T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN MİKRODALGA/UV KATALİZLİ FENTON VE PERSÜLFAT PROSESLERİYLE ARITIMI VE OPTİMİZASYONU

Elif ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Fatih İLHAN

Temmuz, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN MİKRODALGA/UV KATALİZLİ FENTON VE PERSÜLFAT PROSESLERİYLE ARITIMI VE OPTİMİZASYONU

Elif ÖZTÜRK tarafından hazırlanan tez çalışması 21.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Fatih İLHAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Fatih İLHAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ömer APAYDIN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Nagihan KORKMAZ, Üye
İstanbul Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Fatih İLHAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Mikrodalga/UV Katalizli Fenton ve Persülfat Prosesleriyle Arıtımı ve Optimizasyonu” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Elif ÖZTÜRK

İmza

Aileme

ve

eşime

TEŞEKKÜR

Çalışmış olduğum yüksek lisans bitirme çalışmasında tekstil endüstrisi atıksuyunun Mikrodalga/UV katalizli Fenton ve Persülfat Prosesleriyle Arıtımı ve Optimizasyonu araştırılmış olup, optimize işletme şartları belirlenmiştir. Çalışmalarımız Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması süresince öncelikle lisans döneminden bugüne kadar bilgisini ve tecrübelerini paylaşmakta her zaman yardımcı olan, saygı değer hocam, tez danışmanım Doç. Dr. Fatih İLHAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında desteğini ve samimiyetini eksik etmeyen değerli tüm Yıldız ailesi hocalarıma,

Hayatımın her alanında desteğini esirgemeyen, beni cesaretlendiren ve hep yanımda olan sevgili eşim Mustafa Öztürk'e ve aileme teşekkürü borç bilirim.

Elif ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ix

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xi

TABLO LİSTESİ xiv

ÖZET xvi

ABSTRACT xix

1 GİRİŞ 1

1. Giriş 1

2 TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ 3

2.1 Tekstil Endüstrisinin Genel Özellikleri 3

2.1.1 Haşıllama ve Haşıl Sökme 4

2.1.2 Yıkama 4

2.1.3 Yün Karbonizasyonu 4

2.1.4 Keçeleştirme 5

2.1.5 Ağartma 5

2.1.6 Merserizasyon 5

2.1.7 Boyama 5

2.1.8 Baskı 6

2.1.9 Apreleme 6

3

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU KARAKTERİZASYONU VE ATIKSU OLUŞUMU 7

4 TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN BOYAR MADDELERİN SINIFLANDIRILMASI 9

4.1 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddelerin Özellikleri ve Sınıflandırılması 9
4.1.1 Boyarmaddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması 10
4.1.2 Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması 10
4.1.3 Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması 12
4.2 Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması 17
5 TEKSTİL ATIKSULARINDA RENK PARAMETRESİ VE ÖLÇÜM METOTLARI 19
5.1 Renk Ölçüm Metotları 19
5.1.1 Spektrofotometrik Metot 19
5.1.2 Görsel Karşılaştırma Metodu 19
5.1.3 Tristumulus Filtre Metodu 20
6 TEKSTİL ATIKSULARINDA KOİ ve RENK GİDERİMİ İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER 21
6.1 Biyolojik arıtım prosesleri 21
6.2 Fiziksel Arıtım Prosesleri 22
6.3 Membran Prosesler 22
6.4 Kimyasal Arıtım Prosesleri 23
6.5 İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) 23
6.5.1 Homojen İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) 24
6.5.2 Heterojen Fotokimyasal Oksidasyon Prosesleri 29
7 MATERYAL VE METOT 31
7.1 Materyal 31
7.1.1 Atıksu ve Atıksu Temini Hazırlanması 31
7.1.2 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar 31
7.2 Deneysel Metotlar 32
7.2.1 Mikrodalga/ Persülfat Metodu 32
7.2.2 Mikrodalga/ Fenton Metodu 32
7.2.3 UV/Persülfat (UV/Persülfat) Metodu 33
7.2.4 UV/ Fenton (UV/ Fe+2) Metodu 33

