56].

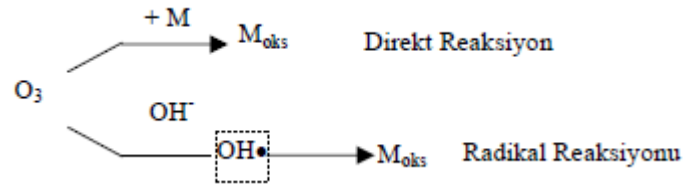
Baskı mürekkebi içeren atıksuların kimyasal oksidasyon ve fenton prosesin birlikte kullanılarak arıtıldığı bir çalışmada; Akım yoğunluğu ve elektrolit kompozisyonunun etkisi ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Artan akım yoğunluğu ile renk giderimi artarken KOİ giderimi olumsuz etkilenmiştir. Fenton reaktiflerinin konsantrasyonundan bağımsız olarak, fenton reaksiyon etkinliği elektrokimyasal proses verimliliğinden daha düşük tespit edilmiştir [57].

Elektrokoagülasyon, elektroflotasyon, elektrofenton gibi elektrokimyasal yöntemlerle sintine atıksuyunun arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Deniz suyu sintine suyuna karıştığından, klorür içeriği ve sintine suyunun iletkenliği yükseleceğinden, elektrokimyasal atıksu arıtması için avantaja dönebilmektedir. pH, zaman, sıcaklık ve akım yoğunluğu değişkenleri ile birlikte alüminyum ve demir elektrotlar kullanılarak incelenmiştir. Alüminyum ve demir elektrotlar karşılaştırıldığında, alüminyum elektrotların daha verimli ve 10 dak. gibi kısa bir sürede gerçekleştirdiğini göstermiştir. KOİ ve yağ gres giderim değerleri Alüminyum elektrot için sırasıyla %64,8 ve %57 olarak, demir elektrot için sırasıyla %36,2 ve %12,5 olarak elde edilmiştir. Ayrıca

elektro-fenton prosesiyle KOİ ve yağ gres giderimleri sırasıyla %71 ve %69 olarak tespit edilmiştir [58].

2.3.4. Ozon Oksidasyonu

Ozon, su arıtımında kullanılan en kuvvetli oksidantlardan biridir. Sulu çözeltilerde iki mekanizma sayesinde reaksiyon gösterir [59]. Şekil 2.3’de ozon reaktivitesi görülmektedir [60].



Şekil 2.3. Ozon reaksiyonları.

Düşük pH değerlerinde, ozon molekülü doğrudan organik maddelerle reaksiyon verir. Elektrofilik bir madde olmasından dolayı, ozon özellikle elektrofilik hassasiyeti olan fenolik maddelere yönelir [59].

Ozon oksijenin bir formudur ve redoks potansiyeli yüksektir. Ozon, oksidasyon proseslerinde sık kullanılmaktadır ve reaksiyon, ozon gazının sulu çözeltilerden geçirilmesi ile gerçekleştirilmektedir [60]. Ozon, yüksek kapasiteli oksidasyon maddesi olmasından dolayı atıksulardan toksik ve kirletici maddelerin arıtılması amacıyla kullanılmaktadır [59].

Ozon oksidasyonu ile maya endüstrisi atıksuyundan renk giderimi üzerine yapılan çalışmada; Ozon dozu ve reaksiyon süresinin renk giderme, moleküler ağırlık dağılımı ve renk açma kinetiği üzerindeki etkisini analiz etmek için birtakım deneyler yapılmıştır. Uygulanan ozon dozuna bağlı olarak, 30 dakikalık reaksiyon süresinden sonra %71'den %93'e kadar renk giderimi ve %15'ten %25'e kadar KOİ giderimi elde edilmiştir. TOK değerleri ozonlama boyunca sabit kalmıştır. Sentetik melanoidin aynı deney koşulları altında ozonlanması ile benzer renk giderme verimleri elde edilmiştir [61].

Ozon oksidasyonu ile tekstil atıksuyunda renk ve organik madde giderimi üzerine yapılan bir diğer çalışmada, yüksek pH’da ozon ile renk ve organik madde giderimi üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiş ve anılan iyon tutucuların ortamda ayrı ayrı ve birlikte bulunmaları durumunda oksidasyon karakterindeki değişimleri

karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. 15 dak. reaksiyon süresi sonunda %72 KOİ giderimi sağlanmış ve rengin neredeyse tamamı giderilmiştir. İyon tutucuların ortamda tekil olarak bulunmaları halinde KOİ giderimleri sırasıyla %78, %90 olarak bulunmuştur [62].

Melas atıksuyundan renk ve organik madde giderimi üzerine ozonlama verimini etkileyen ana işletme değişkenlerinin incelendiği çalışmada; Hidroksil radikal reaksiyonlarının güçlü inhibitörü olan bikarbonat iyonunu ortadan kaldırılması, hem renk hem de KOİ giderimini olumlu etkilediği ve 40 °C'deki sıcaklıkta en yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. 40 °C'de renk ve KOİ giderimleri sırasıyla %90 ve %37 olarak tespit edilmiştir. Tüm deneylerde giderilen TOK %10-15'ten yüksek olmamıştır [63].

2.3.5. UV Oksidasyon

Atıksu ortamında bulunan organik kirleticilerin, hidrojen peroksit ve UV ışığı ile okside olması ve hidroksilin oluşmasıyla meydana gelen prostestir [64]. UV oksidasyonu esnasında ortaya çıkan reaksiyonlar Denklem (2.3)-(2.5)'de görülmektedir [65].



UV-A, UV-B, UV-C gibi çeşitleri bulunan ışık dalgalarından oksidasyon ve dezenfeksiyonda genellikle UV-C dalga boyu kullanılır [66]. Proses, düşük işletme maliyeti ve çamur oluşturmaması gibi avantajlara sahip olmakla birlikte çalışma esnasında oksijen oluşmasının aerobik bozulmaya da pozitif katkısı bulunmaktadır [65], [67], [68].

Organik madde kaynağı olarak flotasyon atığı ile asitli drenajın karıştığı bir maden atıksuyunun UV oksidasyonu prosesi ile arıtımının araştırıldığı çalışmada; UV-C ışık altında farklı pH değerlerinde KOİ'nin zamanla değiştiği gözlenmiştir. Farklı pH'larda KOİ giderim verimleri %27-37 arasındadır. UV-A ışık ile yapılan çalışma sonucunda orijinal pH değerinde 30 dk. sonunda KOİ giderim verimi %27 olarak elde edilmiştir [69].

Petrol rafinerisi soğutma suyu üzerine UV prosesi kullanılarak yapılan çalışmada; Su örnekleri, sırasıyla UV ve UV-TiO₂ fotokataliz arıtma teknolojileri ile karakterize

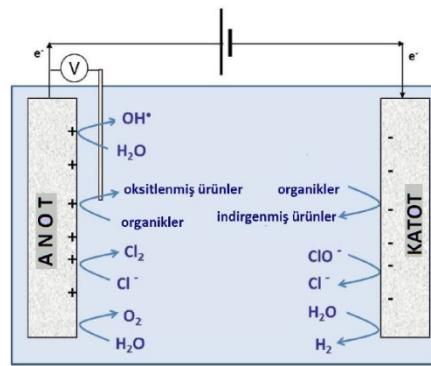
edilerek incelenmiştir. TOK, BOİ, KOİ ve toplam bakteri sayısı yönünden analizi yapılmıştır. UV prosesinin soğutma suyundaki bakterilerin dezenfekte edilmesinde etkili olduğunu ve cam substratlar üzerine kaplanmış TiO_2 nano-fotokatalizör ile birleştirildiğinde verimliliğini büyük ölçüde arttırılabileceğini göstermiştir [70].

UV oksidasyon prosesinin ile damıtım atıksu ve ham melas atıksularının arıtmaları üzerine yapılan çalışmada; Entegre anaerobik yukarı akış sabit yataklı reaktör ve halka şeklindeki fotokatalitik reaktör kullanılmıştır. Tek başına UV prosesi, damıtma ve melas atıksuları için sırasıyla %54 ve %69'luk bir renk giderimi sağladığı görülmüştür. Ayrıca entegre anaerobik proses ile her iki atıksu numunesi için KOİ ve BOİ giderimleri sırasıyla %75 ve %85 olarak elde edilmiştir [71].

UV prosesinin biyolojik kirliliğin giderilmesinde etkin bir proses olduğu belirtilmektedir [72].

2.3.6. Elektrokoksidasyon

Elektrokimyasal arıtım, kimyasal reaksiyon gibi davranır ve reaksiyonlar elektrik enerjisi yardımıyla gerçekleşir. Elektrik enerjisi anot ve katottan oluşan elektrotlarla verilir. Anot ve katot seçiminde iletken veya yarı iletken metaller kullanılmaktadır [44]. Elektrokimyasal arıtım proseslerinin genel mekanizmasında koagülasyon, adsorbsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon prosesleri bulunur [73]. Şekil 2.4'te elektrokimyasal arıtım prosesinin şeması gösterilmiştir [31].



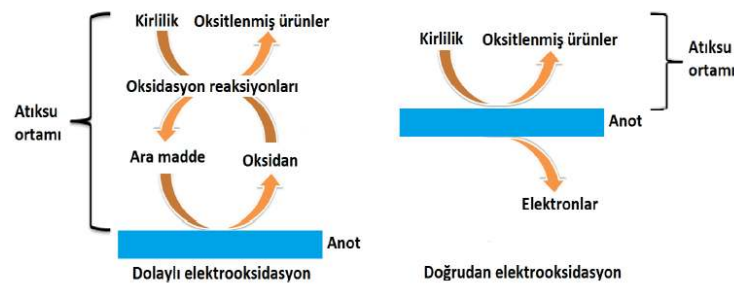
Şekil 2.4. Elektrokimyasal arıtım şeması [31].

Kimyasal madde kullanımının sınırlı olması, reaksiyonların hızlı gerçekleşmesi ve düşük elektrik potansiyel ile prosesin çalışma kabiliyeti bu prosesin çok yönlü bir proses olduğunu göstermektedir [74]. Elektrokimyasal proseslerin avantajları; Düşük enerji tüketimi, çevresel uyum, çok yönlülük vb. olarak sayılabilir [44]. Çok yönlü bir arıtma

prosesi olmasından dolayı son yıllarda elektrokimyasal proses, atıksu arıtımında oldukça dikkat çekmektedir [73]. Günümüzde, enerji tüketimleri ve karbon emisyonları nedeniyle konvansiyonel arıtma teknolojileri yerine elektrokimyasal proseslerin önemi artmaktadır. Bu sistemler diğer arıtma teknolojileri ile entegre olarak da çalışabilmektedir [75].

Elektrokimyasal proseslerden biri olan EO prosesinde temel prensip elektrotlar vasıtasıyla çıkan gazlar (O_2 ve H_2) ile istenilen arıtmanın sağlanmasıdır. Elektriksel alanda gerçekleşen reaksiyon (indirgenme ve yükseltgenme) sayesinde kirletici türleri oksidasyona uğramakta ayrıca biyolojik olarak zor parçalanan kirleticiler de biyolojik olarak parçalanabilen formlara dönüşmektedir [44], [73]. EO prosesi atıksu arıtımında diğer prosesler ile kombinasyon halinde kullanılabilir [76]. EO prosesinin verimliliği kullanılan elektrot türlerine, atıksu karakterine, atıksudaki iletkenlik gibi diğer işletme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir [77].

EO prosesinde kullanılan elektrotlar suda çözünmeyen özelliktedir [19]. Bunlar; grafit [20], [21], bor kaplı elmas [22], [23], kaplanmış titanyum [24], [25], platin [26], [27] olarak sayılabilir. EO doğrudan oksidasyon ve dolaylı oksidasyon olmak üzere iki aşama vardır. Bu yöntemle direk veya dolaylı olarak organik kirleticiler anot yüzeyinde parçalanabilir [17]. Doğrudan oksidasyon işleminde; anot yüzeyinde adsorbe edilen kirleticiler daha sonra elektron transfer reaksiyonu ile giderilir. Organik kirleticilerin doğrudan oksidasyon hızı, anodun özelliklerine, organik bileşiklerin yapısına ve uygulanan akım şiddetine bağlıdır. Dolaylı oksidasyon işleminde ise elektrokimyasal olarak üretilen klor, ozon ve hidrojen peroksit gibi güçlü oksidantlar kirletici ile reaksiyona girer [18]. Şekil 2.5'te doğrudan ve dolaylı EO prosesinde kirleticilerin oksidasyon basamakları görülmektedir [31].



Şekil 2.5. EO prosesinde kirleticilerin parçalanması [31].

Atıksuyun oksidasyonu temel olarak elektrot yüzeyinde üretilen hidroksil radikallerine (OH) dayanmaktadır [78]. Grafit elektrot anodik oksidasyonu ile OH üretilmesi Denklem (2.6)-(2.10)'da görülmektedir [77].



EO prosesinde titanyum elektrotta meydana gelen reaksiyonlar Denklem (2.11)-(2.16)'da görülmektedir [79].

Genel reaksiyon:



Anot elektrot reaksiyonu:



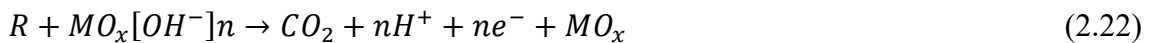
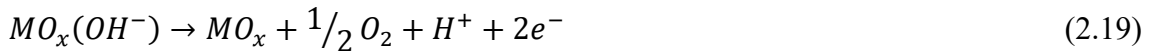
Katot elektrot reaksiyonu:



Radikal oluşumu:



EO prosesinde paslanmaz çelik elektrot (metal) yüzeyindeki elektrokimyasal reaksiyonlar Denklem (2.17)-(2.23)'te görülmektedir [80].



Anodik aktivite potansiyeli oksijen oluşum üst potansiyeline bağlı olarak değişir. Anot malzemelerinin oksijen oluşum üst potansiyel değerleri Çizelge 2.2’de, kimyasal olarak oksidanların oluşum potansiyelleri Çizelge 2.3’de verilmiştir [43].

Çizelge 2.2. Farklı anot malzemelerin oksijen oluşum potansiyeli [76].

Anot	Değer	Koşullar	Referans
Pt	1,3	0,5 M H ₂ SO ₄	[81]
Pt	1,6	0,5 M H ₂ SO ₄	[82]
IrO ₂	1,6	0,5 M H ₂ SO ₄	[81], [83]
Grafit	1,7	0,5 M H ₂ SO ₄	[82]
PbO ₂	1,9	1 M HClO ₄	[84]
SnO ₂	1,9	0,5 M H ₂ SO ₄	[85]
Pb-Sn (93:7)	2,5	0,5 M H ₂ SO ₄	[81]
Eboneks	2,2	1 M H ₂ SO ₄	[86]
Si/BDD	2,3	0,5 M H ₂ SO ₄	[87], [88]
Ti/BDD	2,7	0,5 M H ₂ SO ₄	[89]
DiaChem	2,8	0,5 M H ₂ SO ₄	[81]

Çizelge 2.3. Kimyasal reaksiyon oluşum potansiyeli [81], [90], [76].

Oksidanlar	Oluşum Potansiyeli
H ₂ O / • OH (hidroksil radikali)	2,80
O ₂ /O ₃ (ozon)	2,07
SO ₄ ²⁻ / S ₂ O ₈ ²⁻ (peroksodisülfat)	2,01
MnO ₂ /MnO ₄ ²⁻ (permanganat iyonu)	1,77
H ₂ O/H ₂ O ₂ (hidrojen peroksit)	1,77
Cl ⁻ /ClO ₂ ⁻ (klor dioksit)	1,57
Ag ⁺ /Ag ²⁺ (gümüş (II) iyonu)	1,5
Cl ⁻ /Cl ₂ (klor)	1,36
Cr ³⁺ /Cr ₂ O ₇ ²⁻ (dikromat)	1,23
H ₂ O/O ₂ (oksijen)	1,23

EO proses ile farklı sektördeki atıksu arıtım uygulamaları;

Grafit elektrotlarının kullanıldığı EO prosesi ile ilaç sanayii atıksularından parasetamol giderimi üzerine yapılan çalışmada; Optimum koşullar elektrolit konsantrasyonu (0,02-0,1 M), akım yoğunluğu (3,1-7,1 mA / cm²), pH (4-8) ve parasetamol konsantrasyonu (20 mg/L) olarak belirlenmiştir. pH 4'te 240 dak. elektrolizden sonra parasetamol konsantrasyonu, KOİ ve TOK en yüksek verim ile giderilmiş ve giderim verimleri sırasıyla %90, %82, %65 olarak tespit edilmiştir [77].

Platin, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi ile metal kaplama atıksularından siyanür giderimi üzerine yapılan çalışmada; Anot malzemesinin siyanür EO işlemini büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir. En iyi sonuçlar platin elektrot kullanılarak elde edilmiştir. Elektrolizin ilk bir saatinde yaklaşık %80 giderim verimi elde edilmiştir. Titanyum elektrotlarla yapılan deneyde giderim verimi yaklaşık %60 olarak tespit edilmiştir [91].

Bor katkılı elmas, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi ile katı atık depolama alanı sızıntı suyu arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Farklı elektrot türlerinden en iyi verim bor katkılı elmas elektrot ile elde edilmiş olup KOİ ve BOİ giderimleri sırasıyla %64 ,%68 olarak tespit edilmiştir. [92].

Endüstriyel atıksuda EO ve elektrokoagülasyon proseslerinin hibrit bir proses olarak kullanıldığı ve organik kirleticilerin arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Elektrokoagülasyon, kolloidal ve süspanse edilmiş partiküllerin çıkarılmasında çok etkili ve hızlı bir işlem olarak belirlenmiştir. EO organik bileşiklerin KOİ ve BOİ'nin oksidasyon yoluyla parçalanmasında çok etkili olduğu gözlenmiştir. Ayrıca hibrit proseslerden elektrokoagülasyon prosesinde kolloidal ve askıda katı maddeler biraraya getirilerek giderilir, daha sonra EO prosesi ile elektrokoagülasyon prosesi sonrası kalan organik maddeler okside edilir. Böylece prosesler birleştirildiğinde KOİ, BOİ, renk ve bulanıklığın daha etkin şekilde giderilebileceği tespit edilmiştir [93].

Hibrit bir proses olarak uygulanan koagülasyon ve EO preoseslerinin kulanılarak endüstriyel atıksu arıtımı üzerine yapılan bir çalışmada; Hibrit arıtma prosesinin ile renk, yüksek tuzluluk konsantrasyonları, toplam kjeldhal azotu ve KOİ gideriminde etkili olduğu belirtilmiştir [94].

Çiftlik atıksuyu lagünlerinden amonyağın uzaklaştırılması üzerine yapılan çalışmada; Adsorpsiyon, kimyasal rejenerasyon gibi işlemlere tabi tutulan atıksuya EO prosesi

uygulanmıştır. EO verimliliği, diğer tüm şartlar uygun olduğunda ve rejenerasyon çözeltilisinde tutulan yüksek Cl^- konsantrasyonu nedeniyle sürekli olarak %90'ı aştığı görülmüştür [95].

Jelatin üretim tesisi atıksularının arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Karmaşık ve zor arıtılabilen özellikte olan ve elektrokoagülasyon prosesi ile kirleticilerin tam olarak giderilemediğinden dolayı EO prosesi entegre edilerek hibrit proses kullanılmıştır. Anot olarak alüminyum elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesi ile TOK giderim verimi %60 olarak belirlenmiştir. Ancak kirleticilerin elektrokoagülasyon yoluyla uzaklaştırılması kısmi olduğundan, atıksu elektrot olarak titanyum elektrotun kullanıldığı EO prosesi ile TOK giderim verimlerinin artması sağlanmıştır [96].

