

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BOYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN KOAGÜLASYON YÖNTEMİYLE
OPTİMUM ARITIM KOŞULLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Esmenur HAKKİTANIR
DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Adnan ALDEMİR

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BOYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN KOAGÜLASYON YÖNTEMİYLE
OPTİMUM ARITIM KOŞULLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Esmanur HAKKİTANIR

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2018-7133
No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi Adnan ALDEMİR danışmanlığında, Esmenur HAKKİTANIR tarafından sunulan “Boya Endüstrisi Atıksuyunun Koagülasyon Yöntemiyle Optimum Arıtım Koşullarının Belirlenmesi” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 11/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi İsmail BAYRAM

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Adnan ALDEMİR

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19.07.2019 tarih ve 2019/29-1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

İmza

Esmanur HAKKİTANIR

ÖZET

BOYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN KOAGÜLASYON YÖNTEMİYLE OPTİMUM ARITIM KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

HAKKİTANIR, Esmenur

Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Adnan ALDEMİR

Temmuz 2019, 78 sayfa

Bu tez çalışmasında, boya endüstrisine ait atıksuyun koagülasyonla arıtımında Design Expert programı kullanılarak Yüzey Yanıt Yöntemi (YYY) ile optimum arıtım koşulları belirlenmiştir. Atıksu karakterizasyonu ile ölçülen kirlilik değerleri deşarj standartlarının üzerinde olduğu görülmüştür. Atıksu arıtım deneyleri jar test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ koagülantları ile çalışılmıştır. Arıtım koşulları olarak pH, koagülant dozu ve karıştırma hızı esas alınmıştır. Ön denemelerde herbir koagülant için KOİ, AKM, bulanıklık ve renk analizleri gerçekleştirilmiştir. En iyi arıtım verimini sağlayan koagülant ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) belirlendikten sonra arıtım koşullarının optimum değerleri için YYY ile MKT uygulanmıştır. Deneylerden sonra KOİ, renk, bulanıklık ve AKM değerleri yanıt olarak programa işlenmiştir. MKT’de oluşturulan üç boyutlu grafikler ve ANOVA tabloları yorumlanmıştır. Program tarafından oluşturulan model katsayıları kullanılarak elde edilen denklemler çözülmüş ve seçilen bağımsız değişkenlerin optimum değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak ilgili model yardımıyla en düşük kirlilik yükü değerleri KOİ 68.636 mg/L, renk 2.42 mg/L Pt-Co, bulanıklık 1.79 mg/L NTU, AKM 10.135 mg/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca program tarafından yapılan optimizasyon sonuçları incelendiğinde arıtımda çalışılan parametrelerin optimum değerleri pH 7.54, koagülant dozu 1080.49 mg/L ve karıştırma hızı 146.16 rpm olarak önerilmiştir. Bu optimum koşullarda yanıt olarak seçilen en düşük kirlilik yükü değerleri de KOİ 71.07 mg/L, renk 1 mg/L Pt-Co, bulanıklık 2.74 mg/L NTU, AKM 7.5 mg/L olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtımı, boya sanayi, koagülasyon, Merkezi kompozit Tasarım (MKT), Varyans analizi (ANOVA), Yanıt yüzey yöntemi (YYY).



ABSTRACT

DETERMINATION OPTIMUM TREATMENT CONDITIONS OF PAINT INDUSTRY WASTEWATER BY COAGULATION METHOD

HAKKITANIR, Esmanur
M.Sc. Thesis, Department of Chemical Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Adnan ALDEMİR
July 2019, 78 page

In the thesis, optimum treatment conditions of paint industry wastewater were determined by coagulation method. The pollution values obtained in the characterization experiments were found to be above the wastewater discharge standards. Wastewater treatment experiments were performed in jar test set up. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ coagulants were used in the treatment experiments. pH, coagulant dose and mixing speed were selected the most important parameters for wastewater treatment. In the preliminary experiments COD, suspended solid, turbidity and color analyzes were performed for each coagulant. Determining the coagulant ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) which provides the best treatment efficiency, Central Composite Design was applied for optimization of treatment conditions by using Response Surface Methodology. Design Expert 7.0.0. trial program was used for design of treatment experiments and analysis of results. COD, color, turbidity and suspended solid values were processed to the program after experiments. 3D graphs and ANOVA results which shown by program were interpreted. The equations obtained using the coefficients in the model created by the program were solved and the optimum values of the independent variables were calculated. Using these values, the lowest water pollution values were determined as (mg/L); COD 68.636, color 2.42 Pt-Co, turbidity 1.79 NTU, SS 10.135. Optimization results of the program were examined, the optimum values of parameters were suggested pH 7.54, coagulant dose 1080.49 mg/L, mixing speed 146.16 rpm. The lowest pollution values at optimum conditions were shown as (mg/L); COD 71.07, color 1 Pt-Co, turbidity 2.74 NTU, SS 7.5.

Keywords: Central composite design, coagulation, dye industry, response surface methodology, wastewater treatment.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, ilgisiyle, sabrıyla yanımda olan, bilgisiyle beni aydınlatıp yol gösteren ve her türlü imkanı benden esirgemeyen ve destekçim olan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Adnan ALDEMİR'e, laboratuvarlarındaki her türlü imkanı esirgmeden bana sunan ve bilgileriyle beni aydınlatan ve yol gösteren Çevre Mühendisliği bölümünden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN'e, Maden Mühendisliği bölümünden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet TÜRKMENOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu zorlu süreçte ilgisini benden eksik etmeden, yanımda olan ve beni motive eden kıymetli eşim İsmail HAKKİTANIR'a sevgilerimi sunar, ve bana daim her konuda güvenen beni hiç yalnız bırakmayan kıymetli aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No:FYL-2018-7133) tarafından desteklenmiştir.

2019

Esmanur HAKKİTANIR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Boya Endüstrisi.....	2
1.1.1.Çözücüler.....	3
1.1.2. Bağlayıcılar (Reçineler).....	3
1.1.3. Pigmentler.....	4
1.1.4.Katkı maddeleri	4
1.1.5. Dolgu maddeleri	5
1.1.6. pH ayarlayıcılar	5
1.2. Boyaların Sınıflandırılması.....	5
1.2.1. Su bazlı boyalar	6
1.2.1.1. Mat boyalar (plastik boya)	7
1.2.1.2. Yarı mat boyalar (saten boya)	7
1.2.1.3. Parlak Boyalar	7
1.2.2. Solvent bazlı boyalar	7
1.2.3. Toz boyalar	8
1.3. Boya Üretimi ve Üretim Prosesleri.....	8
1.3.1. Türkiye’de boya üretimi	9
1.4. Boya Endüstrisinde Oluşan Atıklar ve Atıksu Kaynakları	10

	Sayfa
1.4.1. Boya endüstrisi atıksularının genel özellikleri	11
1.4.2. Atıkların bertarafı veya geri kazanımı	12
1.5. Boya Endüstrisi Atıksularını Karakterize Eden Parametreler	13
1.6. Boya Endüstrisi Atıksularının Arıtım Metodları	14
1.6.1. Fiziksel arıtım yöntemleri.....	15
1.6.1.1. Adsorpsiyon	15
1.6.1.2. Membran filtrasyonu	15
1.6.1.3. İyon değişimi.....	16
1.6.2. Kimyasal arıtma yöntemleri	16
1.6.2.1. Oksidasyon	16
1.6.2.2. Ozonlama	16
1.6.2.3. Koagülasyon prosesi	17
1.7. Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY)	18
1.7.1. Merkezi kompozit tasarım (MKT).....	21
1.7.2. Varyans analizi (ANOVA)	23
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Kullanılan Cihazlar	31
3.2. Kullanılan Kimyasallar	32
3.2.1. Karakterizasyon deneylerinde kullanılan çözeltiler ve hazırlanışları	32
3.3. Prosesin Tanımlanması ve Atıksu Kaynakları.....	33
3.4. Yöntem.....	35
3.4.1. Boya endüstrisi atıksularının karakterizasyonu	35
3.4.2. Boya endüstrisi atıksularının deşarj standartları.....	35
3.4.3. Karakterizasyon deneyleri	36

	Sayfa
3.5. Arıtmadaki Deneysel Çalışmalar.....	39
3.5.1. pH ayarlayıcılar ve hazırlanışları.....	40
3.5.2. Kullanılan koagülant çözeltilerinin hazırlanışları.....	41
3.5.3. Koagülasyon deneyleri	41
3.6. Optimizasyon ve Design Expert Programı	42
3.6.1. Optimum arıtım koşullarını belirlemek için yapılan deneyler.....	43
3.6.2. Sonuçların optimizasyonu	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
4.1. Atıksuya Ait Kirlilik Yüklerinin Değerlendirilmesi.....	47
4.2. Koagülasyon Deneylerinde pH'ın Arıtıma Etkisinin Değerlendirilmesi.....	48
4.3. Koagülasyon Deneylerinde Koagülant Dozunun Arıtıma Etkisinin Değerlendirilmesi.....	51
4.4. Arıtımı Yapılan Atıksuyun Sonuçlarının Yorumlanması	55
4.5. Optimizasyon Deneylerinin Sonuçlarının Yorumlanması.....	55
4.6. Design Expert Programında Oluşturulan Varyans Analizi Sonuçları Ve Üç Boyutlu Grafikler	59
4.7. Program Tarafından Oluşturulan Kodlu ve Gerçek Değerlere Göre Model Denklemleri	71
4.8. Optimizasyon Sonuçları.....	73
5. SONUÇLAR.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZ GEÇMİŞ.....	83

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. İncelenen tesisin proses profili.....	34
Çizelge 3.2. Kimya sanayi (Boya üretimi vb.).....	35
Çizelge 3.3. Kimya sanayi (Boya, boya hammadde ve yardımcı madde üretimi vb.)...36	
Çizelge 3.4. MKT için seçilen değişkenlerin faktöriyel, aksiyal ve merkez noktaları...43	
Çizelge 3.5. MKT ile oluşturulan deney programı.....	44
Çizelge 4.1. Boya endüstrisi atıksuyuna ait aylara göre karakterizasyon sonuçları.....	47
Çizelge 4.2. Boya endüstrisi atıksuyunun içerdiği ağır metal konsantrasyonları.....	48
Çizelge 4.3. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 500 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	49
Çizelge 4.4. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 1000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	49
Çizelge 4.5. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	49
Çizelge 4.6. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 500 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	50
Çizelge 4.7. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 1000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	50
Çizelge 4.8. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	50
Çizelge 4.9. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 500 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	51
Çizelge 4.10. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 1000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	51
Çizelge 4.11. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4-7-10 ve koagülant dozu 2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	51
Çizelge 4.12. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	52
Çizelge 4.13. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 7 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	52
Çizelge 4.14. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 10 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	52
Çizelge 4.15. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	53

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.16. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 7 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	53
Çizelge 4.17. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 10 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	53
Çizelge 4.18. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 4 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	54
Çizelge 4.19. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 7 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	54
Çizelge 4.20. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ koagülantı ile yapılan pH'ı 10 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri.....	54
Çizelge 4.21. MKT için önerilen deney programına ait sonuçlar.....	56
Çizelge 4.22. KOİ giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı.....	60
Çizelge 4.23. MKT için KOİ gideriminde ANOVA sonuçları	60
Çizelge 4.24. KOİ gideriminde yanıt değişkeni modelinin R^2 değerleri.....	60
Çizelge 4.25. Renk giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı.....	63
Çizelge 4.26. MKT için renk gideriminde ANOVA sonuçları.....	63
Çizelge 4.27. Renk gideriminde yanıt değişkeni modelinin R^2 değerleri.....	63
Çizelge 4.28. Bulanıklık giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı.....	66
Çizelge 4.29. MKT için bulanıklık gideriminde ANOVA sonuçları.....	66
Çizelge 4.30. Bulanıklık giderimi için yanıt değişkeni modelinin R^2 değerleri.....	66
Çizelge 4.31. AKM giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı.....	69
Çizelge 4.32. MKT için AKM gideriminde ANOVA sonuçları.....	69
Çizelge 4.33. AKM giderimi için yanıt değişkeni modelinin R^2 değerleri.....	69
Çizelge 4.34. Matris yöntemiyle belirlenen optimum arıtım koşulları.....	73
Çizelge 4.35. Çalışılan aralık için yazılım programının optimizasyon karakterleri.....	74
Çizelge 4.36. Design Expert tarafından önerilen optimum arıtım koşulları.....	74



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Endüstriyel su bazlı boya.....	3
Şekil 1.2. Boya endüstrisi akım şeması a) Solvent bazlı b) Su bazlı.....	9
Şekil 1.3. Türkiye'de boya üretiminin sektörlere dağılımı.....	10
Şekil 1.4. Merkezi Kompozit Tasarım uygulama noktaları (Subaşı, 2010).....	22
Şekil 1.5. Merkezi Kompozit Tasarımda tüm kısımların yer aldığı görünüm.....	22
Şekil 3.1. Boya endüstrisi atıksuyunun arıtımında kullanılan deney seti.....	32
Şekil 3.2. Karakterizasyon ve arıtım işlemlerinde kullanılan boya endüstrisi atıksuyu.....	35
Şekil 3.3. Koagülant ilavesi yapılmış yavaş karıştırma esnasındaki atıksular.....	42
Şekil 4.1. pH'ı 7, karıştırma hızı 150 rpm, koagülant dozu 1000 mg/L olan arıtılmış atık sular.....	57
Şekil 4.2. pH'ı sırasıyla 4-10-4-10, karıştırma hızı 200 rpm, koagülant dozu sırasıyla 500-500-1500-1500 mg/L olan arıtılmış atıksular.....	57
Şekil 4.3. pH'ı sırasıyla 10-4, karıştırma hızı 100 rpm, koagülant dozu 1500 mg/L olan arıtılmış atıksular.....	57
Şekil 4.4. pH'ı sırasıyla 2-7-7-12, karıştırma hızı 150 rpm, koagülant dozu sırasıyla 1000-160-1850-1000 mg/L olan arıtılmış atıksular.....	58
Şekil 4.5. pH'ı 7, karıştırma hızı sırasıyla 65-235 rpm, koagülant dozu 1000 mg/L olan arıtılmış atık sular.....	58
Şekil 4.6. pH'ı sırasıyla 4-10, karıştırma hızı 100 rpm ve koagülant dozu 500 mg/L olan arıtılmış atık sular.....	58
Şekil 4.7. Koagülant dozu ve pH'ın KOİ giderimine etkisi.....	61
Şekil 4.8. Karıştırma hızı ve pH'ın KOİ giderimine etkisi.....	61
Şekil 4.9. Karıştırma hızı ve koagülant dozunun KOİ giderimine etkisi.....	62
Şekil 4.10. Koagülant dozu ve pH'ın renk giderimine etkisi.....	64
Şekil 4.11. Karıştırma hızı ve pH'ın renk giderimine etkisi.....	64
Şekil 4.12. Karıştırma hızı ve koagülant dozunun renk giderimine etkisi.....	65
Şekil 4.13. Koagülant dozu ve pH'ın bulanıklık giderimine etkisi.....	67
Şekil 4.14. Karıştırma hızı ve pH'ın bulanıklık giderimine etkisi.....	67
Şekil 4.15. Koagülant dozu ve karıştırma hızının bulanıklık giderimine etkisi.....	68
Şekil 4.16. Koagülant dozu ve pH'ın AKM giderimine etkisi.....	70
Şekil 4.17. pH ve karıştırma hızının AKM giderimine etkisi.....	70

Şekil 4.18. Koagülant dozu ve karıştırma hızının AKM giderimine etkisi.....71



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
β_i	Regresyon katsayısı
Al	Alüminyum
As	Arsenik
°C	Santigrat derece sıcaklığı
Cd	Kadmiyum
CN	Siyanür
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
dk	Dakika
Fe	Demir
g	Gram
Hg	Cıva
k	Bağımsız Değişken Katsayısı
L	Litre
M	Molarite
m ³	Metreküp (Hacim birimi)
mg	Miligram
mL	Mililitre
N	Deney sayısı
Ni	Nikel
nm	Nanometre
n _o	Merkezdeki deney sayısı
X	Bağımlı değişken

Simge	Açıklama
β_i	Regresyon katsayısı
ε	Deneysel hata
μm	Mikrometre
ξ_i	Bağımsız değişken
γ	Aranılan yanıt

Kısaltmalar	Açıklama
AKM	Askıda Katı Madde
ALUM	Alüminyum Sülfat
ANOVA	Analysis Of Variance (Varyans analizi)
ÇKM	Çözünmüş Katı Madde
DAS	Demir Amonyum Sülfat
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MKT	Merkezi Kompozit Tasarım
nm	Nanometre
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
PACl	Poli Alüminyum Klorür
ppm	Part Per Milion (Milyonda Bir)
rpm	Rotation Per Minute (Dakikada Dönme)
TKM	Toplam Katı Madde
TN	Toplam azot
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
YYY	Yanıt Yüzey Yöntemi

1.GİRİŞ

Bilim ve teknoloji alanında giderek artış gösteren çalışmaların ve gelişmelerin beraberinde hızla artan bir sanayileşme ve bununla birlikte meydana gelen endüstriyel kirlenmeyle ekolojik dengenin bozulması doğal yaşamın zorlaşmasına neden olmaktadır. Sürekli gelişmekte olan bu sanayileşme faaliyetleri ülkenin kalkınmaya ve gelişmişlik düzeyine fayda sağlamanın yanında çevreye zarar verecek şekilde oluşan atıklar doğal dengenin yapısını bozmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesi ve ekolojik dengenin korunması bilimsel, ekonomik ve toplumsal alanda yapılan çalışmalarla mümkün olabilir. Ayrıca sanayileşme hareketiyle oluşan atıkların uzaklaştırılması veya geri kazanımı söz konusu olduğunda bu durum üretim sırasındaki ürünün maliyetini de azaltabilmektedir. Oluşan atıkları tamamen geri kazanmak mümkün olmasada bu kirlilik yükünü azaltacak çalışmaların yanı sıra oluşacak atıksuların deşarj standartları altına getirilerek arıtımında yapılabilmektedir.

Türkiye’de boya endüstrisi inşaat sektöründeki ilerlemelerle toplam üretimde her geçen yıl artış göstermektedir. Üretimdeki bu artış sanayilerde oluşan atıksu miktarlarına da yansımakta, bu sebeple Türkiye’deki endüstriyel kirlenmelere bakıldığında boya endüstrisi atıksuları üzerinde önemle durulması gerektiği görülmektedir. Boya endüstrisi atıksuları, doğadaki bitki örtüsü ve yaşayan diğer canlılar için ve insan sağlığı için oldukça tehlike oluşturmaktadır. Bu atıksuların uygun alıcı ortamlara verilmeden önce hem maliyet açısından ekonomik hem de ekosistemin korunması açısından belirlenen düzeyde arıtım için uygun arıtım yöntemleri belirlenmeli ve bu alanda ileri düzeyde teknolojiler geliştirilmelidir.

Önerilen bu projenin konusu boya sanayi atıksularının ekonomik yönden arıtımı için önemlidir. Çünkü boya endüstrisi atıksularının başarıyla arıtılabilmesi için söz konusu bu atıksuyun öncelikle karakterizasyonu yapılmalıdır. Boya endüstrisi atıksuları üzerinde uygulanacak fiziksel veya kimyasal analizler ile bu atıksuya ait karakterizasyon özellikleri doğru bir şekilde belirlendikten sonra atık suya ait bir arıtım metodu önerilebilecek ve bu şekilde alıcı ortama verilmesi rahatlıkla sağlanacaktır.

Yapılan bu çalışma, çağımızın büyük bir sorunu haline gelmiş renkli atıksuların arıtılması konusunda ülke bilim insanlarının tecrübe sahibi olmasına ve böylelikle

sanayici iş adamlarının önemli bir problemi olan ekonomik ve yüksek verimde arıtım yöntemi arayışlarına bir çözüm olacaktır. Boya ve boyar madde üreten endüstrilerde oluşan atıksular genellikle kazanların, reaktörlerin, karıştırıcıların, paketleme teçhizatlarının ve zeminlerin temizlenmesi işlemlerinden kaynaklanır.

Bu tez kapsamında, Van Organize Sanayi Bölgesi'nde su bazlı boya üretimi yapan bir tesise ait üretim ve paketlenme sırasında meydana gelen atıksuyun arıtımı için Yanıt Yüzey Yöntemi ile (YYY) optimum arıtım koşullarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmaya ilk olarak atıksu karakterizasyonu ile kirlilik değerleri belirlenerek başlanmıştır. Boya endüstrisi atık sularını karakterize eden; pH, İletkenlik, renk ve bulanıklık, askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), klorür, alkalinite, toplam katı madde (TKM), çözülmüş katı madde (ÇKM), ağır metaller, yağ ve gres, toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) gibi parametreler Mart - Haziran 2018 ayları arasında incelenmiştir. Su bazlı boya üretimi yapılan bu endüstride oluşan atıksuyun deşarj standartlarına indirilmesi için literatür araştırmalarından dikkat çeken ve uygulanılabilirliği açısından kolaylık sağlayıp verim elde edilen koagülasyon yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca yine literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak bu deneyler için en uygun koagülantlar seçilmiştir. Arıtım için en iyi verimi sağlayan koagülant ile belirlenen seçilen arıtım parametrelerinin optimum arıtım koşulları YYY uygulanarak belirlenmiştir. Bu optimum arıtım koşulları atıksuyun arıtım sonrası su kalite parametrelerine (KOİ, AKM, renk ve bulanıklık) bakılarak belirlenmiştir. Ayrıca bu parametrelerin optimizasyonu MKT yapılan Design Expert programı tarafından oluşturulan varyans analizi (ANOVA) tabloları ve üç boyutlu grafikler yorumlanmıştır. Program tarafından oluşturulan model katsayıları kullanılarak elde edilen denklemler çözülmüş ve seçilen bağımsız değişkenlerin optimum değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca program tarafından önerilen sayısal optimizasyon sonuçları ile model katsayıları kullanılarak belirlenen optimizasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

1.1. Boya Endüstrisi

Ülkemizde boya ve boyar madde üretimi yapan tesis sayısı oldukça fazla ve hayatın hemen her bölümünde kullanıldığı içinde giderek artmaktadır. Boya genel olarak bağlayıcı, pigment ve çözücüden oluşan bir kimyasal karışımdır. Genellikle

temas ettiği yzeyde bir katman halinde kaplayarak dekoratif bir görünüm oluşturmaktadır. Ayrıca temas ettiği yzeyi dış etkenlerdende koruma özelliği göstermektedir. Boyalar uygulandıkları zeminde parlak, yarı parlak, mat veya şeffaf bir görüntü oluşturabilmektedir. Boya endüstrileri genellikle farklı özellikte boyalar, boyayı uygulamak için fırçalar, vernik ve cilalar, yalıtım kimyasalları ve boya temizleyicileri gibi ürünlerin üretildiği bir endüstri dalıdır (EPA, 1990).



şekil 1.1. Endüstriyel su bazlı boya.

1.1.1.Çözücüler

Çözücüler eklendikleri boyanın kimyasal yapısında bir değişiklik meydana getirmeden onlara akışkanlık veren maddelerdir. Boyanın uygulandığı yzeyde daha düzgün bir görüntü oluşturması için eklenirler. Uçucu bir yapıda olduklarından bir süre sonra boyanın uygulandığı yzeyden tamamen uçarlar. En sık tercih edilen çözücülere örnek olarak polivinil alkol, n-bütanol, izobütanol ve benzil alkol verilebilmektedir.

1.1.2. Bağlayıcılar (Reçineler)

Bağlayıcılar boyanın temelini oluşturan maddelerdir. Boyanın %10-%95'lik kısmını oluşturur. Bağlayıcılar boyaya; sertlik, parlaklık, yapışma, esneklik ve

kimyasallara karşı koruyucu bir özellik vermektedir. Su bazlı boyalarda kullanılan bağlayıcılara örnek olarak; stiren akrilik kopolimer, saf akrilik kopolimer ve vinil akrilik kopolimer verilebilmektedir.

1.1.3. Pigmentler

Toz halindeki parçacıklardan oluşan ve boyaya renk veren maddelerdir. Pigmentler boyanın bağlayıcı ve çözücü maddelerinden çözünmeyen tek maddesidir. Pigmentlerin, boyanın uygulandığı yüzeyde pas oluşumunu önleyici özellikleri de bulunmaktadır. Pigmentlere renk özelliğini veren yapısında bulunan pigment molekülünün kimyasal yapısındaki renk veren gruplar ve yardımcı renk gruplarıdır. Özellikle korozyon oluşumunu engelleyen en önemli pigmentlere; titanyum dioksit, çinko oksit, demir oksit renk verici, çinko kromat, çinko fosfat örnek verilebilmektedir. Ayrıca pigmentler kimyasal yapı, fiziksel form ve optik özellikleri bakımından büyük değişiklikler gösterir.

1.1.4. Katkı maddeleri

Farklı özellikleri olan ve boyaya genellikle 0.1%- 2% aralığında ilave edilen maddelerdir. Bu miktar az gözüksede boyaya eklenen bu katkı maddeleri boyanın bir çok özelliğini değiştirmektedir. Kurutucular, katalizörler, plastifiyanlar (yumuşatıcı, elastikiyet verici), ıslatıcılar, inhibitörler, köpük kesiciler, kayganlaştırıcılar başlıca katkı maddeleridir.