7.3 Optimizasyon Yöntemi 33
7.3.1 Deneysel Tasarım 33
7.3.2 Yanıt Yüzey Metodu 36
7.3.3 Dalga Boyu Taraması Grafiği ve Veriler 36
8 BULGULAR VE TARTIŞMA 38
8.1 Mikrodalga/Persülfat Prosesi Giderim Verileri 38
8.1.1 KOİ Giderimi 40
8.1.2 ABS Giderimi 46
8.1.3 UV254 Giderimi 50
8.1.4 Renk Giderimi 55
8.2 Md/Fenton Prosesi Giderim Verileri 59
8.2.1 KOİ Giderimi 60
8.2.2 ABS Giderimi 64
8.2.3 UV254 Giderimi 68
8.2.4 Renk Giderimi 72
8.3 UV/Persülfat Prosesi Giderim Verileri 76
8.3.1 KOİ Giderimi 77
8.3.2 ABS Giderimi 82
8.3.3 UV254 Giderimi 86
8.3.4 Renk Giderimi 90
8.4 UV/Fenton Prosesi Giderim Verileri 94
8.4.1 KOİ Giderimi 96
8.4.2 ABS Giderimi 100
8.4.3 UV254 Giderimi 105
8.4.4 Renk Giderimi 109
9 SONUÇ 115
KAYNAKÇA 122
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 129

SİMGE LİSTESİ

dk	dakika
Fe	demir
g	gram
H_2O_2	Hidrojenperoksit
OH	Hidroksil radikali
H_3O	Hidronyum iyonu
J	joule
Λ/ λ	Lambda
L	litre
mg	miligram
mL	mililitre
Nm	nanometre
cm	santimetre
H_2O	Su
W	watt

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Absorbans
AKM	Askıda Katı Madde
AOX	Adsorplanabilir Organik Halojenler
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
İOP	İleri Oksidasyon Prosesleri
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Md	Mikrodalga
PS	Persülfat
TDS	Toplam çözünmüş katı
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Vat boyaları kimyasal yapısı.....**12**
Şekil 2. Sıklıkla kullanılan Kükürt Boyaları kimyasal yapısı **14**
Şekil 3. Asit (acide blue 25) boyar madde kimysal yapısı **15**
Şekil 4. Dispers Red8 Kimyasal Yapısı.....**15**
Şekil 5. Bazik basic **16**
Şekil 6. Doğrudan boyama örneği **17**
Şekil 7. Md/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği.....**43**
Şekil 8. Md/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum **43**
Şekil 9. Md/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği **44**
Şekil 10. Md/Persülfat prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikler.....**45**
Şekil 11. Md/PS prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği.....**47**
Şekil 12. Md/PS prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği.....**48**
Şekil 13. Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için zaman serisi grafiği **48**
Şekil 14. Md/PS prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri **50**
Şekil 15. Md/PS prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği.....**52**
Şekil 16. Md/PS prosesinde UV254 giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği.....**52**
Şekil 17. Md/PS prosesinde UV254 giderimi için zaman serisi grafiği **53**
Şekil 18. Md/PS prosesinde UV254 giderimi için kontür grafikleri **54**
Şekil 19. Md/ PS prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği **56**
Şekil 20. Md/PS prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **57**
Şekil 21. Md/Persülfat prosesinde Renk giderimi için zaman serisi grafiği **57**
Şekil 22. Md/PS prosesinde renk giderimi için kontür grafikler.....**58**
Şekil 23. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği.....**61**
Şekil 24. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği.....**62**
Şekil 25. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği **62**
Şekil 26. Md/Fenton prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri.....**64**
Şekil 27. Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği **65**