Titanyum ve bor katkılı elmas elektrotların kullanıldığı EO prosesi ile kaju fıstığı işleme endüstrisi atıksuyu arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Farklı akım yoğunluğu, pH gibi birçok değişken parametre ile KOİ giderimi üzerine çalışılmıştır. Aynı çalışma koşulları altında bor katkılı elmas elektrot, titanyum elektrota göre daha fazla KOİ giderim verimi sağlamıştır. Atıksuda bulunan klor, hipoklorit ve esas olarak hipoklorik asit gibi güçlü oksidan türleri EO destekleyerek bozunma işleminin verimini arttırmıştır. Sonuç olarak EO proses ile kaju fıstığı atıksuyundan KOİ gideriminin etkin bir şekilde sağlandığı belirlenmiştir [97].

EO prosesi ile şeker endüstrisi atıksuyundan KOİ ve renk giderimi üzerine yapılan çalışmada; Akım yoğunluğu, elektroliz süresi ve pH gibi işletme parametreleri optimize edilmiştir. Optimum şartlarda %92 KOİ ve %95 renk giderimi sağlanmıştır [98].

Zeytin işleme endüstrisi atıksuyundan EO prosesi ile KOİ, yağ-gres ve bulanıklık giderimi üzerine yapılan çalışmada; Herhangi bir ön işleme tabi tutulmayan zeytin işleme endüstrisi atıksuyunun, farklı akım yoğunluğu ve elektroliz süresi uygulanmıştır. Uygulanan akım yoğunluğu, sodyum klorür konsantrasyonu, akış hızı ve sıcaklık artışıyla organiklerin giderim verimleri artmıştır. Optimum şartlarda giderim verimleri bulanıklık >%95, KOİ % 99, yağ-gres >% 95 olarak tespit edilmiştir [99].

Damıtma atıksuyundan EO prosesi ile KOİ ve renk giderimi üzerine yapılan çalışmada; Anot olarak grafit ve titanyum elektrotlar kullanılmıştır. Asidik durumda (pH 1) organik kirleticilerin atık sudaki oksidasyon verimleri en yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Optimum şartlarda KOİ giderimi %89, renk giderimi %92 olarak tespit edilmiştir [100].

Araç yıkama atıksuyu arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Asitlendirilmiş araç yıkama

atıksularına, EO, elektrofenton ve hidrojen peroksit jenerasyonu prosesleri uygulanmıştır. Elektrokimyasal reaksiyonlar bor katkılı anot ve karbon keçe katot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her durumda KOİ giderim verimi, uygulanan akımdaki artışa paralel olarak artmış ve 500 mA veya üzerinde uygulanan akımda 6 saat elektrolizden sonra %100 organik madde giderimi sağlanmıştır [101].

Süt endüstrisi atıksuyunun EO prosesi ile arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Aerobik olarak önceden işlenmiş süt atıksularının titanyum ve platin elektrotlar kullanılarak oksidasyonu gerçekleştirilmiştir. Düşük akım yoğunluklarında IrO₂/Ti elektrodu Pt/Ti ve IrO₂-Pt/Ti'den daha iyi verim elde ettiği tespit edilmiştir. Optimum şartlarda KOİ 'nin neredeyse tamamen giderildiği ve 60 dakikadan daha az bir sürede rengin tamamen giderildiği görülmüştür [102].

Tekstil endüstrisi atıksuyunun arıtımı üzerine yapılan çalışmada; KOİ, TOK ve renk giderimi araştırılmıştır. Akım yoğunluğu, pH ve iletkenliğinin renk giderimi üzerine etkileri Box- Behnken tasarım metodu kullanılarak araştırılmıştır. Renk giderim verimi %42 ile %98 arasında değişim göstermiştir. Akım yoğunluğundaki ve pH değerlerindeki artışlar renk giderim verimliliğini önemli ölçüde etkilemiştir. Renk giderim çalışmalarına ilave olarak, EO proses öncesi ve sonrası atıksu organik madde kompozisyonundaki değişimler ile KOİ, TOK, azot gibi parametreler de izlenmiştir. KOİ ve TOK parametreleri için arıtım verimleri sırasıyla yaklaşık %40, %50, olarak tespit edilmiştir. [103].

3. MATERİYAL VE METOD

3.1. ATIKSU KARAKTERİZASYONU

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ham atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ham atıksu karakterizasyonu.

Parametre	Değer / Konsantrasyon
pH	7,66 ± 0,2
İletkenlik (mS/cm)	6,43
TDS (mg/L)	3,97
KOİ (mg/L)	300 ± 10
Renk (m ⁻¹)	
RES436 (m ⁻¹)	6,81
RES525 (m ⁻¹)	5,21
RES620 (m ⁻¹)	4,14

3.2. OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Optimizasyon çalışmalarında design expert (trial version) istatistiksel programı kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle, EO model reaktör ile maya üretimi yapan bir işletmeden alınan atıksudan renk giderimi üzerine pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin etkisi kesikli deney şartlarında belirlenmiştir.

İstatistiksel modele, optimizasyon verileri girilmeden önce ön deneysel çalışmalar ile optimizasyon parametrelerinin aralıkları belirlenmiştir. EO model reaktörü üzerinde bağımsız değişkenlerin optimum değerlerini belirlemek amacıyla, paralel bağlı elektrotlar kullanılarak, istatistiksel analize göre hazırlanan deney serisi uygulanmıştır.

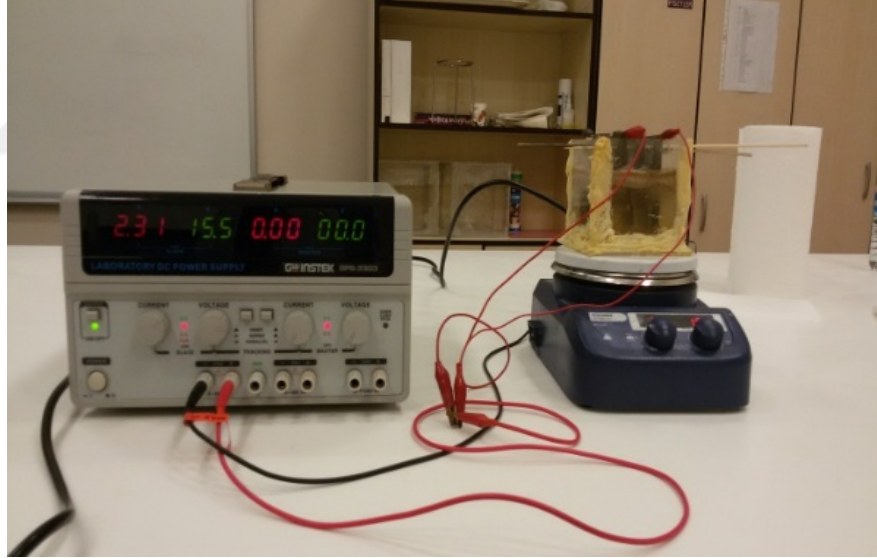
Optimize edilen deneysel şartlar ile kesikli akışlı EO prosesi tasarımı yapılmış ve optimize edilen parametreler kesikli akışlı reaktöre uygulanarak arıtma veriminin pH, elektroliz süresi ve akım yoğunluğuna göre değişimi incelenmiştir.

3.3. DENEY DÜZENEGİ

3.3.1. EO Model Reaktörü

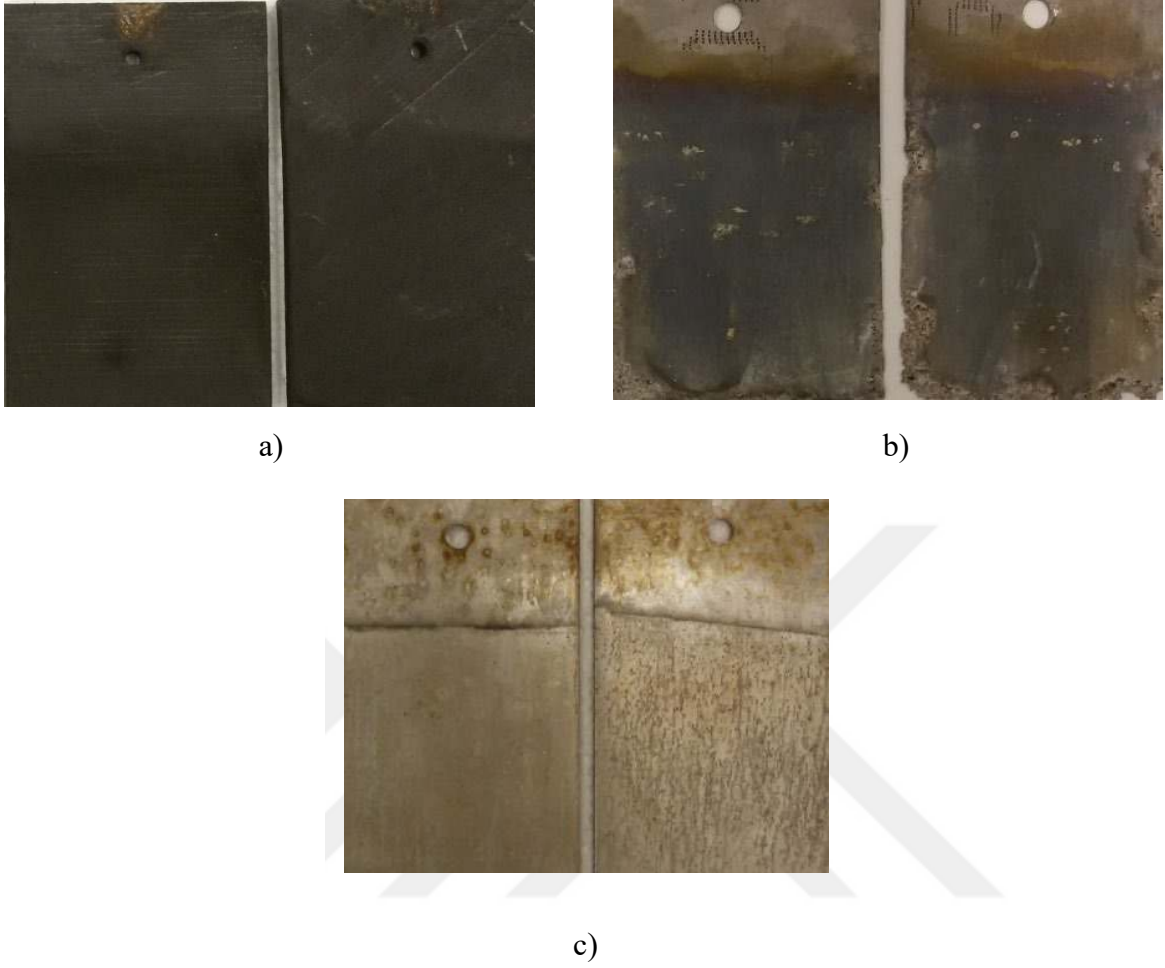
Kesikli akışlı EO prosesi ile renk gideriminin yapıldığı deneysel çalışmalarda, akım ve voltaj kontrolü GPS-3303-Multi Output DC Power Supply (0-30V, 0-3A) model güç kaynağı ile sağlanmıştır.

500 mL hacme sahip pleksiglas malzemeden yapılmış model reaktör içerisine elektrotlar yerleştirilmiş ve her bir deneyde 350 ml numune kullanılarak deney etapları gerçekleştirilmiştir. Elektrot bağlantı sisteminde, elektrotlar arası mesafe 5 mm olarak tasarlanmıştır. Elektrot materyalinin boyutları 50x80x0,5 mm dir. Ancak, su içerisinde kalan ve elektrolizin gerçekleştiği elektrot boyutları 50x55 mm'dir. Deneylerde 165 cm² aktif yüzey alanına sahip grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan paralel bağlı EO prosesinin şematik gösterimi Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Kesikli akışlı EO prosesinin şematik gösterimi.

Deneylerde kullanılan elektrotlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan elektrotlar a) Grafit b) Titanyum c) Paslanmaz çelik.

Elektrotlar için belirlenen akım yoğunluğu ve akım yoğunluğuna karşılık gelen reaktöre verilen akımlar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Elektrotlardan deney sistemine verilen akım yoğunlukları.

Elektrot Cinsi	Akım Yoğunluğu (A/m^2)	Sisteme Verilen Akım (I)
Grafit	90 – 120 – 150	1,5 – 2 - 2,5
Titanyum	60 – 90 – 120	1,33 – 1,82 – 2,31
Paslanmaz Çelik	80 – 110 – 140	1 – 1,5 – 2

3.3.2. EO Model Reaktöründe Deneysel İşlem

Bütün deneyler oda sıcaklığında (~25 °C) gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyde elektrolitik hücreye 350 ml maya endüstrisi atıksuyu eklenmiştir. Elektrotlar tasarlanan elektrot bağlantı sistemine yerleştirildikten sonra elektroliz işlemine başlanmıştır. Daha sonra 0,45 µm gözenek boyutuna sahip filtreden süzildikten sonra renk konsantrasyonları belirlenmiştir.

3.4. METOD

3.4.1. Renk Tayini

Kesikli akışlı EO prosesi deneylerinde renk çözeltilerinde giriş ve çıkış konsantrasyonlarının saptanması için RES metodu kullanılmıştır. EN ISO 7887'ye göre renk parametresinin RES metodu ile ölçülmesi 3 kategoriye ayrılmaktadır ve m⁻¹ biriminde RES 436, RES 525 ve RES 620 şeklinde renk değerleri ölçülmektedir [104]. RES metodu ile renk ölçümünde 3 farklı dalga boyunun kullanılmasının amacı; 400-500 nm bandında sarı ve tonları, 500-600 nm bandında kırmızı ve tonları, 600-700 nm bandında ise mavi ve tonlarının absorbands vermesinden kaynaklanmaktadır. 400-700 nm bandında dalga boyu arttıkça renkler koyu tonlarına doğru geçiş göstermektedir.

Spektrofotometrede sırasıyla 436, 525, 620 nm dalga boylarında numunenin absorbands değerleri ölçülerek kaydedilir. Ölçülen bu absorbands değerleri aşağıdaki denklem (3.1)'de yerine konularak RES 436, RES 525, RES 620 değerleri hesaplanır.

$$RES = \frac{A}{d} \times f \quad (3.1)$$

A : λ dalga boyunda numunenin absorbands değeri (okunan absorbands) (cm⁻¹)

d : Küvet kalınlığı (mm)

f : Spektral absorbands değerini m⁻¹ biriminde elde etmek için faktör, f=1000

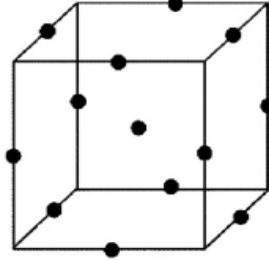
RES(λ): λ dalga boyundaki renklilik sayısı RES değeri (m⁻¹)

3.4.2. pH, İletkenlik, TDS ve KOİ Tayini

pH, iletkenlik ölçümleri elektrometrik metoda (Standard Metod 2005/4500-H+) göre, KOİ ise standart metoda göre (SM 2005/5220-D) belirlenmiştir.

3.4.3. İstatistiksel Analiz

Deneyisel çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla, Box-Behnken istatistiksel analizi kullanılmıştır. Box-Behnken metodu, 1960'lı yıllarda George E.P. Box and Donald Behnken tarafından geliştirilmiş bir tasarım yöntemidir. Box-Behnken tasarımları +1, 0 ve -1 gibi her faktörün 3 seviyesini gerektirir. +1 maksimum, 0 orta ve -1 minimum seviyedir [105]. Box-Behnken, dizaynı yanıt yüzey dizaynlarından biri olup, ikinci derecedir. Box-Behnken döndürülebilir bir tasarımdır [106]. Bir merkez ve kenarların orta noktalarından oluşan küp görünümündedir. Ancak, aynı zamanda birbirine kenetlenen üç faktöriyel tasarım ve bir merkez noktadan oluşmaktadır [107]. Box-Behnken dizaynı Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Box-Behnken dizaynı şematik gösterimi [106].

Box-Behnken yöntemi diğer yanıt yüzeylerine göre daha az veri girişi gerektirir. Fraksiyonel faktöriyel dizayn içermeyen ikinci derece dizayndır. Üç faktör ve üç merkez noktalı bir deneyi tanımlamaktadır. Faktör sayısına bağlı olarak deney sayısı da artmaktadır. Alt ve üst sınırların belirlendiği tüm etkenler için, tasarımda alt ve üst sınırlar aynı anda hiçbir zaman yer almaz. Böylece uç değerlerden meydana gelebilecek olan tatmin edici olmayan sonuçlar da engellenmiş olmaktadır [108], [109]. Üç faktör için Box-Behnken tasarımı Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Üç faktör için Box-Behnken Tasarımı.

Deney No	Faktörler		
	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	-1	0	+1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	+1	-1
11	0	-1	+1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Maya endüstrisi renk giderme deneylerinde kullanılan grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrot için pH değeri, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır. pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi için belirlenen alt ve üst sınırlar Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Elektrot türüne göre deney aralıkları.

Faktörler	Grafit	Titanyum	Paslanmaz çelik
pH	4,5 - 10,5	4,5 – 9,5	4,5 – 9,5
Akım Yoğunluğu (A/m ²)	90 - 150	80 - 140	60 - 120
Elektroliz süresi (dak.)	30 - 60	30 - 60	15 - 45

Belirlenen aralıklar çerçevesinde grafit elektrot, titanyum elektrot ve paslanmaz çelik elektrotlar için Box-Behnken deney tasarımları Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrolar için Box-Behnken deney tasarımı.

Deney No	Grafit Elektrot			Titanyum Elektrot			Paslanmaz Çelik Elektrot		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	7,5	120	45	4,5	140	45	9,5	90	45
2	7,5	90	60	9,5	110	60	4,5	90	45
3	7,5	120	45	4,5	80	45	7	90	30
4	4,5	150	45	7	110	45	7	60	45
5	7,5	120	45	7	140	60	7	120	45
6	10,5	150	45	7	80	30	7	120	15
7	10,5	90	45	4,5	110	60	7	60	15
8	4,5	90	45	7	110	45	9,5	60	30
9	10,5	120	60	9,5	140	45	9,5	120	30
10	4,5	120	30	9,5	110	30	7	90	30
11	7,5	90	30	4,5	110	30	7	90	30
12	7,5	150	30	7	110	45	9,5	90	15
13	7,5	150	60	7	80	60	4,5	120	30
14	4,5	120	60	7	140	30	4,5	60	30
15	10,5	120	30	9,5	80	45	4,5	90	15

A: pH, B: Akım Yoğunluğu (A/m²), C: Elektroliz Süresi (dak.)

Deney sonucunda Box-Behnken istatistiksel analizi, Design Expert programı kullanılarak; ANOVA tablosu çıkarılarak, P, R², F değerleri elde edilmiştir. Dizayn tablosuna göre yapılan deneyler sonucunda bulunan renk giderim verileri kullanılarak Denklem (3.2) ‘de yer alan b₁, b₂, b₃... katsayıları bulunmuştur. Bu katsayılar kullanılarak renk giderim değerini maksimum seviyeye getirecek bağımsız parametrelerin alabileceği optimum değerler belirlenmiştir.

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3+b_{11}X_1^2+b_{22}X_2^2+b_{33}X_3^2 \quad (3.2)$$

3.5. KULLANILAN EŞİTLİKLER

3.5.1. Akım Yoğunluğu

Akım yoğunluğu Denklem (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$J=\frac{I}{A} \quad (3.3)$$

Denklemden, J: Akım yoğunluğu, A/m², I: Akım şiddeti, Amper, A: Aktif anot yüzey alanı (m² veya cm²) ifade etmektedir.

3.5.2. Enerji Tüketimi

Harcanan elektrik enerjisini watt saat (Wsa) cinsinden Denklem (3.4) ile hesaplanmıştır.

$$E=V.I.t \quad (3.4)$$

Burada; E: Elektrik enerjisi (Wsa) ,V: Volt, I: Akım şiddeti (A), t: Süre (saat)'tir.