Kurutucular, organik asitlerin metallerle reaksiyonundan oluşmuş tuzlardır. Boyaya eklenecek olan kurutucu hatalı ürünlerin oluşmaması açısından oldukça önemlidir.

Köpük kesiciler, film halinde tabak oluşturmuş boyanın uygulandığı zeminde herhangi bir balık gözü açılmasına maruz kalmadan köpük oluşumunu engelleyen bazı silikon yağların ve yağlarla reaksiyona sokulmuş yüzey aktif maddeler ile sağlamlaştırılmış kimyasallardır.

Kayganlaştırıcılar, boyanın dış yüzeyinde belirli bir kayganlık sağlayan katkı maddeleridir. Boyanın temas ettiği yüzeyin temizliğinde kolaylık sağlarlar.

Matlaştırıcılar, yüzeylei özel işlem görmüş oldukça küçük taneli silika pigmentleridir. Çökme ve sarkmayı engellemek için en çok tercih edilenler benton, aerosil ve bazı özel organik yüzey aktif kimyasallardır.

Islatıcılar, pigment kümesi içersindeki pigmentler arasında bulunan elektriksel çekimi ortadan kaldırmak için maksimum oranda karışımı sağlayan katkı maddeleridir.

1.1.5. Dolgu maddeleri

Boyaya katılan ve içersinde çözünmeden kalan, boya maliyetini düşürmek amacıyla kullanılan, boyanın bazı özelliklerinin de iyileşmesini sağlayan boya yan ürünleridir. Çoğunluğu doğal olmakla beraber bir kısım sentetik dolgu malzemeleride bulunmaktadır. Tanecik boyutu 1 mikrometre ile 100 mikrometre arasındadır. Dolgu maddelerini, renk pigmentleri renk ve örtücülükleri daha düşüktür. Örtücülükleri oldukça az oldukları için fiyatları daha düşüktür. Bu durum pigment kullanımını azaltmaktadır. Bu sebeple boyanın özelliklerini değiştirdiği için, fiyatlarını düşürücü bir etki oluşturmaktadır. En çok kullanılan dolgu malzemelerine örnek olarak barit, kalsit, tebeşir tozu, dolomit, talk, kaolin, mika, silika verilmektedir. (Camcıoğlu, 2010).

1.1.6. pH ayarlayıcılar

Su bazlı boyalara ilave edilen, bağlayıcının koagülasyon oluşmaması, ve kaplamada oluşabilecek korozyon gibi durumları pH değeriyle alakalıdır. Kalsit gibi dolgu maddeleri ile ortamın pH değeri yükselir. Bu nedenle boya karışımına bağlayıcı ilave edilmeden önce pH düzenleyicilerden biri eklenmelidir.

1.2. Boyaların Sınıflandırılması

Boyalar içerdikleri çözücüye göre adlandırılırlar. Çözücüsü su olan su bazlı, organik çözücüsü olan solvent bazlı boyalar ve çözücü içermeyen toz boyalar olarak sınıflandırılabilir. Boyalar içerdikleri bileşen çeşidi ve miktarı bakımından karakterize edilirler. Türkiye’de boya üretiminde çözücü olarak genelde solventler tercih edilmektedir. Fakat insan sağlığı ve çevre açısından oluşturduğu zarardan dolayı birçok

Avrupa ülkesinde solvent kullanımı azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Hatta bu konuda cezai yaptırımlara da başvurulmaktadır. Çözümüne yardımcı olmak üzere yapılan yasal düzenlemeler çözücüsü su olan polimerlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Sönmez ve Budakçı, 2004).

Avrupa'da son yıllarda hazırlanan kanunlar ile yapılan sınırlamalar ile çevre dostu ürünlerin tercih edilmesinde hızlı bir artış olmuştur. Ayrıca 90'lı yılların başında yapılan araştırmalarda solvent bazlı boya tüketimine olan ilgi %40'tan %31'e azaldığı görülmüştür (Rich, 1997). 1995 sonrasındaki 10 yıla bakıldığında da otomotiv sektöründe su bazlı boya ile boyanan araç sayısı Batı Avrupa için % 40'lardan neredeyse % 100'e; Amerika için % 15'lerden % 40'lara ve Japonya için neredeyse hiç kullanılmama durumundan % 20 seviyelerine yükselmiştir. Ayrıca yollarda kullanılan boyalarda su bazlı boyalar olarak tercih edilmektedir. Bu boyaların sürücülerin gece görüşünü kolaylaştırıcı özelliği de bulunmaktadır. Su bazlı boya üretim ve tüketimine olan ilginin son zamanlarda artış göstermesi yasal zorunluluklarla birlikte, su bazlı sistemlerin formüle edilmesine olanak sağlayan bağlayıcı reçinelerin ilerlemesinden de kaynaklanmaktadır (Budakçı ve ark., 2009; Desor ve Stephan, 1997; Yıldız, 1999).

1.2.1. Su bazlı boyalar

Su bazlı boya üretimi yapan endüstrilerde çözücü olarak belli bir miktarda su kullanılır. Bu alanda sulu emülsiyonlar, kolloidal dispersiyonlar ve suyla inceltilebilir kaplamalar yer almaktadır. Emülsiyonlar suda sentezlenen ve yüzey aktif madde içerikli polimerlerden üretilmektedir. Emülsiyon boyaları değişik polimerik reçineler kullanılarak üretilir. Dış cephe boyası olarak üretilen su bazlı boyaların içeriğinin yaklaşık % 35'lik kısmını pigmentler oluşturmaktadır. Su bazlı dış cephe boyaların pH aralığı 8-8.5 civarında olmaktadır. Bunun için amonyum hidroksit kullanılır. Metal yüzeyleri örtmede kullanılan boyalarda korozyon oluşumunu engellemek için genellikle boyalarda çinko oksit kullanılmaktadır. İnşaat alanında kullanılmak üzere üretilen boyalarda ise böyle birşeye gerek duyulmamaktadır. Su bazlı iç cephe boyalarının pigment miktarı %45 civarlarında, pH değeri ise 9-9.5 arasındadır. Ayrıca boyanın maliyetini azaltmak için titanyum dioksit yerine maliyeti daha ekonomik olan kalsit eklenir. Fakat kalsiyum karbonatın kırılma indisi çok düşük olduğu için titanyum

dioksit kullanılan boyaya göre boyanın örtme gücünü çok azaltır (Camcıoğlu, 2010). Su bazlı boyalar, parlaklıklarına göre mat, yarı mat ve parlak boyalar olarak adlandırılmaktadırlar.

1.2.1.1. Mat boyalar (plastik boya)

Su bazlı mat boyalar, plastik boya olarakta adlandırılabilir. Bu boyaların tam silinebilme özellikleri olmadığı için kaygan bir yapıya sahip değillerdir. Bu yüzden, bu boyaların sürüldüğü yüzeyin ıslak bezle sık sık temizlenmesi lekenin yüzeyde yayılmasına ve boyanın yüzeyde kötü bir görüntü oluşturmasına sebep olur.

1.2.1.2. Yarı mat boyalar (saten boya)

Yarı mat boyalar, saten boya olarakta adlandırılmaktadır. Saten boyalar kullanıldığı yüzeyde oldukça iyi bir kapatıcılık sağladığı için genellikle alçı sürülmüş yüzeylerde dekor amaçlı kullanılır. Kaygan bir yapıda oldukları için yüzeyin silinebilirliği ve temizliği oldukça kolaydır.

1.2.1.3. Parlak Boyalar

Parlak bir görünümü vardır, kusurları belli edebilir. Genellikle mutfak, kemer, kapı gibi alanlarda kullanılır.

1.2.2. Solvent bazlı boyalar

Solvent bazlı boya üretimi yapan endüstrilerde çözücü olarak organik kimyasallar kullanılmaktadır. Kullanılan bu organik kimyasalın miktarını minimuma getirmek için katı madde içerikli kaplamalar geliştirilmektedir. Solvent bazlı boyaların sağlık açısından oluşturduğu tehlikeden ötürü kullanılacak olan bu katı madde içerikli katmanlar boya için daha az çözücüye ihtiyaç duyulmasını sağlamaktadır. Solvent bazlı boyaların oluşturduğu atıklarda toksik etkiye sahip ve yanıcıdır. Bununla beraber çözücü bazlı atıkların çözücü geri döngüsü kolaylığı ve yüksek ısı içeriği ile atık geri

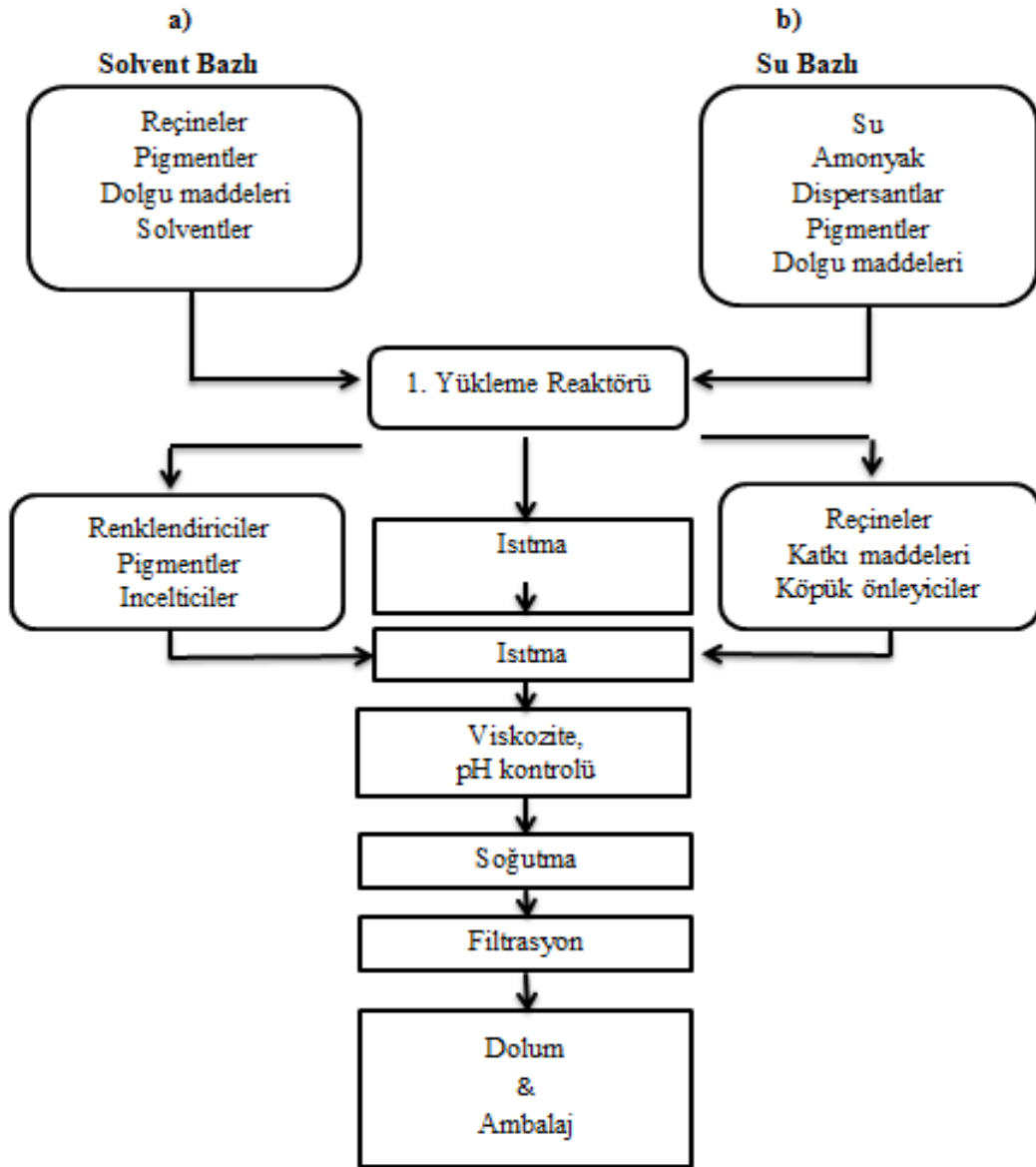
döngüsü, yeniden kullanım veya yönetim gibi uygun alanlarda değerlendirilmesi de mümkündür (Camcıoğlu, 2010).

1.2.3. Toz boyalar

Bu boyalar içerisinde çözücü bulundurmıyıp; reçine, pigment, kurutma ajanları, katalizörler, güçlendirici, dolgu maddeleri ve az miktarda katkı maddeleri içeren bir karışımdır. Elektrostatik püskürtme teknikleri kullanılarak yüzeye kuru bir şekilde uygulanır. Toz yüzeye sürekli film tabakası oluşturacak şekilde ısıtma işlemi uygulanıp eritilerek madde yüzeyine tutunur. Organik çözücü içermediği için çevre açısından oldukça avantajlıdır.

1.3. Boya Üretimi ve Üretim Prosesleri

Boya üretimi, gereken oranlarda pigmentlerin karıştırılması ile renk verilip istenilen fiziksel özelliklerin oluşturulması esasına dayanır. İlk olarak pigment-alkid-çözücü üçlüsü bir araya getirilerek ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında ıslanmış pigmentin boya filmde dağılımı için karıştırma işlemi yapılır. Son olarakta boyanın renk ve fiziksel özellikleri belirlenerek üretim aşaması tamamlanır ve boya ambalajlama sürecine geçer. Boya endüstrisine ait su bazlı ve solvent bazlı boya üretiminin akım şeması Şekil 1.2’de verilmiştir.

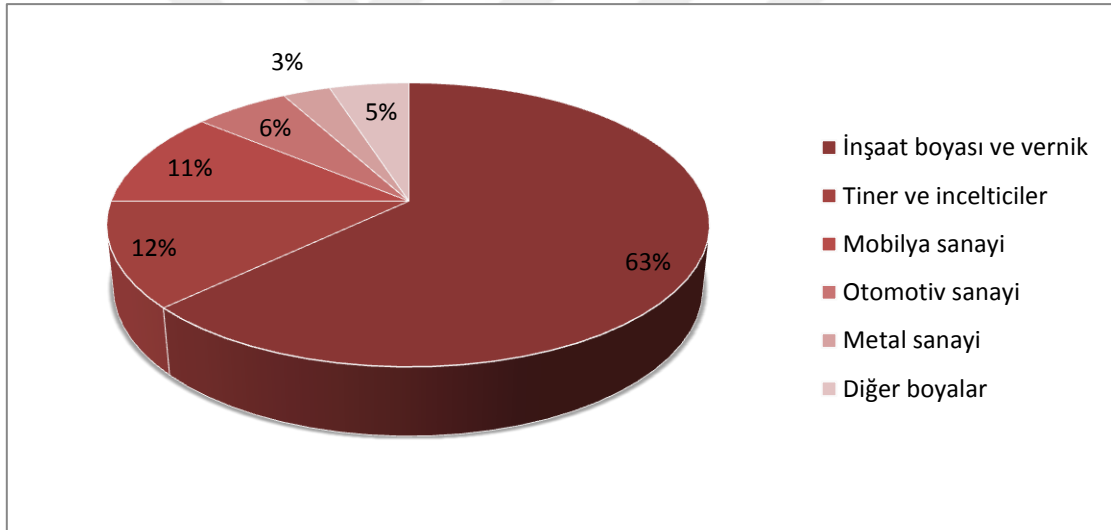


Şekil 1.2. Boya endüstrisi akım şeması a) Solvent bazlı b) Su bazlı.

1.3.1. Türkiye’de boya üretimi

Türkiye toplam yıllık boya üretimi açısından Avrupa'nın 6. büyük üreticisi konumundadır. Yıllık olarak boya üretimi 800 bin tona ulaşmaktadır. Bunun 55% ini su bazlı, 45% ini solvent bazlı boyalar oluşturmaktadır. Ülkemizde 20 tane büyük ölçekli, 600 ye yakın da küçük ve orta ölçekli işletme faaliyet göstermektedir. Yerli hammadde oranı yaklaşık 35% tir ve dışa bağımlılık söz konusudur. En fazla reaktif boyalar ithal edilmektedir (Denz ve Eminoğlu, 2009). Türkiye, boya üretiminde kullandığı ürünlerin

çoğunu AB (Avrupa Birliği) ülkelerinden temin etmektedir. Türkiye’de meydana gelen 2001 krizi hammadde ithal eden boya endüstrisini oldukça olumsuz etkilemiş ve üretim %40 oranında bir düşüş göstermiştir. Aynı durum diğer sektörlerde de söz konusu olmuştur. 2003’te sektör toparlanma sürecini yaşamış ve 2004 yılından sonra normal seyrine dönmüştür. Türkiye de boya üretiminin sektörlere göre dağılımı Şekil 1.3’te gösterilmiştir. Boya endüstrisi genellikle iç pazar içinde üretim yapmakta, son zamanlarda ise ihracata yönelmeye başlamıştır. Genel olarak sanayinin hemen her dalında faaliyet gösteren boya sektörü özellikle 1988 yılından itibaren ülkemizde inşaat sektöründe bir canlılığa sebep olmuş ve gelir düzeyinde yüksek bir artış sağlamıştır. Fakat bu artış 2001 yılında meydana gelen krizle büyük oranda düşerek üretim %25 oranında azalma göstermiştir.



Şekil 1.3. Türkiye’de boya üretiminin sektörlere dağılımı.

1.4. Boya Endüstrisinde Oluşan Atıklar ve Atıksu Kaynakları

Boya fabrikalarında üretim sonrası çıkan kirlilik içeren suların büyük çoğunluğu üretim esnasında görev alan tanklar ve aletlerin yıkanmasından gelen sulardan oluşmaktadır. Boya endüstrisi atıksuları deşarj edildiği ortamların rengini arttırması yoğun kıvam oluşturması nedeniyle ekolojik olumsuzluklara yol açmaktadır. Atıksular genellikle kullanılan hammaddelerin karıştırma, inceltme-ton ayarlama ve doldurma, paketleme şeklinde üç adımda yapılan boya üretimi sonunda üretilen boyanın cinsine

bağlı olarak bu adımlarda kullanılan tank ve aletlerin su veya bir solvent ile temizlenmesiyle oluşur. Aynı zamanda bunlara ek olarak yüzeye dökülen boyaların temizlenmesi, reçine ve pigment üretimi esnasında gelen atıklar, adi hazırlanmış boyanın fabrikanın çıkışındaki atıksulara verilmesi, paketlerden etrafa saçılan toz maddeler de atık oluşturmaktadır.

Boya üretim aşamasında kullanılan tank ve teçhizatların temizlenmesiyle oluşan atıksularda boyadan kaynaklanan toksik veya toksik olmayan organik ve anorganik birçok bileşik bulunur (Gönüllü ve ark., 1983). Reaktör kondenser yan ürünleri, kostik ve diğer su esaslı yıkamalar ile solvent esaslı yıkamalar, solvent esaslı atık maddeleri ifade etmektedir. Ayrıca ağır metalleri içeren yıkama suları da atıksu olarak bertaraf edilir.

1.4.1. Boya endüstrisi atıksularının genel özellikleri

Boya endüstrisi atıksuları oldukça fazla bileşen ve katkı maddesi içerdiğinden fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak karakterize edebilmek oldukça güçtür. Üretim esnasında ürünlerin sık sık değişmesi, hammaddelerde kullanılan kimyasalların değişmesi, etrafa saçılan pigment ve çözücülerin toplama kanallarına taşınması ve üretimin yoğunluğu oluşan atıksuların karakterini sürekli değiştirmektedir. Yapılan proses atıksu karakterizasyon çalışmalarında ve literatür araştırmalarında görülebileceği üzere boya sanayi atıksularında yüksek oranda organik ve inorganik kirlilik ve askıda katı madde bulunmaktadır. Boya sanayi atıksularının içerdiği bu organik ve inorganik kirlilikler yapılan analizlerle toksik kirleticilerin olduklarını göstermektedir. Atıksularda bulunan bu toksik kirleticilerin üretim esnasında kullanılan hammaddelerden kaynaklandığı görülmektedir. Hammaddelerin içeriğindeki toksik maddeler ise; pigmentler, boyar maddeler, özel kimyasal maddeler, reçineler ve çözücülerden oluşmaktadır. Boya sanayi atıksularında bulunabilecek toksik kirleticileri ise; pestisidler, klorlü bifenil bileşikler, fenolik bileşikler, uçucu organik bileşikler, yarı uçucu organik bileşikler ve inorganik maddelerdir. Boya sanayi atıksularının özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunların bazıları tek tek boya kuruluşlarında olduğu gibi, bazıları da birçok boya kuruluşunu kapsayacak şekilde yapıldığı belirtilmektedir.

1.4.2. Atıkların bertarafı veya geri kazanımı

Çoğunlukla solvent bazlı boya üretim esnasında kullanılan alet ve teçhizatların temizlenmesi ile kirli solventler oluşmaktadır. Bu kirli solventler bir distilasyon işleminden geçilerek üretimde belli aşamalarda tekrar kullanılmaktadır. Ayrıca üretim esnasında hammadde olarak kullanılabilir. Üretim ekipmanlarının temizlenmesi için kostik çözeltiler kullanılmaktadır. Bu işlem hem su bazlı hem de solvent bazlı boya üretiminde söz konusudur. Temizleme işlemi tamamlandıktan sonra kostik çözelti bir tank içerisinde depolanarak temizleme etkisini kaybedene kadar kullanılmaktadır.

Solvent bazlı boya üretimi esnasında temizleme için kullanılan kostik çözeltiler temizleme etkisini kaybettikten sonra içerdiği tehlikeli bileşenlerden ötürü tehlikeli atık olarak uzaklaştırılmaktadır. Boya sanayide oluşan atıklar ya geri kazanım üniteleriyle üretimin sonraki aşamalarında tekrar kullanılmakta yahut tamamen işlevini yitirdiyse ve kullanımı söz konusu değilse uygun bir arıtım yapılarak deşarjı sağlanmaktadır (EPA, 1990). Endüstride meydana gelen ve sıvı atık olarak adlandırılan atıklar ise su ve solvent bazlı boyaların hatalı üretiminden, ağır metal içerikli yıkamalar esnasında, su ve kostik bazlı yıkamalardan meydana gelmektedir (Nemerow ve Agardy, 1997).

Solvent bazlı boya üretimi sonrasında oluşan atıksuların bellibir miktarda solvent içerdiği görülmüştür. Kullanılan kaynakların azaltımı veya geri dönüşüm yapılarak oluşacak atıkların azalması sağlanabilmektedir. Ayrıca üretimde kullanılan hammadde miktarında ve üretim maliyetinde bir azalma olmaktadır. Dursun ve diğ. (2006) yılında yaptıkları bir çalışmada, İzmir'de Organize Sanayi Bölgesi'nde solvent bazlı boya üretimi yapan endüstriden kaynaklanan atık oluşumunun azaltılmasını amaçlamıştır. Atıkların azalmasına yönelik gerçekleştirilen proses iyileştirilmesi göz önünde bulundurularak deney sistemine bir distilasyon ünitesi yerleştirmiştir. Bu sistemle laboratuvar çalışmaları neticesinde %70 oranında solvent geri kazanımı olmuştur. Teknolojik açıdan daha modern dizayn edilen distilasyon üniteleri ile bu geri kazanım oranının daha fazla olacağı belirtilmiştir.

1.5. Boya Endüstrisi Atıksularını Karakterize Eden Parametreler

- pH, bir çözeltinin asit veya baz değerini anlamak için kullanılan değerine pH denir. Çözeltinin içindeki asit kaynaklı hidrojen iyonlarına göre pH belirlenir. İyi karışmış su bazlı bir boyanın pH'ı 6-9 aralığında olmalıdır.
- İletkenlik, elektrik akımı iletme performansının belirlenmesine dayanmaktadır. İletkenlik birimi olarak $\mu\text{S}/\text{m}$ kullanılmaktadır.
- Renk, boyaya renk veren olarak adlandırılan pigmentlerden dolayı boyanın fiziksel görüntüsünü ifade etmek için kullanılır. Boyalar oldukça yoğun kıvamlı ve farklı renkler içerebilmektedir. Bu durumda atıksularda kirlilik oluşturmakta ve arıtım esnasında rengin giderilmesi oldukça önemlidir.
- Askıda katı madde (AKM), atıksu içerisinde çözünmeyen ve oldukça küçük yapıda olduğundan havada asılı kalan tanecikleri ifade etmede kullanılır.
- Bulanıklık, atıksuyun askıda katı madde içeriğinden dolayı oluşan sudaki net olmayan görüntüyü ifade eder. Bulanık olan su deşarj edildiği ortamda estetik açıdan uygun bir görüntü oluşturmadığından arıtım esnasında bulanıklığın giderilmesi oldukça önemlidir.
- Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), hem endüstriyel hemde evsel nitelikli atıksuların içerdiği kirlilik yükünü belirlemek için kullanılan önemli bir parametredir. Atıksuların yapısında bulunan oldukça kuvvetli kimyasal oksitleyiciler ile oksitlenebilen organik maddelerin oksitlenmeleri için gerekli oksitleyici miktarının oksijen eşdeğerini ifade eder.
- Klorür, tüm doğal ve kullanılmış sularda bir şekilde bulunan bir iyondur. Analizi yapılacak nötral yada alkali bir numunenin klorürün gümüş nitratla titrasyonu ile dönüm noktasını belirlemek için yapılır.
- Alkalinite, bir suyun alkalitesi, o suyun asitleri nötralize edebilme kapasitesi olarak tanımlanır. Bikarbonatlar alkalitenin en önemli şeklidir. Doğal sularda ve birçok su kaynağında alkaliniteye; OH^- iyonları, CO_3^{2-} iyonları ve HCO_3^- iyonları neden olur. Alkaliliğin insan sağlığı üzerinde bilinen zararlı etkileri olmamaktadır. Ayrıca korozyonu önlemeye yarayan CaCO_3 dengesini sağladığından birçok sanayi suyunda bulunması istenen bir parametredir.