Şekil 28. Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **66**
Şekil 29. Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için zaman serisi Grafiği **66**
Şekil 30. Md/Fenton prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri **67**
Şekil 31. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği **69**
Şekil 32. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği **69**
Şekil 33. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için zaman serisi grafiği **70**
Şekil 34. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi kontür grafikler **71**
Şekil 35. Md/Fenton prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği **73**
Şekil 36. Md/Fenton prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **73**
Şekil 37. Md/Fenton prosesinde renk giderimi zaman serisi Grafiği **74**
Şekil 38. Md/Fenton prosesinde kontür grafikleri **75**
Şekil 39. UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği **79**
Şekil 40. UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **79**
Şekil 41. UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği **80**
Şekil 42. UV/Persülfat prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri **81**
Şekil 43. UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği **83**
Şekil 44. UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **83**
Şekil 45. UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için zaman serisi Grafiği **84**
Şekil 46. UV/Persülfat prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri **85**
Şekil 47. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği **87**
Şekil 48. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği **87**
Şekil 49. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği **88**
Şekil 50. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi kontür grafikler **89**
Şekil 51. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği **91**
Şekil 52. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **91**
Şekil 53. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi zaman serisi Grafiği **92**
Şekil 54. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi kontür grafikler **93**
Şekil 55. UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği **97**
Şekil 56. UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **98**
Şekil 57. UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği **98**
Şekil 58. UV/Fenton prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri **100**

Şekil 59. UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği.....**102**
Şekil 60. UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği.....**102**
Şekil 61. UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için zaman serisi Grafiği **103**
Şekil 62. UV/Fenton prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri.....**104**
Şekil 63. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği.....**106**
Şekil 64. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği.....**107**
Şekil 65. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için zaman serisi grafiği **107**
Şekil 66. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi kontür grafikler **108**
Şekil 67. UV/Fenton prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği **111**
Şekil 68. UV/Fenton prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği **111**
Şekil 69. UV/Fenton prosesinde renk giderimi zaman serisi Grafiği.....**112**
Şekil 70. UV/Fenton prosesinde kontür grafikler.....**113**

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirletici bileşenleri **7**
Tablo 2 Fenton Prosesi Avantaj/Dezavantajları **27**
Tablo 3 Fotokimyasal Spektral Sınırlar **28**
Tablo 4 ±5% Varyasyon Atıksu Numunesi **31**
Tablo 5 Mikrodalga/Persülfat Metotu Deneysel Çalışma Verileri-1 ..... **34**
Tablo 6 Mikrodalga/Fenton Metotu Deneysel Çalışma Verileri-1 ..... **35**
Tablo 7 UV/Persülfat Deneysel Çalışma Verileri-1 ..... **35**
Tablo 8 UV/Fenton Metotu Deneysel Çalışma Verileri-1 ..... **35**
Tablo 9 Mikrodalga/Persülfat Deneysel Çalışma Giderim Verileri **38**
Tablo 10 Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için katsayılar **40**
Tablo 11 Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için model özeti **41**
Tablo 12 Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi **42**
Tablo 13 Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için katsayılar **46**
Tablo 14 Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için model özeti **46**
Tablo 15 Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için varyans analizi **47**
Tablo 16 Md/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için katsayılar **50**
Tablo 17 Md/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için model özeti **51**
Tablo 18 Md/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi **51**
Tablo 19 Md/Persülfat prosesinde Renk giderimi için katsayılar **55**
Tablo 20 Md/Persülfat prosesinde Renk giderimi için model özeti **55**
Tablo 21 Md/Persülfat prosesinde Renk giderimi için varyans analizi **55**
Tablo 22 Md/Fenton Deneysel Çalışma Giderim Verileri **59**
Tablo 23. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için katsayılar **60**
Tablo 24. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için model özeti **60**
Tablo 25. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi **61**
Tablo 26 Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için katsayılar **64**
Tablo 27 Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için model özeti **64**
Tablo 28 Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için varyans analizi **65**
Tablo 29 Md/Fenton prosesinde UV254giderimi için katsayılar **68**
Tablo 30 Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için model özeti **68**