3.5.3. Giderim verimi

Renk giderim verimleri Denklem (3.5) ile hesaplanmıştır.

$$E (\%)=(C_0-C)/C_0 \quad (3.5)$$

Burada; C₀ başlangıçtaki renk konsantrasyonu, C çıkıştaki renk konsantrasyonu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. GRAFİT ELEKTROTLARIN KULLANILDIĞI ELEKTROOKSİDASYON PROSESİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI

Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi deney sonuçları Çizelge 4.1’de görülmektedir. Atıksu iletkenlik değeri başlangıçta 16 mS/cm iken, deneysel çalışmalar sonunda 10,18-13,9 aralığında; başlangıçta 8 gr/L olan TDS değeri deneysel çalışmalar sonunda 5,04-6,92 aralığında tespit edilmiştir. Elektriksel potansiyel değeri deneysel çalışma boyunca 11,5-22 volt aralığında olurken, enerji tüketimi 30-117,86 Wsa/m³ aralığında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Grafit elektrot deney sonuçları.

	pH	A.Y.	E.S.	pH	İletkenlik (mS/cm)		Volt (V)	TDS (gr/L)		Giderim Verimleri (%)			Enerji Tüketimi (Wsa)	Enerji Tüketimi (Wsa/m ³)
		A/m2	dak.	Son	İlk	Son		İlk	Son	RES436	RES525	RES620		
1	7,5	120	45	7,51	16	11,3	13,5	7,94	5,6	0,74	0,86	0,98	20,25	57,86
2	7,5	90	60	7,28	16	11,4	11,5	7,94	5,7	0,76	0,84	0,93	17,25	49,29
3	7,5	120	45	7,51	16	11,3	13,5	7,94	5,6	0,74	0,86	0,98	20,25	57,86
4	4,5	150	45	4,5	16	12,5	20	7,97	6,2	0,88	0,95	1	37,5	107,14
5	7,5	120	45	7,51	16	11,3	13,5	7,94	5,6	0,74	0,86	0,98	20,25	57,86
6	10,5	150	45	9,37	16	11	22	8	5,5	0,02	0,007	0	41,25	117,86
7	10,5	90	45	9,41	16	13,14	14	8	6,55	0,36	0,48	0,63	15,75	45
8	4,5	90	45	4,88	16	13,9	9,95	8	6,92	0,86	0,96	1	14,93	42,64
9	10,5	120	60	9,12	16	11,9	19	8	5,95	0,003	0,007	0,017	38	108,57
10	4,5	120	30	4,37	16	13	18,1	8	6,48	0,78	0,89	0,98	18,1	51,71
11	7,5	90	30	7,5	16	12	14	7,94	5,98	0,46	0,53	0,63	10,5	30
12	7,5	150	30	7,57	16	10,85	14,8	7,94	5,41	0,63	0,79	0,95	18,5	52,86
13	7,5	150	60	7,6	16	10,18	15,3	7,94	5,04	0,78	0,89	0,7	38,25	109,29
14	4,5	120	60	4,8	16	13,3	16,5	8	6,6	0,88	0,98	1	33	94,29
15	10,5	120	30	9,73	16	12,75	18	8	6,3	0,24	0,33	0,4	18	51,43

A.Y.: Akım Yoğunluğu, E.S.: Elektroliz Süresi

Grafit anot malzemesinin kullanıldığı bir EO prosesi ile yapılan çalışmada; pH değeri 3, akım yoğunluğu 30 mA/cm², karıştırma hızı 400 devir/dak, süre 5 saat ve destek elektrolit konsantrasyonu 1,25 M NaCl olacak şekilde ayarlanarak gerçekleştirilen

Çalışma sonunda elde edilen enerji tkretim değeri 615 kWsa/m³ olarak tespit edilmiştir [31].

Grafit elektrot kullanılarak EO prosesi ile yapılan bir başka çalışmada; Fıstık işleme endüstrisi atıksularının optimum şartlarında KOİ ve TF giderim verimleri sırasıyla %75, %100 ve enerji tkretim değeri 49 kWsa/m³ olarak elde edilmiştir [110].

Grafit ve TiO₂-RuO₂-IrO₂ alaşım ile kaplanmış titanyum kullanılarak EO prosesi ile yapılan çalışmada; TiO₂-RuO₂-IrO₂ anot ve grafit karbon katot olarak kullanılmıştır. Yağ rafineri, ilaç ve reçine endüstrileri atıksuları üzerine çalışılmıştır. Yağ rafinerisi atıksuyunun arıtılmasında %48 TOK giderimi ve %75 KOİ giderimi sağlanmış olup gereken enerji ihtiyacı 253,3 kWh/kg KOİ olarak belirlenmiştir. Reçine endüstrisi atıksuyunun arıtılmasında %82,4 KOİ giderimi sağlanmış olup gerekli olan enerji ihtiyacı 102,1 kWh/kg KOİ'dir. EO prosesi ile ilaç endüstrisi atıksularından KOİ 'nin %82,3 giderildiği şartlarda proses için gerekli olan enerji ihtiyacı 17 kWh/kg KOİ olarak hesaplanmıştır [111].

Deneysel alışma sonucunda elde edilen veriler RES 436 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları izelge 4.2'de verilmiştir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin p<0,05 olması durumuna göre pH parametresinin maya endüstrisi atıksularından RES 436 renk gideriminde akım yoğunluğu ve elektroliz süresine göre en önemli parametre olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 436 renk parametresi için elde edilen R² ve R²_{adj} değerlerinin 1'e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımıının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 436 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	1.20	9	0.13	8.73	0.0140
A-pH	0.96	1	0.96	63.32	0.0005
B-A.Y.	1.930E-003	1	1.930E-003	0.13	0.7364
C-E.S.	0.012	1	0.012	0.76	0.4227
AB	0.034	1	0.034	2.24	0.1944
AC	0.027	1	0.027	1.80	0.2372
BC	6.147E-003	1	6.147E-003	0.40	0.5532
A ²	0.14	1	0.14	9.17	0.0291
B ²	6.545E-004	1	6.545E-004	0.043	0.8440
C ²	0.017	1	0.017	1.15	0.3332
Residual	0.076	5	0.015		
Lack of Fit	0.076	3	0.025		
Pure Error	0.000	2	0.000		
Cor Total	1.27	14			
R-Squared	0.94				
Adj R-Squared	0.83				

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler RES 525 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH parametresinin maya endüstrisi atıksularından RES 525 renk gideriminde akım yoğunluğu ve elektroliz süresine göre en önemli parametre olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 525 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1’e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 525 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	1.42	9	0.16	5.98	0.0316
A-pH	1.09	1	1.09	41.32	0.0014
B-A.Y.	4.162E-003	1	4.162E-003	0.16	0.7079
C-E.S.	3.836E-003	1	3.836E-003	0.15	0.7189
AB	0.053	1	0.053	2.00	0.2165
AC	0.042	1	0.042	1.58	0.2643
BC	0.010	1	0.010	0.39	0.5573
A ²	0.21	1	0.21	7.80	0.0383
B ²	2.241E-003	1	2.241E-003	0.085	0.7826
C ²	0.020	1	0.020	0.76	0.4224
Residual	0.13	5	0.026		
Lack of Fit	0.13	3	0.044		
Pure Error	0.000	2	0.000		
Cor Total	1.56	14			
R-Squared	0.92				
Adj R-Squared	0.76				

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler RES 620 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH parametresinin maya endüstrisi atıksularından RES 620 renk gideriminde akım yoğunluğu ve elektroliz süresine göre en önemli parametre olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 620 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1’e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 620 giderim verimleri için ANOVA analizi.

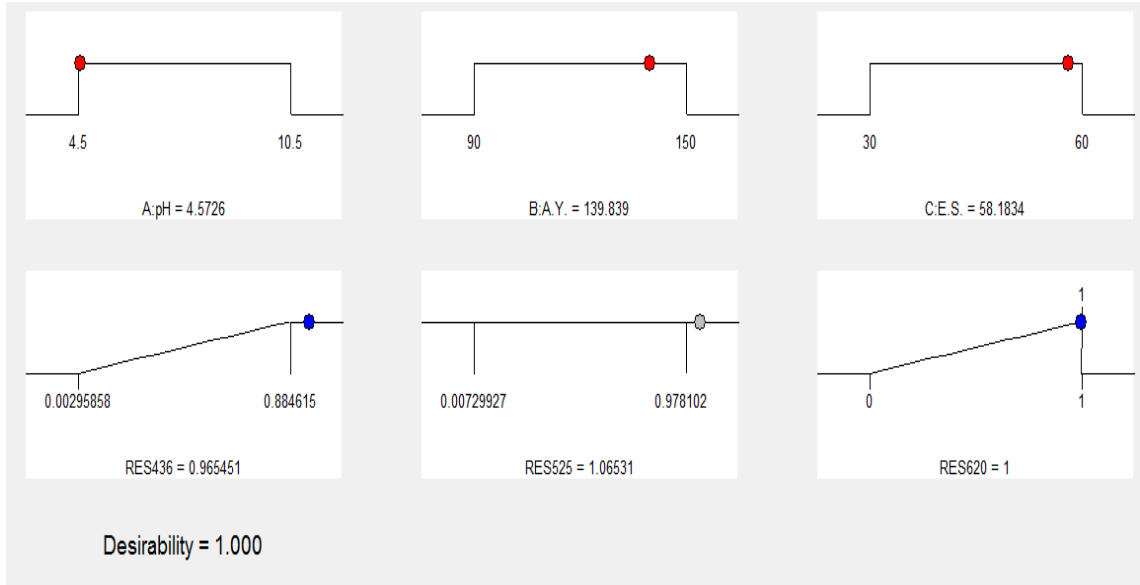
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	1.63	9	0.18	9.97	0.0104
A-pH	1.07	1	1.07	58.96	0.0006
B-A.Y.	0.037	1	0.037	2.04	0.2121
C-E.S.	0.013	1	0.013	0.69	0.4432
AB	0.100	1	0.100	5.48	0.0663
AC	0.041	1	0.041	2.24	0.1950
BC	0.074	1	0.074	4.09	0.0991
A ²	0.26	1	0.26	14.03	0.0134
B ²	0.014	1	0.014	0.77	0.4202
C ²	0.052	1	0.052	2.86	0.1518
Residual	0.091	5	0.018		
Lack of Fit	0.091	3	0.030		
Pure Error	0.000	2	0.000		
Cor Total	1.72	14			
R-Squared	0.95				
Adj R-Squared	0.85				

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen denklemler Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı renk değişimleri için belirlenen denklemler.

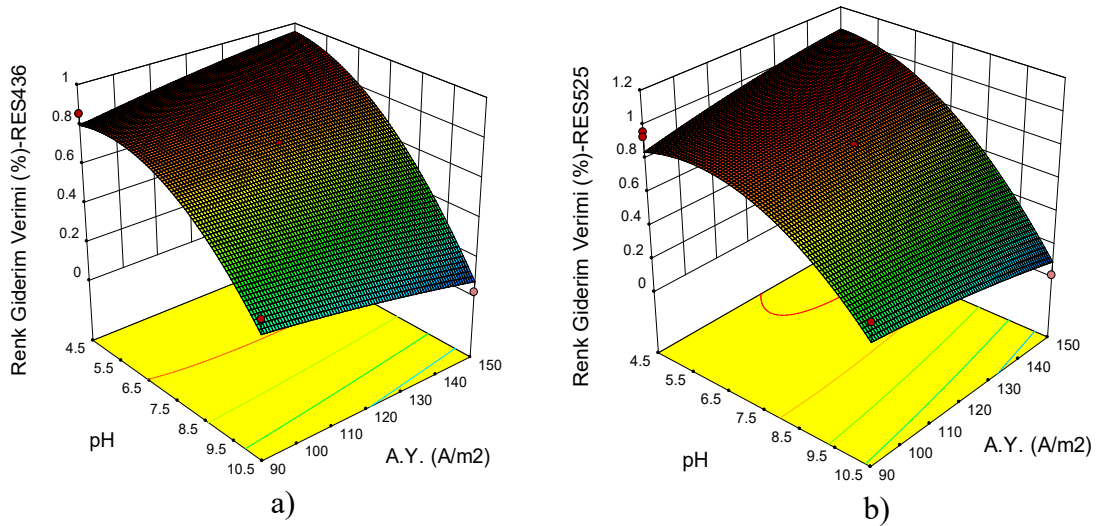
RES436		RES525		RES620	
+0,74		+0,86		+0,98	
-0,35	* A	-0,37	* A	-0,37	* A
-0,016	* B	-0,023	* B	-0,068	* B
+0,038	* C	+0,022	* C	-0,040	* C
-0,092	* AB	-0,11	* AB	-0,16	* AB
-0,083	* AC	-0,10	* AC	-0,10	* AC
-0,039	* BC	-0,051	* BC	-0,14	* BC
-0,19	* A ²	-0,24	* A ²	-0,26	* A ²
-0,013	* B ²	-0,025	* B ²	-0,062	* B ²
-0,069	* C ²	-0,074	* C ²	-0,12	* C ²

Şekil 4.1’de maksimum RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimi için optimum pH değeri 4,57, akım yoğunluğu 139,84 A/m², elektroliz süresi 58 dak. olarak tespit edilmiştir. Optimum koşullarda RES 436 giderim verimi yaklaşık %97, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri >%99,99 olarak belirlenmiştir.

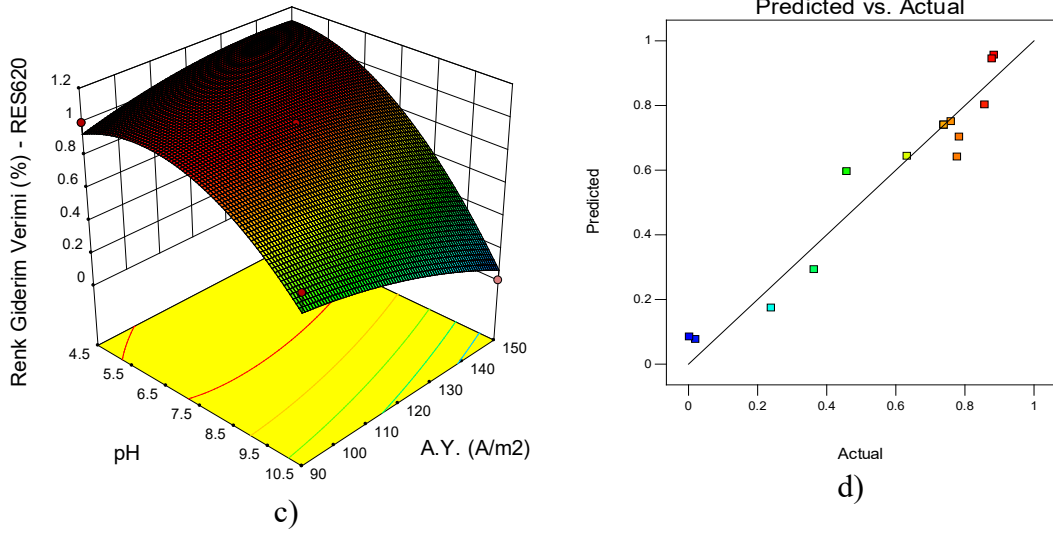


Şekil 4.1. Renk giderim verimlerini maksimize eden optimum değerler.

Şekil 4.2’de RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin renk gideriminde etkin olduğu, özellikle akım yoğunluğunun artması ve pH <7 olması durumunda renk giderim verimleri >%80 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH - akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 (Elektroliz süresi: 45 dak.).



Şekil 4.2 (devam) Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Elektroliz süresi: 45 dak.).

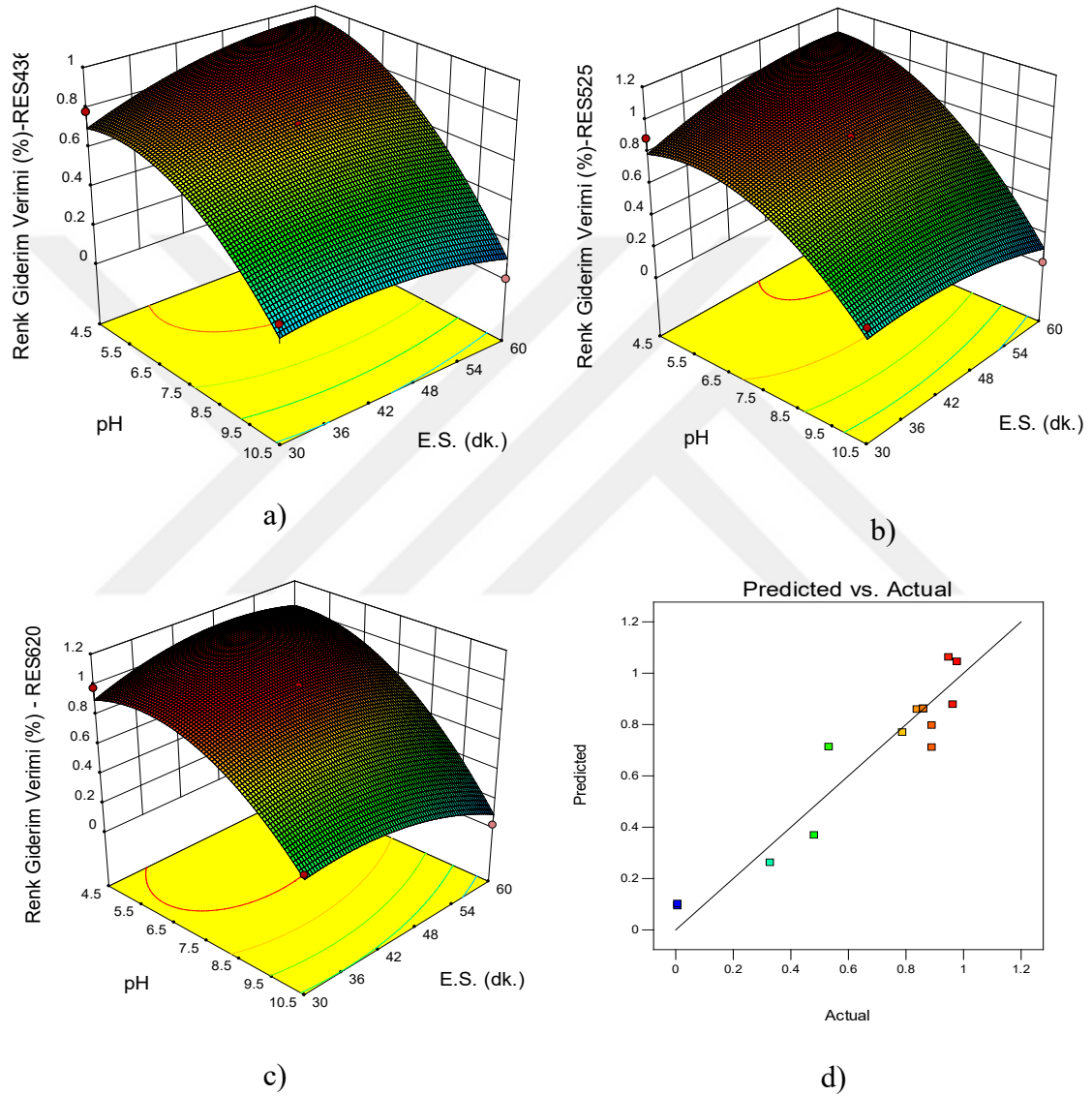
Grafit elektrot kullanılarak fıstık işleme sanayi atıksularının EO proses ile KOİ, TOK, Toplam Fenol (TF) giderimi üzerine yapılan çalışmada; pH değerinin artmasıyla birlikte giderim veriminde azalma gözlemlenmiş ve her üç kirlilik parametresi için de en yüksek arıtım verimlerine pH 3 değerinde ulaşılmıştır. pH 3 için KOİ, TOK ve TF giderim verimleri sırasıyla %62,79, %38,81 ve %99,92 ve pH 8 için KOİ, TOK ve TF giderim verimleri sırasıyla %43,60, %29,21 ve %96,58 olarak bulunmuştur. Böylece fıstık işleme sanayi atıksularının grafit elektrot ile EO için optimum pH değerinin yaklaşık 3 olduğu belirlenmiştir [31].