- Toplam katı madde (TKM), atıksuyun içerdiği askıda veya çökebilen katı maddelerin tamamıdır.
- Çözünmüş katı madde (ÇKM), filtre edilebilen katı maddeler olarak adlandırılır.
- Ağır Metaller, boyanın yapım aşamasında kimyasal yapısında bulunan ve çeşitli katkı maddelerinin ilavesiyle atıksuya geçen kimyasallardır.
- Yağ ve gres, organik asitlerle alkollerin yaptıkları esterler yağ olarak bilinir, yağ ile gres genelde birlikte anılır. Yağ ve gres esas olarak aynı maddeden oluşmaktadır. Gres, içerdiği yağ ve diğer katkı maddelerinin tamamıdır.
- Toplam azot (TN), organik azot, amonyak, amonyum, nitrat ve nitrit iyonlarının tamamıdır. Bu iyonları içeren su numunesi H_2SO_4 ile asitlendirilir ve H_2O_2 ile muamele edilir.

1.6. Boya Endüstrisi Atıksularının Arıtım Metodları

Su kirliliği her geçen gün artarak evrensel bir problem halini almıştır. İnsan popülasyonunun büyük bir kısmı suya erişememekte ve su kaynaklı ölümcül bazı hastalıklar sebebiyle ölüm olayları gerçekleşmektedir. Dünya'nın yaklaşık 80 %'inin suyla kaplı olması, bütün insanlığın su ihtiyacını karşılayacağı ve bu kaynakların hiç tükenmeyeceği gibi bir durumu akla getirebilmektedir. Fakat bu su kaynaklarının yaklaşık sadece 3 %'ü içme ve kullanıma uygun haldedir. Ancak bu su kaynaklarının hızla kirlenmesi ve gereksiz harcamalarla tüketilmesi göz ardı edilemeyecek bir gerçektir. Su kirliliği olarak karşımıza, lağım suları, evsel ve endüstriyel sıvı atıklar, yağmur suları ve süzüntü suları çıkmaktadır. Süzüntü, yüzeyde biriken suların sızarak kanalizasyona girmesiyle oluşur.

Endüstriyel arıtma tesislerinde oluşan atıksuyun cinsine göre fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle arıtılan atıksular daha sonrasında bahçe sulaması ve ziraat, tuvaletlerin temizliği, söndürme işlemleri, soğutma işlemleri ve bir yerde biriktirilerek suni göllerin oluşturulması şeklinde kullanılmaktadır. Eğer çok iyi bir arıtım söz konusuysa içme suyu olarakta kullanılabilirler. Tekrar kullanımı mümkün olmayan atık sular, çevreye ve doğal yaşam alanına zarar vermeyecek şekilde deşarj edilmelidir. Atıksularda bulunan organik maddelerin mikroorganizmalar kullanılarak bir enerji kaynağı haline getirilerek

değerlendirilmeside üzerinde önemle durulması gereken bi konudur ve bu şekilde atıksuların atık olmaktan çıkması sağlanabilir (Hurtley, 2012).

Boya atıksularındaki boya ve diğer organik kirleticilerin bertarafı için kimyasal ve fiziksel arıtma, ileri oksidasyon prosesleri ve membran prosesler gibi birçok arıtım metodu uygulanabilmektedir (Akyol, 2012). Ayrıca birçok boya endüstrisinde oluşan proses atıksularının arıtımında kullanılan kimyasal arıtıma ek olarak, tesiste oluşan diğer atıksularla birleştirilip birlikte bir biyolojik arıtmada kullanılabilir.

1.6.1. Fiziksel arıtım yöntemleri

1.6.1.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon maliyet bakımından oldukça ekonomik olan ve yüksek kalitede ürün eldesi sağlayan bir yöntemdir. Adsorpsiyon prosesinde, adsorbanın yüzey alanı, tanecik boyutu, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi birçok fiziko-kimyasal faktör önemli olmaktadır. Adsorpsiyon yöntemiyle özellikle boyar madde içeren atıksulardan renk gideriminde adsorben olarak aktif karbon tercih edilmektedir. Tercih edilen bu metodun arıtım verimi adsorpsiyon esnasında kullanılan aktif karbonun cinsine ve atıksuyun karakterine bağlıdır. Ancak aktif karbonun pahalı oluşu maliyet açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle adsorben olarak aynı görevi gören bataklık kömürü kullanılmaktadır. Fakat aktif karbonun geniş yüzey alanı ile bataklık kömürüne göre daha yüksek oranda adsorpsiyon sağlamaktadır. Ağaç kırıntıları, uçucu kül, silika jeller, doğal killer ve biyo malzemeler de, boya gideriminde adsorban olarak kullanılabilir.

1.6.1.2. Membran filtrasyonu

Membran, selüloz asetat ya da polyamide malzemeden yapılmış seçici geçirgen özellikte olan ileri düzeyde teknolojik sistemlerdir. Membran filtrasyonla yapılan arıtımda atıksu içinde kirlilik oluşturan maddeler, osmotik basınç veya elektriksel itme-çekme kuvveti gibi bir itici kuvvet sayesinde membran yüzeyine itilerek uzaklaştırılır. Bu maddelerin bazıları membrandan geçebilirken diğer kısmı atıksu içinde kalır ve ayırma işlemi gerçekleşmiş olur. Bu membran sistemler ile atıksulardan renk

giderilebilmektedir. Ayrıca bu yöntemin diğer yöntemlerden avantajı ise ısıya, herhangi bir kimyasal çevreye ve mikrobiyel aktiviteye karşı dayanıklı olmasıdır. Dezavantajları ise, arıtım işleminden sonra kalan yoğun atıkların giderilmesinde sıkıntı oluşması ve membranların bir süre sonra tıkanma durumudur. Bu sistemlerin yenilenmesinde oldukça yüksek maliyet gerektirdiğinden dezavantaj oluşturmaktadır.

1.6.1.3. İyon değişimi

Bu yöntem henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Çünkü yapılan çalışmalarla bu yöntem ile renk giderimi sağlanan boya çeşidinin az oluşu ve bu işlem için maliyetinin oldukça yüksek oluşudur. İyon değişiminde atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde, boyar madde içeren atıksulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir.

1.6.2. Kimyasal arıtma yöntemleri

1.6.2.1. Oksidasyon

Atıksularda tehlike oluşturan veya deşarj edildiği ortamda bulunmaması gereken kirlilikler oluşturan bileşiklerin zararsız hale dönüştürülmesi ve daha sonraki arıtma işlemleri için uygun hale getirilmesidir. Demir ve mangan giderilmesi, dezenfeksiyon, organik bileşiklerin giderilmesi, alg kontrolü, renk, tat ve koku giderilmesi, siyanür, kükürt, amonyak giderilmesi, krom indirgenmesi, korozyon kontrolü başlıca kullanım alanlarıdır.

1.6.2.2. Ozonlama

Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında oldukça etkili bir yöntemdir. Boya ve boyar madde üreten endüstrilerde oluşan atıksularda çoğunlukla uygulanan bir metottur. Burada Kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi herhangi bir kalıntı ya da çamur oluşumuna veya

toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmamaktadır. Azo boyar madde içeren atıksuların ozonlama yöntemiyle arıtıldığı bir çalışmada ozon transfer hızının, başlangıç boya konsantrasyonuna, uygulanan ozon dozlaması ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı belirtilmiştir. Bu yöntemin önemli bir avantajı ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşturmamasıdır.

1.6.2.3. Koagülasyon prosesi

Koagülasyon prosesi bir kimyasal arıtım metodu olup, birçok endüstriyel ve evsel atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır. Bu proses ile sudan renk, bulanıklık, suya tat ve koku veren maddeler, ortamdaki oksijeni tüketen kirleticiler sudan giderilmiş olur. Atıksu içerisinde bulunan katı maddeler; yapılarına göre askıda katı madde (çapı 10^{-7} mm - 0.1 mm), kolloidler (10^{-6} mm – 10^{-3} mm) ve çözülmüş maddeler (çap $<10^{-6}$ mm) olarak adlandırılmaktadır. Atıksuların içerdiği katı maddelerin tanecik boyutu bu maddelerin giderilmesi için uygulanacak arıtma yöntemlerini belirlemektedir. Atıksu içinde kendi kendine çökemeyen kolloidal olarak adlandırılan asılı halde olan maddeler bulunmaktadır. Bu maddeler oldukça küçük yapıda olduklarından yer çekimi etkisiyle çökemezler ve atıksudan uzaklaştırılmazlar. Bu maddelerin yüzeyleri elektriksel negatif yüzey yüküne sahip olduklarından elektrostatik kuvvetler kolloidlerin biraraya gelmesini engeller. Bu atıksulardan bu maddelerin giderilmesi için atıksuya jar test (koagülasyon-flokülasyon) deneyleri uygulanır. Bu işlemler üç aşamada gerçekleşir. İlk olarak atıksulara koagülant olarak adlandırılan çöktürücü kimyasallar eklenerek koagülant madde ile tanecikler arası elektriksel stabilizasyon sağlanır. Bu kolloidlerin elektriksel yükleri nötralize edilerek pıhtılaştırılması sağlanır. Bu işlem deneylerde hızlı karıştırma esnasında gerçekleştirilir. Hızlı karıştırma süresi genellikle 5 dk, karıştırma hızı ise 200-300 devir/dk'da olmaktadır. Daha sonra yavaş karıştırma (flokülasyon) işlemi ile kararsız hale gelmiş ve yumaklar oluşturmuş bu kolloidal tanecikler çökelebilecek konuma gelirler. Tercih edilen yavaş karıştırma süresi 30-60 dk arasında, karıştırma hızı ise 50-100 devir/dk'da olmaktadır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra son aşama olarak tanecik çapları büyüyen bu maddeler çökelmeye bırakılarak tamamen çökmesi beklenir. Çökme süresi 30-60 dk arasında değişmektedir. Bekleme sonrası arıtılmış

atıksuyun üst kısmından alınan numunelerle kirlilik oluşturan parametrelerin giderimi kontrol edilir. Bu sayede atıksuların kirlilik yükü oluşturan değerleri azaltılarak atıksuyun çevreye zarar vermeyecek şekilde deşarjı sağlanabilmektedir. Koagülasyon yönteminde en çok tercih edilen koagülantlar; alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$), demir sülfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) ve demir (III) klorür ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), sodyum alüminat ($Na_2Al_2O_4$), kireç ($Ca(OH)_2$), sönmemiş kireç (CaO) olmaktadır. Ayrıca yardımcı koagülant olarak polielektrolitler, kil, kalsit kullanılmaktadır.

Koagülasyon işlemi büyük proseslerde uygulanmadan önce jar testi olarak adlandırılan küçük ölçekli deney düzeneğinde kullanılır. Bu prosesin tercih edilme sebebi; genellikle yüksek giderim verimi sağlaması, ekonomik oluşu, uygulanabilirliğinin kolaylığı ve diğer alternatif teknolojilere göre enerji sarfiyatının az oluşu olarak söylenebilir. Dezavantajı ise çökelmeyle oluşan dipteki çamurun giderim maliyetinin oldukça yüksek olmasıdır (Furlan ve ark. 2010).

Ayrıca bu yöntem ile arıtıma etki eden pH, koagülant dozu, çökelme süresi, karıştırma hızları ve süreleri gibi değişkenlerin optimum değerlerini bulmaya yardımcı olmasıdır. Eğer işletme koşulları iyi ayarlanmazsa oluşan çamur miktarı fazla olur ve bu durum sisteme bazı zararlar verebilir. Bu durum sistem hatalarından kaynaklı maliyet açısından ekonomik sıkıntılar oluşturur.

1.7.Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY)

Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY), 1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilmiş bir programdır. YYY birden fazla parametrelili sistemlerin hızlı bir şekilde iyileştirilebilirliğini sağlayıp, ‘En Küçük Kareler’ yöntemini kullanarak yanıt yüzeyinin tahmin edilmesini kolaylaştırır. Az sayıda deney ile maksimum veriye ulaşma, eş zamanlı olarak etkin parametreleri değiştirebilme, kolay optimizasyon imkanı, parametreler arasındaki etkileşimin belirlenmesi gibi avantajları olan YYY birçok mühendislik ve bilim dalında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Deneysel çalışmalarda etkinliği araştırılan parametreleri (bağımsız değişken) kapsayan aralık ve bu bölgeye ait optimum noktayı tahmin etmek için yanıt yüzeyi oluşturulur. Ayrıca YYY endüstriyel süreçlerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve optimizasyonun da kullanılan istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bütünüdür. YYY,

uygun deney tasarımının belirlenmesiyle elde edilen sayısal veriler ile bunlara dair çok yönlü modellerin oluşturulması ve bunların çözümlenmesinde kullanılır. Yanıt yüzeyi olarak iki ve üç boyutlu grafik şeklinde sunulabilen bu modeller; farklı etkilerin yanıtına nasıl etki ettiğinin belirlenmesinde, değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır.

YYY genellikle üç aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak bir deneysel parametre kombinasyonu oluşturulur ve bu yanıt değerlerinin elde edilebilmesi için laboratuvar ortamında deneyler gerçekleştirilmektedir. Bu işlem geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, verimi yüksek ve daha az deneyler yapılarak maliyetin azaltılması sağlanmaktadır. Oluşturulan matematiksel modelin getirdiği en önemli katkılardan biri de ara yanıt değerlerinin hızlı bir şekilde belirlenmesidir. Bir sonraki aşamada, oluşan yanıt değerleri ile giriş parametreleri arasındaki ilişkinin üssel bir fonksiyon şeklinde tanımlanmasıdır. Son olarak ise varyans analizi (ANOVA) ve yüzey grafikleri gibi yöntemlerle optimum noktaların tespit edilmesi gerçekleştirilmektedir. Endüstrilerde gerçekleşen olası problemlerin çözümünde genellikle birden çok yanıt yer almaktadır. Bu bağımlı değişkenlere (yanıt) etki eden girdiler bağımsız değişkenler olarak ifade edilmektedir. Bu bağımsız değişkenler sisteme etki eden değerlerden oluşmakta ve oluşturulacak yanıt için belirlenen hedef doğrultusunda deneyi gerçekleştiren tarafından değiştirilerek sonuçların analizi yapılır.

Khuri ve Cornell (1996) 'a göre, YYY bir veya birden fazla ölçülecek olan yanıt değişkenlerinin değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve ölçülmesi üzerine bir de yanıt ve yanıtları etkilediği belirlenen bir grup deneysel faktörün değerlerinin ayarlanması üzerine gerçekleştirilmektedir. YYY tekniğinde oluşturulacak yanıtın yeterli ve güvenilir bir şekilde ölçülmesini sağlayacak deney setini tasarlamak ve oluşturulan model parametreleri ile ilgili varsayımlar uygulanarak önceden tasarlanmış deneylerin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen verilere en çok uyan matematiksel model belirlenir. Burada en küçük yahut en büyük yanıt değerini sağlayan en iyi bağımsız değişken değerlerinin belirlenmesi tekniğin son aşaması olarak tasarlanmaktadır.

Sonuç olarak YYY'de oluşturulan model, proses girdilerini ve deney sonuçlarını da içeren matematiksel bir ifade olarakta söylenebilir. Seçilen bağımsız değişkenlerin aralığına bağlı olarak, geliştirilen model düşük ya da yüksek dereceli bir polinom

şeklinde oluşabilir. Burada aranan yanıt, bağımsız değişkenlerin değişimi ile doğrusal değişiyorsa, model 1.dereceden bir polinom olur ve "Eş. 1.1" deki gibi ifade edilir:

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1 \xi_1 + \beta_2 \xi_2 + \dots + \beta_k \xi_k + \varepsilon \quad (1.1)$$

γ : Yanıt (bağımlı değişken)

ξ_i : Girdi (bağımsız değişken)

β_i : Regresyon katsayısı

ε : Deneysel hata

olarak tanımlanır. Burada ε istatistiksel hata olarak ifade edilir. "Eş. 1.1" de bağımsız değişkenler (ξ_i) doğal birimleri cinsinden verilmiştir.

Birçok YYY uygulamasında doğal değişkenler yerine kodlanmış şekilde bulunan değişkenler kullanılır. Kodlanmış değişkenler kullanılarak oluşturulan yeni yanıt fonksiyonları da "Eş. 1.2" deki gibidir:

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (1.2)$$

YYY, problem çözümlerinde esnek oluşundan dolayı ve farklı fonksiyonel formlar alabildiğinden gerçek yanıtın tahmin edilmesinde de kolaylık sağlar. Ayrıca katsayı değerleri hesaplanırken en küçük kareler yöntemini kullanarak hesaplamayı kolaylaştırır. Yanıtın ikinci dereceden ve iç etkileşimlerinde bulunduğu k sayıda bağımsız değişkenli bir modelin eşitliği "Eş. 1.3" teki gibidir:

$$\gamma = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1.3)$$

YYY'de ikinci dereceden polinomiyal modeller esnekliği nedeni ile çok çeşitli fonksiyonel haller alıp gerçek yanıt fonksiyonunun tahmin edilmesinde kolaylık sağladığı için yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.7.1. Merkezi kompozit tasarım (MKT)

YYY 'nin en sık kullanılan uygulamalarından biri olan MKT deney sistemi, Box ve Wilson tarafından 1951 yılında 3^k faktöriyel tasarımlara alternatif sağlama kolaylığı adına tasarlanmıştır.

Subaşı (2010), 3^k faktöriyel tasarımlara alternatif olarak merkezi kompozit tasarımı önermiştir. Önemli istatistiksel özelliklere sahip merkezi kompozit deneme düzeni ikinci dereceden bir cevap yüzeyi modelinin oluşturulması için en popüler yöntemlerden biridir. Önerilen modelin uygunluğu varyans analiziyle (ANOVA) ifade edilir.

MKT kendi içinde; iki düzey noktalar (faktöriyel), iki düzey ötesi noktalar (aksiyal, α) ve merkez noktalar olarak üç kısma ayrılabilir. Şekil 1.4'te bu noktaların kısımları verilmiştir. Bu yöntemin faktöriyel noktaları, bir faktörün +1 veya -1 yani en yüksek veya en düşük düzeylerinden oluşur. Aksiyal noktaları, deneyi yapanın belirlemiş olduğu iki düzey noktalarının ötesinde olan ve program tarafından belirlenen $+\alpha$ ve $-\alpha$ değerleridir. Bu değerler aşağıda "Eş. 1.4" ile belirlenmektedir. Programın bunu yapmasının nedeni ise deneyi yapanın belirlediği noktaların alanını genişleterek hata payını azaltmaktır. Merkez noktalar ise; faktöriyel noktaların orta noktaları olan ve yapılan deneysel hatayı tahmin etmek için tekrarlanan noktalardır. Sonuç olarak MKT'de iki faktöriyel, iki aksiyal ve bir merkez nokta olmak üzere beş düzey vardır. Şekil 1.4.'te MKT'nin kısımları verilmiştir.

$$\alpha = 2^{k/4} \quad (1.4)$$

k: Bağımsız değişken sayısı (pH, koagülant dozu, karıştırma hızı)

MKT'de deneysel tasarım yapılırken deney sayısını belirlemede aşağıda belirtilen "Eş. 1.5" ve "Eş. 1.6" kullanılır.

$$N = 2^k + 2k + n_0 \quad k < 5 \quad (1.5)$$

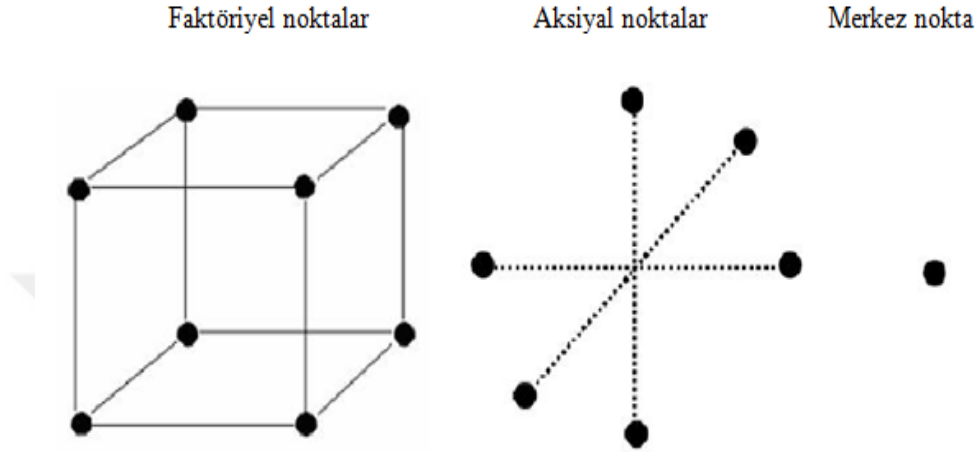
$$N = 2^{k-1} + 2k + n_0 \quad k > 5 \quad (1.6)$$

Burada;

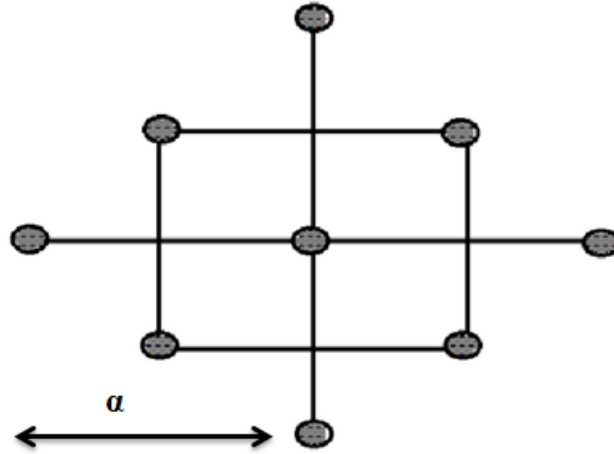
N : Deneysel sayısını,

n_0 : Merkezdeki deneysel sayısını,

k : Bağımsız değişken sayısını göstermektedir.



Şekil 1.4. Merkezi Kompozit Tasarım uygulama noktaları (Subaşı, 2010).



Şekil 1.5. Merkezi Kompozit Tasarımda tüm kısımların yer aldığı görünüm.

Şekil 1.5' te yer alan gösterim MKT'nin en basit haldeki gösterimidir. Şekilde dörtgenin 4 köşesinde yer alan noktalar faktöriyel noktalar, dışında yer alan ve merkez noktada her biri α kadar uzaklıkta olan 4 nokta da modele ait aksiyal noktalar ve merkezinde yer alan nokta ise merkez noktadır.

Optimizasyonda istenilen yanıt doğrusal veya kuadratik olarak seçilen değişkenlerle belirlenebilir. Kuadratik modeli veren eşitlik "Eş. 1.7" deki gibi ifade edilir:

$$\gamma = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (1.7)$$

Eşitlikte;

γ : Yanıt (KOİ, AKM, renk, bulanıklık)

β_0 : Sabit katsayı

X_i : Bağımsız değişkenler

β_i : Lineer katsayı

β_{ii} : Kuadratik katsayı

β_{ij} : İnteraksiyon katsayısı

k : Parametre sayısı

1.7.2. Varyans analizi (ANOVA)

Çalışılan proses üzerine etki eden parametrelerin performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için istatistiğe dayalı bir karar aracı olan varyans analizleri (ANOVA) kullanılmaktadır. Varyans analizi, bağımsız değişken veya değişkenlerin farklı değerleri ile bağımlı değişken üzerinde oluşturdukları etkileri belirlemek amacıyla uygulanmaktadır.



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Dovletoglou ve ark. (2002), tarafından yapılan çalışmada boya endüstrisine ait atıksuyun koagülasyon-flokülasyon yöntemi ile arıtımını incelemiştir. Koagülant olarak FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve PACI (Poli Alüminyum Klorür) kullanılmıştır. Kullanılan koagülant dozu ve pH değerinin arıtılmış atıksuyun kalitesine etkileri araştırılmıştır. FeSO_4 için en uygun pH 9.7 dir. Kullanılan koagülant dozu 2000 mg/l, KOİ ve bulanıklık giderim verimi ise sırasıyla % 30-80 ve % 70-99 olarak belirlemiştir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı ile yapılan çalışmalarda pH ayarlamasına ihtiyaç duyulmamıştır. Harcanan koagülant dozu 2500 mg/L, KOİ ve bulanıklık için giderim verimi sırasıyla % 70-95 ve % 90-99 olarak bulunmuştur. PACI kullanımında optimum pH 7 olup 4000 mg/L koagülant dozlamasıyla elde edilen KOİ ve bulanıklık giderim verimleri her ikisi için de % 98 olarak bulunmuştur. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve PACI'nin farklı polielektrolitlerle beraber denemesi sonucunda farklı polielektrolitlerin giderim veriminde yol açtığı fark %10 oranında gözlemlenmiştir.