Tablo 31 Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi..... **68**
Tablo 32 Md/Fenton prosesinde Renk giderimi için katsayılar **72**
Tablo 33 Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için model özeti **72**
Tablo 34 Md/Fenton prosesinde Renk giderimi için varyans analizi **72**
Tablo 35 UV/Persülfat Deneysel Çalışma Giderim Verileri **76**
Tablo 36 UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için katsayılar **77**
Tablo 37 UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için model özeti..... **78**
Tablo 38 UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi **78**
Tablo 39 UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için katsayılar..... **82**
Tablo 40 UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için model özeti **82**
Tablo 41 UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için varyans analizi **82**
Tablo 42 UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için katsayılar **86**
Tablo 43 UV/ Persülfat prosesinde UV254 giderimi için model özeti..... **86**
Tablo 44 UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi **86**
Tablo 45 UV/Persülfat prosesinde Renk giderimi için katsayılar..... **90**
Tablo 46 UV/Persülfat prosesinde Renk giderimi için model özeti **90**
Tablo 47 UV/Persülfat prosesinde Renk giderimi için varyans analizi..... **90**
Tablo 48 UV/Fenton Deneysel Çalışma Giderim Verileri..... **94**
Tablo 49 UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için katsayılar..... **96**
Tablo 50 UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için model özeti **96**
Tablo 51 UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi **96**
Tablo 52 UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için katsayılar..... **100**
Tablo 53 UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için model özeti **101**
Tablo 54 UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için varyans analizi..... **101**
Tablo 55 UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için katsayılar..... **105**
Tablo 56 UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için model özeti **105**
Tablo 57 UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi **105**
Tablo 58 UV/Fenton prosesinde Renk giderimi için katsayılar **109**
Tablo 59 UV/Fenton prosesinde Renk giderimi için model özeti..... **110**
Tablo 60 UV/Fenton prosesinde Renk giderimi için varyans analizi..... **110**

ÖZET

Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Mikrodalga/UV Katalizli Fenton ve Persülfat Prosesleriyle Arıtımı ve Optimizasyonu

Elif ÖZTÜRK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Fatih İLHAN

Tekstil endüstrisi dünyada en yaygın ve en eski endüstriyel faaliyetlerdendir. Bu sektör ülkemizin ekonomisi için de büyük bir önem taşımaktadır. Diğer taraftan tekstil endüstrisi atıksuları yüksek kirlilik konsantrasyonuna, organik ve inorganik madde içeriğine sahip atıksulardır. Ayrıca tekstil endüstrisi en çok su kullanan endüstriler arasında yer almasından dolayı üretim süreci sonunda fazla miktarda kirli suyu alıcı ortama deşarj eder ve bu nedenle hem sarfettiği su kaynağı hem de kirlettiği alıcı ortamın etkileri sebebiyle çevre kirliliği kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır.

Tekstil endüstrisinde atıksuları içerik ve miktar yönünden oldukça değişkendir. Bu atıkların birinci kaynağı liflerde mevcut olan organik safsızlıklarıdır. İkinci kaynak ise prosesler de kullanılan kimyasal maddelerdir.

Tekstil proseslerinde kullanılan boyalar, taşıyıcılar, krom ve türevleri ve sülfür genellikle atıklarda bulunur. Tekstil boyamada ayrışmaya karşı oldukça dayanıklı boyaların kullanılması istendiğinden, oluşan boya atıkları da biyolojik ayrıştırmaya karşı dayanıklıdır ve zor ayrışır.

Tekstil atıksuları biyolojik ayrışabilir olmakla beraber, zaman zaman biyolojik proseslerde istenmeyen durumlara sebep olabilirler. Çünkü atıksuda birtakım toksik bileşikler (boya çeşitlerinden gelen kromatlar, klorürler ve hidrojen peroksit vb)

olabilir. Atıksu, nutrient (azot ve fosfor) içeriğinden noksanlık gösterebilir. Boyama işlemlerinde suya azotu atıklar karışmaktadır. Ancak atıksuda fosfor içeriği oldukça düşük seviyelere gelebilir. Suyun nitelikle miktarında da gün içerişinde büyük değişiklikler olabilmektedir. Oluşan atıksuların geleneksel arıtım yöntemleri ile arıtılmasındaki zorluklar nedeniyle ileri oksidasyon prosesleri ile arıtılması son yıllarda araştırma konusu haline gelmiştir.

Yürütülen çalışma kapsamında, tekstil endüstrisi atıksuyunun Mikrodalga/UV katalizli fenton ve persülfat prosesleriyle arıtılabilirliği değerlendirilmiştir. İki yönteminde arıtma verimi ve işletme koşulları belirlenmiştir. Arıtım işlemlerinde, kirletici parametrelerin başlangıç konsantrasyonlarında kayda değer oranlarda azalma sağlanmıştır.