Bir endüstriyel atıksudan EO prosesi ile KOİ, TOK, renk ve bulanıklığın giderimi üzerine yapılan çalışmada; KOİ giderimi, pH 2'de %80 ve pH 4'te %89 sağlanmış olup en az giderim pH 7'de %78 olarak görülmüştür. Renk giderimi pH 4'te %97, pH 2'de %91 ve pH 7'de %86,5'lik bir arıtma verimi elde edilmiştir [18].

Maya atıksularının elektrokimyasal ve biyo-elektrokimyasal oksidasyon prosesleri ile artımının gerçekleştirildiği çalışmada; KOİ, TOK ve renk gideriminin düşük pH değerlerinde daha verimli oldukları görülmüştür [112].

EO prosesi ile atıksudan KOİ ve ketoprofen giderimi üzerine yapılan çalışmada; Optimum giderim verimi pH 3,99'da elde edilmiştir [22]. Yapılan diğer bir çalışmada da düşük pH değerlerinde giderim verimlerinin attığı görülmüştür [113].

Şekil 4.3’de RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için pH ve elektroliz süresi parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, düşük pH değerlerinde tüm renk parametreleri gideriminde etkin olduğu belirlenmiştir. Elektroliz süresi parametresinin geniş bir aralıkta (30-60 dak.) etkin renk giderimi sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.3. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Akım yoğunluğu: 120 A/m²).

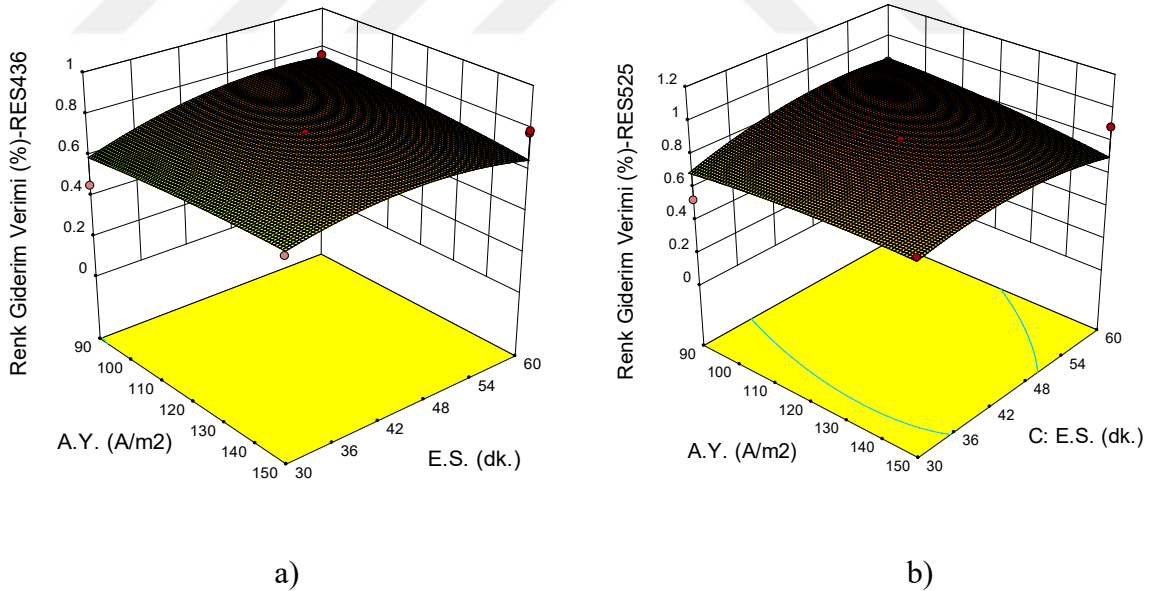
Grafit elektrot kullanılarak petrol rafinerisi atıksularının arıtımı üzerine yapılan çalışmada; KOİ giderme verimi %89,91 ve NH₃-N uzaklaştırma verimi %99,47’de elde

edilmiştir. Düşük pH değerlerinde daha iyi giderim verimi elde edildiği tespit edilmiştir [114].

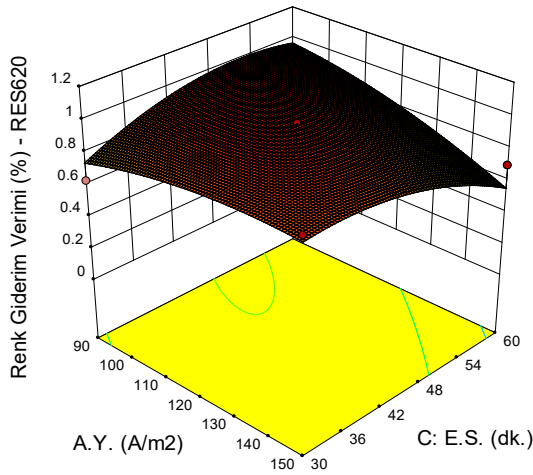
Grafit, Titanyum, paslanmaz çeliğin elektrot olarak kullanılarak tuzlu atıksuların EO prosesi ile arıtılması üzerine yapılan çalışmada; pH, akım yoğunluğu, sıcaklık vb değişkenler ile KOİ giderimi üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu işletim parametreleri için olası optimum aralıklar deneysel olarak belirlenmiş olup, düşük pH değerlerinde daha etkili olduğu görülmüştür [115].

Patates cipsi endüstrisi atıksuyunun elektrokimyasal proses ile arıtılması üzerine yapılan çalışmada; Elektroliz süresinin artması ile giderim veriminin arttığı görülmüştür. Ancak belli bir süreden sonra elektroliz süresinin giderim verimi üzerine etkisinin azaldığı görülmüştür [116].

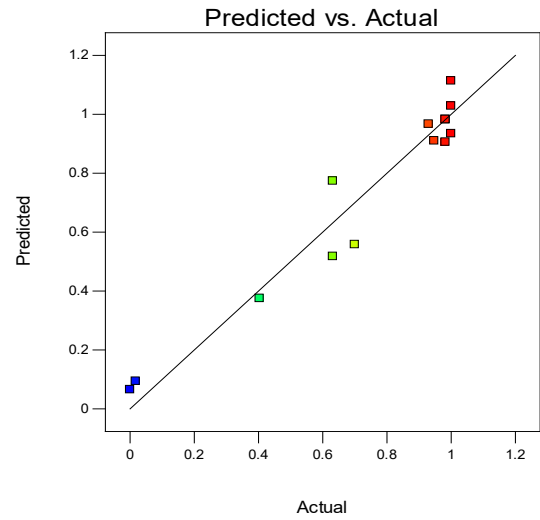
Şekil 4.4’de RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, akım yoğunluğunun yaklaşık olarak 120 A/m², elektroliz süresinin yaklaşık olarak 40 dak. olduğu değerlerde en yüksek renk giderim verimleri elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde akım yoğunluğu-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 (pH: 7,5).



c)



d)

Şekil 4.4 (devam) Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde akım yoğunluğu-
elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi c) RES 620
d) Gerçek/Tahminlenen veriler (pH: 7,5).

Grafit elektrot kullanılarak antep fıstığı işleme endüstrisi atıksuyundan EO prosesi kullanılarak KOİ ve TF giderimi üzerine yapılan çalışmada; Düşük akım yoğunluğunda giderim verimi azalmıştır. Akım yoğunluğunun artması giderim verimini arttırmıştır [110].

Belirlenen optimum akım yoğunluğundan daha fazla akım uygulanması durumunda ise giderim verimi üzerine pozitif etkisi olmamıştır.

Şeker fabrikası atıksuyunun elektrokimyasal proses ile arıtılması üzerine yapılan çalışmada; Akım yoğunluğunun verim üzerine etkisi incelenmiştir. Akım yoğunluğu arttıkça arıtma veriminin arttığı görülmüştür, ancak bir noktadan sonra giderim verimindeki artış akım yoğunluğundaki artışa oranla daha az olmuştur [117].

Tavuk kesimhane atıksularının elektrokimyasal proses ile arıtılması üzerine yapılan çalışmada; pH ve akım yoğunluğunun giderim verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Düşük pH değerlerinde giderim veriminin arttığı görülürken, optimum akım yoğunluğundan fazlasının uygulanması durumunda giderim verimini arttırmadığı görülmüştür [118].

Kanola yağı rafineri atıksuyunun hibrit proses ile arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Elektrokoagülasyon ve EO prosesleri birlikte kullanılmıştır. Akım yoğunluğu ve temas

süresi arttıkça giderim veriminin arttığı görülmüştür. Ancak belli bir süre ve akım yoğunluğundan sonra giderim verimine etkisinin olmadığı görülmüştür [119].

Grafit ve titanyum kaplı $\text{RuO}_2/\text{IrO}_2/\text{TaO}_2$ anotlar kullanılarak EO porsesi ile KOİ giderimi üzerine yapılan çalışmada; KOİ gideriminin yanında klor iyonlarına da bakılmış ve etkileri tartışılmıştır. Akım yoğunluğunun KOİ gideriminde etkili olduğu görülmüştür [120].

4.2. TİTANYUM ELEKTROTLARIN KULLANILDIĞI ELEKTROOKSİDASYON PROSESİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI

Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesi deney sonuçları Çizelge 4.6'da görülmektedir. İletkenlik değeri deney öncesinde 16 mS/cm iken, deneysel çalışmalar sonunda 7,7-10,95 aralığında, TDS değeri deney öncesinde 8 gr/L seviyelerinde iken deneysel çalışmalar sonunda 3,85-6 aralığında değişim göstermiştir. Ayrıca potansiyel fark değeri deneysel çalışma boyunca 17-23,5 volt aralığında olurken enerji tüketimi 34,2-122,2 Wsa/m³ aralığında yer almıştır.

Çizelge 4.6. Titanyum elektrot deney sonuçları.

	pH	A.Y.	E.S.	pH	İletkenlik (mS/cm)		Volt (V)	TDS (gr/L)		Giderim Verimleri (%)			Enerji Tüketimi (Wsa)	Enerji Tüketimi (Wsa/m ³)
		A/m2	dak.		İlk	Son		İlk	Son	RES436	RES525	RES620		
1	4,5	140	45	7,8	16	9,43	21	8	4,75	0,82	0,95	1	36,38	103,95
2	9,5	110	60	9,9	16	8,8	22	7,98	4,38	0,28	0,3	0,5	40,04	114,4
3	4,5	80	45	7,57	16	11,4	20	8	5,65	0,91	0,98	1	19,95	57
4	7	110	45	8,73	16	8,75	20	8	4,35	0,76	0,86	0,98	27,3	78
5	7	140	60	8,75	16	7,7	17	8	3,85	0,47	0,51	1	39,27	112,2
6	7	80	30	8,27	16	10,95	18	8	5,47	0,67	0,44	0,95	11,97	34,2
7	4,5	110	60	7,88	16	9,5	23,5	8	4,73	0,6	0,72	1	42,77	122,2
8	7	110	45	8,73	16	8,75	20	8	4,35	0,76	0,87	0,98	27,3	78
9	9,5	140	45	9,97	16	9	21	7,98	4,5	0,34	0,42	0,72	36,38	103,95
10	9,5	110	30	9,33	16	10	20	7,98	5	0,24	0,31	0,51	18,2	52
11	4,5	110	30	7,27	16	12	21,5	8	6	0,57	0,61	1	29,35	83,85
12	7	110	45	8,73	16	8,75	20	8	4,35	0,76	0,87	0,98	26,6	76
13	7	80	60	7,35	16	7,35	18	8	4,1	0,47	0,23	1	20,79	59,4
14	7	140	30	8,48	16	8,48	22	8	4,4	0,38	0,1	1	25,41	72,6
15	9,5	80	45	9,47	16	9,47	17	7,98	4,75	0,62	0,51	0,4	16,95	48,45

Ti/Pt anot malzemesinin kullanıldığı bir EO prosesi ile yapılan çalışmada; pH değeri 5,30, akım yoğunluğu 15 mA/cm^2 , elektroliz süresinin 5 saat ve destek elektrolit konsantrasyonu $0,625 \text{ M NaCl}$ olduğu optimal şartlarda enerji tüketim değeri $297,5 \text{ kW-sa/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Aynı şartlarda destek elektrolit konsantrasyonu $0,50 \text{ M NaCl}$ olacak şekilde ayarlanarak gerçekleştirilen deneme sonunda elde edilen enerji tüketim değeri 244 kW-sa/m^3 'tür [31].

Ti/IrO₂/RuO₂ ve Ti/Pt elektrotlar kullanılarak EO prosesi ile yapılan bir başka çalışmada; Ti/IrO₂/RuO₂ elektrot için pH 4,6, akım yoğunluğu $7,69 \text{ mA/cm}^2$, süre 5 saat ve karıştırma olmadan $0,5 \text{ M NaCl}$ destek elektrolit kullanılarak gerçekleştirilen denemeler sonrasında elde edilen enerji tüketim değeri $462,5 \text{ kWsa/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Ti/Pt anot kullanılarak yapılan çalışmalarda ise pH 4,6, akım yoğunluğu $7,69 \text{ mA/cm}^2$, 5 saat ve karıştırma olmaksızın $0,25 \text{ M NaCl}$ destek elektrolit kullanılarak gerçekleştirilen denemeler sonrasında elde edilen enerji tüketim değeri $451,25 \text{ kW.sa/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar birbirlerine yakın olmakla birlikte Ti/Pt anot malzemelerinin enerji tüketimi açısından daha uygun olduğu görülmüştür [17].

Titanyum-Tantal-Platinyum-İridyum anotlarıyla zeytinyağı fabrikası atıksularının arıtımı üzerine yapılan çalışmada; 1 saate kadar fenol ve renk giderimi verimli bir şekilde gerçekleşmiştir. 240 dakikalık elektroliz süresinde KOİ'nin %40 oranında giderildiği belirlenmiştir. 120 dakikalık işlemten sonra kümülatif enerji tüketimi sırasıyla %1 ve %2 tuzlulukta 107 ve 228 Wh olarak bulunmuştur. Bu oran 3,3 ve 5,2 g/KOİ oranına denk gelmektedir. %4 tuzlulukta çalışma için 5,1 gr/KOİ giderimi 393 Wh enerji tüketiminde gerçekleşmiştir [121].

DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen RES 436 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.7'de görülmektedir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin maya endüstrisi atıksularından RES 436 renk gideriminde elektroliz süresine göre daha etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES436 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1'e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin

etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.7. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 436 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	0.59	9	0.066	49.66	0.0002
A-pH	0.25	1	0.25	189.51	< 0.0001
B-A.Y	0.054	1	0.054	40.94	0.0014
C-E.S.	2.000E-004	1	2.000E-004	0.15	0.7141
AB	9.025E-003	1	9.025E-003	6.79	0.0480
AC	2.500E-005	1	2.500E-005	0.019	0.8963
BC	0.021	1	0.021	15.81	0.0106
A2	0.024	1	0.024	18.33	0.0079
B2	1.442E-004	1	1.442E-004	0.11	0.7553
C2	0.24	1	0.24	182.29	< 0.0001
Residual	6.650E-003	5	1.330E-003		
Lack of Fit	6.650E-003	3	2.217E-003		
Pure Error	0.000	2	0.000		
Cor Total	0.60	14			
R-Squared	0.99				
Adj R-Squared	0.97				

Deneyisel çalışma sonucunda elde edilen RES 525 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.8’de görülmektedir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH ve elektroliz süresi parametrelerinin maya endüstrisi atıksularından RES 525 renk gideriminde akım yoğunluğu parametresine göre daha etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 525 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1’e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.8. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 525 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	1.11	9	0.12	53.39	0.0002
A-pH	0.37	1	0.37	159.86	< 0.0001
B-A.Y	4.050E-003	1	4.050E-003	1.75	0.2431
C-E.S.	0.011	1	0.011	4.86	0.0786
AB	9.000E-004	1	9.000E-004	0.39	0.5601
AC	3.600E-003	1	3.600E-003	1.56	0.2675
BC	0.096	1	0.096	41.54	0.0013
A ²	1.641E-004	1	1.641E-004	0.071	0.8006
B ²	0.093	1	0.093	40.01	0.0015
C ²	0.56	1	0.56	240.70	< 0.0001
Residual	0.012	5	2.313E-003		
Lack of Fit	0.011	3	3.833E-003	115.00	0.0086
Pure Error	6.667E-005	2	3.333E-005		
Cor Total	1.12	14			
R-Squared	0.99				
Adj R-Squared	0.97				

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen RES620 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.9’da görülmektedir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin maya endüstrisi atıksularından RES 620 renk gideriminde elektroliz süresi parametresine göre daha etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 620 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1’e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.9. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 620 giderim verimleri için ANOVA analizi.

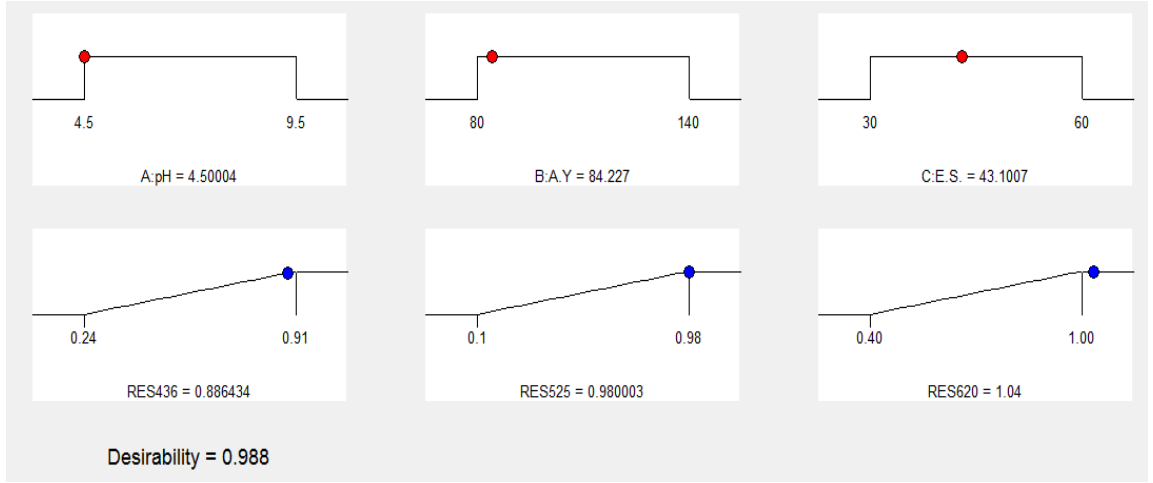
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	0.66	9	0.073	33.10	0.0006
A-pH	0.44	1	0.44	197.34	< 0.0001
B-A.Y	0.017	1	0.017	7.73	0.0389
C-E.S.	2.000E-004	1	2.000E-004	0.090	0.7759
AB	0.026	1	0.026	11.56	0.0193
AC	2.500E-005	1	2.500E-005	0.011	0.9195
BC	6.250E-004	1	6.250E-004	0.28	0.6180
A ²	0.17	1	0.17	78.86	0.0003
B ²	1.131E-003	1	1.131E-003	0.51	0.5069
C ²	3.692E-004	1	3.692E-004	0.17	0.7000
Residual	0.011	5	2.215E-003		
Lack of Fit	0.011	3	3.692E-003		
Pure Error	0.000	2	0.000		
Cor Total	0.67	14			
R-Squared	0.98				
Adj R-Squared	0.95				

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen denklemler Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı renk değerleri için belirlenen denklemler.