Dey ve ark. (2002), tarafından yapılan bir çalışmalarında su bazlı boya üreten bir endüstrinin çeşitli basamaklarında geri kullanılmak üzere atıksuyun koagülasyon ve mikrofiltrasyon ile arıtımını incelemiştir. Koagülasyon için hem koagülant (alüminyum sülfat) hem polielektrolit (anyonik poliakrilamid) kullanılmıştır. Optimizasyon parametreleri olarak koagülant dozu, bulanıklık ve zeta potansiyeli belirlenmiştir. Atıksuya farklı pH noktalarında alum ilave edilerek arıtılmış atıksuyun pH değerinin 4-5 olduğu noktada zeta potansiyeli ölçümleri kararlı olduğunu doğrulamıştır. pH 7-7.5 olduğu noktada ise zeta potansiyeli sıfıra ulaşırken koloidal dispersiyon kararsız bir hal almıştır. Bu işlemler sonucunda pH'ın arıtım verimi üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca pH'ın 4-4.5 aralığında flok oluşumu en düşük seviyede iken, pH 7.0-7.5 aralığına çıkarıldığında floklar kolayca oluşmuştur. Çalışmalar sonucunda arıtım için optimum pH'ın 7.5 olduğunu görülmüştür. Atıksudan KOİ gideriminde en yüksek verim yüzdesi % 74 olurken, bulanıklık gideriminde ise verim % 99.6 olmuştur. pH 7.5'te harcanan optimum alum ve polielektrolit miktarı ise sırasıyla 700 mg/L ve 6 mg/L olarak bulunmuştur.

Dey ve ark. (2002), yaptıkları başka bir çalışma lateks bağlayıcılı boya atıksularının karakterizasyonu üzerine olmuştur. Yapılan bu karakterizasyon işlemleri sonucunda lateks bağlayıcılı boya atıksuyunun pH değerini 8.5, BOİ değerini 588 mg/L, KOİ değerini 5632 mg/L, askıda katı madde içeriğini ise 2864 mg/L olarak bulunmuştur.

Juan ve ark. (2008), tarafından yapılan bir çalışma lateks bağlayıcılı boya atıksuyunun karakterizasyonu üzerine olmuştur. Çalışmalar sonucunda atıksuyun pH değerinin 7, KOİ değerinin ise 4350-5200 mg/L aralığında olduğu belirtilmiştir (Juan MA, 2008). Başka bir çalışmada, lateks bağlayıcılı boya atıksularına ait iki numune ele alınmıştır. Bu atıksuya ait yapılan karakterizasyon çalışmaları sonucunda ilk numunenin pH değeri 9, kimyasal ksijen ihtiyacı değeri 75.3 ± 2.6 g/L, çözülmüş KOİ'nin 21.3 ± 1.3 ve BOİ 0.98 ± 0.24 g/L olarak belirlenmiştir. İkinci numunenin ise pH'ı 7.7, toplam KOİ 95.7 ± 1.5 g/L olarak belirlenmiştir.

Ahmadi ve ark. (2005), yaptıkları bir çalışma zeytin değirmeninden kaynaklanan atıksulardan organik kirleticilerin uzaklaştırılması üzerine olmuştur. Çalışmalarda fenton sürecinin bu kirliliklerin giderilmesinde etkisini belirlemek için merkezi kompozit tasarım kullanılmıştır. Deney tasarımında bağımsız değişkenler olarak H_2O_2 miktarı-Fe(II) miktarı oranı, pH ve atıksu miktarı belirlenmiştir. Bu bağımsız değişkenlerinin KOİ, toplam fenolik (TF), renk ve kıvam giderimi yanıtlarına etkileri incelenmiştir. İkinci dereceden polinomal bir regresyon modeli kullanılmıştır. Varyans analizi sonucunda R^2 değeri 0.902 – 0.998 arasında bir değer elde edilerek bu değerlerin modelin deneysel verilere uygunluğu belirlenmiştir. pH'ın hem organik kirletici gideriminde hem de toplam fenolik gideriminde oldukça etkili olduğu görülmüştür. KOİ, TF, renk ve kıvam giderimi için en iyi verim sağlayan sonuçlar sırasıyla %56, %100, %33 ve %32 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin elde edilebilmesi için optimum koşullar; H_2O_2 miktarı-Fe(II) miktarı oranı 8.33, pH 4 ve atıksu miktarı ise %70 olarak belirlenmiştir.

Aboulhassan ve ark. (2006), tarafından yapılan bir çalışma boya endüstrisi atıksularının koagülasyon- flokülasyon yöntemiyle organik kirletici ve renk giderim verimi üzerine olmuştur. Ayrıca çökeltme sonrası oluşan çamur miktarlarında incelenmiştir. Deneyleerde kullanılmak üzere koagülant olarak; demir klorür ve flokülant olarak Polysep 3000 (PO) (doğal katyonik flokülant), Superflok A-1820 (SU)

(sentetik aniyonik polimer) ve Praestol 2515 TR (PR) (sentetik aniyonik polielektrolit) kullanılmıştır. Çalışmalar neticesinde demir klorürün etkin olduğu pH değeri 8-9 arasında, optimum koagülant dozu 650 mg/L, KOİ giderim verimi % 82 ve renk giderimi ise % 94 olarak bulunmuştur. Bu arıtım çalışmalarında koagülant ve polimerik katkı maddesi kullanılmasının yalnız koagülant kullanımına göre daha yüksek verim sağladığı görülürken çamur miktarında daha az olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada boya endüstrisine ait atıksu arıtımında kullanılacak en uygun proses kombinasyonunun sırasıyla demir klorür, polysep 3000 (katyonik flokülün), praestol 2515 TR (aniyonik flokülün) olduğu belirlenmiştir.

Eremektar ve ark. (2006), tarafından yapılan bir çalışma su bazlı boya endüstrisine ait atıksuların koagülasyon metoduyla arıtılabilirliği üzerine olmuştur. KOİ oldukça yüksek olan bu atıksuyun arıtımı için; alum (Al_2SO_4)₃, sodyum bentonit, $FeSO_4$, $FeCl_3$ gibi koagülantlar kullanılmıştır. KOİ 2300 mg/L olan bu atıksuyun deşarj standartlarının sınır değerine düşürmek için tam bir giderim sağlanamamıştır. Ancak en iyi KOİ giderim verimi atıksuyun kendi pH (5.9) değerinde ve 50 mg/L $FeCl_3$ dozlanmasıyla elde edilmiştir.

Körbahti ve Tanyolaç (2008) tarafından yapılmış oldukları başka bir çalışmada, sentetik olarak hazırlanmış oldukları boya atıksuyunun karakterizasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışmalar sonucunda atıksuyun karakterizasyon parametreleri; pH 7.8, KOİ 7863 mg/L ve AKM içeriği ise 3021 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Khataee ve ark. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada fotoelektro-fenton süreci kullanarak C.I Basic Red 46 (BR46) boyasının renk giderimini gerçekleştirmiştir. Ayrıca yaptıkları bu çalışmada BR46 boyasından renk gideriminde elektro-fenton (EF), fotoelektro-fenton (PEF) ve fotoelektro-fenton (PEF)_{oksalat} süreçlerini karşılaştırmışlardır. Bu farklı süreçlerdeki renk giderim verimleri (PEF)_{oksalat} > (PEF) > (EF) şeklinde bulunmuştur. Çalışmada, toplamda 31 deneyden oluşan MKT uygulanmıştır. Deney tasarımında kullanılan bağımsız değişkenler; başlangıç boya, Fe^{+3} , oksalat derişimleri ve elektroliz süresi olmuştur. YYY renk giderimi verimliliğine etki eden bu bağımsız değişkenlerin ana ve etkileşim etkilerini belirlemek ve eniyilemek için uygulanmıştır. Varyans analizi sonucunda R^2 değeri 0.959 olan bir model elde edilmiştir. Optimum başlangıç boya derişimi 10 mg/L, Fe^{+3} derişimi 0.3 mM, oksalat derişimi 0.2 mM ve elektroliz süresi ise 27 dk olarak belirlenmiştir.

Ayrıca deneysel parametrelerin BR46 boyasının renk giderim verimliliğine etkileri yanıt yüzeyleri ve kontur grafikleri yardımıyla da görüntülenmiştir. Sonuç olarak renk gideriminde elektroliz süresi başlangıç Fe^{+3} derişimi ile artarken, başlangıç oksalat miktarının değişimiyle çok değişme göstermediği görülmüştür. Başlangıç boya derişiminin artmasıyla renk gideriminde azalma olduğu görülmüştür. Renk giderim verimleri $(PEF)_{oksalat}$ süreci, PEF ve EF süreçleri için sırasıyla %93.8, %35 ve %29.8 şeklinde olmuştur. Elde edilen bu sonuçlarda YYY'nin bu çalışma için optimum işletim koşullarını belirlemede en uygun yöntem olduğu belirlenmiştir.

Azami ve ark. (2011), tarafından yapılan bir çalışmada metil orange boyasının atıksulardan giderimi için optimum işletim koşulları için YYY'in en sık kullanılan yöntemlerinden olan merkezi kompozit tasarımı kullanarak belirlemiştir. Deney tasarımında kullanılmak üzere belirlenen 4 faktör; başlangıç $Fe(II)$, H_2O_2 , oksalat derişimleri ve reaksiyon süresi olmuştur. Aranılan yanıt ise renk giderimi üzerine olmuştur. Deney tasarımı için uygun matematiksel model belirlendikten sonra YYY optimum koşulları belirlemek için kullanılmıştır. Optimum koşullar; başlangıç $Fe(II)$ derişimi 0.25 – 0.35 mM, başlangıç H_2O_2 derişimi 5-17 mM, başlangıç oksalat miktarı 4-9 mM ve reaksiyon süresi 50-80 dk olarak belirlenmiştir. Bu uygun koşullar sağlandığında metil orange boyasının atık sulardan giderimi yaklaşık %79,87 oranında sağlanmıştır.

Camcioğlu ve ark. (2016), yapmış oldukları bir çalışmada su bazlı boya endüstrisine ait atıksuların koagölasyon yöntemiyle arıtımını kesikli deneylerle yaparak optimum koagölant dozunu ve pH değerini belirlemişlerdir. Deneyler sonucunda koagölasyon için en uygun işletim koşullarını sıcaklık $25^{\circ}C$, pH değeri 8 ve koagölant dozunu ise 0.68 g/L $Al_2(SO_4)_3$ olarak belirlemişlerdir.

Bilen ve ark. (2017), yapmış oldukları bir çalışmada Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü'ne ait atık suyun derin deniz deşarj limitinin altına düşürülmesi için YYY ile kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) kullanarak borun giderilmesi işlemini incelemişlerdir. Deney parametreleri olarak başlangıç pH'ı, tepkime süresi, tepkime sıcaklığı ve % $Ca(OH)_2/B_2O_3$ oranı belirlenmiştir. Bu çalışma için YYY merkezi bileşik tasarım kullanılarak optimize edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre elde edilen R^2 değeri 0,9578 olarak bulunmuş ve tahmin edilen giderim ile gerçek giderimin bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Önerilen bu deney tasarımı ile

laboratuvar koşullarında atıksudaki bor miktarı ortalama 7006 mg/L iken 487 mg/L' e düşürülmüştür.

Şahan ve ark. (2017), yaptıkları bir çalışmada doğal pomza minerali ile sulu çözeltilerden Co(II) iyonunun adsorpsiyonla giderimini incelemiştir. Adsorpsiyonu etkileyen ortam koşullarını (pH, başlangıç Co(II) konsantrasyonu ve sıcaklık) optimize etmek ve uygun bir tasarım modeli oluşturmak için YYY ile MKT'yi başarılı bir şekilde uygulamışlardır. MKT'de deney sonuçlarına uygun görülen kuadratik modelle en uygun ortam koşulları belirlenmiş; pH 7.79, Co 69.84 mg/L ve sıcaklık 20 °C olarak bulunmuştur. Optimum ortam koşulları için adsorplama kapasitesi 2.816 mg/g ve adsorpsiyon yüzdesi ise % 40.32 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler YYY ile yapılan deneylerle doğrulanmıştır.

Barışçı ve ark. (2017), yaptıkları bir çalışmada, anti-kanser ilacı olan Methotrexate'in (MTX) yüksek karalılığa sahip Ti/IrO₂/RuO₂ elektrotu kullanılarak elektro-oksidasyonu incelenmiştir. YYY ile elektro-oksidasyon prosesine etki eden en önemli işletme parametreleri olan akım yoğunluğu, pH ve zaman gibi etkenlerin, optimum çalışma değerlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmalar sonucunda MTX giderimi için geliştirilen model anlamlı bulunmuştur. Reaksiyon süresinin MTX gideriminde anlamlı ve en etkili olduğu tespit edilmiştir. MTX 30 dk proses süresi sonucunda %99.9 oranında giderilmiştir. pH ve akım yoğunluğu değişiminin MTX giderimi üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını gözlemlemiştir.

Hasanoğlu ve Meryemoğlu (2017), yaptıkları bir çalışmada, kenaf hidrolizatının buhar faz reformlama (AVPR) tekniğiyle sıcaklığın hidrolizat akış hızının ve biyokütle konsantrasyonuna etkisini araştırmışlardır. Çalışmada YYY kullanılarak deneysel parametrelerin oluşan gaz ürünlerin kompozisyonuna etkisini incelemiştir. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarda sıcaklık hidrojen verimi üzerinde oldukça önemli iken biyokütle konsantrasyonun, akış hızının ve bunların farklı halde kombinasyonlarının az derecede etkili olduğu görülmüştür. Optimizasyon çalışmaları sonucunda ise hidrojen yüksek oranda elde etmek için sıcaklığın 295°C'nin üzerinde ve biyokütle hidrolizat akış hızının ise 0.30 ml/dk akış hızında olması gerektiği belirlenmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Boya endüstrisi atıksuları Pb, Cr ve Cd gibi toksik kimyasalları içerdiğinden dolayı bu atıksuların doğrudan alıcı ortamlara verilmesi ekolojik dengeyi olumsuz olarak etkilemektedir. Boya atıksuları alıcı ortama verildiğinde, güneş ışınlarının yüzeysel sulara geçişini engeller, bu nedenle suda yaşayan bitkilerin fotosentezi önlenir ve bu da çözünmüş oksijenin tükenmesine yol açar. Bu atıksular renk, bulanıklık, koku, yüzey aktif maddeler, bakterisitler, yağlar, çözücüler ve koruyucu maddeler gibi yüksek miktarda organik ve toksik kimyasal maddeler içerirler.

Boya endüstrisi atıksuları için önerilen arıtım işlemi uygulanmadan önce atıksuyu karakterize etmek gerekir. Bu tezin çalışmasının giriş bölümünde boya endüstrisine ait atıksuların yoğun kıvamlı, koyu renkli ve kirlilik yüklerinin oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu tez kapsamında arıtım verimini ölçmek için öncelikle karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Karakterizasyonu tamamlanan atıksu için jar test deneyleri yapılmıştır ve sonuçlar çizelgelerde gösterilmiştir. Elde edilen arıtım verimlerine göre YYY ile deney sistemine etki eden parametrelerin optimizasyonu yapılmış ve sonuçlar üç boyutlu (3D) grafikler şeklinde gösterilmiştir.

3.1. Kullanılan Cihazlar

Tüm karakterizasyon ve arıtım deneylerinde pH metre ve iletkenlik ölçer (Hanna/HI 2211), etüv (Memmert), kül fırını (Protherm), UV-VIS spektrofotometre (Hach/Dr5000), turbidimetre (Hach/2100q, (nefelometrik yöntem)), termoreaktör (Rocker) kullanıldı. Ayrıca atıksuyun arıtımı için kullanılan jar test (Velp Scientifica) deney seti Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Boya endüstrisi atıksuyunun arıtımında kullanılan deney seti.

3.2. Kullanılan Kimyasallar

Koagülasyon-flokülasyon deneylerinde pH ayarlayıcı olarak; sodyum hidroksit NaOH (Sigma-Aldrich), sülfürik asit H_2SO_4 (Sigma-Aldrich), koagülant olarak; demir (III) klorür $FeCl_3$ (Merck), alüminyum sülfat $Al_2(SO_4)_3$ (Merck), Demir (II) sülfat $FeSO_4$ (Merck) kullanıldı. Ayrıca diğer tüm karakterizasyon deneylerinde kullanılan kimyasallar ise; gümüş (II) sülfat Ag_2SO_4 (Merck), potasyum dikromat $K_2Cr_2O_7$ (Merck), potasyum kromat K_2CrO_4 (Merck), Cıva (II) sülfat $HgSO_4$ (Merck), $AgNO_3$ çözeltisi (Merck), ferroin, fenolftalein ve metil oranj indikatörleri kullanıldı.

3.2.1. Karakterizasyon deneylerinde kullanılan çözeltiler ve hazırlanışları

- Standart potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltisi (0.75 N): 150 °C'de etüvde 2 saat süreyle kurutulmuş ve desikatörde sabit tartıma getirilmiş 36.75 gr $K_2Cr_2O_7$ saf suda çözülerek 1000 ml'ye tamamlanır.
- $AgSO_4-H_2SO_4$ çözeltisi: 1 L derişik sülfürik asit çözeltisine 5.5 gr $AgSO_4$ ilave edilerek çözülür. Gümüş sülfatın asit içinde tamamen çözünmesi için 1-2 gün bekletilir.
- KOİ reaktifi: Standart $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi (0.75N) ve $AgSO_4-H_2SO_4$ çözeltisi bir KOİ tüpü için toplam hacim 2 ml olacak şekilde 0.5 ml $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi ve 1.5 ml $AgSO_4-H_2SO_4$ çözeltisi olacak şekilde karıştırılır.

- Stok demir amonyum sülfat çözeltisi (DAS) (0.25 N): 98 gr $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ bir miktar saf suda çözülür. Üzerine çalkalayarak azar azar 20 ml derişik sülfirik asit eklenir, soğutulur ve 1000 ml'ye tamamlanır.
- Standart demir amonyum sülfat çözeltisi (DAS) (0.025 N): Hazırlanan 0.25 N stok DAS çözeltisi 1/10 oranında seyreltilerek 0.025 N standart DAS çözeltisi hazırlanır.
- Potasyum kromat (K_2CrO_4): 50 gr K_2CrO_4 bir miktar saf suda çözülür kırmızı bir çökelek oluşana kadar AgNO_3 çözeltisi ilave edilir. 12 saat bekletilir. Çözelti daha sonra filtrelendir ve saf su ile 1 L'ye tamamlanır.
- Standart Gümüş nitrat titrasyon çözeltisi (0.0141 N): 2.395 gr AgNO_3 saf suda çözülerek 1 L'ye seyreltilir ve kahverengi şişede muhafaza edilir. Bu çözelti 140 °C'de kurutulmuş NaCl'e karşı standardize edilir. Çözeltinin 1 ml'si=0.5 mg Cl'dür.
- Standart sodyum klorür çözeltisi (0.0141 N): 140 °C'de kurutulmuş 0.8241 gr NaCl saf suda çözülerek 1 L'ye seyreltilir. Çözeltinin 1 ml'si=0.5 mg Cl'dür.
- Molibda vanadat reaktifi: 25 g amonyum molibdat (NH_4) $\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), saf suda çözülür. 1.25 g amonyum metavanadat (NH_4VO_3), 300 ml saf suda kaynatılır. Soğutularak üzerine 330 ml HCl eklenir ve tekrardan ısınan çözelti oda sıcaklığında soğutulur. Amonyum molibdat çözeltisi ile karıştırılarak üzerine saf su ile 1000 ml'ye tamamlanır.

3.3. Prosesin Tanımlanması ve Atıksu Kaynakları

Bu çalışmada arıtım için kullanılan atıksu, Van Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren, iç ve dış cephe boya üretimi yapan bir boya fabrikasından alınmıştır. Atıksu temin edilen bu tesisin, 20 ton/gün su bazlı boya üretimi seri olarak gerçekleştirmektedir. Tüm proses atıksuları üretim ünitelerinin temizlik işlemleri sırasında üretilmektedir. Ayrıca içerik bakımından farklı katkı maddelerinden oluşan bu boyalar oluşan atıksuyun koyu renkli ve yoğun kıvamlı olmasına etki etmektedir. Bu işletmede üretilen su bazlı boyanın, tonu başına 0.13 m³ atıksu üretilmektedir (Çizelge 3.1). Kullanım amacına göre farklı yapılar ve renklerde boyalar üretildiğinden bu atıksuları karakterize etmek ve arıtımını sağlamak oldukça zor ve maliyetli bir işlem

olmaktadır. Tesise ait üretim esnasında oluşan atıksu alınarak öncelikle laboratuvar ortamında karakterizasyonu yapılmış ve koagülasyon yöntemiyle farklı koagülant ve deney koşullarında arıtım verimi incelenmiştir.

Çizelge 3.1. İncelenen tesisin proses profili

Atıksu Üreten Prosesler	Atıksu Üretimi (m³/ton ürün)	Atıksu Debisi (m³/gün)
Karıştırma Tankı Temizliği	0.06	1.2
Filtre Temizliği	0.005	0.1
Bekleme Tankı Temizliği	0.015	0.3
Dolum Ekipmanlarının Temizliği	0.05	1
TOPLAM	0.13	2.60

Tez kapsamında temin edilen atıksuyun iletkenlik, pH, AKM, KOİ, klorür, alkalinite, TKM, ağır metaller, yağ ve gres, TN ve TP analizleri ile karakterizasyonu yapılmıştır. Numune alımları, boya endüstrisinin çalışma saatleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında 2 saatlik kompozit numune olarak alınmıştır. Çalışma kapsamında konvansiyonel parametre analizleri, Standart metotlarda belirtildiği gibi yapılmıştır (EPA, 2004). Renk parametresi ölçümü 455 nm dalga boyunda spektrofotometre ile Pt-Co olarak, bulanıklık ölçümü ise türbidimetre ile nefelometrik yöntem ile Su Ürünleri Fakültesi Su Analiz Laboratuvarı'nda, ağır metal analizleri Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı'nda atomik absorpsiyon spektrometri (Thermo Scientific/ICE-3000 series) ile ölçülmüştür. Diğer tüm karakterizasyon parametreleri Çevre Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda analiz edilmiştir.



Şekil 3.2. Karakterizasyon ve arıtım işlemlerinde kullanılan boya endüstrisi atıksuyu.

3.4. Yöntem

3.4.1. Boya endüstrisi atıksularının karakterizasyonu

Endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıksuların doğrudan yüzey sularına, yeraltı sularına ve toprağa verilmesi önemli ekolojik sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle bu atıksuların arıtıldıktan sonra uygun alıcı ortamlara deşarj edilmesi gereklidir. Boya endüstrisi, Türkiye’deki endüstriyel kirlenme açısından üzerinde önemle durulması gereken endüstri dallarından birini oluşturmaktadır.

Boya sanayi atıksularını içerdikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlilik parametreleri bakımından karakterize edebilmek oldukça zordur. Atıksu karakterizasyon çalışmalarında, numune alma zamanları da önemli olmaktadır. Özellikle kirletici yüklerinin yoğun olduğu üretim zamanlarında örnekleme yapılmalıdır. Atıksuların karakterizasyonunun belirlenmesi, kanalizasyon sistemlerinin, arıtma tesislerinin ve deşarj ünitelerinin tasarım ve işletilmesinde gerekli olmaktadır.

3.4.2. Boya endüstrisi atıksularının deşarj standartları

Alıcı su ortamlarının kirlenmesinde en önemli kaynaklar birincil kaynak olan endüstri tesisleridir. Bu kapsamda akarsularda sıcaklık, renk, iletkenlik, toplam çözünmüş madde, pH, tuzluluk, BOİ, KOİ gibi parametrelerin ölçümünün önemli

olduğu belirtilmektedir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre boya endüstrisi atıksularının alıcı ortam deşarj değerleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kimya sanayi (Boya üretimi ve benzerleri)

Parametre	Kompozit Numune (2 saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)
BOİ (mg/L)	50	30
KOİ (mg/L)	200	150
AKM (mg/L)	60	40
pH	6-9	6-9

Çizelge 3.3. Kimya sanayi (Boya, boya hammadde ve yardımcı madde üretimi ve benzerleri)

Parametre	Kompozit Numune (2 saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)
KOİ	200	150
Krom (Cr ⁺⁶)	0.5	0.3
Kadmiyum (Cd)	-	0.2
Çinko (Zn)	4	3
Toplam Krom (Cr)	2	1
Kurşun (Pb)	2	1
Demir (Fe)	30	-
Siyanür (CN)	2	1
pH	6-9	6-9

3.4.3. Karakterizasyon deneyleri

Karakterizasyon deneylerinde analizi yapılan atıksuya ait kirlilik değerleri aşağıda belirtilen şekilde standartlara uygun olarak yapıldı ve hesaplandı.

- pH: Alınan atıksuyun pH'sı zaman kaybetmeden elektrometrik pH ölçümün temel ilkesi, bir standart hidrojen elektrodu ve bir referans elektrodu kullanılarak potansiyometrik ölçüm yöntemiyle laboratuvar ortamında gerçekleştirildi.