Yapılan karşılaştırmşalı değerlendirmeler sonucunda, tüm parametreler (KOİ, BOİ, renk, bulanıklık vb.) açısından en yüksek giderim veriminin UV/Fenton prosesiyle elde edildiği tespit edilmiştir.

Diğer yöntemler ise sırasıyla UV/Persülfat, Mikrodalga/Fenton ve Mikrodalga/Persülfat olarak performans sıralamasında yer almaktadır. Bu sonuçlar, özellikle mikrodalga destekli Fenton prosesinin, tekstil atıksularının arıtımında etkili ve verimli bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Çalışılan 4 proseste de KOİ giderim verimleri %75 ile %90 arasında değişkenlik göstermiş olup, en yüksek giderim verimi %90 ile Mikroldaga/Fenton prosesinde gerçekleşmiştir.

Çalışılan 4 proseste de ABS giderim verimleri %70 ile %90 arasında değişkenlik göstermiş olup, en yüksek giderim verimi %90 ile Mikroldalga/Fenton ve Mikrodalga/ Persülfat prosesinde gerçekleşmiştir.

Çalışılan 4 proseste de UV254 giderim verimleri %60 ile >%99 arasında değişkenlik göstermiş olup, en yüksek giderim verimi >%99 ile Ultraviyole/Fenton prosesinde gerçekleşmiştir.

Çalışılan 4 proseste de Renk giderim verimleri %70 ile >%99 arasında değişkenlik göstermiş olup, en yüksek giderim verimi %90 ile Mikroldaga/Fenton prosesinde gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil atıksuyu, mikrodalga, UV, ileri oksidasyon prosesleri, kimyasal oksijen ihtiyacı, renk.

ABSTRACT

Optimization and Treatment of Textile Industry Wastewater by Microwave/ UV Catalyzed Fenton and Persulfate Oxidation Processes

Elif ÖZTÜRK

Department of Environmental Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Fatih İLHAN

The textile industry is one of the most widespread and oldest industrial activities in the world. This sector is also of great importance for the economy of our country. On the other hand, textile industry wastewater is wastewater with high pollution concentration, organic and inorganic substance content.

In addition, since the textile industry is among the industries that use the most water, it discharges large amounts of polluted water to the receiving environment at the end of the production process, therefore it plays an important role in environmental pollution control due to the effects of both the water source it consumes and the receiving environment it pollutes.Wastewater is highly variable in terms of content and amount. The primary source of wastes are the organic impurities present in the fibers. And second sources are the chemicals used in the processes.

Dyes, carriers, chromium and its derivatives, and sulfur used in textile processes are often found in waste. Since it is desired to use dyes that are highly resistant to decomposition in textile dyeing, the dye wastes formed are also resistant to biological decomposition and are difficult to decompose.

Although textile wastewater is biodegradable, they can cause undesirable situations in biological processes from time to time. Because wastewater may contain some toxic compounds (such as chromates from dyes, sulphides, chlorides and hydrogen

peroxide). Wastewater may be deficient in terms of nutrients (nitrogen and phosphorus). Nitrogenous wastes are discharged with water during dyeing processes. However, the phosphorus concentration in the wastewater can remain at very low levels. There can be great changes in the quality and amount of water throughout the day. Treatment of wastewater with advanced oxidation processes has become a research topic in recent years due to the difficulties in treating the wastewater with conventional treatment methods.

Within the scope of the study, the treatability of textile industry wastewater with catalyzed Fenton and Persulfate processes was evaluated. Treatment efficiency and operating conditions were determined in two methods. As a result of the study, it was concluded that the Microwave/Fenton process is more effective for COD (chemical oxygen demand) and color removal from textile wastewater. The treatment efficiencies and operational conditions of both methods were determined. During the treatment processes, significant reductions were observed in the initial concentrations of pollutant parameters.

As a result of the comparative evaluations, it was found that the highest removal efficiencies for all parameters (COD, BOD, color, turbidity, etc.) were achieved using the UV/Fenton process.