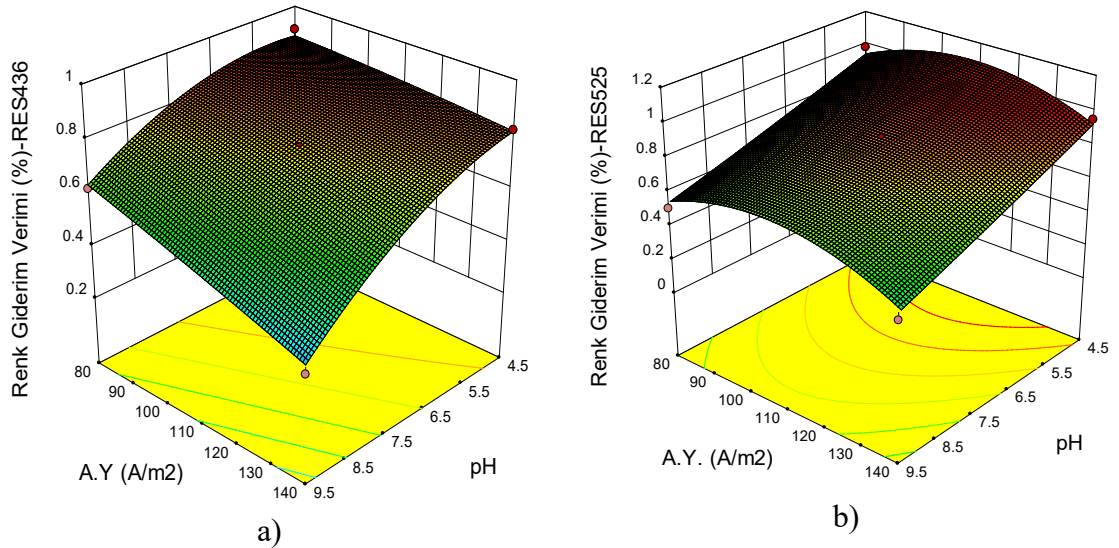
RES436		RES525		RES620	
+0,76		+0,87		+0,98	
-0,18	* A	-0,21	* A	-0,23	* A
-0.083	* B	-0,023	* B	+0,046	* B
-5,000E-003	* C	+0,037	* C	+5,000E-003	* C
-0,047	* AB	-0,015	* AB	+0,080	* AB
+2,500E-003	* AC	-0,030	* AC	-2,500E-003	* AC
+0,072	* BC	+0,16	* BC	-0,013	* BC
-0,081	* A ²	+6,667E-003	* A ²	-0,22	* A ²
-6,250E-003	* B ²	-0,16	* B ²	+0,018	* B ²
-0,26	* C ²	-0,39	* C ²	-0,010	* C ²

Şekil 4.5’de maksimum RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimi için optimum pH değeri 4,50, akım yoğunluğu 84,23 A/m², elektroliz süresi 43 dak. olarak tespit edilmiştir. Optimum koşullarda RES 436 giderim verimi yaklaşık %89, RES 525 giderim verimi yaklaşık %98 ve RES 620 renk giderim verimi >%99.99 olarak belirlenmiştir.



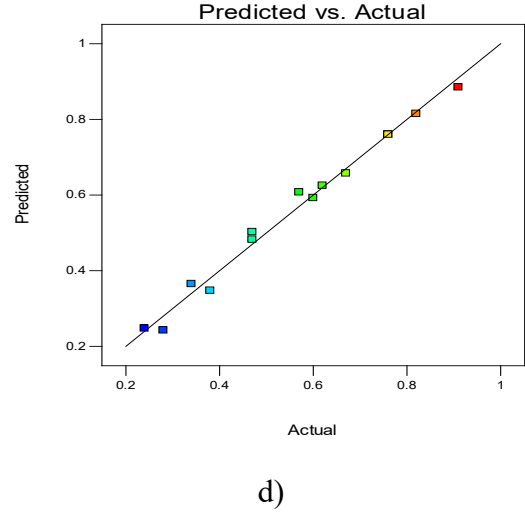
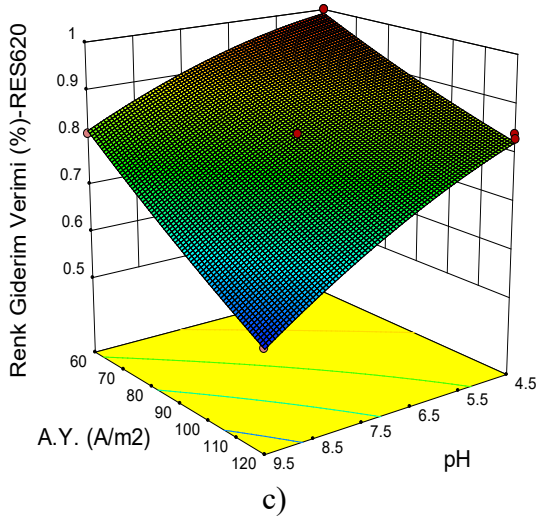
Şekil 4.5. Renk giderim verimlerini maksimize eden optimum değerler.

Şekil 4.6’da RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, pH değerinin tüm renk parametreleri gideriminde etkin olduğu görülmüştür. Akım yoğunluğunun artması bir noktaya kadar RES 525 renk giderim verim artışı ile paralel hareket etmiş yaklaşık 100 A/m² akımdan sonra verim artışı meydana gelmemiştir. RES 436 ve RES 620 renk gideriminde akım yoğunluğunun artması giderim verimini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 4.6. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525

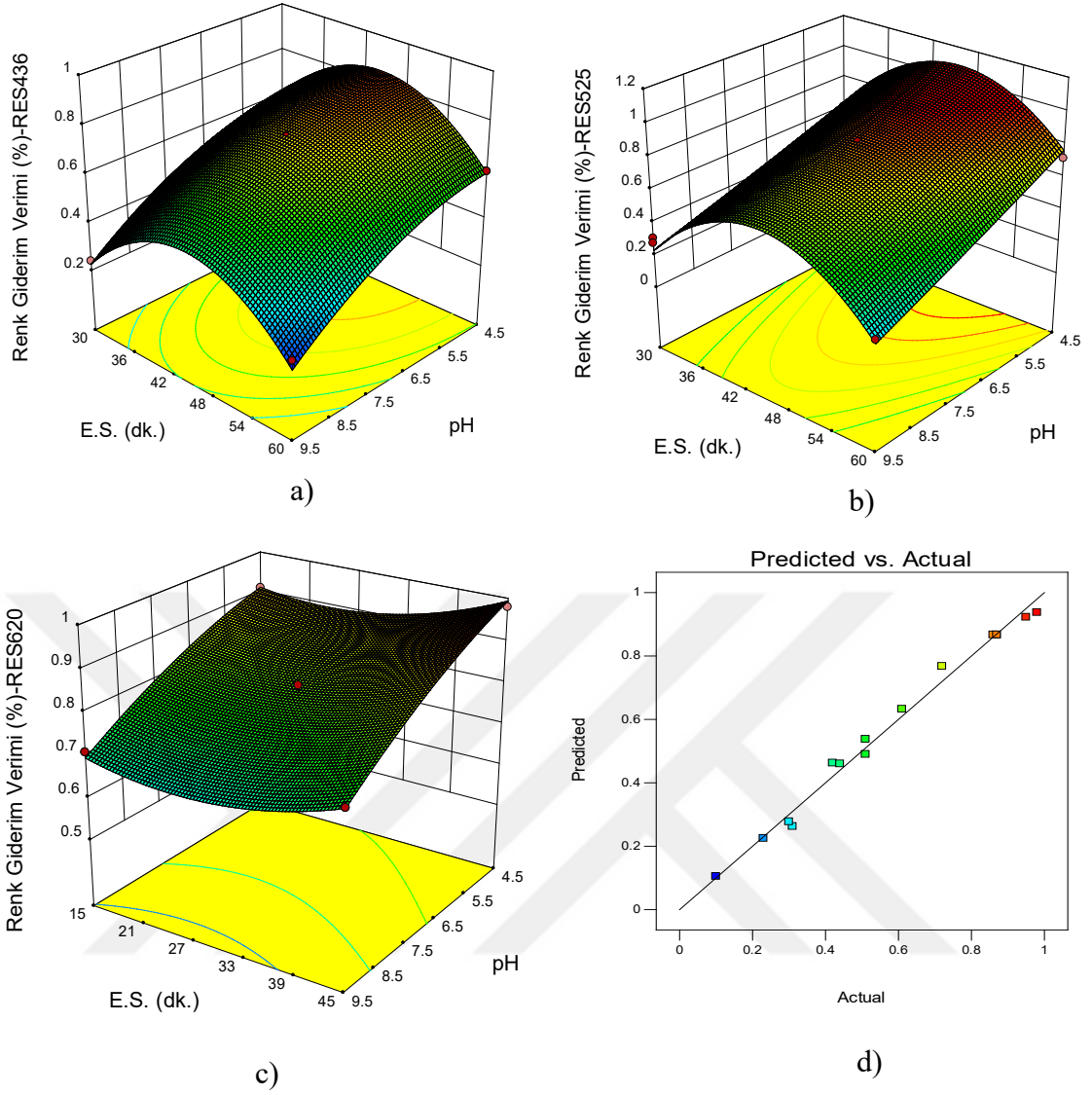
(Elektroliz süresi: 45 dak.).



Şekil 4.6 (devam) Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi c) RES 620
d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Elektroliz Süresi: 45 dak.).

Karasuyun elektrokimyasal yöntemle arıtıldığı çalışmalarda; Titanyum-Platinyum'un anot, paslanmaz çeliğin katot olarak kullanıldığı bir yöntemde, 1 ve 10 saat süre ile elektroliz yapılmış, sırasıyla %41-93 KOİ, %20-80,4 TOK, %50-99,4 toplam fenol giderimi sağlanmıştır [122].

Şekil 4.7'de RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için pH ve elektroliz süresi parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, düşük pH değerlerinde tüm renk parametreleri gideriminde etkin olduğu belirlenmiştir. RES 436, RES 525 renk giderim verimleri elektroliz süresi parametresinin yaklaşık 45 dak. olması durumunda etkin renk giderimi sağladığı görülmüştür. RES 620 renk giderim verimleri üzerinde elektroliz süresi parametresinin önemli bir etki göstermediği tespit edilmiştir.

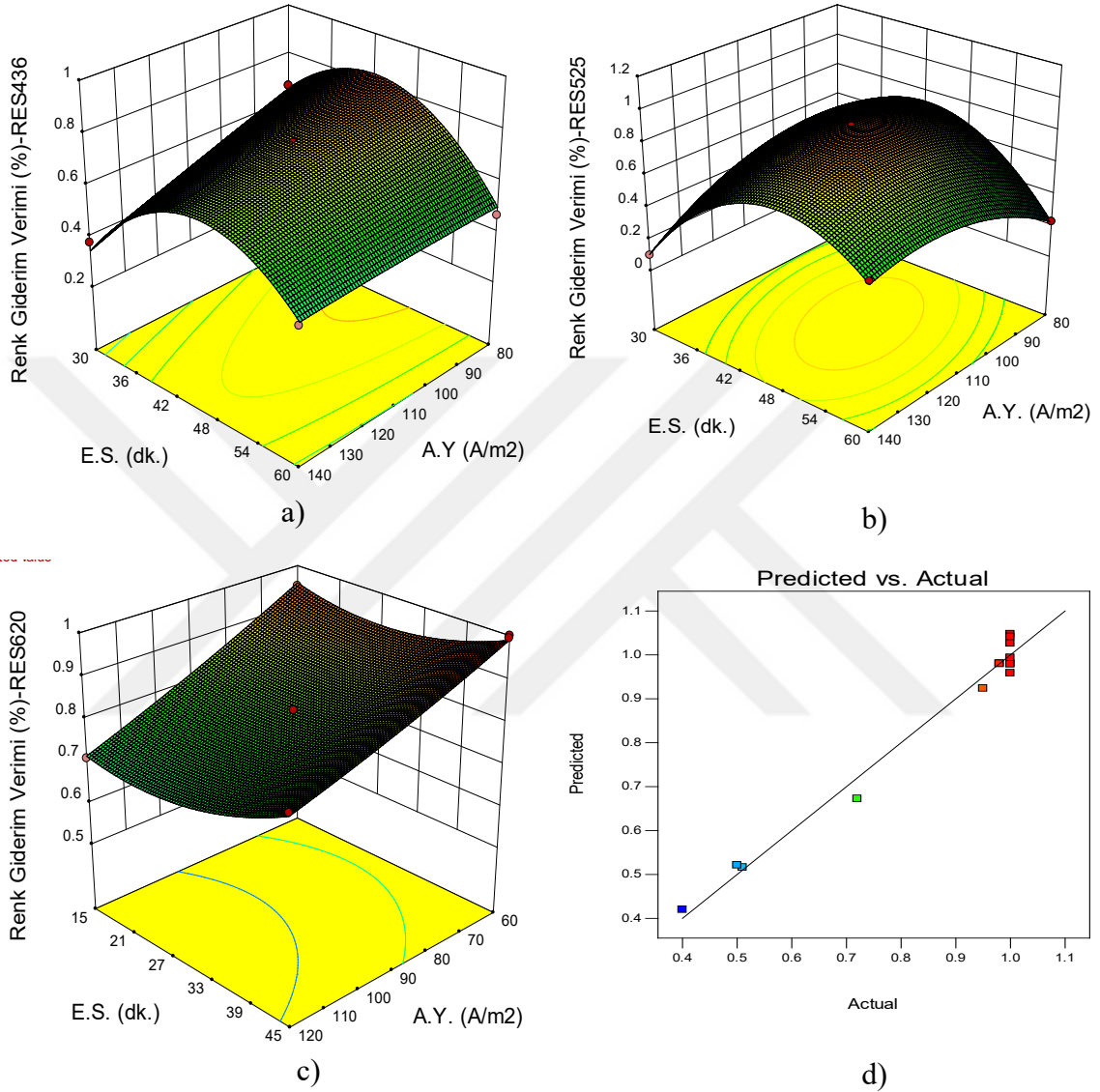


Şekil 4.7. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Akım yoğunluğu: 110 A/m²).

Titanyum elektrodun kullanıldığı tekstil boyarmaddesi içeren atıksularının elektrokimyasal olarak arıtılması üzerine yapılan çalışmada; Optimum koşullarda KOİ, BOİ arıtım veriminin >%80 olarak belirlenmiştir. Özellikle renk giderimi 6 dakikalık elektroliz süresinden sonra yaklaşık %99 olarak tespit edilmiştir. Kimyasal oksidasyon işlemi ile enerji tüketimi doğrusal olarak arttığı, 14 dakikadan sonra düşmeye başladığı tespit edilmiştir [123].

Şekil 4.8'de RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, RES 436 ve RES 525 renk giderim verimleri için akım yoğunluğunun giderim verimi üzerine

etkisi elektroliz süresinden daha azdır. Elektroliz süresinin yaklaşık olarak 45 dak. olduğu değerlerde en yüksek renk giderim verimleri elde edilmiştir. RES 620 renk giderim verimleri için elektroliz süresinin giderim verimi üzerine etkisi olmazken, akım yoğunluğu giderim verimini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 4.8. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde akım yoğunluğu-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (pH: 7).

Titanyum-Tantal-Platinyum-İridyum'un anot olarak kullanıldığı bir çalışmada; Farklı akım yoğunlukları ve süre uygulanmıştır. Deneyin ilk 4 saatinde en yüksek verim 14 voltta elde edilirken, 4-6 saat arası belirgin bir fark oluşmamıştır. Kısa bir işlem süresinden sonra renk ve bulanıklık tamamen giderilirken, 8 saatlik sürede KOİ'de %71 oranında giderim gözlenmiştir [124].

Titanyum ve grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesi ile tekstil endüstrisi atıksuyu arıtımı üzerine yapılan çalışmada; Başlangıçta askıda katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılması amacıyla elektrokoagülasyona tabi tutulmuştur. Grafitin katot, titanyumun ise anot olarak kullanılmış olduğu EO prosesi sonrasında bu prosesin KOİ giderimi üzerine etkili olduğu görülmüştür [120].

4.3. PASLANMAZ ÇELİK ELEKTROTLARIN KULLANILDIĞI ELEKTROOKSİDASYON PROSESİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI

Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi deney sonuçları Çizelge 4.11’de görülmektedir. İletkenlik değeri deney öncesinde 16 mS/cm iken, deneysel çalışmalar sonunda 10,3-14,14 aralığında, TDS değeri deney öncesinde 8 gr/L seviyelerinde iken deneysel çalışmalar sonunda 5,03-7,08 aralığında değişim göstermiştir. Ayrıca potansiyel fark deneysel çalışma boyunca 6,5-10 volt aralığında değişim gösterirken, enerji tüketimi 4,64-42,86 Wsa/m³ aralığında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Paslanmaz çelik elektrot deney sonuçları.

	pH	A.Y.	E.S.	pH	İletkenlik (mS/cm)		Volt (V)	TDS (gr/L)		Giderim Verimleri (%)			Enerji Tüketimi (Wsa)	Enerji Tüketimi (Wsa/m ³)
		A/m2	dak.	Son	İlk	Son		İlk	Son	RES436	RES525	RES620		
1	9,5	90	45	9,6	16	10,3	8	8	5,15	0,34	0,56	0,75	9	25,71
2	4,5	90	45	7,08	16	14	8	8,02	7	0,93	0,94	0,98	9	25,71
3	7	90	30	7,39	16	11,9	9	8,04	5,95	0,45	0,52	0,81	6,75	19,29
4	7	60	45	7,81	16	12	7	8,04	6	0,74	0,82	1	5,25	15
5	7	120	45	9,08	16	10,05	10	8,04	5,03	0,52	0,61	0,82	15	42,86
6	7	120	15	7,83	16	12,38	10	8,04	6,18	0,32	0,38	0,71	5	14,29
7	7	60	15	7,85	16	12,29	6,5	8,04	6,1	0,4	0,47	0,95	1,63	4,64
8	9,5	60	30	9,46	16	12,3	7	8	6,13	0,45	0,75	0,81	3,5	10
9	9,5	120	30	9,23	16	10,7	9	8	5,36	0,25	0,38	0,54	9	25,71
10	7	90	30	7,39	16	11,9	9	8,04	5,95	0,44	0,53	0,8	6,75	19,29
11	7	90	30	7,39	16	11,9	9	8,04	5,95	0,42	0,54	0,83	3,38	9,64
12	9,5	90	15	9,52	16	12,2	8	8	6,1	0,05	0,24	0,71	8	22,86
13	4,5	120	30	6,63	16	13,5	9	8,02	6,75	0,94	0,95	0,84	4,5	12,86
14	4,5	60	30	6,27	16	14,14	8,2	8,02	7,08	0,9	0,91	1	4,1	11,71
15	4,5	90	15	5,93	16	14	8,5	8,02	6,96	0,78	0,91	0,91	3,18	9,11

Paslanmaz çelik ve Ti/Pt elektrotlar kullanılarak EO prosesi ile yapılan çalışmada; Anot olarak Ti/Pt ve katot olarak paslanmaz çelik kullanılmıştır. 40 °C sıcaklıkta, pH 9, akım

yoğunluğu 0.075 A/cm^2 olduğu şartlarda bir saat elektroliz süresi sonunda %89 KOİ giderimi sağlanırken, gerekli olan enerji ihtiyacı 12.4 kWh/kg KOİ olarak hesaplanmıştır [125].

Grafit, paslanmaz çelik ve Pb/PbO₂ elektrotlar kullanılarak EO prosesi ile yapılan çalışmada; EO prosesi grafit ve paslanmaz çelik yüzeyinde doğrudan oksidasyon, Pb/PbO₂ elektrot yüzeyinde ise dolaylı oksidasyon yöntemi ile yapılmıştır. pH, akım yoğunluğu, karıştırma hızı vb. değişkenler ile KOİ giderim verimine bakılmıştır. Doğrudan oksidasyon ile %67, dolaylı oksidasyon ile %77 giderim sağlanmıştır ve her bir kg KOİ için tüketilen enerji miktarı en az Pb/PbO₂ elektrotta meydana gelmiştir [126].