- İletkenlik: Bu metot, tanımlanmış numunenin elektrik akımını iletme kapasitesinin belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Laboratuvar ortamında iletkenlik ölçer aletiyle atıksuyun iletkenliği ölçüldü. İletkenlik birimi olarak $\mu\text{S}/\text{m}$ kullanılmaktadır.
- Renk: Alınan atıksuyun renk analizi için, referans olarak platin-kobalt çözeltileri kullanıldı, 455 nm dalga boyunda olmak üzere 10 ml'lik küvetlere konulan atıksuyun spektrofotometrik olarak renk değeri belirlendi. Renk birimi olarak spektrofotometrede mg/L Pt-Co olarak okundu. Analizlerde kullanılan atıksu filtre kağıdından (47 μm gözenek çaplı) vakum filtrasyon düzeneğinden filtre edilerek kullanılmıştır.
- Bulanıklık: Bu yöntem, aynı koşullar altında, standart referans süspansiyonun saçtığı ışığın yoğunluğu ile tanımlanmış koşullar altında, numunenin saçtığı ışığın yoğunluğu arasında bir karşılaştırmayı esas almaktadır. Laboratuvar ortamında bulunan türbidimetre ile bulanık analizleri gerçekleştirildi. Okunan değer mg/L NTU olarak not edildi.
- Askıda katı madde (AKM): İyi karışmış atık su numunesi önceden sabit tartıma getirilmiş olan bir filtre kağıdından (Whatman Gf/C, 1-1.2 μm gözenek çaplı) vakum filtrasyon düzeneği kullanılarak filtre edildi ve filtre üzerinde kalan tortu 103-105 °C' de etüvde (1-2 saat) kurutuldu. Kurutulan filtre kağıdı hassas terazide tartıldı ve filtre kağıdının ağırlığındaki artış askıda katı madde değeri olarak not edildi.
- Uçucu askıda katı madde (UAKM): (UAKM, 550°C) askıda katı madde (105°C) için elde edilen filtre kalıntısı 550±50°C'deki kül fırınında sabit ağırlığa getirilmiş kroze porselen içinde yakılır. Uçucu katıların yanmasıyla hassas terazide yapılan tartım sonrası oluşan ağırlık kaybı sonunda geriye kalan katı; askıda katı maddelerin organik fraksiyonu olan UAKM'dir. Bu parametre atıksu, aktif çamur ve endüstriyel atıklardaki organik madde miktarı hakkında kabaca bir fikir verdiği için atıksu arıtma tesislerinin kontrolünde faydalıdır.
- Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): KOİ ölçümlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış olan tüp içerisine 2 ml atıksu konular. Üzerine yaklaşık 0.1-0.2 gr aralığında HgSO_4 ilave edilip 2 ml kadar potasyum dikromat eklenir ve tüplerin

ağzı sıkıca kapatılarak iyice çalkalanır. Aynı örnekten 2 tüp hazırlanır bunun sebebi ise aradaki hata payını azaltmak ve aynı deneyin tekrarlanmamasıdır. Aynı işlem HgSO_4 ilavesiz olmak kaydıyla 2 tüp halinde şahit numune hazırlanır. Şahit numune demir amonyum sülfat (DAS) çözeltisinin günlük olarak değişen konsantrasyonunu hesaplamak için hazırlanır. Hazırlanan bu tüpler termoreaktöre yerleştirilerek $148\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 saat kadar ısıtılır. 2 saat sonunda kontrollü bir şekilde alınan tüpler oda sıcaklığına gelene kadar bekletilir. Atıksudaki organik madde asidik ortamda potasyum dikromat ile yükseltgenerek parçalanır. Reaksiyona girmeden kalan potasyum dikromatın fazlası geri titrasyona tabi tutulur. Titrasyon işlemlerinde DAS çözeltisi kullanılır ve okside olan madde oksijen eşdeğeri cinsinden hesaplanır.

- Klorür: 100 ml veya 100 ml'ye seyreltilmiş atıksu numunesinden alınır. pH'ı 7-10 civarlarında olan numuneler doğrudan titre edilir. Eğer pH bu aralıktadır değil ise numunenin pH'ı NaOH veya H_2SO_4 ile ayarlanır. Bu çalışmada kullandığımız atıksu numunemizin pH'ı istenilen aralıktadır (Bkz. Çizelge 4.1). Analize ilk olarak numuneye 2-3 damla K_2CrO_4 ilavesi ile başlanır ve sarı renk oluşur. Standart AgNO_3 çözeltisi ile kiremit kırmızısı rengin oluştuğu noktaya kadar titrasyona devam edilir. Şahit numune ile aynı titrasyon işlemi tekrarlanır. Bu yöntemle genellikle şahit numune için AgNO_3 sarfıyatı 0.2-0.3 ml kadardır.
- Alkalinite: Alkalinite 2 indikatör ve asit titrasyonu veya elektrometrik yöntemlerle tayin edilir. Titrasyonda asit sarfıyatı, fenolftalein alkaliliğinin tayini için kullanılan asit ile metil oranj alkaliliği için kullanılan asit miktarının toplamı olarak verilir. Fenolftalein ve metil oranj alkalinitesi için aynı hesap yöntemi kullanılır.
- Toplam katı madde (TKM): İyi bir şekilde karıştırılmış atıksu numunesinden 100 ml alınarak sabit tartıma getirilmiş beher içerisinde $60\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tamamen buharlaştırılır. Beher içerisindeki tortu çözülmüş, askıda ve çöken katıların toplamı olarak ifade edilir.
- Çözülmüş katı madde (ÇKM): Homojen karışmış atıksu numunesinden bir miktar alınarak vakum filtrasyon düzeneğinde standart cam pamuğu filtresinden (standart glass fiber fitler, $0.45\text{ }\mu\text{m}$ gözenek çaplı) süzülür. Süzüntü sabit tartıma getirilmiş beher içerisine alınarak $103-105\text{ }^\circ\text{C}$ 'de etüvde (1 saat) kurutulur. Süre

sonunda etüvden alınıp desikatörde (1 saat) soğutulan numune kabının ölçümü hassas terazide yapılır. Aradaki fark ÇKM miktarını verir.

- Toplam fosfor: P içeren 35 ml veya daha az atıksu numunesi 50 ml'lik balon jojeye alınır. Üzerine 10 ml molibda vanadat çözeltisi eklenir ve saf su ile 50 ml'ye tamamlanır. Şahit numune için 35 ml saf su üzerine 10 ml molibda vanadat çözeltisi eklenerek 50 ml'ye saf su ile tamamlanır. Spektrofotometrede 10 dk 420 nm dalga boyunda şahit numuneye karşı konsantrasyonlar okunur.
- Ağır Metaller: Orijinal atıksu numunesinden 100 ml alınır. Üzerine numune içerisindeki organikler çözünene kadar belli aralıklarla azar miktarda derişik nitrik asit ilave edilerek çözünme görüldüğü an bu işlem tamamlanır ve harcanan asit miktarı not edilir. Bu işlem ısınmayla açığa çıkan gazın solunmasını engellemek için dikkatli bir şekilde çeker ocak içerisinde gerçekleştirilir. Isıtıcı tabla üzerinde katı maddeler tamamen çözününceye kadar bekletilir. Kalan sıvı bir miktar soğutulduktan sonra mavi bant süzgeç kağıdından süzülerek deney tamamlanır. Aynı koşullarda atıksu numunesi içermeyen şahit numune (distile su) hazırlanarak, atomik absorpsiyon spektrofotometresinde iki numune için Hg, Al, As, Ni, Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd metalleri tayin edilir.
- Yağ ve gres: Boya atıksuyundan 100 ml alınır üzerine 100 ml kloroform ilave edilir. Ayırma hunisinde iyice karıştırılır. Oluşan iki faz ayırma hunisinde birbirinden ayrılır ve kloroform fazı sabit tartıma getirilmiş bir beherde düşük sıcaklıkta buharlaştırılır. Beher içindeki yağ-gres miktarıyla beher
- Toplam Azot: Azotu; Su numunesi H_2SO_4 ile asitlendirilir ve H_2O_2 ile muamele edilir. Bu şekilde ön işlem görmüş su numunesi bir süre buharlaştırılır ve kjeldahl balonuna yerleştirilir. Ayarlı hidroklorik asit (HCl) çözeltisi ile titre edilerek toplam azot miktarı harcanan asit miktarından tespit edilir.

3.5. Arıtımdaki Deneysel Çalışmalar

Yapılan ön denemeler ve literatür çalışmaları dikkate alınarak kirlilik yükü belirlenen atıksu için uygun arıtım yöntemi olarak koagülasyon tercih edilmiştir. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemleri olarak bilinen koagülasyon, susuzlaştırma gibi ayırma ve saflaştırma proseslerinde yaygın olarak kullanılır.

Arıtım deneylerine koagülasyon esnasında kullanılacak pH ayarlayıcılar (H_2SO_4 , NaOH) ve koagülantların ($(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$, $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ ve $(FeCl_3 \cdot 6H_2O)$) çözeltileri hazırlanarak başlanmıştır.

3.5.1. pH ayarlayıcılar ve hazırlanışları

Asit olarak 2 M olarak hazırlanan sülfürik asit (H_2SO_4), baz olarak 6 N olarak hazırlanan sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileri kullanılmıştır. Çözeltiler hazırlanırken "Eş. 3.1", "Eş. 3.2", "Eş. 3.3", "Eş. 3.4" kullanılmıştır.

H_2SO_4 fiziksel özellikleri; yoğunluk (d):1,84 g/mL, % derişim:0,96, M_A :98,08 g/mol

$$M(\text{molarite}) = \frac{d \cdot \% \cdot 1000}{M_A} \quad (3.1)$$

$$M_1 = 18 \text{ molar}$$

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2 \quad (3.2)$$

$$18 \cdot V_1 = 2M \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 110,51 \text{ ml}$$

1000 ml' lik balon jöjeye bir miktar saf su eklenir, 110,51 ml olarak ölçülen H_2SO_4 eklenir ve bir miktar karıştırıldıktan sonra üzeri 1000 ml' ye saf su ile tamamlanır.

6 N NaOH; M_A :40 g/mol, Tesir değeri (Td):1

$$\text{Normalite (N)} = \text{Molarite (M)} \cdot Td \quad (3.3)$$

$$M = 6 \text{ molar}$$

$$n (\text{mol}) = \frac{m}{M_A} \quad (3.4)$$

$$m = 240 \text{ g}$$

1000 ml'lik balon jöjeye bir miktar saf su eklenir, 240 g olarak tartılan NaOH balon jöjeye alınır ve bir müddet karıştırılarak çözünmesi sağlanır sonra üzeri 1000 ml' ye saf su ile tamamlanır.

3.5.2. Kullanılan koagülant çözeltilerinin hazırlanışları

Her koagülanttan hassas terazide tartımı yapılarak 100 g alındı. Aynı 1000 ml 'lik balon jöjelere konulan koagülantlar üzerleri 1000 ml' ye saf su ile tamamlanarak hazırlandı. Hazırlanan her bir çözeltilinin konsantrasyonu 100 g/L'dir. Örneğin hazırlanan bu koagülant çözeltilisinden 5 ml alınıp 1 litre atıksuya dozlanmış olursa, 1 ml'sinde 0.1 gram koagülant bulunan çözeltilinin 5 ml'sinde 0.5 gram koagülant vardır. Atıksuyun 1000 ml'sinde 0,5 gram koagülant bulunur. Bu nedenle atıksuya 0,5 gram/1000 ml yada 500 mg/L koagülant dozlanmış olur. Koagülasyon deneylerinde kullanılan koagülantların ortamın pH değerine bağlı olarak çözünürlüğü değişmektedir. Farklı koşullarda bu koagülantların atıksuya eklendiğinde oluşan reaksiyonlar belirtilmiştir (Kutluay, G. 2005).

3.5.3. Koagülasyon deneyleri

Arıtım parametreleri olarak pH, koagülant dozu ve hızlı karıştırma hızı esas alındı ve kirlilik parametreleri olarak KOİ, renk, bulanıklık ve AKM giderimlerine bakıldı. Deneyler 1000 ml'lik ayrı beherlere alınan atıksularla gerçekleştirildi. Karıştırma hızı 100 rpm (5 dk), yavaş karıştırma 20 rpm (30 dk) ve çökeltme süresi 30 dk olacak şekilde ayarlanarak gerçekleştirildi. Çalışmada pH değeri 4-7-10 olarak, koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olacak şekilde belirlendi. Deneylerde ilk olarak aynı pH değerinde farklı koagülant dozu dozlaması (500-1000-2000 mg/L) yapılarak koagülant dozunun arıtım üzerindeki etkisi incelendi. Daha sonra her bir atıksu numunesi için aynı koagülant dozu kullanılıp farklı pH değerleri (4-7-10) çalışıldı. Bu şekilde yapılan deneylerde de pH'ın arıtım üzerindeki etkisi incelendi. Koagülant ilavesi hızlı karıştırma esnasında gerçekleştirildi ve hemen ardından pH ayarlaması yapıldı. Daha sonra yavaş karıştırma yapılarak deney düzeneği durduruldu. 30 dk boyunca çökelmeye bırakılan arıtılmış suların üst kısmından alınan numunelerle kirlilik oluşturan parametrelerin değerleri belirlenir. Bu sayede atıksuların kirlilik yükü oluşturan değerleri azaltılarak atıksuyun çevreye zarar vermeyecek şekilde deşarjı sağlanabilmektedir. Bu işlemlerde arıtıma hangi koagülantın hangi dozda ve pH'ta en

iyi sonuç verdiği dikkate alınarak elde edilen sonuçlar Bulgular ve Tartışma bölümünde belirtilmiştir.

Optimizasyon deneylerine yapılan ön denemelerde pH ve koagülant dozunun optimum arıtım değerinin yanında karıştırma hızında nasıl etki ettiği incelenmiştir. Optimizasyon deneyleri bu üç parametre ile kirlilik yüklerini minimize edecek şekilde arıtım üzerinde gösterdiği verime göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Koagülant ilavesi yapılmış yavaş karıştırma esnasındaki atıksular.

3.6. Optimizasyon ve Design Expert Programı

Design Expert programı deney tasarımı için kullanılan çok kapsamlı bir programdır. Bu programla deneyler hızlı bir şekilde tasarlanarak, veriler analiz edilebilir ve sonuçlar grafiksel olarak görülebilir. İki ve üç boyutlu renkli grafikler alınarak varyans analizleri yapılabilir. Döndürülebilen üç boyutlu renkli grafik ile sonuçlar farklı açılardan incelenebilmektedir. Design Expert'in oldukça güçlü optimizasyon özellikleri sayesinde birden fazla yanıtın eş zamanlı en yüksek veya en düşük değeri elde edilebilir. Bu program ile prosesi veya ürünü optimize etmek için, birden fazla deney tasarım yöntemleri uygulanabilir.

3.6.1. Optimum arıtım koşullarını belirlemek için yapılan deneyler

Koagülasyon deneylerinde kullanılan üç farklı koagülant ile farklı pH değerleri ve farklı koagülant dozları ile arıtım yapıldı. Deneyler sonrasında atık suya ait kirlilik yükü değerleri belirlenerek en iyi arıtım verimini sağlayan koagülant belirlenip ve optimizasyon deneylerinin bu koagülant ile yapılmasına karar verildi. Optimizasyon deneyleri için pH değeri, koagülant dozu ve karıştırma hızı arıtım verimini etkileyen en önemli parametreler olarak seçilmiştir. Deneyler bağımsız değişkenler olarak belirlenen bu üç parametreyle gerçekleştirilmiş ve yanıt olarak KOİ, renk, bulanıklık ve AKM değerleri ölçülmüştür. Bu dört yanıt için programa bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınırları yerleştirildi ve program tarafından bu noktaların sınırları genişletilerek hata payını azaltmak için iki aksiyal nokta deneyleri belirlendi. Ayrıca yine program tarafından deneyler esnasında oluşabilecek hatayı tahmin etmek için aynı koşullarda tekrarlanan merkez nokta deneyleri oluşturuldu. Optimizasyon için tasarlanan deneyler laboratuvar ortamında jar test deneyi düzeneğinde Bölüm 3.5.3'te belirtildiği gibi sırasıyla gerçekleştirildi. Deneylerden sonra yapılan analizlerde elde edilen her bir kirlilik yükü değerleri belirlenerek not edildi. Bu değerler Design Expert programında MKT esasına dayanılarak yanıtlara yerleştirildi. Programdaki adımlar sırasıyla çalıştırılarak ANOVA tabloları ve üç boyutlu (3D) grafikler elde edildi. MKT için seçilen değişkenlerin faktöriyel, aksiyal ve merkez noktaları Çizelge 3.4' te, çalışılan deney listesi Çizelge 3.5' te verilmiştir.

Çizelge 3.4. MKT için seçilen değişkenlerin faktöriyel, aksiyal ve merkez noktaları

Bağımsız Değişkenler	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
pH	1.95	4	7	10	12.05
Karıştırma hızı (rpm)	65.91	100	150	200	234.09
Koagülant dozu (mg/L)	159.10	500	1000	1500	1840.90

Çizelge 3.5. MKT ile oluşturulan deney programı

Deney Sayısı	X ₁ : pH	X ₂ : Koagülant dozu (mg/L)	X ₃ : Karıştırma hızı (rpm)
1	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	234.09 _(+α)
2	10.00 ₍₊₁₎	1500.00 ₍₊₁₎	100.00 ₍₋₁₎
3	10.00 ₍₊₁₎	1500.00 ₍₊₁₎	200.00 ₍₊₁₎
4	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎
5	10.00 ₍₊₁₎	500.00 ₍₋₁₎	200.00 ₍₊₁₎
6	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎
7	4.00 ₍₋₁₎	500.00 ₍₋₁₎	100.00 ₍₋₁₎
8	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎
9	7.00 ₍₀₎	1840.90 _(+α)	150.00 ₍₀₎
10	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎
11	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎
12	4.00 ₍₋₁₎	1500.00 ₍₊₁₎	200.00 ₍₊₁₎
13	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	65.00 _(-α)
14	10.00 ₍₊₁₎	500.00 ₍₋₁₎	100.00 ₍₋₁₎
15	4.00 ₍₋₁₎	500.00 ₍₋₁₎	200.00 ₍₊₁₎
16	7.00 ₍₀₎	159.10 _(-α)	150.00 ₍₀₎
17	4.00 ₍₋₁₎	1500.00 ₍₊₁₎	100.00 ₍₋₁₎
18	1,95 _(-α)	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎
19	12,04 _(+α)	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎
20	7.00 ₍₀₎	1000.00 ₍₀₎	150.00 ₍₀₎

3.6.2. Sonuçların optimizasyonu

Bu bölümde boya endüstrisi atıksuları için belirlenen en etkili parametreler olan pH (X₁), koagülant dozu (X₂) ve karıştırma hızının (X₃) optimum arıtım koşulları belirlenecektir. Bunun için sadece MKT' de bulunan kuadratik model eşitliği yeterlidir. YYY' de elde edilen grafikler optimizasyon için önemli bir rol oynar. Yanıt yüzeyi analizi için bilgisayar yazılımı kullanan bir deneyci 3D grafikleri oluşturarak genellikle yüzeyin şeklini karakterize edebilir ve iyi bir tahminle optimum noktayı tayin edebilir (Montgomery, 2002).

Elde edilen verilerin Design Expert programında istatistiksel analizi yaptırılarak hangi fonksiyonun önerildiği belirlenmiştir. Bu belirleme yapılırken; her bir fonksiyon için ‘Sequential Model Sum of Squares (Type I)’ ve ‘Lack of fit’ testleri yapılmış ve her bir fonksiyon için standart sapma (standart deviation), R^2 (R_squared), ayarlanmış R^2 (adjusted R_squared) ve öngörülen R^2 (predicted R_squared) değerleri hesaplanmıştır. Bir sonraki aşamada ise çalışılan sistemi en iyi temsil eden model ANOVA tablosu ile belirlenmiştir. Sistemi temsil eden model seçilirken aşağıda verilen kriterleri sağlaması istenir.

- Model; ‘significant’ (önemli)
- Lack of fit; ‘insignificant’ (önemsiz)
- Bütün model terimleri; ‘Values of (Prob>F)<0.05’ (%95 güven aralığı),
- R_squared;~1,
- Adjusted R_squared;~1,
- Predicted R_squared;~1,
- Adjusted R_squared;~Predicted R_squared,
- Coefficient of variation (C.V.%); minimum (en düşük)

Sistemi en iyi temsil eden model belirlendikten sonra, üç boyutlu yanıt yüzey grafikleri, Design Expert programı aracılığıyla oluşturulmuştur.

Design Expert üç farklı optimizasyon gerçekleştirebilen bir deney tasarım programıdır; ‘Numerical optimization’, ‘Graphical optimization’ ve ‘Point Prediction’. Optimizasyonun amacı; istenilen cevabın elde edilmesini sağlayacak parametrelerin kesin değerlerini belirlemektir. Ayrıca program tarafından farklı koşullar için önerilen sayısal optimizasyon (numerical optimization) sonuçları kullanılmıştır. Optimizasyon kriterleri olarak;

- pH değeri: ‘in range’(çalışma aralığında)
- Koagülant dozu: ‘in range’(çalışma aralığında)
- Karıştırma hızı: ‘in range’(çalışma aralığında)
- En iyi arıtım verimi: ‘maximize’(maksimum değer)
- En iyi çözüm belirlenirken de verilen çözümler içinde en yüksek arıtım verimi sağlayan ve istenirliği 1’ e (desirability=1) en yakın olan çözüm seçilmiştir.

Ayrıca yapılan bu çalışmada jar test düzeneğinde koagülasyon yöntemiyle arıtımı yapılan atıksuyun optimum koşulların belirlenmesinde program tarafından önerilen kuadratik modelin matris yöntemiyle çözümü yapılmıştır. Optimum noktanın belirlenmesi için (X_s) genel bir matematiksel çözüm olarak matris yöntemiyle ikinci dereceden (kuadratik) modelin yazılmasıyla, "Eş. 3.5" elde edilir.

$$y = \beta_0 + x'b + x'Bx \quad (3.5)$$

$$X_s = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_k \end{bmatrix} b = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12}/2 & \beta_{1k}/2 \\ - & \beta_{22} & \beta_{2k}/2 \\ Simetri & - & \beta_{kk} \end{bmatrix}$$

Burada;

b: Birinci derece regresyon katsayılarının bir vektörü

B: Ana diyagonal bileşenlerinin kuadratik (kare) katsayılarından (β_{ii}) ve diyagonal dış bileşenlerinin interaksiyon kuadratik katsayılarının (β_{ij} , $i \neq j$) yarısından oluştuğu simetrik matris olarak tanımlanır. Burada x bileşenlerine göre y nin türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse;

$$\frac{\partial y}{\partial x} = b + 2Bx \quad (3.6)$$

"Eş. 3.6" elde edilir. Optimum nokta bu eşitlikten veya;

$$X_s = -\frac{1}{2}B^{-1}b \quad (3.7)$$

"Eş. 3.7" çözümünden bulunabilir. Buradan bulunan değerler en iyi yanıtı veren değerlerdir ve deneylerle doğrulanmalıdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Atıksuya Ait Kirlilik Yüklerinin Değerlendirilmesi

Çalışmada Mart, Nisan, Mayıs, Haziran 2018 aylarında belli aralıklarla temin edilip standarda uygun karakterizasyonu yapılan atıksuya ait kirlilik yükü değerleri ve ağır metal analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu sonuçlar Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği’nde belirtilen deşarj standartları ile kıyaslanmıştır. Ölçülen parametrelerden KOİ (1116-1340 mg/L), AKM (140-170 mg/L), renk (35-43 mg/L Pt-Co) ve bulanıklık (775-1276 mg/L NTU) değerlerinin deşarj standartlarının üzerinde olduğu görülmüştür. Bu değerlerin üzerindeki bir atıksu alıcı ortama verildiğinde ekosistemi olumsuz etkileyecek ve canlılar üzerinde toksik etkiye sahip olacaktır. Bu sonuçlara göre atıksuların alıcı ortama deşarj edilmeden önce toplam KOİ değerinin 200 mg/L’nin altına, AKM değerinin 60 mg/L’nin altına, renk değerinin 20 mg/L Pt-Co’nun altına ve bulanıklık değerinde 5 mg/L NTU’nun altına kadar düşürülmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.1. Boya endüstrisi atıksuyuna ait aylara göre karakterizasyon sonuçları

KİRLİLİK PARAMETRELERİ	AYLAR				Sınır Değerler
	Mart Numunesi	Nisan Numunesi	Mayıs Numunesi	Haziran Numunesi	
pH	7.9	7.0	7.1	7.5	6-9
İletkenlik (µS/cm)	700	717	690	600	650-2500
Toplam KOİ (mg/L)	1116	1308	1340	1129	200
Çözünmüş KOİ (mg/L)	344	336	325	341	-
AKM (mg/L)	140	167	170	166	60
Klorür (mg/L)	35.5	25	25	25	30-250
Alkalinite (mg /L)	1330	1134	1000	1450	-
TKM (mg/L)	1540	1750	1550	1450	-
ÇKM (mg/L)	500	900	860	498	1000

Çizelge 4.1. Boya endüstrisi atıksuyuna ait aylara göre karakterizasyon sonuçları (devam)

TP (mg P/L)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-
Yağ ve gres (mg/L)	501	423	377	417	-
Renk (mg/L)	43	38	42	35	1-20
Bulanıklık (mg/L)	811	1470	1276	775	5
TN (mg/L)	11.81	24.41	26.4	11.54	-

Çizelge 4.2. Boya endüstrisi atıksuyunun içerdiği ağır metal analiz sonuçları

Ağır metaller (ppm-mg/L)	AYLAR					Sınır Değerler
	Şahit	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	
	Numune	Numunesi	Numunesi	Numunesi	Numunesi	
Cıva (Hg)	0	0	0	12×10^{-7}	0	0-0.001
Alüminyum (Al)	0 _(0.0488)	1.42	0.88	1.04	7.26	0-0.2
Arsenik (As)	0	0	0	0	0	0-0.01
Kadmiyum (Cd)	0 _(0.0002)	0	0.002	0	0	0-0.005
Kobalt (Co)	0	0.0008	0	0.0004	0.005	-
Krom (Cr)	0 _(0.002)	0.0086	0	0.001	0	0-0.05
Bakır (Cu)	0 _(0.0014)	0.026	0.008	0.044	0.03	0.1-2
Nikel (Ni)	0	0	0	0	0	0-0.02
Kurşun (Pb)	0 _(0.0054)	0.006	0.120	0.290	0.027	0-0.01
Çinko (Zn)	0 _(0.019)	0.094	0.01	0.056	0.10	0-0.01

4.2. Koagülasyon Deneylerinde pH'ın Arıtıma Etkisinin Değerlendirilmesi

FeCl₃.6H₂O koagülantı ile hızlı karıştırma 100 rpm (5dk), yavaş karıştırma 20 rpm (30dk), çökeltme süresi 30 dk prosedürüne göre yapılan deneyler sonrasında elde edilen karakterizasyon sonuçları Çizelge 4.3.-4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. FeCl₃.6H₂O koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 500 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	500	213.15	21.3	14	8.82
7	500	201.50	13.3	6	5.12
10	500	174.2	20	11	9.76

Çizelge 4.4. FeCl₃.6H₂O koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 1000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	1000	171.04	10	3	2.07
7	1000	166.55	11.66	6	5.52
10	1000	154.91	16.66	1	4.81

Çizelge 4.5. FeCl₃.6H₂O koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	2000	189.2	19.6	20	2.73
7	2000	174.6	16.6	15	8.50
10	2000	171.04	8.31	12	9.75

Al₂(SO₄)₃.18H₂O, koagülantı ile hızlı karıştırma 100 rpm (5 dk), yavaş karıştırma 20 rpm (30 dk), çökelme süresi 30 dk prosedürüne göre yapılan deneyler sonunda elde edilen karakterizasyon sonuçları Çizelge 4.6-4.8'te verilmiştir.