The other methods ranked in terms of performance as follows: UV/Persulfate, Microwave/Fenton, and Microwave/Persulfate, respectively. These results indicate that the microwave-assisted Fenton process, in particular, is an effective and efficient method for the treatment of textile wastewater.

The results demonstrated that, in all four processes investigated, COD removal efficiencies ranged between 75% and 90%, with the highest efficiency (90%) obtained in the Microwave/Fenton process.

Similarly, ABS removal efficiencies varied from 70% to 90%, with the maximum efficiency (90%) observed in both the Microwave/Fenton and Microwave/Persulfate processes.

For UV254 removal, efficiencies were found to be in the range of 60% to 100%, and the highest efficiency (100%) was achieved in the Ultraviolet/Fenton process.

In terms of color removal, efficiencies ranged from 70% to 100%, with the best performance (90%) recorded in the Microwave/Fenton process.

Keywords: Textile wastewater, microwave, UV, advanced oxidation processes, chemical oxygen demand, color

1

GİRİŞ

1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasıyla çoğalan insan ihtiyaçları, doğanın kendi döngüsü içinde bertaraf edebileceği kirlilik yükünün aşan endüstriyel üretim artışına yol açmaktadır. Özellikle sanayi sektöründe tarımdaki bilinçsiz faaliyetler, kentleşmeyle bağlantılı evsel atıkların artması, bilinçsiz tüketim faaliyetleri gibi etkenler tüm canlıların yaşamlarını tehdit etmektedir. Bu tehditlerin önüne geçmek için global atık bertaraf yöntemleri giderek daha önemli bir hal almaktadır. Dünyanın doğal akışındaki değişiklikler ve çevre sorunlarının her geçen gün artması nedeniyle çevre dostu üretim politikaları düzenlenmekte ve çevre kirliliği yasalarla kontrol altına alınmaktadır (İlkin & Alkin, 1991:2).

Tekstil endüstrisini Selçuklu ve Osmanlı İmparatorluğu zamanlarında başlamış bulunmaktadır. 16. ve 17. yüzyıllarda Türkiye'de tekstil üretimi yaygın ve gelişmişti, ancak Avrupa'nın sanayi çağına girmesiyle birlikte Avrupa, tekstil ve diğer endüstrilerle birlikte bir gerileme dönemine girdi. 1930'ların başından bu yana, ülkemizde yüksek oranda pamuk yetiştirildiği için tekstil endüstrisi büyük bir atılım yaparak büyümüştür. Ülkenin jeopolitik konumu, geniş hammadde yelpazesi, düşük nakliye maliyetleri ve daha kısa teslimat süreleri sunduğu için rekabet avantajı sağlamıştır (İnalcık, 2008).

Türkiye çok sayıda tekstil ürünü ihraç etmesine rağmen, üretim sürecinde kullanılan makine ve kimyasalların çoğu dışarıdan temin edilmektedir (TÜİK, 2023). Tekstil sektörü genel olarak lif, iplik, dokuma, örme, boya-baskı ve terbiye işlemlerini içermektedir (Yaseen & Scholz, 2019). Tekstil, deri ve boya endüstrisi gibi çeşitli endüstrilerden oluşan atık sular, potansiyel kanserojen olarak kabul edilen tehlikeli ve toksik bileşikler içerir. Hacimleri ve bileşimleri göz önüne alındığında, tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık suların diğer endüstrilere göre daha fazla kirletici

içerdiği görülebilir (Verma vd., 2012). Türkiye, son çeyrekte tekstil boyama ve terbiye endüstrisi sanayinde etkin büyüme kaydetti. Bu gelişme sonucunda, karmaşık yapısı nedeniyle biyolojik ve fizikokimyasal arıtma işlemleriyle arıtılamayan çeşitli boyalar ve yardımcı kimyasallar içeren atık sular ortaya çıkmıştır. Bu nedenle boyama atıksularının uygun ve etkin yöntemlerle arıtımının sağlanması tekstil sektörü için mühim bir konudur ve deşarj standartlarındaki kısıtlamalar her geçen gün daha da sıkılaştırılmaktadır (Chandran & Hoch, 2020). Tekstil boyama ve terbiye işlemleri kaynaklı atık sudaki kalıcı ve toksik endüstriyel kirleticilerin kirlilik yükünü azaltmak için yirmi yılı aşkın bir süredir ileri oksidasyon prosesleri başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Tekstil atıksularında renk, KOİ ve TOK gidermek için ileri oksidasyon ve homojen ve heterojen ileri oksidasyon prosesleri kullanılmaktadır (Balcioglu vd., 2001).