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler RES436 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin maya endüstrisi atıksularından RES 436 renk gideriminde etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 436 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1’e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.12. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 436 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	1.00	9	0.11	67.77	0.0001
A-pH	0.76	1	0.76	460.31	< 0.0001
B-A.Y.	0.026	1	0.026	16.10	0.0102
C-E.S.	0.12	1	0.12	73.05	0.0004
AB	0.014	1	0.014	8.76	0.0315
AC	4.900E-003	1	4.900E-003	2.98	0.1448
BC	4.900E-003	1	4.900E-003	2.98	0.1448
A ²	0.048	1	0.048	29.29	0.0029
B ²	0.026	1	0.026	15.92	0.0104
C ²	2.464E-003	1	2.464E-003	1.50	0.2753

Çizelge 4.12 (devam). Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 436 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Residual	8.217E-003	5	1.643E-003		
Lack of Fit	7.750E-003	3	2.583E-003	11.07	0.0840
Pure Error	4.667E-004	2	2.333E-004		
Cor Total	1.01	14			
R-Squared	0.99				
Adj R-Squared	0.98				

Deneyisel çalışma sonucunda elde edilen RES 525 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.13’de görülmektedir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin maya endüstrisi atıksularından RES 525 renk gideriminde etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 525 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1’e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.13. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 525 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	0.72	9	0.080	20.39	0.0020
A-pH	0.40	1	0.40	100.39	0.0002
B-A.Y.	0.050	1	0.050	12.58	0.0165
C-E.S.	0.11	1	0.11	27.40	0.0034
AB	0.042	1	0.042	10.65	0.0224
AC	0.021	1	0.021	5.33	0.0690
BC	3.600E-003	1	3.600E-003	0.91	0.3833
A ²	0.089	1	0.089	22.49	0.0051
B ²	0.014	1	0.014	3.66	0.1141
C ²	1.869E-003	1	1.869E-003	0.47	0.5219
Residual	0.020	5	3.945E-003		
Lack of Fit	0.020	3	6.508E-003	65.08	0.0152
Pure Error	2.000E-004	2	1.000E-004		
Cor Total	0.74	14			
R-Squared	0.97				
Adj R-Squared	0.93				

Deneyisel çalışma sonucunda elde edilen RES 620 renk parametreleri için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.14’de görülmektedir. ANOVA analizine bakıldığında p değerlerinin $p < 0,05$ olması durumuna göre pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin maya endüstrisi atıksularından RES 620 renk gideriminde etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

Quadratik modele uyumlu olarak belirlenen modelin istatistiksel analiz sonucunda RES 620 renk parametresi için elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1’e yakın olması deney sonuçlarının istatistiksel çıkarımlar ile uyumlu olduğunu ve işlem parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde Box-Behnken istatistiksel tasarımının etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.14. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi RES 620 giderim verimleri için ANOVA analizi.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	0.22	9	0.025	98.90	< 0.0001
A-pH	0.11	1	0.11	426.04	< 0.0001
B-A.Y.	0.090	1	0.090	363.67	< 0.0001
C-E.S.	9.112E-003	1	9.112E-003	36.69	0.0018
AB	3.025E-003	1	3.025E-003	12.18	0.0175
AC	2.250E-004	1	2.250E-004	0.91	0.3849
BC	9.000E-004	1	9.000E-004	3.62	0.1153
A ²	2.156E-003	1	2.156E-003	8.68	0.0320
B ²	2.564E-004	1	2.564E-004	1.03	0.3562
C ²	8.626E-003	1	8.626E-003	34.73	0.0020
Residual	1.242E-003	5	2.483E-004		
Lack of Fit	7.750E-004	3	2.583E-004	1.11	0.5069
Pure Error	4.667E-004	2	2.333E-004		
Cor Total	0.22	14			
R-Squared	0.99				
Adj R-Squared	0.98				

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen denklemler Çizelge 4.15’te verilmiştir.

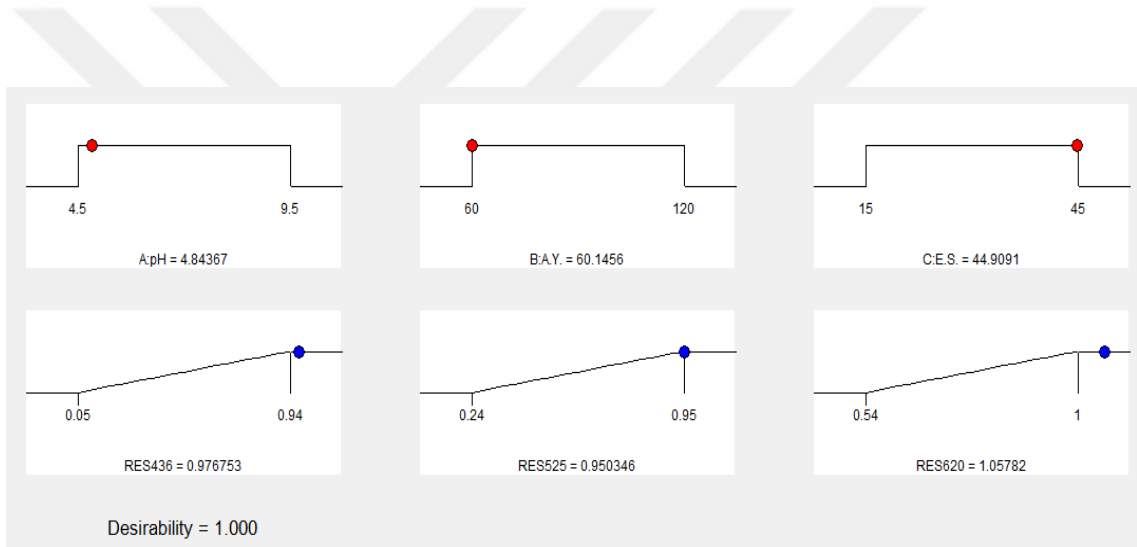
Çizelge 4.15. Farklı renk değerleri için belirlenen denklemler.

RES436		RES525		RES620	
+0,44		+0,53		+0,81	
-0,31	* A	-0,22	* A	-0,11	* A
-0,058	* B	-0,079	* B	-0,11	* B
+0,12	* C	+0,12	* C	+0,034	* C
-0,060	* AB	-0,10	* AB	-0,028	* AB
+0,035	* AC	+0,073	* AC	-7,500E-003	* AC

Çizelge 4.15 (devam). Farklı renk değerleri için belirlenen denklemler.

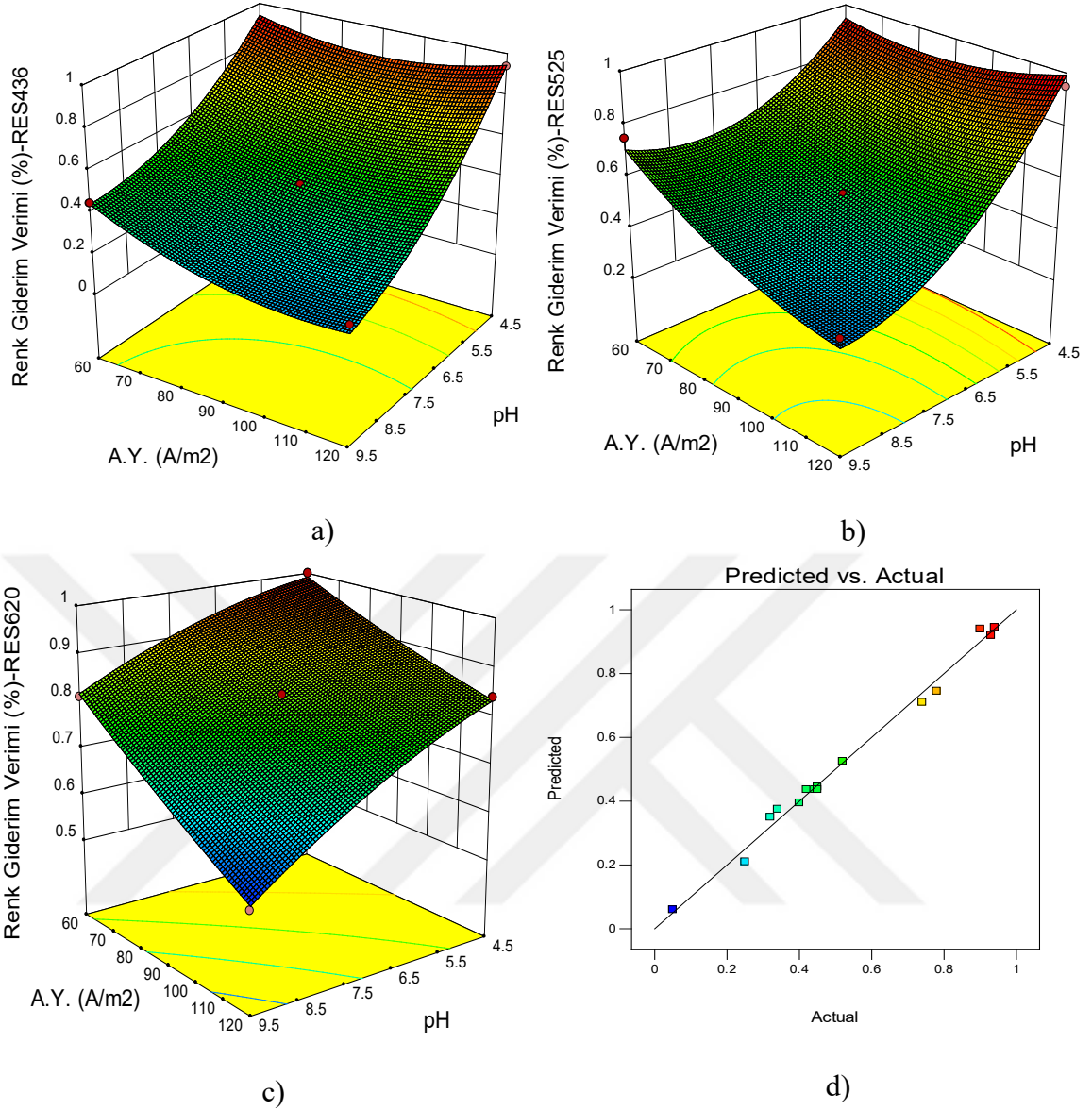
RES436		RES525		RES620	
-0,035	* BC	-0,030	* BC	+0,015	* BC
+0,11	* A ²	+0,16	* A ²	-0,024	* A ²
+0,084	* B ²	+0,062	* B ²	+8,333E-003	* B ²
-0,026	* C ²	-0,023	* C ²	+0,048	* C ²

Şekil 4.9’da maksimum RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimi için optimum pH değeri 4,84, akım yoğunluğu 60,15 A/m², elektroliz süresi 44 dak. olarak tespit edilmiştir. Optimum koşullarda RES 436 giderim verimi yaklaşık %97, RES 525 giderim verimi yaklaşık %95 ve RES 620 renk giderim verimi >%99,99 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Renk giderim verimlerini maksimize eden optimum değerler.

Şekil 4.10’da RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için pH ve akım yoğunluğu parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, pH değerinin tüm renk parametreleri gideriminde etkin olduğu, özellikle pH <5 olması durumunda renk giderim verimleri >%80 olarak tespit edilmiştir. RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için akım yoğunluğu parametrelerinin artması giderim verimini olumsuz etkilemiştir.



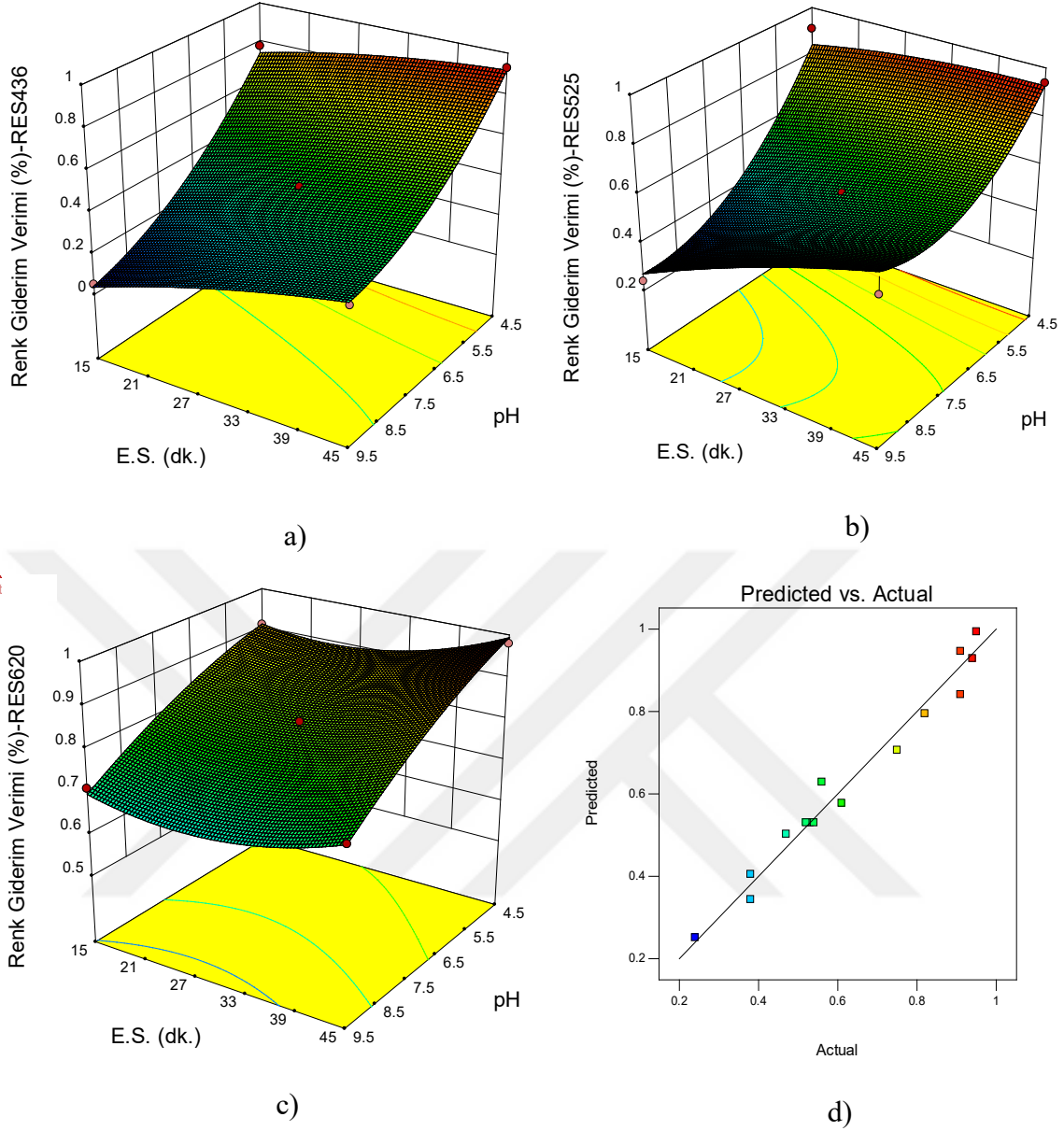
Şekil 4.10. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-akım yoğunluğu parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Elektroliz Süresi: 30 dak.).

Paslanmaz çelik elektrotlar kullanılarak kompleks olarak bağlı metal içeren atıksuların elektrokimyasal prosesi ile çinko ve nikel ile birlikte TOK giderimi üzerine yapılan çalışmada; Elektrokimyasal proses ile çinko ve nikel %100 verimle giderilmiştir. pH'nın TOK giderim verimine etkisi olmazken artan akım yoğunluğu ile TOK giderme veriminin arttığı, daha yüksek akım yoğunluklarında (22,5-56,25 mA/cm² aralığı) ise aynı TOK giderim verimlerine daha kısa sürelerde ulaşıldığı belirlenmiştir. Akım yoğunluğunun 22,5 mA/cm² ve pH 6 olduğu optimum çinko ve nikel tamamen, TOK ise %50 oranında giderilmiştir [127].

Paslanmaz çelik elektrotun katot olarak kullanıldığı ilaç sanayi atıksularının EO proses ile giderimi üzerine yapılan çalışmada; Anodik oksidasyon için üç farklı karışık metal oksit (Ti/IrO₂-Ru, Ti/Ru, Ti/IrO₂-Ru (EC 300)) ve bor katkılı elmas elektrotlar kullanılmıştır. pH 7 de gerçekleştirilen çalışmada kanser ilaçları (MTX, CPC ve IOX) arıtım verimleri karışık metal oksit ve bor katkılı elmas elektrotlar için sırasıyla (%56,8, %35,4 ve %52), (%86,1, %99,0 ve %53,4) şeklinde çıkmıştır. Bu yöntemin ilaç sanayi atıksularının arıtımında kullanılabilir bir arıtma tekniği olduğu sonucuna varılmıştır [128].

Çeliğin katot olarak, alüminyum ve demirin anot olarak kullanıldığı bir elektrokimyasal proseste tekstil endüstrisinde kullanılan boyar madde bulunan numuneden renk giderimi üzerine yapılan çalışmada; pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi gibi değişken parametrelerin renk giderim verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Akım yoğunluğu 2,5 mA/cm² olduğunda renk giderimi %20 iken, akım yoğunluğu 12,5 mA/cm² olduğunda renk giderimi %98 olarak gerçekleşmiştir. Bu proses için optimum akım yoğunluğu 11,25 mA/cm² olarak belirlenmiştir. pH'ın <2 olması durumunda en düşük giderim verimi elde edilmiştir. 5-9 arası renk giderim veriminde bir değişiklik olmazken, pH 9 dan sonra giderim verimi artmıştır [129].