Çizelge 4.6. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 500 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	500	400.67	126.66	95	19
7	500	310.80	93.33	81	5.34
10	500	300.65	76.66	45	2.61

Çizelge 4.7. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 1000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	1000	353.61	148	162	164
7	1000	326.38	146.33	121	10.4
10	1000	317.97	136.66	97	3.9

Çizelge 4.8. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülant ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	2000	261.05	182.33	85	73.7
7	2000	267.82	156	39	7.35
10	2000	239.75	150	33	5.65

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ koagülantı ile hızlı karıştırma 100 rpm (5 dk), yavaş karıştırma 20 rpm (30 dk), çökelme süresi 30 dk prosedürüne göre yapılan deneyler sonunda elde edilen karakterizasyon sonuçları Çizelge 4.9-4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. FeSO₄.7H₂O koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 500 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	500	866.9	316.66	165	1335
7	500	498.5	156.66	105	345
10	500	453.9	137.33	93	221

Çizelge 4.10. FeSO₄.7H₂O koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 1000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	1000	882.98	333.33	650	1415
7	1000	549.511	193.3	315	800
10	1000	467.71	156	111	109

Çizelge 4.11. FeSO₄.7H₂O koagülantı ile yapılan pH 4-7-10 ve koagülant dozu 2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	2000	891.2	251.63	1728	170
7	2000	490.9	88.33	1130	146
10	2000	420.9	66.6	1000	130

4.3. Koagülasyon Deneğinde Koagülant Dozunun Arıtıma Etkisinin Değerlendirilmesi

Farklı dozlarda beslenen koagülantların atıksuyun arıtımına etkisi gözlenmiştir. Bunun için üç pH değerinde ve farklı dozlarda koagülant beslemesi yapılmıştır. Bu işlem her bir koagülant için tekrar edilmiştir. Üç ayrı pH noktası ve üç ayrı koagülant dozu için yapılan deneylerde koagülantların arıtıma etkisini görebilmek için KOİ,

AKM, renk, bulanıklık analizleri gerçekleştirilerek sonuçlar aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, koagülantı ile hızlı karıştırma 100 rpm (5dk), yavaş karıştırma 20rpm (30dk), çökeltme süresi 30 dk prosedürüne göre yapılan deneylerde elde edilen karakterizasyon sonuçları Çizelge 4.12-4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.12. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ koagülantı ile yapılan pH 4 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	500	200.96	13.33	16	16.46
4	1000	187.6	8.33	17	5.40
4	2000	184.4	11.66	15	3.50

Çizelge 4.13. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ koagülantı ile yapılan pH 7 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
7	500	176.83	3.33	13	3.17
7	1000	161.05	9.98	10	4.82
7	2000	156.41	11.66	12	5.10

Çizelge 4.14. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ koagülantı ile yapılan pH 10 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
10	500	146.07	26.66	12	2.60
10	1000	124.45	26.66	9	1.90
10	2000	161.25	24.9	10	1.55

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile hızlı karıştırma 100 rpm (5dk), yavaş karıştırma 20 rpm (30dk), bekletme süresi 30 dk prosedürüne göre yapılan deneylerde elde edilen karakterizasyon sonuçları Çizelge 4.15-4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH 4 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	500	287.16	65	46	72.90
4	1000	257.8	70	94	167.00
4	2000	220.39	55	110	90.50

Çizelge 4.16. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH 7 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L)	Bulanıklık (mg/L)
7	500	449.65	62	40	56.90
7	1000	467.15	51.66	32	58.90
7	2000	419.162	63.33	30	11.10

Çizelge 4.17. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı ile yapılan pH 10 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
10	500	528.19	61.66	41	9.36
10	1000	277.96	78.3	87	23.90
10	2000	334.61	52.4	216	23.10

FeSO₄.7H₂O koagülantı ile hızlı karıştırma 100 rpm (5dk), yavaş karıştırma 20 rpm (30dk), çökeltme süresi 30 dk prosedürüne göre yapılan deneylerde elde edilen karakterizasyon sonuçları Çizelge 4.18-4.20’de verilmiştir

Çizelge 4.18. FeSO₄.7H₂O koagülantı ile yapılan pH’ı 4 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
4	500	367.40	149.96	28	17.50
4	1000	282.33	83.30	81	19.80
4	2000	341.60	43.33	300	95.40

Çizelge 4.19. FeSO₄.7H₂O koagülantı ile yapılan pH 7 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
7	500	374.37	56.66	1135	600
7	1000	350.46	200	1500	675
7	2000	370.38	93.33	1320	420

Çizelge 4.20. FeSO₄.7H₂O koagülantı ile yapılan pH 10 ve koagülant dozu 500-1000-2000 mg/L olan numuneye ait kirlilik yükleri

pH	Koagülant dozu (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)
10	500	354.70	166.6	56	10.90
10	1000	341.46	58.33	47	22.20
10	2000	342.44	70	38	20.50

4.4. Arıtımı Yapılan Atıksuyun Sonuçlarının Yorumlanması

Arıtımı yapılan atıksuyun kirlilik yükünü oluşturan KOİ, renk, bulanıklık ve AKM analizleri gerçekleştirildi ve sonuçlar Bölüm 4.2. ve 4.3.'te belirtilen çizelgelere not edildi. Aynı zamanda arıtmadan sonraki atıksuların görüntüleri alınarak fiziksel olarakta incelenerek yorumlandı. Sonuçlar göz önünde bulundurularak en iyi arıtımı sağlayan ve en berrak görüntüyü veren atıksu arıtımı $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ koagülantı ile elde edildi. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ koagülantının ise $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile yakın değerlerde arıtım sağladığı görülmüştür ancak arıtım sonuçları deşarj standartlarının üstünde olduğu belirlendi. En düşük arıtım ise $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ koagülantı ile sağlanmıştır ve arıtıma ait kirlilik değerleri deşarj standartlarının oldukça üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Optimizasyon deneylerine arıtmada en iyi verimi sağlayan koagülant ile devam edilerek görüntüsü kaydedilen arıtılmış atık suların koagülant dozu arttıkça atık çamur oluşumunda arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum proseste sistem hatalarına sebebiyet verebilmekte ve fazladan dozlanan koagülant dozu maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca arıtım sonrası oluşan atığın bertarafı içinde başka bir ayırma sistemi ve ayırma maliyeti söz konusu olabilmektedir. Bu istenmeyen durumu önlemek amacıyla optimizasyon deneyleri oldukça önemlidir. Optimum pH ve koagülant dozu atıksuyun arıtmadan sonraki kirlilik yükü kalitesine göre belirlenecektir. Arıtım deneylerinde sadece dört parametreye (KOİ, renk, bulanıklık, AKM) bakılmasının nedeni ise diğer kirlilik yüklerinin ortamdaki uzaklaştırılması ve bu dört değer kadar önemli seviyede kirlilik belirtmemesidir.

4.5. Optimizasyon Deneylerinin Sonuçlarının Yorumlanması

Optimum arıtım koşulları için yapılan jar test deneylerinde arıtım üzerinde en etkili olan pH, karıştırma hızı ve koagülant dozunun optimum değerleri belirlenmiştir. pH, karıştırma hızı ve koagülant dozu için 2 faktöriyel, 2 aksiyal ve bir merkezi noktada gerçekleşen toplam 20 deney sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışılan deney setlerinin arıtım koşulları belirtilerek görüntüleri Şekil 4.1-4.6'da gösterildiği gibi kaydedildi. Bu deneylerden 6 tanesi aynı koşullarda aynı anda gerçekleşen merkez noktadaki optimum koşulları sağlayan deneylerdir. Aynı karıştırma hızındaki deneyler set halinde yapıldı.

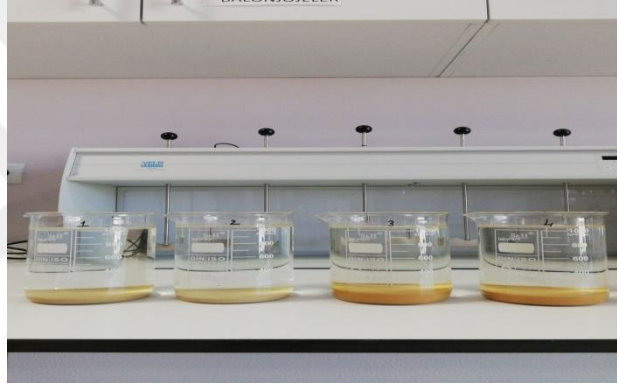
Bu deneylerde elde edilen yanıtların sonuçları (KOİ, renk, bulanıklık ve AKM) Çizelge 4.21’de not edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde merkez noktadaki deneylerin sonuçlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu ve hata payının ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. MKT’de yanıt değerleri için Design Expert programı ile yapılan ANOVA tabloları alınmış ve bu program tarafından oluşturulan üç boyutlu (3D) grafiklerin görüntüleri kaydedilerek yorumlanmıştır.

Çizelge 4.21. MKT için önerilen deney programına ait sonuçlar

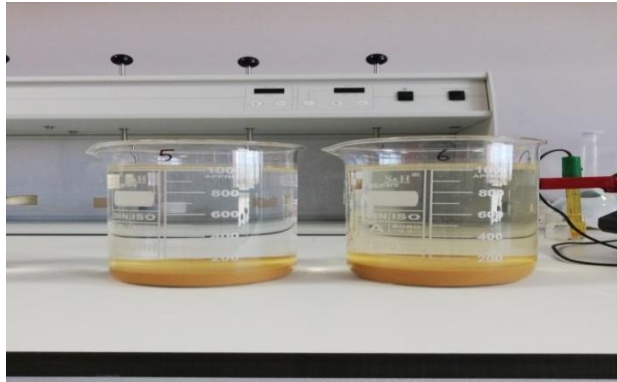
D deney Sayısı	X ₁ pH	X ₂ Koagülant dozu	X ₃ Karıştırma hızı	Y ₁ KOİ	Y ₂ Renk	Y ₃ Bulanıklık	Y ₄ AKM
1	7	1000	234.08	81.13	2	11.7	21.66
2	10	1500	100	110.55	6	7.25	20
3	10	1500	200	114.47	5	8.78	31.66
4	7	1000	150	72.52	1	2.74	12
5	10	500	200	123.78	15	11.6	45
6	7	1000	150	72.03	2	3.76	17.5
7	4	500	100	193.15	15	8.82	23
8	7	1000	150	72.37	2	3.36	12.5
9	7	1840.90	150	97.86	11	17.5	14.9
10	7	1000	150	71.62	1	3.32	10
11	7	1000	150	71.07	1	3.21	7.5
12	4	1500	200	125.25	5	15.5	31.65
13	7	1000	65.91	121.64	17	7.9	13.33
14	10	500	100	145	12	9.03	20
15	4	500	200	117.3	13	17.3	25
16	7	159.10	150	128.72	22	6.98	16.66
17	4	1500	100	95.85	9	19.5	26.66
18	1.95	1000	150	140	10	22.6	23.33
19	12.04	1000	150	142.45	13	4.12	26.66
20	7	1000	150	72.03	2	3	10



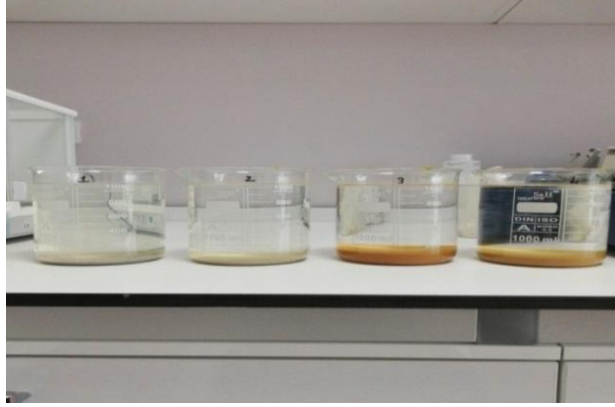
Şekil 4.1. pH 7, karıştırma hızı 150 rpm, koagülant dozu 1000 mg/L olan arıtılmış atıksular.



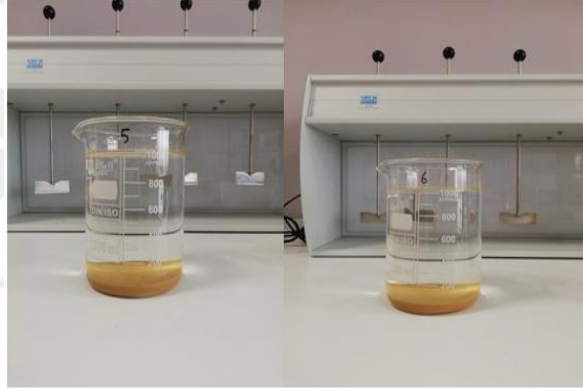
Şekil 4.2. pH sırasıyla 4-10-4-10, karıştırma hızı 200 rpm, koagülant dozu sırasıyla 500-500-1500-1500 mg/L olan arıtılmış atıksular.



Şekil 4.3. pH sırasıyla 10-4, karıştırma hızı 100 rpm, koagülant dozu 1500 mg/L olan arıtılmış atıksular.



Şekil 4.4. pH sırasıyla 2-7-7-12, karıştırma hızı 150 rpm, koagülant dozu 1000-160-1850-1000 mg/L olan arıtılmış atıksular.



Şekil 4.5. pH 7, karıştırma hızı sırasıyla 65-235 rpm, koagülant dozu 1000 mg/L olan arıtılmış atıksular.



Şekil 4.6. pH 4-10, karıştırma hızı 100 rpm ve koagülant dozu 500 mg/L olan arıtılmış atıksular.

4.6. Design Expert Programında Oluşturulan Varyans Analizi Sonuçları ve Üç Boyutlu Grafikler

Elde edilen veriler Design Expert programına işlendikten sonra program tarafından KOİ, renk, bulanıklık, AKM için önerilen modelin kareler toplamı sırasıyla Çizelge 4.22, Çizelge 4.25, Çizelge 4.28, Çizelge 4.31’de gösterilmiştir. Bu çizelgelere göre optimizasyon için seçilen kuadratik modelin diğer modellere göre F değerlerinin daha büyük olduğu, p değerlerinin ise daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bu yanıtlara ait ANOVA sonuçları sırasıyla Çizelge 4.23, Çizelge 4.26, Çizelge 4.29, Çizelge 4.32’de verilmiştir. Bu çizelgelerdeki sonuçlara göre optimizasyon için seçilen kuadratik modelin p değerlerinin KOİ, renk, bulanıklık sonuçları için çok küçük olduğu göz önüne alınarak bu modelin çok önemli olduğu görülmüştür. Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.26’da verilen ANOVA sonuçları incelendiğinde bağımsız değişkenlerden koagülant dozunun, pH ve karıştırma hızına göre daha etkili bir parametre olduğu anlaşılmıştır. Ancak Çizelge 4.29’da bulanıklık için ANOVA sonuçlarına bakıldığında bağımsız değişkenlerden pH’ın, koagülant dozu ve karıştırma hızına göre daha etkili olduğu görülmüştür. Çizelge 4.32’de AKM için oluşturulan ANOVA sonuçları incelendiğinde bağımsız değişkenlerden karıştırma hızının, pH ve koagülant dozuna göre daha etkin olduğu belirlenmiştir. Program tarafından hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla Çizelge 4.24, Çizelge 4.27, Çizelge 4.30, Çizelge 4.33’te belirtilmiştir. Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.30 incelendiğinde sırasıyla KOİ giderimi ve bulanıklık için hesaplanan R^2 değerinin 0.90’dan büyük olduğu böylece deneysel veriler ve modelden hesaplanan sonuçlarla daha çok uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Ancak Çizelge 4.27 ve Çizelge 4.33 incelendiğinde renk ve AKM için hesaplanan R^2 değerlerinin sırasıyla 0.87 ve 0.79 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca MKT düzleminde oluşan üç boyutlu grafikler KOİ için Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9; renk için Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12; bulanıklık için Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve AKM için Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. KOİ giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı

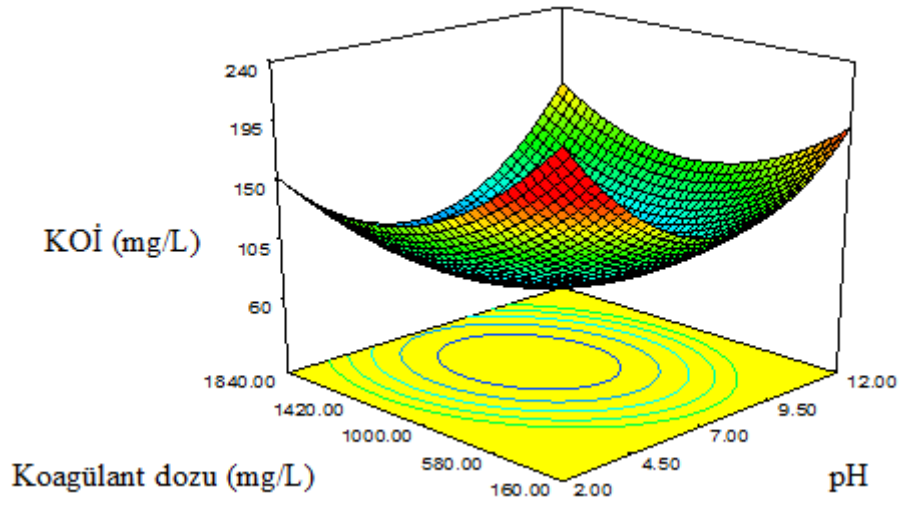
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Değeri	p-Değeri	
Ortalama-Toplam	2.35E+005	1	2.352E+005			
Lineer ortalama	3862.67	3	1287.56	1.21	0.33	
2FI-Lineer	2491.22	3	830.41	0.74	0.54	
<u>Kuadratik-2FI</u>	<u>13260.10</u>	<u>3</u>	<u>4420.03</u>	<u>34.40</u>	<u><0.001</u>	<u>Önerilen</u>
Kübik-Kuadratik	1140.16	4	285.04	11.80		
Toplam	2.561E+05	20	12804.08			

Çizelge 4.23. Design Expert tarafından verilen KOİ giderimi için ANOVA sonuçları

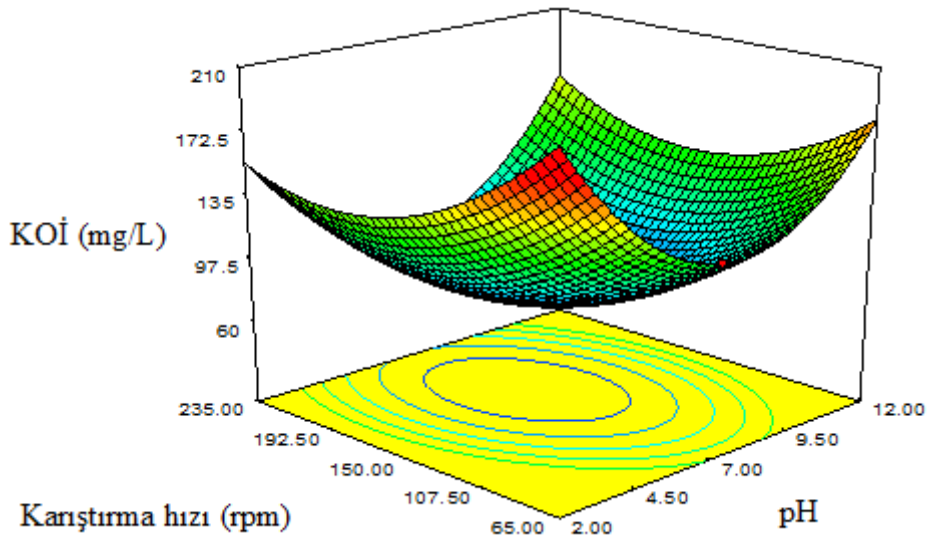
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model (Kuadratik)	19613.34	9	2179.33	16.96	<0.0001
X₁:pH	82.81	1	82.81	0.64	0.4408
X₂:Koagülant dozu	2506.34	1	2506.34	19.50	0.0013
X₃:Karıştırma hızı	1273.51	1	1273.51	9.91	0.0104
X₁X₂	259.81	1	259.81	2.02	0.1855
X₁X₃	106.22	1	106.22	0.83	0.3847
X₂X₃	2125.19	1	2125.19	16.54	0.0023
X₁²	9675.03	1	9675.03	75.29	<0.0001
X₂²	3429.30	1	3704.95	28.83	0.0003
X₃²	2015.10	1	2015.10	15.68	0.0027

Çizelge 4.24. KOİ giderimi için yanıt değişkeni modelinin R² değerleri

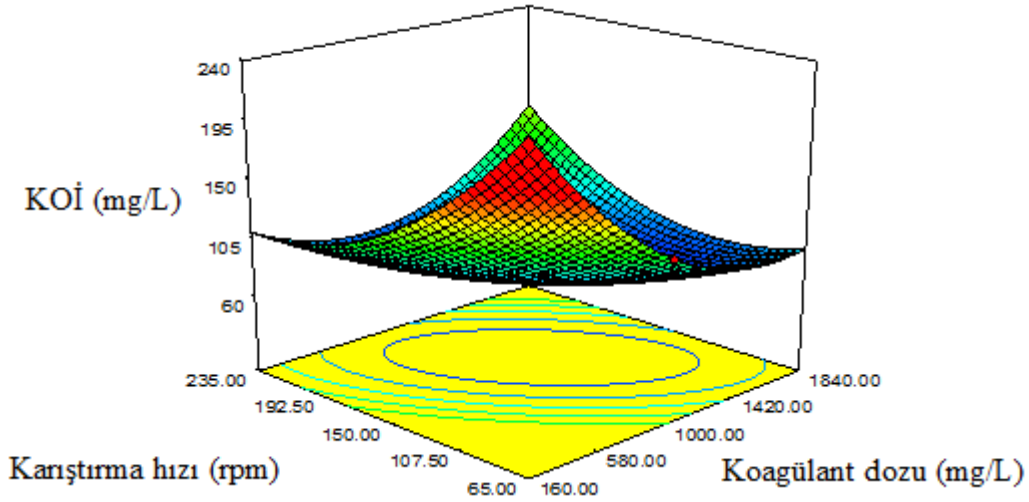
Standart sapma	11.34	R²	0.9385
Ortalama	108.44	Düzeltilmiş R²	0.8832
Varyasyon katsayısı	10.45	Tahmin edilen R²	0.4733



Şekil 4.7. Koagülant dozu ve pH'nin KOİ giderimine etkisi.



Şekil 4.8. Karıştırma hızı ve pH'nin KOİ giderimine etkisi.



Şekil 4.9. Karıştırma hızı ve koagülant dozunun KOİ giderimine etkisi.