Yürütülen çalışma kapsamında, biyolojik ayrışabilirliği zor ve biyolojik arıtmayı yönünden olumsuz etkilerden tekstil endüstrisi atıksularının hidrojen peroksit ve $FeSO_4*7H_2O$ (Demir(II) Sülfat Heptahidrat) kimyasalları kullanılarak Mikrodalga/Persülfat ve Mikrodalga/Fenton prosesleriyle UV/Persülfat ve UV/Fenton prosesleri uygulanarak değerlendirilmiştir. Çalışılan iki yöntem için KOİ ve renk giderme verimi dikkate alınarak en uygun proses koşulları belirlenmiştir. Bu çalışmada iki yöntem arıtma verimi ve işletme koşulları karşılaştırılarak yöntemin seçim yapılması kararlanmıştır.

2

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Yün, sentetik, örme veya pamuk cinsi kumaşların üretiminde kullanılmış olan liflerden, kumaş ve farklı tekstil ürünü üreten endüstriye tekstil endüstrisi olarak tanımlanır (Gençoğlu 1991, EPA 1997).

Günlük yaşantımızın hemen hemen her aşamasında, havludan, perdeye, günlük kıyafetlerimizden kullandığımız aksesuarlardan olan fular, atkı, toka vb yaşamın vazgeçilemez parçası olmuştur. Bahsedilen çeşitlilikle beraber tekstil endüstrisinde çeşitli proseslerin oluşumuna sebebiyet vermiştir. Tekstil endüstrisi içinde yaygın olarak proseslerin çoğunda çevresel konular işlenmektedir (Eser vd., 2016)

Tekstil endüstrisi doğal ve yapay iplikleriyle dokuma, örme ve eğirme; tekstil ürünlerinin son işlemleri, dikiş vb prosesleri içermektedir. Tekstil endüstrisinin kullanıldığı materyaller, endüstriyel, ticari ve evsel pazarlar için üretilen ürünlerden oluşur. Materyallerin prosesin başlangıcında ve devam eden adımlarında içerik veya etkileşimlerine göre çıktıların çeşitleri de değişebilmektedir (Öztürk & Demir, 2016).

2.1 Tekstil Endüstrisinin Genel Özellikleri

Proses aşamaları genellikle sentetik elyaf, yün ve pamuk kullanılır. Elyaf cinsine bağlı olarak proseslerin isimlendirilmesinde değişiklikler görülebilir. Fakat üretim esnasındaki işlemler benzerlik göstermektedir. Örneğin; karbonizasyon yün içeren işlemlerde, merserizasyon ise pamuk içeren ürünlerde adlandırılır. Sanayide sıklıkla kullanılıyor olan prosesler; Haşıllama ve Haşıl Sökme, yıkama, yün karbonizasyonu, keçeleştirme, ağartma, merserizasyon, boyama, baskı ve apreleme işlemleridir (Trotman,1984 ; Gönüllü, 2004).

2.1.1 Haşıllama ve Haşıl Sökme

Haşıllama; dokuma öncesinde yapılan dokuma için hazırlık işlemidir. Temel amaç ipliklerin dokuma esnasında maruz kalacağı kuvvetlerden korumak ve maddeye mukavemet kazandırılması, elastikiyet kazandırılması, kayganlık kazandırmak, ipliğinin yüzeyinde bulunan lifleri ipliğin gövdesine yapıştırmak için yapılmaktadır. Haşıl işleminde; bilhassa tek katlı çözgü iplikleri ile puntasız bükümsüz filemanetli olan ipliklerinin etkilere karşı dayanıklılığının artırılmasıdır (Booth, 1975; Gönüllü, 2004).