Şekil 4.11'de RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için pH ve elektroliz süresi parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, düşük pH değerlerinde tüm renk parametreleri gideriminde etkin olduğu, özellikle pH<5 olması durumunda %80 renk giderim verimi elde edildiği belirlenmiştir. RES 436 ve RES 525 renk giderim verimleri için elektroliz süresi parametresinin artışı ile giderim veriminin arttığı, RES 620 renk giderim verimleri için 40 dak. kadar durağan devam ettiği 40 dak. sonra artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

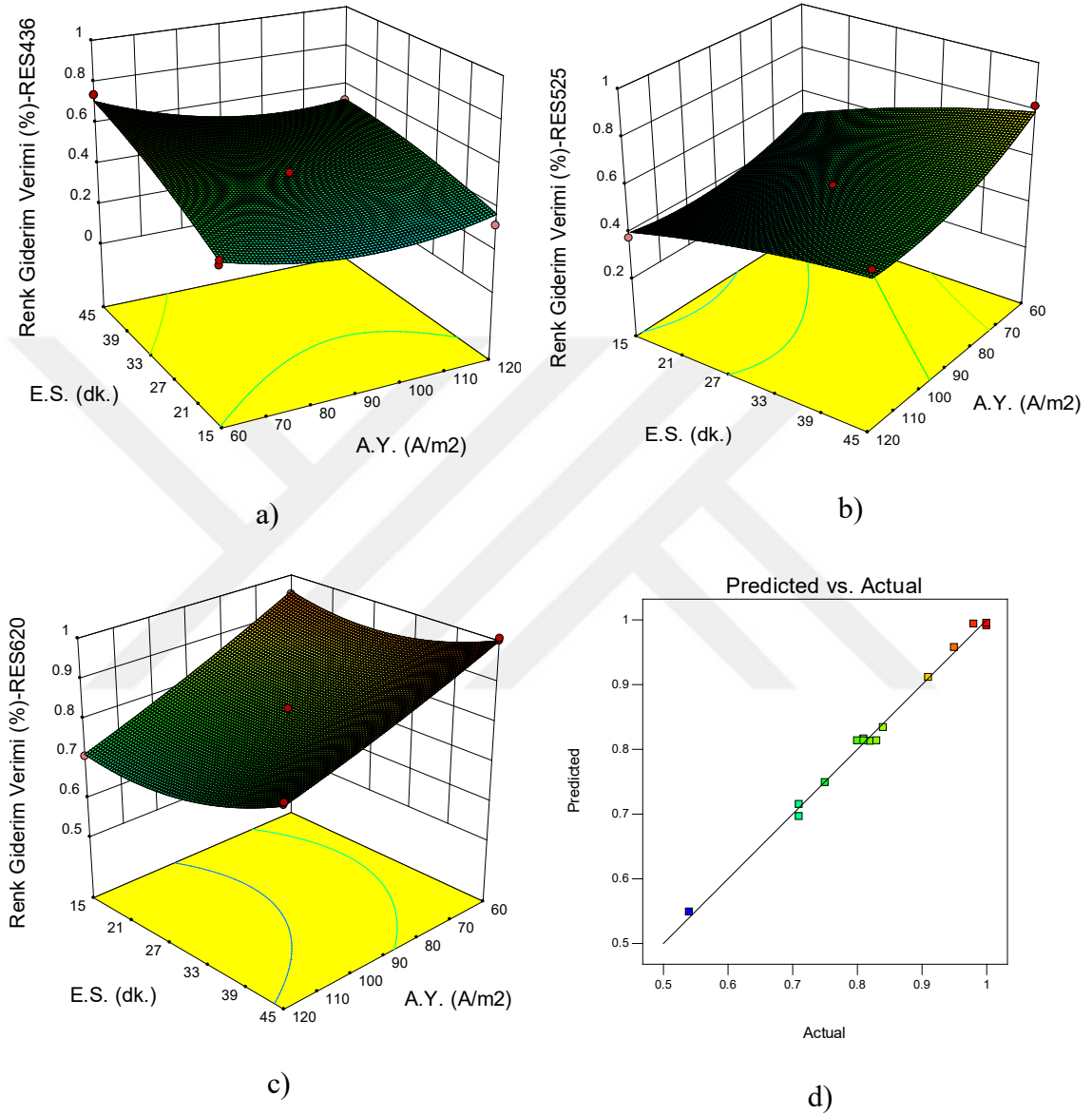


Şekil 4.11. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde pH-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (Akım yoğunluğu: 90 A/m²).

Paslanmaz çelik elektrotlar kullanılarak asit boya banyosu atıksularının elektrokimyasal prosesler ile arıtılması üzerine yapılan çalışmada; Optimum koşullar NaCl konsantrasyonu 3000 mg/L, akım miktarı 10 amper ve başlangıç pH'sı 7,5 olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda renk giderim verimi %100, KOİ giderim verimi %51 olarak bulunmuştur [130].

Şekil 4.12'de RES 436, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin etkisi görülmektedir. Buna göre, RES

436 renk giderim verimleri için akım yoğunluğunun etkisi olmazken, RES 525 ve RES 620 renk giderim verimleri için akım yoğunluğunun artması giderim verimlerini olumsuz etkilemiştir. Elektroliz süresinin tüm renk parametreleri için önemli olduğu özellikle 30 dak. ve sonrasında $< \%70$ renk giderim verimleri elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde akım yoğunluğu-elektroliz süresi parametrelerinin renk giderim verimine etkisi a) RES 436 b) RES 525 c) RES 620 d) Gerçek/Tahminlenen veriler (pH: 7).

Çelik elektrotların kullanıldığı bir elektro-prosesten sentetik olarak hazırlanmış numuneden KOİ ve renk giderimi üzerine yapılan çalışmada; Akım yoğunluğunun 16,1 mA/cm² olması durumunda 15 dak. sonunda %97 renk giderimi sağlanmıştır. Aynı

akım yoğunluğunda 5 dak. sonunda KOİ giderimi >%78 olarak görülmüştür [131].

Paslanmaz çelik elektrotun da kullanıldığı elektrokimyasal proses ile boyar madde giderimi üzerine yapılan çalışmada; pH, akım yoğunluğu, başlangıç boya konsantrasyonu vb. değişken parametrelerin giderme verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada KOİ değerleri 500-600 mg/L ve 1400-1550 mg/L olan reaktif boyarmadde ile dispers boyarmadde numuneleri kullanılmıştır. pH'nın giderme verimi üzerine etkisi belirlenmiş olup, optimum pH değeri 4-9 arasında bulunmuştur. pH 9'a yaklaştıkça giderim veriminde azalma, pH 12 seviyelerinde giderim veriminde düşüş meydana gelmiştir [132].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi ile maya endüstrisi atıksularından RES 436, RES 525, RES 620 renk giderimi ve prosesin optimizasyonu” konulu tez kapsamında elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır.

- Grafit elektrotların kullanıldığı kesikli olarak işletilen EO prosesinde RES 436, RES 525, RES 620 renk giderimi için optimum pH 4,57, akım yoğunluğu 139,84 A/m², elektroliz süresi 58 dak. olarak belirlenmiştir. Optimum şartlar altında RES 436, RES 525, RES 620 renk giderim verimleri sırasıyla %97, %99,99, %99,99 olarak tespit edilmiştir. Grafit elektrotlar için enerji tüketimi 30-117,86 kWsa/m³ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.
- Titanyum elektrotların kullanıldığı kesikli olarak işletilen EO prosesinde RES 436, RES 525, RES 620 renk giderimi için optimum pH 4,5, akım yoğunluğu 84,23 A/m², elektroliz süresi 43 dak. olarak belirlenmiştir. Optimum şartlar altında RES 436, RES 525, RES 620 renk giderim verimleri sırasıyla %89, %98, %99,99 olarak tespit edilmiştir. Titanyum elektrotlar için enerji tüketimi 34,2-122,2 kWsa/m³ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.
- Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı kesikli olarak işletilen EO prosesinde RES 436, RES 525, RES 620 renk giderimi için optimum pH 4,84, akım yoğunluğu 60,15 A/m², elektroliz süresi 45 dak. olarak belirlenmiştir. Optimum şartlar altında RES 436, RES 525, RES 620 renk giderim verimleri sırasıyla %98, %95, %99,99 olarak tespit edilmiştir. Paslanmaz çelik elektrotlar için enerji tüketimi 4,64-42,86 kWsa/m³ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.
- Deneysel çalışmalarda optimum bağımsız değişkenlerin tespiti amacı ile yüzey yanıt metotlarından biri olan Box-Behnken istatistiksel modeli kullanılmıştır. Grafit elektrotların kullanıldığı EO prosesinde, RES 436, RES 525, RES 620 renk giderimi verimi için analiz sonucunda elde edilen R^2 - R^2_{adj} değerleri sırasıyla, 0,94-0,83, 0,92-0,76, 0,95-0,85 olarak tespit edilmiştir. Titanyum elektrotların kullanıldığı EO prosesinde, RES 436, RES 525, RES 620 renk giderimi verimi için analiz sonucunda

elde edilen R^2 - R^2_{adj} değerleri sırasıyla, 0,99-0,97, 0,99-0,97, 0,98-0,95 olarak tespit edilmiştir. Paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinde, RES 436, RES 525, RES 620 renk giderimi verimi için analiz sonucunda elde edilen R^2 - R^2_{adj} değerleri sırasıyla, 0,99-0,98, 0,97-0,93, 0,99-0,98 olarak tespit edilmiştir. Sonuçlarda, R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin 1'e yakın olması, renk giderim veriminin Box-Behnken istatistiksel modeli ile açıklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

- Grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinin renk gideriminde oldukça etkin olduğu belirlenmiştir. Optimizasyon verilerine bakıldığında bütün elektrot türleri için pH değerleri 4,5-5 arasında tespit edilmiştir. Titanyum ve paslanmaz çelik elektrot türleri için optimum elektroliz süresi 43-45 dak. iken, grafit elektrot için bu değer 58 dak. olarak belirlenmiştir. Grafit elektrodu kullanımında atıksudaki renk giderimi için gerekli süre diğer elektrot türlerine göre yaklaşık %35 daha fazladır. Akım yoğunluğu değerlerine bakıldığında grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotlar için sırasıyla, 139,84 A/m², 84,23 A/m² ve 60,15 A/m² olarak belirlenmiştir. Akım yoğunluklarına bağlı olarak prosesin enerji tüketimleri ise sırasıyla, 30-117,86 kWsa/m³, 34,2-122,2 kWsa/m³ ve 4,64-42,86 kWsa/m³'tür. Aynı giderim verimleri için paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesi diğer elektrot türlerine oranla 1/3'ü kadar enerji tüketmektedir. Enerji tüketimi ve dolayısıyla enerji maliyeti açısından paslanmaz çelik elektrodun kullanımının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Temel değerlendirmeler ışığında;

- Grafit, titanyum ve paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı EO prosesinin maya endüstrisi atıksularından renk gideriminde etkin bir proses olduğu, prosesi etkileyen parametrelerin optimizasyonunda Box-Behnken istatistiksel modelinin uygun olduğu, ham atıksuların arıtılmasında ve/veya çıkış sularındaki renk parametresinin modellenmesinde uygulanabileceği düşünülmektedir.

- Çalışmada kullanılan atıksu maya üretimi yapan işletmenin arıtma tesisi çıkış numunesinden alınmıştır. İşletmenin uygulamış olduğu arıtma prosesinden çıkan atıksular, deşarj limitlerine uygun olarak alıcı ortama verilmektedir. Bu çalışmada, işletmenin deşarj ettiği arıtılmış atıksuyun işletmenin çeşitli proseslerinde tekrar kullanılabilirliği açısından elde edilen sonuçlar önemlidir. Elde edilen sonuçlar bazında arıtılan atıksu renk parametresi bakımından işletmede tekrar kullanılabilir niteliktedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] C. Blöcher, M. Noronha, L. Fiinfrocken, J. Dorda, V. Mavrov, H. D. Janke and H. Chmiel, “Recycling of spent process water in the food industry by an integrated process of biological treatment and membrane separation”, *Desalination*, sayı 144, ss. 143-150, 2002.
- [2] M. Ghimpusan, G. Nechifor, C. A. Nechifor, O. S. Dima and P. Passeri, “Case studies on the physical-chemical parameters' variation during three different purification approaches destined to treat wastewaters from food industry”, *Journal of Environmental Management*, sayı 203, ss. 811-816, 2017.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu. (2019, 2 Temmuz). *Türkiye’de üretilen maya istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu
Erişim:<https://biruni.tuik.gov.tr/sanayidagitimapp/sanayiuretim.zul>
- [4] T. Ünal, “Ekmek mayası endüstrisi seperasyon prosesi atıksularında ozon ve ozon/hidrojen peroksit oksidasyonu ile renk giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [5] Rekabet Kurulu Başkanlığı. (2019, 2 Temmuz). 15/12/2014 tarihli *Rekabet Kurulu Kararı*. Rekabet Kurulu Başkanlığı.
Erişim:<http://www.rekabet.gov.tr/Filepath=ROOT%2f1%2fDocuments%2fGerek%c3%a7eli+Kurul+Karar%c4%b1%2f14-52-903-411>.
- [6] G. Balcıoğlu and B. Z. Gönder, “Baker’s yeast wastewater advanced treatment using ozonation and andmembrane process for irrigation reuse”, *Process Safety and Environmental Protection*, sayı 117, ss. 43-50, 2018.
- [7] A. Pala and G. Erden, “Decolorization of a baker’s yeast industry effluent by Fenton oxidation”, *Journal of Hazardous Materials*, sayı B127, ss. 141-148, 2005.
- [8] R. K. Dereli, H. Özgün, M. E. Erşahin, İ. Koyuncu, M. Altınbaş ve İ. Öztürk, “Evaporasyon prosesinin maya endüstrisi atıksu karakterizasyonu ve arıtılabilirliğine etkisi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 19, sayı 56, 2017.
- [9] M. Altınbaş, A. F. Aydın , M. F. Sevimli and İ. Öztürk, “Advanced oxidation of biologically retreated baker's yeast industry effluents for high recalcitrant cod and color removal”, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, ss. 2229-2240, 2003.
- [10] M. Coca, M. Pena and G. Gonzalez,” Chemical Oxidation Processes for Decolorization of Brown-Colored Molasses Wastewater”, *Science and Engineering*, ss. 365-369, 2005.
- [11] M. Çalışır, “Ardışık kesikli aktif çamur sisteminde arıtılmış sentetik tekstil terbiyesi atık sularında renk giderimi ve ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi,

Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2010.

- [12] E. Gürtekin and N. Şekerdağ, “Color removal from textile wastewater with fenton process”, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 26, sayı 3, 2008.
- [13] S.H. Mutlu, U. Yetiş, T. Gürkan and L. Yılmaz, “Decolorization of wastewater of a baker’s yeast plant by membrane processes”, *Water Research*, 36 ss. 609-616, 2002.
- [14] M. Pena , M. Coca, G. Gonzalez, R. Rioja and M.T. Garcia, “Chemical oxidation of wastewater from molasses fermentation with ozone”, *Chemosphere* 51, ss. 893-900, 2003.
- [15] E. Ç. Çatalkaya and F. Şengül,”Application of Box–Wilson experimental design method for the photodegradation of bakery’s yeast industry with UV/H₂O₂ and UV/H₂O₂/Fe(II) process”, *Journal of Hazardous Materials*, B128, ss. 201-207, 2006.
- [16] S. Apollo, M. S. Onyango and A. Ochieng, “An integrated anaerobic digestion and UV photocatalytic treatment of distillery wastewater”, *Journal of Hazardous Materials*, 261, ss. 435-442, 2013.
- [17] S. Kul, “Zeytin karasuyunun elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımının incelenmesi”, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2015.
- [18] A.Garcia, V. M. Miranda, I. G. M. Cienfuegos, P. T. A. Sanchez, M. C. Juarez and I. L. Hernandez, “Industrial wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes powered by solar cells”, *Fuel*, 149, ss. 46–54, 2015.
- [19] E. T. Yazıcı, “Iohexol’ün elektrooksidasyon yöntemi ile parçalanması ve işletme parametrelerinin etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Türkiye, 2017.
- [20] M. Sathish and R. P. Viswanath, “Electrochemical degradation of aqueous phenols using graphite electrode in a divided electrolytic cell”, *Korean Journal of Chemical Engineering*, c. 22, sayı 3, ss. 358-363, 2005.
- [21] S. Sundarapandiyan, R. Chandrasekar, B. Ramanaiah, S. Krishnan and P. Saravanan, “Electrochemical oxidation and reuse of tannery saline wastewater”, *Journal of Hazardous Materials*, c. 180, sayı 1, ss. 197-203, 2010.
- [22] J. R. Dominguez, T. Gonzalez, P. Palo and J. S. Martin, “Anodic oxidation of ketoprofen on boron-doped diamond (BDD) electrodes. Role of operative parameters”, *Journal of Hazardous Materials*, 180, ss. 197–203, 2010.
- [23] A. Anglada, A. Urtiaga, I. Ortiz, D. Mantzavinos, and E. Diamadopoulos, “Boron-doped diamond anodic treatment of landfill leachate: evaluation of operating variables and formation of oxidation by-products”, *Water Research*, c. 45, sayı 2, ss. 828-838, 2011.
- [24] W. Kong, B. Wang, H. Ma, and L. Gu, “Electrochemical treatment of anionic surfactants in synthetic wastewater with three-dimensional electrodes”, *Journal of Hazardous Materials*, c. 137, sayı 3, ss. 1532-1537, 2006.

- [25] I.D. Santos, J.C. Afonso and A.J.B. Dutra, "Behavior of a Ti/RuO₂ anode in concentrated chloride medium for phenol and their chlorinated intermediates electrooxidation", *Separation and Purification Technology*, 76, ss. 151–157, 2010.
- [26] D. Fino, C. C. Jara, G. Saracco, V. Specchia and P. Spinelli, "Deactivation and regeneration of Pt anodes for the electro-oxidation of phenol", *Journal of Applied Electrochemistry*, c. 35, sayı 4, ss. 405-411, 2005.
- [27] E. A. Carbonio, R. Nagao, E. R. Gonzalez and H. Varela, "Temperature effects on the oscillatory electro-oxidation of methanol on platinum", *Physical Chemistry Chemical Physics*, c. 11, sayı 4, ss. 665-670, 2009.
- [28] O.T. Can, E. Gengec and M. Kobya, "TOC and COD removal from instant coffee and coffee products production wastewater by chemical coagulation assisted electrooxidation", *Journal of Water Process Engineering* 28, ss. 28–35, 2019.
- [29] S. Sharma and H. Simsek, "Treatment of canola-oil refinery effluent using electrochemical methods: A comparison between combined electrocoagulation electrooxidation and electrochemical peroxidation methods", *Chemosphere* 221, ss. 630-639, 2019.
- [30] J.A. Barrios, E. Becerril, C. De León, C. Barrera-Diaz and B. Jimenez, "Electrooxidation treatment for removal of emerging pollutants in wastewater sludge", *Fuel*, 149, ss. 26-33, 2015.
- [31] B. A. Fil, "Antep fıstığı işleme atıksularının elektrokoksiasyon yöntemiyle arıtılması", Doktora tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2014.
- [32] Ü. Pak, "Ekmek mayası endüstrisi seperasyon prosesi atıksularında membran prosesler ile renk giderimi", Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [33] Türkiye İstatistik Kurumu. (2019, 2 Temmuz). *Türkiye'nin maya ve kabartma tozlarında yıllara göre ithalat/ihracat değerleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. Erişim:<https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/disticaret.zul>
- [34] C. Stone, "Yeast Products in the Feed Industry", *Diamond V Mills, Inc. Cedar Rapids*, Iowa, ss. 3-15, 1998.
- [35] D. Safriet, "U.S. Environmental Protection Agency", *Yeast Production* 4601-08, ss. 1-35, 1994.
- [36] E. Yılmaz, "Maya endüstrisi atıksuyunun ses ötesi dalgalarla arıtılması", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye, 2014.
- [37] Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, "Sanayide temiz üretim olanaklarının ve uygulanabilirliğinin belirlenmesi projesi", 5168B01, Kocaeli, 2016.
- [38] M. Türker, S. Karadağ, Y. Işık ve İ. Ertan, "Maya endüstrisi koku problemi ve çözümleri: Pakmaya deneyimi", 6. *Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2015.
- [39] N. Bilgiçli, "Melaslı besin ortamında ekmek mayası üretim parametrelerinin tespiti ve sıvı mayanın likid ferment sistemi ile ekmek yapımında kullanılma imkanları",

- Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2000.
- [40] F. Özçelik, Ekmek mayası üretimi, *Ders Notları*, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [41] M. Kobya and S. Delipinar, “Treatment of the baker’s yeast wastewater by electrocoagulation”, *Journal of Hazardous Materials*, 154, ss. 1133–1140, 2008.
- [42] M. Ghimpuşan, G. Nechifor, A. C. Nechifor, S. O. Dima and P. Passeri, “Case studies on the physical-chemical parameters' variation during three different purification approaches destined to treat wastewaters from food industry”, *Journal of Environmental Management*, 203, ss. 811-816, 2017.
- [43] B. Vardar, “Tekstil endüstrisi reaktif boya banyolarının elektrokimyasal yöntemler ile arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [44] E. C. Arargüç, “Atık aktif çamurun elektrooksidasyon yöntemi ile ön arıtımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2018.
- [45] F. Özyonar ve B. Karagözoğlu, “Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil sanayi atıksuyunun arıtımı”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 28, sayı 1, ss. 29-37, 2012.
- [46] O. Tünay, E. Metin, I. Kabdaşlı ve T. Ölmez-Hancı, “Elektrokoagülasyon prosesi ile üretilen arıtma çamurlarının reaktif boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanılabilirliği”, *İtüdergisi/su kirlenmesi kontrolü* c. 20, sayı 1, ss. 49-56, 2010.
- [47] Ü. Özkan, “Tekstil endüstrisi proses suyu hazırlanmasında membran proseslerin uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [48] B. B. Kayacan, “Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının membran proseslerle geri kazanımının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [49] L. Gürel ve H. Büyükgüngör, “Atıksu arıtımında membran biyoreaktörler”, *İtüdergisi/su kirlenmesi kontrolü* c. 21, sayı 1, ss. 13-23, 2011.
- [50] O. Çınar, H. Hasar and C. Kinaci, “Modeling of submerged membrane bioreactor treating cheese whey wastewater by artificial neural network”, *Journal of Biotechnology*, 123, ss. 204–209, 2006.
- [51] G. Çapar, Ü. Yetiş ve L. Yılmaz, “Halı boyama atıksularının membran prosesleri ile arıtımı”, *Su kirlenmesi kontrolü dergisi*, c. 14, sayı 2 ss. 9-15, 2004.
- [52] E. Gürtekin ve N. Şekerdag, “Bir ileri oksidasyon prosesi: fenton prosesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 14, sayı 3 ss. 229-236, 2008.
- [53] G. D. Değermenci, Y. K. Bayhan ve N. Değermenci, “Yüksek Organik Madde İçeren Endüstriyel Bir Atıksuyun Fenton Prosesi ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması”, *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, c. 4, sayı 2, ss. 17-22, 2014.
- [54] A. Birgül ve S. K. Akal Solmaz, “Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde ileri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması”, *Ekoloji*, c. 15, sayı 62, ss. 72-80, 2007.