Design Expert programında oluşturulan yüzey grafikleri incelendiğinde Şekil 4.7' de pH değerinin 7 ve koagülant dozunun ise yaklaşık 1100 mg/L olduğu noktada KOİ gideriminin en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.8' deki yüzey grafiğinde karıştırma hızı ve pH değerinin KOİ giderimindeki etkisine bakıldığında karıştırma hızının yaklaşık 150 rpm ve pH değeri 7 iken KOİ gideriminin en fazla olduğu görülmektedir. Şekil 4.9'da KOİ gideriminde karıştırma hızı 150 rpm ve koagülant dozunun 1100 mg/L değerlerinin üzerinde KOİ gideriminin sabitlenmeye başladığı gözlemlenmektedir. Ayrıca bu şekiller incelendiğinde en düşük karıştırma hızı ve en düşük koagülant dozu değerlerinde KOİ gideriminin düşük olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebi ise çok düşük koagülant dozunun atıksu içindeki kirliliklerin iyon yükünü dengelemeye yetmediği ve düşük karıştırma hızında flok oluşumuna yeterli olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.25. Renk giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı

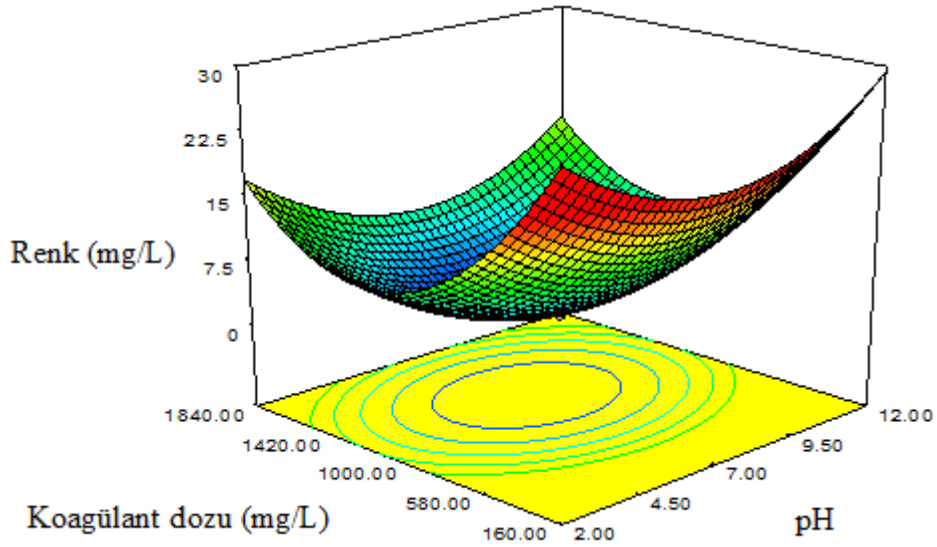
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	
Ortalama-Toplam	1344.80	1	1344.80			
Lineer ortalama	234.87	3	78.29	2.35	0.11	
2FI-Lineer	13.00	3	4.33	0.11	0.95	
<u>Kuadratik-2FI</u>	<u>426.16</u>	<u>3</u>	<u>142.05</u>	<u>15.25</u>	<u>0.0005</u>	<u>Önerilen</u>
Kübik-Kuadratik	59.63	4	285.0414.91	2.67	0.1362	
Toplam	2112.0	20	105.60			

Çizelge 4.26. Design Expert tarafından verilen renk giderimi için ANOVA sonuçları

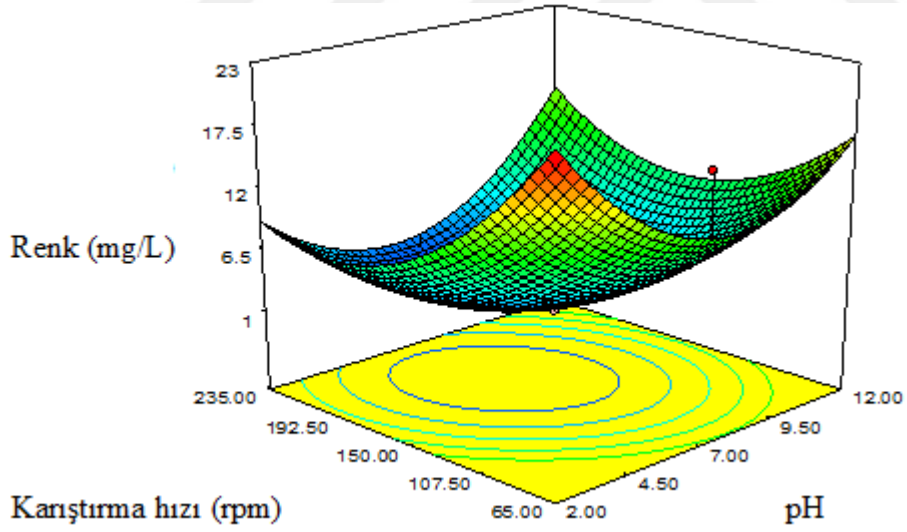
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	p değeri
Model (Kuadratik)	674.03	9	74.89	8.04	0.0016
X₁:pH	0.080	1	0.080	8.58E-0.03	0.9280
X₂:Koagülant dozu	172.24	1	172.24	18.49	0.0016
X₃:Karıştırma hızı	62.55	1	62.55	6.71	0.0269
X₁X₂	0.50	1	0.50	0.054	0.8215
X₁X₃	8.00	1	8.00	0.86	0.3759
X₂X₃	4.50	1	4.50	0.48	0.5029
X₁²	118.47	1	118.47	12.72	0.0051
X₂²	309.59	1	309.59	33.23	0.0002
X₃²	67.24	1	67.24	7.22	0.0228

Çizelge 4.27. Renk giderimi için yanıt değişkeni modelinin R² değerleri

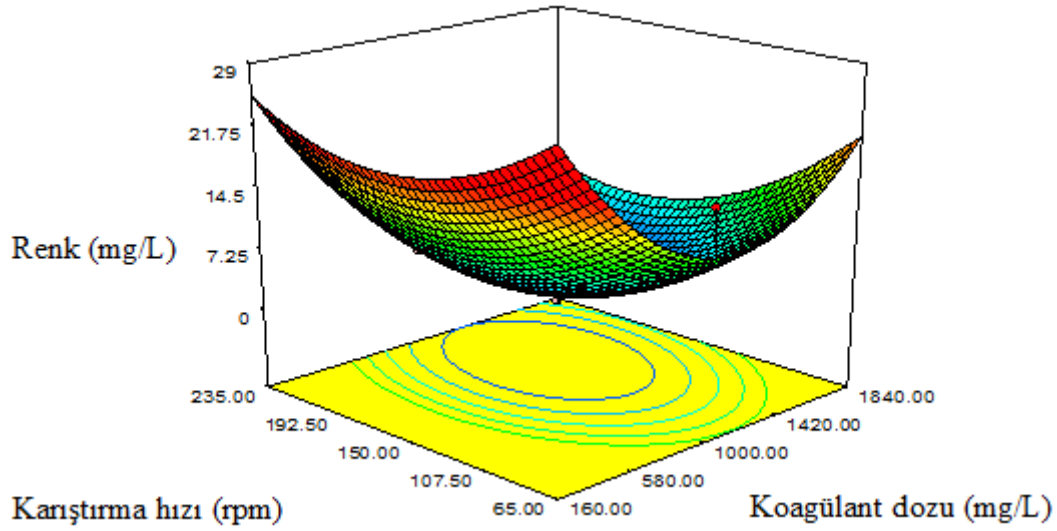
Standart sapma	3.05	R²	0.8786
Ortalama	8.20	Düzeltilmiş R²	0.7693
Varyasyon katsayısı	37.22	Tahmin edilen R²	0.0905



Şekil 4.10. Koagülant dozu ve pH'in renk giderimine etkisi.



Şekil 4.11. Karıştırma hızı ve pH'in renk giderimine etkisi.



Şekil 4.12. Karıştırma hızı ve koagülant dozunun renk giderimine etkisi.

Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 incelendiğinde sırasıyla bağımsız parametrelerin ikili etkileşimlerinin renk giderimi üzerindeki etkisi yüzey grafikleri ile program tarafından analiz edilmiştir. Şekil 4.10'da pH ile koagülant dozunun giderim üzerindeki etkisini gösteren yüzey grafiğinde pH 7'de renk giderimi en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Şekil 4.11'de pH ve karıştırma hızının ikili etkileşiminde pH 6-8 aralığında ölçülen renk değerlerinin yaklaşık aynı olduğu belirlenmiştir. Karıştırma hızı pH 7'de iken yaklaşık 150 rpm değerinde en iyi renk giderimi sağlanmıştır. Şekil 4.12'de koagülant dozu yaklaşık 1000 mg/L, karıştırma hızı 150 rpm olduğunda renk giderimi en üst düzeydedir. Ayrıca 150 rpm'de koagülant dozunun 1100 mg/L üzerine arttırınca renk giderimi olumsuz etkilenmektedir. Bu durum fazla kullanılan kimyasal miktarı ile beraber artım maliyetini arttırmaktadır.

Çizelge 4.28. Bulanıklık giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı

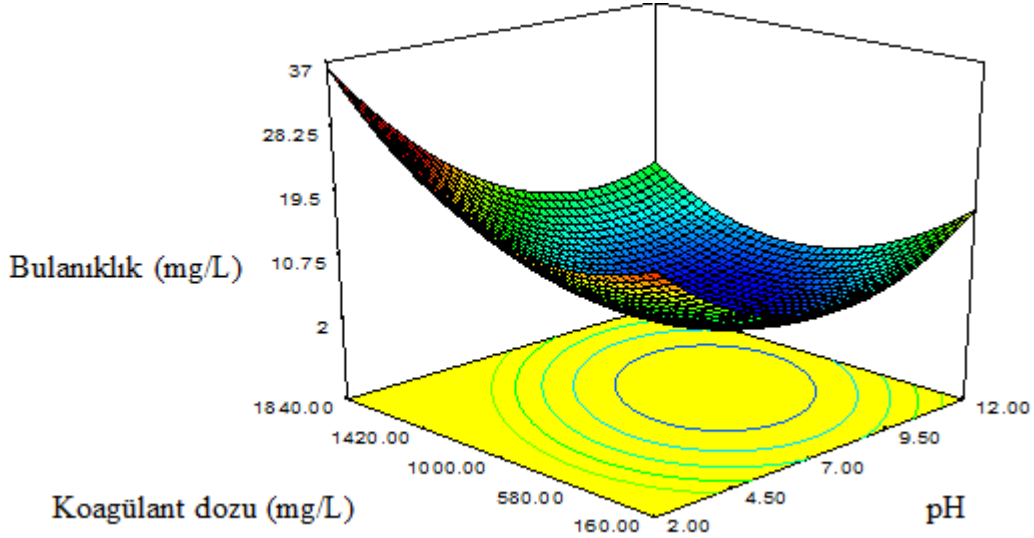
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	
Ortalama-Toplam	1766.64	1	1766.64			
Lineer ortalama	277.63	3	92.54	3.33	0.04	
2FI-Lineer	45.58	3	15.19	0.50	0.69	
<u>Kuadratik-2FI</u>	<u>339.81</u>	<u>3</u>	<u>113.27</u>	<u>19.22</u>	<u>0.0002</u>	<u>Önerilen</u>
Kübik-Kuadratik	58.32	4	14.58	138.96	0.0052	
Toplam	2488.60	20	124.43			

Çizelge 4.29. Design Expert tarafından verilen bulanıklık giderimi için ANOVA sonuçları

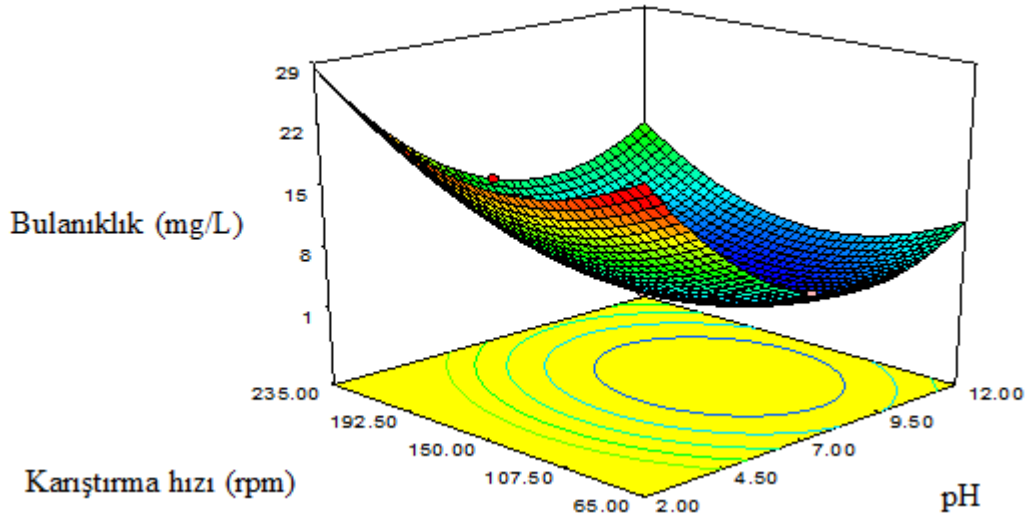
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model (Kuadratik)	663.02	9	73.67	12.50	0.0002
X₁:pH	225.87	1	225.87	38.32	0.0001
X₂:Koagülant dozu	35.35	1	35.35	6.00	0.0343
X₃:Karıştırma hızı	16.41	1	16.41	2.78	0.1262
X₁X₂	22.71	1	22.71	3.85	0.0781
X₁X₃	0.018	1	0.018	3.062E-003	0.9570
X₂X₃	22.85	1	22.85	3.88	0.0773
X₁²	182.68	1	182.68	30.99	0.0002
X₂²	144.31	1	144.31	24.48	0.0006
X₃²	76.35	1	76.35	12.95	0.0049

Çizelge 4.30. Bulanıklık giderimi için yanıt değişkeni modelinin R² değerleri

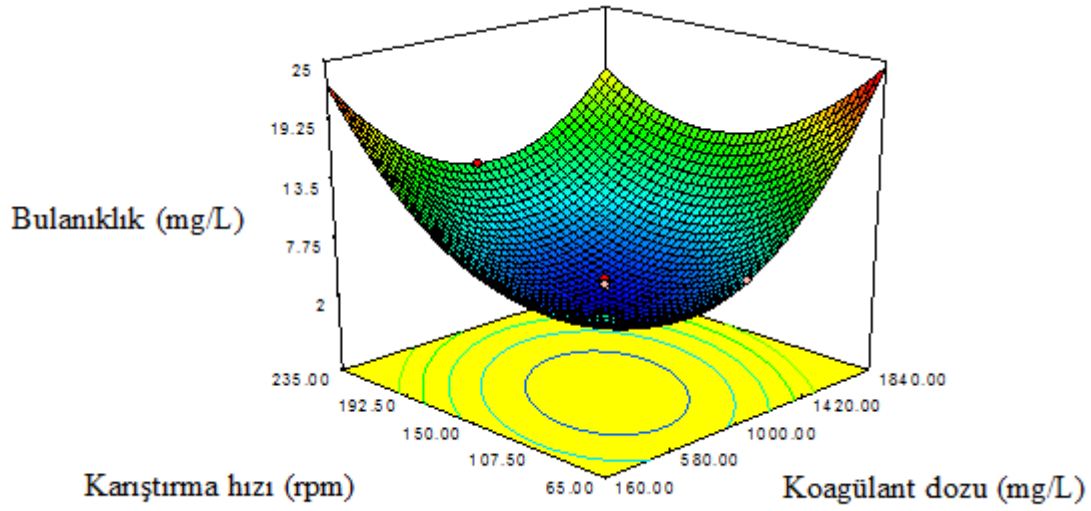
Standart sapma	2.43	R²	0,9184
Ortalama	9.40	Düzeltilmiş R²	0,8449
Varyasyon katsayısı	25.83	Tahmin edilen R²	0,3492



Şekil 4.13. Koagülant dozu ve pH'in bulanıklık giderimine etkisi.



Şekil 4.14. Karıştırma hızı ve pH'in bulanıklık giderimine etkisi.



Şekil 4.15. Koagülant dozu ve karıştırma hızının bulanıklık giderimine etkisi.

Bulanıklık giderimi için Design expert programı tarafından oluşturulan yüzey grafiklerinden Şekil 4.13 ve Şekil 4.15'te artan koagülant dozu ile birlikte bulanıklığın arttığı gözlenmiştir. Benzer olarak Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te karıştırma hızı arttıkça ortamdaki bulanıklığın arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 incelendiğinde en yüksek bulanıklık giderimi için pH yaklaşık 7.5 olduğu görülmüştür. Şekil 4.15'te koagülant miktarı ve karıştırma hızının bulanıklık gideriminde etkisi incelendiğinde koagülant dozu 160 mg/L'den yaklaşık 1000 mg/L'ye arttırıldığında bulanıklık gideriminin arttığı görülmüştür. 1000 mg/L'nin üzerinde eklenen koagülant dozunun bulanıklık giderimini arttırmadığı ve aksine bulanıklık gideriminin azaldığı belirlenmiştir. Genel olarak bu grafiklerden bulanıklık giderimi için yaklaşık pH 7.5, koagülant dozu 1000 mg/L ve karıştırma hızı 150 rpm optimum arıtım değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.31. AKM giderimi için Design Expert tarafından önerilen modelin kareler toplamı

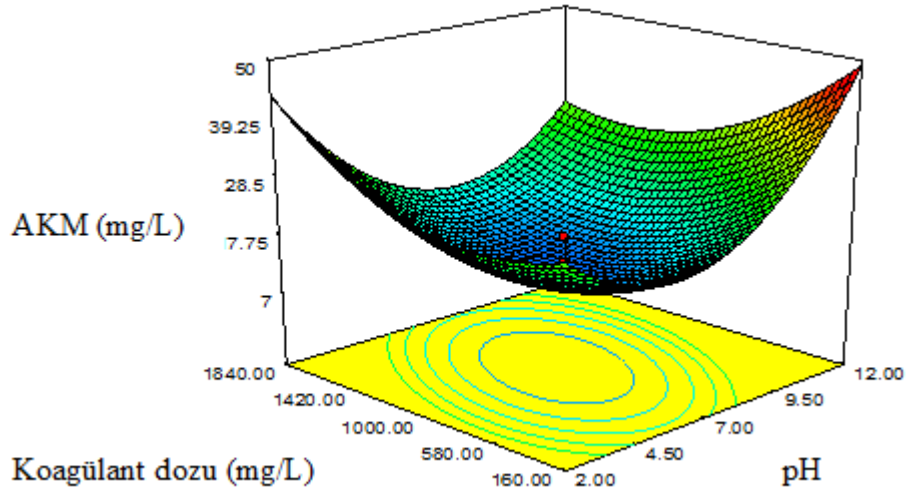
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	
Ortalama-Toplam	8364.46	1	8364.46	-	-	
Lineer ortalama	264.69	3	88.23	1.06	0.39	
2FI-Lineer	193.34	3	64.45	0.74	0.54	
<u>Kuadratik-2FI</u>	<u>811.71</u>	<u>3</u>	<u>270.57</u>	<u>8.36</u>	<u>0.0045</u>	<u>Önerilen</u>
Kübik-Kuadratik	63.13	4	15.78	0.36	0.8269	
Toplam	9958.04	20	497.90	-	-	

Çizelge 4.32. Design Expert tarafından verilen AKM giderimi için ANOVA sonuçları

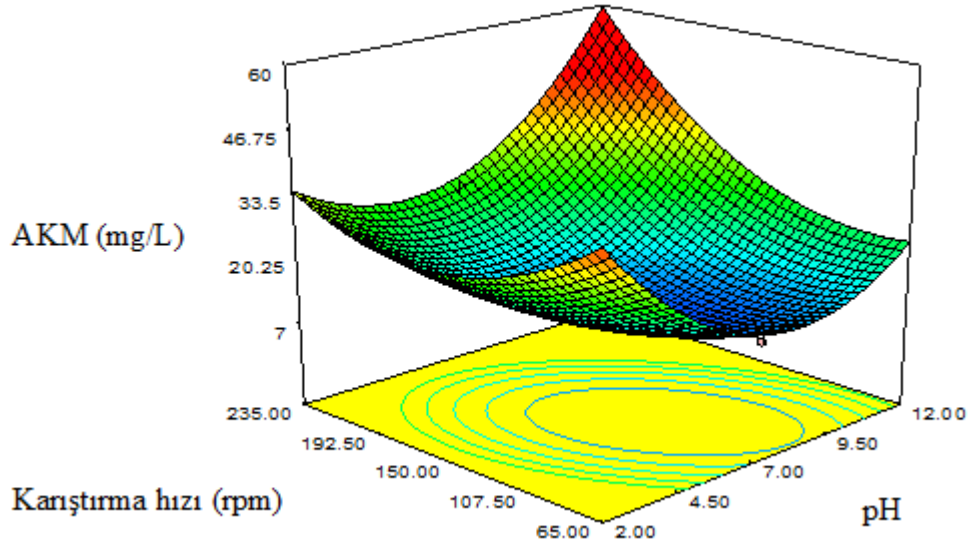
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model (Kuadratik)	1269.75	9	141.08	4.36	0.156
X₁: pH	18.63	1	18.63	0.58	0.4657
X₂: Koagülant dozu	2.63	1	2.63	0.081	0.7816
X₃: Karıştırma hızı	243.44	1	243.44	7.52	0.0208
X₁X₂	69.92	1	69.92	2.16	0.1725
X₁X₃	110.04	1	110.04	3.40	0.0951
X₂X₃	13.39	1	13.39	0.41	0.5347
X₁²	594.74	1	594.74	18.37	0.0016
X₂²	144.46	1	144.46	4.46	0.0608
X₃²	205.09	1	205.09	6.33	0.0306

Çizelge 4.33. AKM giderimi için yanıt değişkeninin R² değerleri

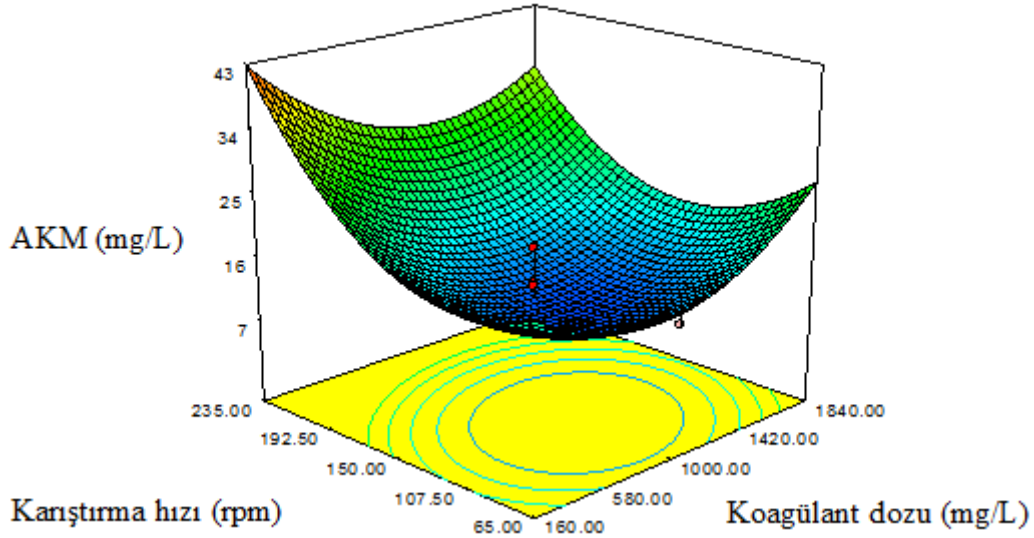
Standart sapma	5.69	R²	0.7968
Ortalama	20.45	Düzeltilmiş R²	0.6139
Varyasyon katsayısı	27.83	Tahmin edilen R²	0.3473



Şekil 4.16. Koagülant dozu ve pH'in AKM giderimine etkisi.



Şekil 4.17. pH ve karıştırma hızının AKM giderimine etkisi.



Şekil 4.18. Koagülant dozu ve karıştırma hızının AKM giderimine etkisi.

AKM giderimi için Design expert tarafından oluşturulan yüzey grafikleri Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.16'da pH değeri 7 koagülant dozu 1000 mg/L iken AKM giderimi en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Aynı şekilden pH'nin üzerinde ve koagülant dozu 1000 mg/L değeri üzerinde AKM miktarının arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 incelendiğinde karıştırma hızı arttıkça AKM gideriminin sağlanmadığı görülmüştür. Genel olarak bu grafiklerden AKM giderimi için yaklaşık pH 7, koagülant dozu 1000 mg/L ve karıştırma hızı 150 rpm optimum arıtım değerleri belirlenmiştir.

4.7. Program Tarafından Oluşturulan Kodlu ve Gerçek Değerlere Göre Model Denklemleri

Design expert tarafından önerilen yanıtlara (KOİ, renk, bulanıklık ve AKM) ait kodlu faktörlere bağlı model denklemleri "Eş 4.1", "Eş 4.2", "Eş 4.3", "Eş 4.4" belirtildiği gibidir. Ayrıca gerçek faktörlere bağlı oluşturulan model denklemler "Eş 4.5", "Eş 4.6", "Eş 4.7", "Eş 4.8"de ifade edilmiştir.