- [55] S. Yılmaz, “Metal kaplama endüstrisi atıksularının fenton oksidasyonu ile arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2008.
- [56] N. Klidi, F. Proietto, F. Vicari, A. Galia, S. Ammar, A. Gadri and O. Scialdone, “Electrochemical treatment of paper mill wastewater by electro-Fenton Process”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 841, ss. 166-171, 2019.
- [57] J. M. Ramos, N. M. Pereira-Queiroz, D. H.S. Santos, J. R. Nascimento, C. M. Carvalho, J. Tonholo and C. L.P.S. Zanta, “Printing ink effluent remediation: A comparison between electrochemical and Fenton treatments”, *Journal of Water Process Engineering*, 31, 100803, 2019.
- [58] K. Ulucan and U. Kurt, “Comparative study of electrochemical wastewater treatment processes for bilge water as oily wastewater: A kinetic approach”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 747, ss.104–111, 2015.
- [59] E. Oğuz ve Z. Çelik, “Suların ozonlanmasındaki gelişmeler”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı 3 ss. 367-372, 2001.
- [60] T. Ölmez, O. Tünay ve D. Bahnemann, “Çoklu substrat sistemlerinde bentazonun ozon oksidasyonu ile giderim mekanizmasının incelenmesi”, *İtüdergisi/su kirlenmesi kontrolü*, c. 16, sayı 1-3, ss.103-114, 2006.
- [61] M. Pena, M. Coca, G. Gonzalez, R. Rioja and M.T. Garcia, “Chemical oxidation of wastewater from molasses fermentation with ozone”, *Chemosphere*, 51, ss.893-900, 2003.
- [62] T. Ölmez, I. Kabdaşlı ve O. Tünay, “Reaktif boya banyolarında kullanılan iyon tutucuların yüksek pH’da ozon oksidasyonu ile renk giderimi üzerine etkisi”, *İtüdergisi/su kirlenmesi kontrolü*, c. 16, sayı 1-3, ss. 67-75, 2006.
- [63] M. Coca, M. Pena and G. Gonzalez,” Variables affecting efficiency of molasses fermentation wastewater ozonation”, *Chemosphere*, 60, ss. 1408-1415, 2005.
- [64] D. Ildırar, “Maya endüstrisi atıksuyunun ultrases ile koyu renginin giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye, 2014.
- [65] Ö. Gökkuş, “Tıbbi atık sterilizasyon tesisi atıksuyunun elektrokimyasal metotlarla arıtımı”, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2014.
- [66] Z. Eren, “Su kaynaklarındaki ilaç kalıntılarının ileri oksidasyon yöntemleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi”, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 6, sayı 3, ss. 153-163, 2018.
- [67] M. Muruganandham and M. Swaminathan, “Photochemical oxidation of reactive azo dye with UV–H₂O₂ process”, *Dyes and Pigments*, 62, ss. 269-275, 2004.
- [68] V. K. Sharma, T. M. Triantis, M. G. Antoniou, X. He, M. Pelaez, C. Han, W. Song, K. E. O’Shea, A. A. Cruz, T. Kaloudis, A. Hiskia and D. D. Dionysiou, “Destruction of microcystins by conventional and advanced oxidation processes:A review”, *Separation and Purification Technology*, 91, ss. 3-17, 2012.
- [69] E. Özcan, “Fotolitik oksidasyon ve fotolitik peroksidasyon ile bazı organik ve inorganik kirleticilerin parçalanmasında uv-a ve uv-c ışınlarının kıyaslanması”,

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.

- [70] J. O. Haolata, A. George, M. I. Suleimanb, M. Berthodb and K. Wanga, “UV-TiO₂ treatment of the cooling water of an oil refinery”, *Journal of Water Process Engineering* 26, ss. 176–181, 2018.
- [71] S. Apollo, M. S. Onyango and A. Ochieng, “An integrated anaerobic digestion and UV photocatalytic treatment of distillery wastewater”, *Journal of Hazardous Materials* 261, ss. 435– 442, 2013.
- [72] J. Rodriguez-Chueca, C. Gariía-Cnñibanoa, R.-J. Lepistö, A. Encinas, J. Pellinen and J. Marugan, “Intensification of uv-c tertiary treatment: disinfection and removal of micropollutants by sulfate radical based advanced oxidation processes”, *Journal of Hazardous Materials* 372, ss. 94-102, 2019.
- [73] F. İlhan, U. Kurt, Ö. Apaydın, E. Arslankaya ve M. T Gönüllü, “Elektrokimyasal arıtım ve uygulamaları: katı atık sızıntı suyu çalışması”, *AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, 2007.
- [74] U. Kurt, “Fenton ve elektrokimyasalyöntemlerle evsel atıksuların arıtılabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [75] J. Tang, C. Zhang, X. Shi, J. Sun and J. A. Cunningham, “Municipal wastewater treatment plants coupled with electrochemical, biological and bio-electrochemical technologies: Opportunities and challenge toward energy self-sufficiency”, *Journal of Environmental Management*, 234, ss. 396-403, 2019.
- [76] G. Chen, “Electrochemical technologies in wastewater treatment”, *Separation and Purification Technology*, 38, ss. 11-41, 2004.
- [77] S. Periyasamy and M. Muthuchamy, “Electrochemical oxidation of paracetamol in water by graphite anode: Effect of pH, electrolyte concentration and current density”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, ss. 7358-7367, 2018.
- [78] A. Alejandre, F. Medina, P. Salagre, A. Fabregat and J.E. Sueiras, “Characterization and activity of copper and nickel catalysts for the oxidation of phenol aqueous solutions”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 18, ss. 307-315, 1998.
- [79] B. O. Unal, N. Dizge, A. Karagunduz and B. Keskinler, “Combined electrocoagulation and electrooxidation process in electro membrane bioreactor to improve membrane filtration effectiveness”, *Bioresource Technology Reports*, 7, 100237, 2019.
- [80] C. Akarsu, “Elektrokimyasal proses kullanılarak kentsel ve yüksek organik içerikli atıksuların arıtılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2014.
- [81] I. Troster, L. Schafer and M. Fryda, “Recent developments in production and application of DiaChem-electrodes for wastewater treatment”, *New Diam, Front. C. Technol*, c. 12, sayı 2, ss. 89-97, 2002.
- [82] G. M. Swain, B.A.B. Anderson and J.C. Angus, “Applications of diamond thin films in electrochemistry”, *MRS Bull*, c. 23, sayı 9, ss. 56-60, 1998.

- [83] R. Mraz and J. Krysa, "Long service life $\text{IrO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ electrodes for electroflotation", *J. Appl. Electrochem*, 24, ss. 1262-1266, 1994.
- [84] J. Feng and D.C. Johnson, "Electrocatalysis of anodic oxygentransfer reaction: titanium substrates for pure and doped lead dioxide films", *J. Electrochem. Soc.* 138, ss. 3329-3337, 1991.
- [85] B. Correa-Lozano, Ch. Comninellis and A.D. Battisti, "Preparation of $\text{SnO}_2\text{--Sb}_2\text{O}_5$ films by the spray pyrolysis technique", *J. Appl. Electrochem*, 26, ss. 83-89, 1996.
- [86] J. R. Smith and F.C. Walsh, "Electrodes based on magneli phase titanium oxides: the properties and applications of Ebonex materials", *J. Appl. Electrochem*, 28, ss. 1021-1033, 1998.
- [87] H. B. Martin, A. Argoitia, U. Landau, A.B. Anderson and J.C. Angus, "Hydrogen and oxygen evolution on boron-doped diamond electrodes", *J. Electrochem. Soc.*, 143, ss. 133-136, 1996.
- [88] M. Fryda, D. Herrmann, L. Schafer, C.P. Klages, A. Perret, W. Haenni, Ch. Comninellis and D. Gandini, "Properties of diamond electrodes for wastewater treatment", *New Diam. Front. C. Technol*, 9, ss. 229-240, 1999.
- [89] X. Chen, G. Chen, F. Gao and P.L. Yue, "High performance Ti/BDD electrodes for pollutant oxidation", *J. Environ. Sci. Technol*, 37, ss. 021-026, 2003.
- [90] M. Panizza, I. Duo, P.A. Michaud, G. Cerisola and Ch. Comninellis, "Electrochemical generation of silver (II) at boron-doped diamond electrodes", *Electrochem. Solid State Lett*, c. 3, sayı 12, ss. 550-551, 2000.
- [91] A. Valiuniene, G. Baltrunas, V. Kersulyte, Z. Margarian and G. Valincius, "The degradation of cyanide by anodic electrooxidation using different anode materials", *Process Safety and Environmental Protection*, 91, ss. 269-274, 2013.
- [92] Z. Ukundimana, P.I. Omwene, E. Gengec, O.T. Can and M. Kobya, "Electrooxidation as post treatment of ultrafiltration effluent in a landfill leachate MBR treatment plant: Effects of BDD, Pt and DSA anode types", *Electrochimica Acta*, 286 ss. 252-263, 2018.
- [93] I. Linares-Hernandez, C. Barrera-Díaz*, B. Bilyeu, P. Juarez-Garcia Rojas and E. Campos-Medina, "A combined electrocoagulation–electrooxidation treatment for industrial wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, 175, ss. 688-694, 2010.
- [94] S. Masid, S. Waghmare, N. Gedam, R. Misra, R. Dhodapkar, T. Nandy and N.N. Rao, "Impact of electrooxidation on combined physicochemical and membrane treatment processes: Treatment of high strength chemical industry wastewater", *Desalination*, 259 ss. 192-196, 2010.
- [95] O. Lahav, Y. Schwartz, P. Nativ and Youri Gendel, "Sustainable removal of ammonia from anaerobic-lagoon swine waste effluents using an electrochemically-regenerated ion exchange process", *Chemical Engineering Journal*, 218, ss. 214-222, 2013.
- [96] N. Lakshmi Kruthika, S. Karthika, G. Bhaskar Raju and S. Prabhakar, "Efficacy of electrocoagulation and electrooxidation for the purification of wastewater generated from gelatin production plant", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1, ss. 183-188, 2013.

- [97] E. M. S. Oliveira, F. R. Silva, C. C. O. Morais, T. M. B.F. Oliveira, C. A. Martinez-Huitle, A. J. Motheo, C. C. Albuquerque and S. S. L. Castro, “Performance of (in)active anodic materials for the electrooxidation of phenolic wastewaters from cashew-nut processing industry”, *Chemosphere*, 201, ss. 740-748, 2018.
- [98] O. Sahu, “Performance of copper compounds in chemical and electro oxidation treatment of sugar industry waste water: Batch reaction”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 65, ss. 256-268, 2016.
- [99] U. T. Un, U. Altay, A. S. Koparal and U. B. Ogutveren, “Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation”, *Chemical Engineering Journal*, 139, ss. 445-452, 2008.
- [100] P. Piya-areetham, K. Shenchunthichai and M. Hunsom, “Application of electrooxidation process for treating concentrated wastewater from distillery industry with a voluminous electrode”, *Water Research*, 40, ss. 2857-2864, 2006.
- [101] S. O. Ganiyu, E. V. Santos, E. C. T. de A. Costa and C. A. Martinez-Huitle, “Electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs) as alternative treatment techniques for carwash wastewater reclamation”, *Chemosphere*, 211, ss. 998-1006, 2018.
- [102] V. Markou, M. C. Kontogianni, Z. Frontistis, A. G. Tekerlekopoulou, A. Katsaounis and D. Vayenas, “Electrochemical treatment of biologically pre-treated dairy wastewater using dimensionally stable anodes”, *Journal of Environmental Management*, 202, ss. 217-224, 2017.
- [103] T. Kaygusuz, “Elektrokimyasaloksidasyon yönteminin tekstil atıksularının arıtılabilirliğine etkilerinin tam ölçekli araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2013.
- [104] K. Cırık, N. Ö. Yiğit, S. Gören, Ü. Yetiş, vd., “Boyarmadde içeren atıksu arıtma tesislerinin işletilmesine yönelik el kitabı”, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye, Rap. Tübitak: 109G083 Kamag, 2013.
- [105] Y. Avcı, “Phosphorus recovery as a struvite from sewage sludge applying box-behnken experimental design method”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015.
- [106] S. Demir, “Box-behnken dizaynı ile maya endüstrisi atıksularından elde edilen map’in bitki besin elementi alımı üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2013.
- [107] N. Aslan and Y. Cebeci, “Application of Box–Behnken design and response surface methodology for modeling of some Turkish coals”, *Fuel*, 86, ss. 90-97, 2007.
- [108] S. L. C. Ferreira, R. E. Bruns, H. S. Ferreira, G. D. Matos, J. M. David, G. C. Brandao, E. G. P. da Silva, L. A. Portugal, P. S. dos Reis, A. S. Souza and W. N. L. dos Santos, “Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods”, *Analytica Chimica Acta*, 597, ss. 179-186, 2007.
- [109] N. A. Dümenci, “Endüstriyel arıtma çamurlarının box–behnken deneysel tasarım yöntemi kullanılarak kompostlaştırılması”, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği

Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye 2018.

- [110] Z. Köksal, “Antep fıstığı işleme atıksularının sürekli sistemde elektrokimyasal arıtım yöntemleri ile arıtımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2015.
- [111] D. Rajkumar and K. Palanivelu, “Electrochemical treatment of industrial wastewater”, *Journal of Hazardous Materials*, B113, ss. 123-129, 2004.
- [112] T. I. Liakos, S. Sotiropoulos and N. K. Lazaridis, “Electrochemical and bio-electrochemical treatment of baker’s yeast effluents”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5, ss. 699-708, 2017.
- [113] C. Hu, J. Sun, S. Wang, R. Liu, H. Liu and Jiuhui Qu, “Enhanced efficiency in HA removal by electrocoagulation through optimizing flocs properties: Role of current density and pH”, *Separation and Purification Technology*, 175, ss. 248-254, 2017.
- [114] L. Yan, Y. Wang, J. Li, H. Ma, H. Liu, T. Li and Y. Zhang, “Comparative study of different electrochemical methods for petroleum refinery wastewater treatment”, *Desalination*, 341, ss. 87-93, 2014.
- [115] S. H. Lin, C. T. Shyu and M. C. Sun, “Saline wastewater treatment by electrochemical method”, *Pergamon*, 32, 4, ss. 1059-1066, 1998.
- [116] M. Solak, N. Baldan Pakdil, M. Kılıç ve M. Kobya, “Elektrokoagülasyon Prosesi ile Patates Cipsi üretim atıksularından fosfor giderimi:Elektrot Materyali karşılaştırması”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, sayı 2, ss. 302-313, 2018.
- [117] S. Özcan, M. T. Yılmaz ve S. Bayar, “Erzurum şeker fabrikası atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılmasında akım yoğunluğu ve karıştırma hızının etkisi”, *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.* c. 4, sayı 4, ss. 57-65, 2014.
- [118] N. Baldan Pakdil, M. Solak ve E. Sazak, ” Tavuk Kesimhanesi Atıksularından Sürekli Akışlı Elektrokoagülasyon Prosesi ile Fosfor Giderimi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, ss. 696-705, 2018.
- [119] S. Sharma and H. Simsek, “Treatment of canola-oil refinery effluent using electrochemical methods: A comparison between combined electrocoagulation electrooxidation and electrochemical peroxidation methods”, *Chemosphere*, 221, ss. 630-639, 2019.
- [120] G. B. Raju, M. T. Karuppiah, S.S. Latha, S. Parvathy and S. Prabhakar, “Treatment of wastewater from synthetic textile industry by electrocoagulation–electrooxidation”, *Chemical Engineering Journal*, 144, ss. 51-58, 2008.
- [121] M. Gotsi, N. Kalogerakis, E. Psillakis, P. Samaras and D. Mantzavinos, “Electrochemical oxidation of olive oil mill wastewaters”, *Water Research*, 39, ss. 4177-4187, 2005.
- [122] C. J. Israilides, A. G. Vlyssides, V. N. Mourafeti and G. Karvouni, “Olive oil wastewater treatment with the use of an electrolysis system”, *Bioresource Technology*, 61, ss. 163-170, 1997.

- [123] A. G. Vlyssides, D. Papaioannou, M. Loizidou, P. K. Karlis and A. A. Zorpas, "Testing an electrochemical method for treatment of textile dye wastewater", *Waste Management*, 20, ss. 569-574, 2000.
- [124] A. Giannis, M. Kalaitzakis and E. Diamadopoulos, "Electrochemical treatment of olive mill wastewater", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82, ss. 663-671, 2007.
- [125] A. G. Vlyssides, P. K. Karlis, N. Rori and A. A. Zorpas, "Electrochemical treatment in relation to pH of domestic wastewater using Ti/Pt electrodes", *Journal of Hazardous Materials*, B95, ss. 215-226, 2002.
- [126] A. R. Rahmani, K. Godini, D. Nematollahi and G. Azarian, "Electrochemical oxidation of activated sludge by using direct and indirect anodic oxidation", *Desalination and Water Treatment*, 56, 8, 2015.
- [127] T. Arslan, I. Kabdaşlı, İ. Arslan-Alaton, T. Ölmez ve O. Tünay, "Kompleks olarak bağlı metal içeren atıksuların elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımı", *İtüdergisi/su kirlenmesi kontrolü* c. 18, sayı 1, ss. 42-52, 2008.
- [128] Ö. Türkay, S. Barışçı, E. Ulusoy ve A. Dimoglo, "Kanser ilaçları atıksularının elektrooksidasyon prosesi ile giderimi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, sayı 2, ss. 913-917, 2018.
- [129] N. Daneshvar, A. R. Khataee, A. R. Amani Ghadim and M. H. Rasoulifard, "Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC)", *Journal of Hazardous Materials*, 148, ss. 566-572, 2007.
- [130] Y. Şahin, "Asit boya banyosu atıksularının kimyasal prosesler ile ön arıtılabilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [131] A. K. Golder, N. Hridaya, A. N. Samanta and S. Ray, "Electrocoagulation of methylene blue and eosin yellowish using mild steel electrodes", *Journal of Hazardous Materials*, B127, ss. 134-140, 2005.
- [132] T. H. Kim, C. Park, E. B. Shin and S. Kim, "Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process", *Desalination*, 150, ss. 165-175, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Oğuz ŞAHİNER
Doğum Tarihi ve Yeri : 1983- Sivas
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : oguzsahiner@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojileri ABD	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Çevre Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2014
Lise	-	İskenderun Sağlık Meslek Lisesi	2002