Kodlanmış faktörlere göre KOİ için model denklem:

$$\text{KOİ} = +71.72 - 2.46 [X_1] - 13.55 [X_2] - 9.66 [X_3] + 5.70 [X_1][X_2] + 3.64 [X_1][X_3] + 16.30 [X_2][X_3] + 25.91[X_1]^2 + 16.0 [X_2]^2 + 11.82 [X_3] \quad (4.1)$$

Gerçek faktörlere göre KOİ için model denklem:

$$\begin{aligned} \text{KOİ} = & + 595.05379 - 48.56887 [\text{pH}] - 0.27975 [\text{Koagülant dozu}] - 2.43411 [\text{Karıştırma} \\ & \text{hızı}] + 3.79917\text{E-}003 [\text{pH}] [\text{Koagülant miktarı}] + 0.024292 [\text{pH}] [\text{Karıştırma hızı}] + \\ & 6.51950\text{E-}004 [\text{Koagülant dozu}] [\text{Karıştırma hızı}] + 2.87894 [\text{pH}]^2 + 6.41357\text{E-}005 \\ & [\text{Koagülant dozu}]^2 + 4.72995\text{E-}003 [\text{Karıştırma hızı}]^2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Kodlanmış faktörlere göre renk için model denklem:

$$\begin{aligned} \text{Renk} = & + 1.60 + 0.077 [X_1] - 3.55 [X_2] - 2.14 [X_3] - 0.25 [X_1][X_2] + 1.00 [X_1][X_3] - \\ & 0.75 [X_2][X_3] + 2.87 [X_1]^2 + 4.63 [X_2]^2 + 2.16 [X_3]^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Gerçek faktörlere göre renk için model denklem:

$$\begin{aligned} \text{Renk} = & + 69.87026 - 5.26785 [\text{pH}] - 0.038515 [\text{Koagülant dozu}] - 0.31868 \\ & [\text{Karıştırma hızı}] - 1.66667\text{E-}004 [\text{pH}] [\text{Koagülant dozu}] + 6.66667\text{E-}003 [\text{pH}] \\ & [\text{Karıştırma hızı}] - 3.00000\text{E-}005 [\text{Koagülant miktarı}] [\text{Karıştırma hızı}] + 0.31857 \\ & [\text{pH}]^2 + 1.85397\text{E-}005 [\text{Koagülant dozu}]^2 + 8.64023\text{E-}004 [\text{Karıştırma hızı}]^2 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Kodlanmış faktörlere göre bulanıklık giderimi için model denklem:

$$\begin{aligned} \text{Bulanıklık} = & + 3.23 - 4.07 [X_1] + 1.61 [X_2] + 1.10 [X_3] - 1.68 [X_1][X_2] - 0.047 \\ & [X_1][X_3] - 1.69 [X_2][X_3] + 3.56 [X_1]^2 + 3.16 [X_2]^2 + 2.30 [X_3]^2 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Gerçek faktörlere göre bulanıklık için model denklem:

$$\begin{aligned} \text{Bulanıklık} = & + 40.63923 - 5.72314 [\text{pH}] - 4.09410\text{E-}003 [\text{Koagülant miktarı}] - 0.18447 \\ & [\text{Karıştırma hızı}] - 1.12333\text{E-}003 [\text{pH}] [\text{Koagülant dozu}] - 3.16667\text{E-}004 [\text{pH}] \\ & [\text{Karıştırma hızı}] - 6.76000\text{E-}005 [\text{Koagülant dozu}] [\text{Karıştırma hızı}] + 0.39560 [\text{pH}]^2 + \\ & 1.26576\text{E-}005 [\text{Koagülant dozu}]^2 + 9.20693\text{E-}004 [\text{Karıştırma hızı}]^2 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Kodlanmış faktörlere göre AKM için model denklem:

$$\begin{aligned} \text{AKM} = & + 11.33 + 1.17 [X_1] - 0.44 [X_2] + 4.22 [X_3] - 2.96 [X_1][X_2] + 3.71 [X_1][X_3] - \\ & 1.29 [X_2][X_3] + 6.42 [X_1]^2 + 3.17 [X_2]^2 + 3.77 [X_3]^2 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Gerçek faktörlere göre AKM giderimi için model denklem

$$\text{AKM} = + 82.80688 - 11.34164 [\text{pH}] - 4.64769\text{E-}003 [\text{Koagülant dozu}] - 0.48958 [\text{Karıştırma hızı}] - 1.97083\text{E-}003 [\text{pH}] [\text{Koagülant dozu}] + 0.024725 [\text{pH}] [\text{Karıştırma hızı}] - 5.17500\text{E-}005 [\text{Koagülant dozu}][\text{Karıştırma hızı}] + 0.71379 [\text{pH}]^2 + 1.26644\text{E-}005 [\text{Koagülant dozu}]^2 + 1.50898\text{E-}003 [\text{Karıştırma hızı}]^2 \quad (4.8)$$

4.8. Optimizasyon Sonuçları

Optimizasyon prosedüründe arıtım verimi oldukça önemlidir bu sebeple verimin yüksek olduğu optimum koşullar araştırılmalıdır. İstenilen düzeyde ve kalitede verimin alınabilmesi için, proses parametrelerinin (pH, koagülant dozu, karıştırma hızı) optimum değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle optimizasyon prosedüründe seçilen aralıklar ve yapılan deneyler zaman ve maliyet açısından ekonomik olmalıdır. Parametrelerin optimizasyonunda MKT den elde edilen grafikleri doğru yorumlamak oldukça önemlidir. Ayrıca arıtımı yapılan boya endüstrisi atıksuyunun optimum arıtım koşullarının belirlenmesi için program tarafından önerilen gerçek değerlere bağlı model eşitliği matris yöntemiyle çözülebilir (Myers ve Montgomery, 2002). Bunun için ‘Eş.3.2’ kullanılmıştır. Bu eşitlik yardımıyla b ve B matrisleri oluşturularak belirlenen optimum arıtım değerleri Çizelge 4.34’te verilmiştir.

Çizelge 4.34. Matris yöntemiyle belirlenen optimum arıtım koşulları

	pH	Koagülant dozu (mg/L)	Karıştırma Hızı (rpm)	Optimum Arıtım Değeri
KOİ (mg/L)	6,995	1165,500	159,023	68.636
Renk (mg/L Pt-Co)	7,047	956,617	140,623	2.42
Bulanıklık (mg/L NTU)	8,568	901,756	134,758	1.79
AKM (mg/L)	7,236	991,604	119,941	10.135

Ayrıca jar test düzeneğinde gerçekleştirilen koagülasyon işlemlerinde arıtım veriminin optimum koşullarının (pH, koagülant dozu, karıştırma hızı) belirlenmesi için Bölüm 3.6.2.’ de belirtildiği gibi sayısal optimizasyon kullanılmıştır. Materyal ve

Yöntem kısmında belirtilen optimizasyon kriterleri Design Expert programına işlenmiştir. Program tarafından önerilen optimizasyon çözümleri elde edilmiştir. Koagülasyon işlemlerinde arıtım koşulları için Design Expert programının optimizasyon kriterleri Çizelge 4.35’ de ve program tarafından önerilen optimizasyon çözümleri Çizelge 4.36’ da verilmiştir. Program tarafından önerilen optimizasyon çözümü incelendiğinde yanıt olarak seçilen KOİ, renk, bulanıklık ve AKM’nin en düşük değerlerinin elde edilmesi için arıtımda çalışılan parametrelerin optimum değerleri pH 7.54, koagülant dozu 1080.49 mg/L ve karıştırma hızı 146.16 rpm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.35. Çalışılan aralık için yazılım programının optimizasyon kriterleri

Parametreler	Değişim	Alt limit	üst limit	önem değeri
pH	Çalışılan aralıkta	4	10	3
Koagülant miktarı (mg/L)	Çalışılan aralıkta	500	1500	3
Karıştırma hızı (rpm)	Çalışılan aralıkta	100	200	3
KOİ (mg/L)	En düşük değer	71.07	193.15	3
Renk (mg/L Pt-Co)	En düşük değer	1	22	3
Bulanıklık (mg/L NTU)	En düşük değer	2.74	22.6	3
AKM (mg/L)	En düşük değer	7.5	45	3

Çizelge 4.36. Design Expert tarafından önerilen optimum arıtım koşulları

	Optimum Arıtım Değerleri			
	KOİ (mg/L)	Renk (mg/L Pt-Co)	Bulanıklık (mg/L NTU)	AKM (mg/L)
pH	7.54			
Koagülant dozu (mg/L)	1080.49	71.07	1	2.74
Karıştırma hızı (rpm)	146.16			7.5

Boya endüstrisi atıksuyunun koagülasyon ile arıtımında hem koagülant (FeCl_3), hemde flokülant (doğal katyonik flokülant, sentetik anyonik polimer, sentetik anyonik polielektrolit) kullanarak. pH 8-9 arasında ve 650 mg/L koagülant dozlamasında KOİ giderim verimi % 82 ve renk giderim verimi % 94 olarak elde edilmiştir (Aboulhasan, 2006). Bu tez çalışmasında en iyi arıtım sağlayan koagülant belirlenmesi için sadece

FeCl_3 koagülantı kullanılarak pH 7’de, 500 mg/L koagülant dozlamasıyla KOİ ve renk giderim verimleri sırasıyla %87 ve % 99.44 olarak belirlenmiştir.

Su bazlı boya ve su bazlı mürekkep üretimi yapan endüstrinin atıksuyunun arıtılmasında koagülasyon yöntemi kullanılmış ve koagülant olarak bentonit, FeCl_3 klorür, alüminyum sülfat optimum arıtım koşulları dikkate alınmıştır. Bentonit için pH 9’da, FeCl_3 pH 6’da ve pH 6’ da $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ için KOİ giderim verimleri sırasıyla %54, %54 ve %59 olarak elde edilmiştir (Gökşen, 2003). Bu tez çalışmasında da aynı iki koagülant (FeCl_3 , Al_2SO_4) kullanılarak pH 7’ de FeCl_3 ile % 94 ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ile %78 KOİ giderim verimi sağlanmıştır.

Su bazlı boya üretimi yapan başka bir endüstride koagülasyon ile arıtım sağlanması için MgCl_2 , FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantları kullanılmıştır. En uygun koagülasyon koşulları 25 °C sıcaklık, pH 8’de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı ile bulanıklık ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %79.38, %22.3 olarak belirlenmiştir (Camcıoğlu ve diğ., 2016). Bu tez çalışmasında aynı koşullarında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı ile bulanıklık ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %99 ve %78 olarak elde edilmiştir.



5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada Van Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren su bazlı boya üretimi yapan endüstriye ait atıksu kullanılmıştır. Alınan atıksuyun kirlilik değerlerini öğrenmek için standartlara uygun karakterizasyon deneyleri laboratuvar ortamında yapılmıştır. Bu atıksuyun kirlilik değerlerinin üretime göre nasıl değişim gösterdiğini öğrenmek için atıksudan dört ay boyunca numuneler alınarak deneyler gerçekleştirildi. Karakterizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra yapılan ön denemeler ile temin edilen bu atıksuyun arıtımı için en uygun arıtım metodunun koagülasyon olduğuna karar verilmiştir. Uygulanan bu metotta yüksek verim sağlandığı farklı çalışmalarla belirtilmiştir. Tez kapsamında laboratuvar ortamında gerçekleştirilen koagülasyon deneyleri jar test deney düzeneği gerçekleştirilmiştir. Koagülasyon deneylerinde $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ koagülantları kullanılmıştır. Jar test deneylerinde farklı pH ve koagülant dozlaması yapılarak bu değişkenlerin arıtım üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun nedeni optimizasyon için uygun bir çalışma aralığının belirlenmesidir. Ayrıca laboratuvar ortamındaki deneylerde harcanan kimyasalların miktarı az olsada büyük endüstrilerde yapılacak olan arıtmalarda bu değer oldukça yüksek miktarda olacaktır. Bu durum maliyet açısından bir endüstri için oldukça önemlidir. Her bir koagülant çözeltisi için tekrarlanan bu deneylerde standartlara uygun kirlilik yükleri ölçülmüş ve deşarjın altında kalan en iyi arıtım verimi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ koagülantıyla sağlandığı görülmüştür.

En iyi arıtım sağlayan koagülant belirlendikten sonra kirlilik yükünü oluşturan değerler için pH, koagülant dozu ve karıştırma hızı parametrelerinin optimum arıtım koşulları YYY ile belirlenmiştir. YYY ile yapılan arıtım deneylerinin tasarlanması ve elde edilen sonuçların analizi Design Expert 7.0.0. programı kullanılmıştır. Optimum arıtım koşullarının belirlenmesi için MKT seçilerek 2 faktöriyel, 2 aksiyal ve bir merkez nokta olmak üzere tasarlanan toplam 20 deney sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneylerden sonra kirlilik yükü olarak seçilen KOİ, renk, bulanıklık ve AKM değerleri yanıt olarak programa işlenmiştir. MKT'de oluşturulan üç boyutlu grafikler ve ANOVA tabloları yorumlanmıştır. Program tarafından oluşturulan kuadratik modeldeki katsayılar kullanılarak elde edilen denklemler çözülmüş ve arıtım için seçilen bağımsız

değişkenlerin optimum değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak ilgili kuadratik model yardımıyla en düşük kirlilik yükü değerleri KOİ 68.636 mg/L, renk 2.42 mg/L Pt-Co, bulanıklık 1.79 mg/L NTU, AKM 10.135 mg/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca Design Expert programı tarafından yapılan sayısal optimizasyon sonuçları incelendiğinde arıtımda çalışılan parametrelerin optimum değerleri pH 7.54, koagülant dozu 1080.49 mg/L ve karıştırma hızı 146.16 rpm olarak önerilmiştir. Bu optimum koşullarda yanıt olarak seçilen en düşük kirlilik yükü değerleri de KOİ 71.07 mg/L, renk 1 mg/L Pt-Co, bulanıklık 2.74 mg/L NTU, AKM 7.5 mg/L olarak gösterilmiştir.



KAYNAKLAR

- Aboulhassan, M.A., Souabi, S., Yaacoubi, A. Ve Baudu, M., 2006. Improvement of Paint Effluents Coagulation Using Natural and Synthetic Coagulant Aids. *Journal of Hazardous Materials*, **B138**: 40-45.
- Advanced oxidation processes for wastewater treatment: state of the art. *Water Air Soil Pollution*, **205**:187-204.
- Ahmadi, M., Vahabzadeh, F., Bonakdarpour, B., Mofarrah, E., Mehranian, M., 2005. Application of the central composite design and response surface methodology to the advanced treatment of olive oil processing wastewater using Fenton's peroxidation. *Journal of Hazardous Materials*, **B123**, 187–195.
- Akay, U., 2013. *Tekstil Endüstrisindeki Atıksulardan Renk ve KOİ Gideriminin Yanıt Yüzey Yöntemi ile Eniyilenmesi* (yüksek lisans tezi). EOÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aktaş, N., 2005. Optimization of biopolymerization rate by response surface methodology (RSM). *Enzyme and Microbial Technology*, **37**: 441-447.
- Akyol, A., 2012. Treatment of Paint Manufacturing Wastewater by Electrocoagulation. *Desalination*, **285**: 91-99.
- Ay, F., Catalkaya, E.C., Kargi, F., 2009. A statistical experiment design approach for advanced oxidation of direct red azo-dye by photo-Fenton treatment. *Journal of Hazardous Materials*, **162**:230-236.
- Aygün, A., 2012. *Tekstil Endüstrisi Reaktif ve Dispers Boya Banyo Atık Sularının Elektrokoagülasyon Prosesi ile Arıtımı: Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyon* (doktora tezi). SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Azami, M., Bahram, M., Nouri, S., Naseri, A., 2011. A central composite design for the optimization of the removal of the azo dye, methyl orange, from waste water using the Fenton reaction. *J. Serb. Chem. Soc.*, **77** (2): 235–246.
- Azizi, A., Alavi Moghaddam, M.R., Arami, M., 2011c. Application of response surface methodology for optimization of reactive blue dye removal. *Fresenius Environ. Bull.* **20**, 929-938.
- Balık, Ö.Y.,2013. *Boya Endüstrisi Atıksuyunun Koagülasyon İle Ön Arıtımı* (yüksek lisans tezi). İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barışçı, S., Türkay, A., Dımoğlo, A., 2018. Elektro-oksidasyon Prosesi ile Methotrexate Gideriminin Yüzey Yanıt Metodu ile Optimizasyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **22** (2): 1054-1057.
- Basmacı, G., Kırbaş, İ., Ay, M., Peker, M., 2018. Karma taguchi ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak astm b574 (hastelloy c-22)'in tornalanması esnasındaki işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **22** (2):761-771.
- Bilen, M., Ateş, Ç., Bayraktar, B., 2018. Yanıt yüzey yöntemi ile bir bor fabrikası atık suyu kimyasal arıtma sürecinde optimum koşulların belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **33**:1 267-278.

- Budakçı, M., Uysal, B., Esen, R., 2009. Barik asit modifikasyonunun su bazlı verniğin sertlik değerine etkisi. **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**. Karabük. 1160-1164.
- Camcıoğlu, Ş., 2010. **Su Bazlı Boya Üretim Tesislerinin Atıksularının Arıtılmasında Genelleştirilmiş Minimum Değişmeli (GMV) Algoritma ile pH Kontrolü** (yüksek lisans tezi). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Camcıoğlu, Ş., Özyurt, B., Zeybek, Z., Hapoğlu, H., 2016. Su bazlı boya atıksuyu arıtımında bir adım ileri gelişmiş deneysel pH kontrol uygulaması. **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **31** (3):655-664.
- Desor, U., Stephan, K., 1996. Waterborne acrylic dispersions for wood lacquers. **European Coatings Journal**, **12**, 920-923.
- Dey, B.K., Hashim, M.A., Hasan, S., Gupta, S.B., 2004. Microfiltration of water based paint effluents. **Advances in Environmental Research**, **8**: 455-466.
- Dovletoglou, O., Philippopoulos, C., Grigoropoulou, H., 2002. Coagulation for treatment of paint industry wastewater. **Journal of Environmental Science and Health**, **37**: 1361- 1377.
- Dursun, D., Sengul, F., 2006. Waste minimization study in a solvent-based paint manufacturing plant, Resources, **Conservation and Recycling**. **47**, 316-331.
- Elbaş, Ş., 2018. **Nanoakışkanlı Mini Kanallarda Optimum Tasarım Parametrelerinin Yanıt Yüzey Yöntemi ile Belirlenmesi** (yüksek lisans tezi). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- EPA, 1990. The Manufacturing Industry. US Environmet Protection Agency, EPA/625/7-90/005.
- Eremektar G., Goksen S., Germirli Babuna F., Dogruel, S., 2006. Coagulation-flocculation of wastewater from a water based paint and allied products industry and its effect on inert COD. **Journal of Environmental Science and Health**, **41**:1843-1852.
- Ersu C., Braida W., Chao K., Ong S. 2004. Ultrafiltration of in and latex wastewaters using cellulose membranes, **Desalination**, **164**:63-70.
- Furlan, F.R., de Melo da Silva, L.G., Morgado, A.F., de Souza, A.A.U., Guelli Ulson de Souza, S.M.A., 2010. Removal of reactive dyes from aqueous solutions using combined coagulation/flocculation and adsorption on activated carbon. **Resources, Conservation and Recycling**, **54**(5): 283-290.
- Golob, V., Vinder, A., Simonic, M., 2005. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. **Dyes Pigments**, **67**:93-97.
- Gönüllü, M. T., Göknil, H., Toröz, İ., 1983. **Boya Endüstrisi Kullanılmış Suların Tasfiyesi. II. Ulusal Çevre Mühendisleri Sempozyumu**, 1-5 Haziran 1983, İzmir.
- Guieysse, B., Norvill, Z.N., 2014. Sequential chemical-biological processes for the treatment of industrial wastewaters: review of recent progresses and critical assessment. **Journal of Hazardous Materials**, **267**:142-152.
- Hasani Zonoozi, M., Alavi Moghaddm, M.R., Arami, M., 2009. Coagulation/flocculation of dye-containing solutions using polyaluminium chloride and alum. **Water Science and Technology**, **59**:1343-1351.
- Hasanoğlu, A., Meryemoğlu, B., 2017. Kenaf hidrolizatının gazlaştırılması ve cevap yüzey yöntemi ile optimizasyonu. **Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **7**(4): 131-139.
- Hurtley, S., 2012. Waste not, This Week in Science, 335, 1405.

- İsa, M.H., 2015. Simulated textile dye wastewater treatment by electrochemical oxidation: application of response surface methodology (RSM). *Desalination and Water Treatment*, **53**:2260-2265.
- Khataee, A. R., Zarei, M., Moradkhannejhad, L., 2010. Application of response surface methodology for optimization of azo dye removal by oxalate catalyzed photoelectro-fenton process using carbon nanotube-ptfe cathode. *Desalination*, **258**, 112–119.
- Khayet, M., Zahrim, A.Y., Hilal, N., 2011. Modelling and optimization of coagulation of highly concentrated industrial grade dy by response surface methodology, *Chemical Engineering Journal*, **167**:77-83.
- Khuri, A. I., Cornell J. A., 1996. *Response Surfaces Designs and Analyses*. 2. Marcel Dekker, Inc, 509.
- Kocabaş, E., 2009. *Su Bazlı Boya Üretimi Atıksularının Fiziko- Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı* (yüksek lisans tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kocaer, F.O., Alkan, U., 2002. Boyar madde içeren tekstil atık sularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **7**, (1): 47-55.
- Körbahti B., Tanyolac A., 2008. Optimization of electrochemical treatment of industrial paint wastewater with response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, **148**: 83–90.
- Kutluay, G., 2005. *Boya Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği* (yüksek lisans tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Li, N., Hu, Y., Lu, Y.Z., Zeng, R.J., Sheng, G.P., 2016. Multiple response optimization of the coagulation process for upgrading the quality of effluent from municipal wastewater treatment plant. *Scientific Reports*, **6**:1-13.
- Mackey, E.A., Becker, P.R., Demiralaph, R., Greenberg, P.R., Koster, B.J., Wise, S.A., 1996. Bioaccumulation of vanadium and other trace metals in livers of Alaskan cetaceans and pinnipeds, Arch. *Environmental Contamination and Toxicology*, **30**: 503–512.
- Markandeya, Dhiman, N., Shukla, S.P., Kisku, G.C., 2017. Statiscial optimization of process parameters for removal of dyes from wastewater on chitosan cenospheres nanocomposite using response surface methodology. *Journal of Cleaner Production*, **149**:597-606.
- Montgomery, D.C., 2002. “*Design and Analysis of Experiment*”, John Wiley&Sons Inc, New York.
- Nemerov, N., Agardy, F. J., 1997. Strategies of industrial and hazardous waste manogement, *Enviromental Engineering Series*, Van Nostrand Reinhold Publishers, New York.
- Özdemir, S., 2018. *Fermente Sucuk Üretiminde Kereviz ve Kuşburnu Tozları Kullanılarak Sentetik Nitrit Miktarının Azaltılabilme İmkânlarının Yanıt Yüzey Yöntemi İle Modellenmesi* (yüksek lisans tezi). BAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Pekel, L.C., 2009. *Çöktürme Yönteminin Kullanıldığı Boya Atıksu Arıtma Sisteminin Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol (GPC) İle pH Kontrolü* (yüksek lisans tezi). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Poyatos ,J.M., Munio, M.M., Almecija, M.C., Torres, C.J.,Hontoria, E., Osorio, F., 2010. Advanced oxidation processes for wastewater treatment: state of the art. *Water Air Soil Pollution*, **205**:187-204.
- Rich, J., 1997, Waterborne coatings, *Journal of Coatings Tecnology*, **69**, 864.
- Sadri Moghaddam, S., Alavi Moghaddam, M.R., Arami, M., 2010d. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, **175**, 651-657.
- Sönmez, A., Budakçı, M., 2004. *Ağaç İşlerinde Üst Yüzey İşlemleri II, Koruyucu Katman ve Boya/Vernik Sistemleri*. Sevgi Ofset, GÜ. Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 975-97281-0-9 (TK), 975-97281-1-7 (2.C.).
- Standart Metotlar, A.P.H.A.-A.W.W.A., 1998. Standart methods for the examination of water and wastewater. 19. Baskı., Washington, DC.
- Subaşı, A., (2010). *Yanıt Yüzey Yöntemi Yardımı ile Isı Değiştirici Optimizasyonu* (yüksek lisans tezi). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Şahan, T., Yılmaz, Ş., 2017. Doğal pomza minerali ile Co(II) adsorpsiyon koşullarının optimizasyonu için cevap yüzey yönteminin uygulanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **23**(7): 887-892.
- Taşdemir, T., Edem, V., 2010. Flokülasyon yöntemi ile atıksudan askıda tanelerin giderimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **23** (1): 109-121.
- Türkyılmaz, H., 2011 . *Kurşun İyonlarının Kesikli Adsorpsiyon Prosesi İle Gideriminin Cevap Yüzey Yöntemiyle Optimizasyonu* (yüksek lisans tezi). SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uğur Nigiz, F., 2018. Yüzey yanıt metodu ile optimize edilen metil laurat üretiminin membran reaktörde uygulaması. *Journal of Engineering Sciences and Design*, **6**(1):47-55.
- Verma, A.K., Dash, R.R., Bhunia, P., 2012. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, **93**:154-168.
- Wu, J., Wang, T., 2001. Ozonation of aqueous azo dye in a semi-batch reactor, *Water Research*, **35**(4): 1093-1099.

ÖZ GEÇMİŞ

1992 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladıktan sonra 2011 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2016 yılında mezun oldu ve 2017 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünde lisansüstü eğitime başladı. 2019 yılında lisansüstü eğitimini tamamlayarak mezun oldu.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 18 / 07 / 2019

Tez Başlığı / Konusu: **BOYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN KOAGÜLASYON YÖNTEMİYLE OPTİMUM ARITIM KOŞULLARININ BELİRLENMESİ**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 70 sayfalık kısmına ilişkin, 18 / 07 / 2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 18 (on sekiz) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.



18.07.2019

Adı Soyadı: **Esmenur HAKKİTANIR**

Öğrenci No: **169101188**

Anabilim Dalı: **Kimya Mühendisliği**

Programı: **Kimya Mühendisliği**

Statüsü: Y. Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR



Dr.Öğr.Üyesi Adnan ALDEMİR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR



Prof.Dr.Suat ŞENSOY
Enstitü Müdürü

(Unvan, Ad Soyad, İmza)