Prosesinin haşıllama aşamasında meydana gelen atığın büyük kısmı lif havı, nişasta bazlı haşıl ve iplik atığıdır. Kullanılmış olan haşıl maddeleri haşıllama prosesinden çıkan atıksularında en yüksek kirlilik kaynağıdır. Oluşmuş olan atıksular hacim olarak düşük ancak yüksek oranda KOI, AKM ve BOİ içermektedir (Bali vd., 2004) (Gönüllü, 2004).

2.1.2 Yıkama

Bu proseste boyama, baskı ile apreleme işlemleri uygulanabilirliği amaçlanarak kumaşı hazır hale getirmek, haşıllama işleminden dolayı oluşan haşıl maddelerinin giderilebilmesi için sodyum bisülfit, deterjanlar, sodyum hidroksit, asitler ile enzimler kullanılır. Proses esnasında kimyasal maddeler suya karışarak toksik madde oranı yüksek atıksu bileşimini oluşturmaktadır. Atıksuyun pH'ı alkali 10-11 civarında ve yüksek KOI ile katı madde içeriğine sahiptir. Yünün yıkanma işlemi tekstil endüstrisindeki kirlilik yükü en yüksek olan basamak olmaktadır. Ham yünün takribi ağırlığının %30-70'i safsızlık (yün yağı, dışkı ve katı madde) içermektedir (Gönüllü, 2004: Yaşar vd, 2006).

2.1.3 Yün Karbonizasyonu

Mekanik işlemlerle yahut yıkama işlemiyle giderilemeyen yünün içinde bulunan güçlü kirleticilerin giderimi için uygulanır. Uygulama sırasında, yüne zarar vermeyecek olan selülozun parçalanılması için yüksek derece sıcaklıkta çok güçlü asitler kullanılmaktadır. Yün karbonizasyonu işlemi basamağının devamındaki basamağa geçmeden evvel, proseste kullanılacak olan güçlü asitlerin etkilerinin giderilmesi amacıyla nötralizasyon ile yıkama işlemi gerekmektedir. Bu proseste

oluşan atıksulardaki organik madde oranı düşük ancak katı madde oranı yüksektir (Gönüllü, 2004).

2.1.4 Keçeleştirme

Bu proseste küçük, yoğun ve mat bir materyalin elde edilmesi amacıyla genellik olarak karbonizasyon prosesinden sonra yün elyaf keçeleştirme işlemi uygulanmaktadır. Proseste kullanılacak olan maddelerin sıcak soda çözeltileri ile sülfürik asittir. Proseste bitirilmiş elyaf yıkandığında meydana gelen atıksuda yüksek oranda $BOİ_5$ içermektedir (Bali vd.,2004 ; Gönüllü, 2004).

2.1.5 Ağartma

Bu proseste istenmeyen renklerin bazı kimyasalların yardımıyla giderimi sağlanmaktadır. Ağartma maddesi olarak sodyum hipoklorit, enzimler ve hidrojen peroksit kullanılır. Yüksek oranda klorür ve peroksitler biyolojik arıtma esnasında inhibisyon sorununa neden olabilirler. Ağartma prosesinde oluşan atıksuyu $BOİ_5$ oranı düşük, katı madde içeriği yüksektir. Tekstil atıksuları arıtımında toplam BOİ' nin yaklaşık %5 kadarı ağartma prosesinden gelmektedir (Bali vd., 2004 ; Gönüllü, 2004).

2.1.6 Merserizasyon

Bu proseste malzemenin özelliklerinin geliştirilmesi, dokumanın parlaklığının artırılmasıyla boyanın daha iyi tutulmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Merserizasyon işleminde pH'ı artırması sodyum hidroksit kullanılmaktadır. Bu sebeple dokuma %25 kostik sodayla kaplanır. Böylece atıksuyun pH'ı artmaktadır (Verma vd., 2012). Bazen parlaklığın artırılması için pamuk mumu kullanılır. Meydana gelen atıksuların $BOİ_5$ ve katı madde oranı düşüktür fakat doğal yağ, NaOH ve pamuk mumu içermektedir (Gönüllü, 2004; Yaseen & Scholz, 2019).

2.1.7 Boyama

Dokumaya renk verilmesinde yaygın olarak katran ile petrol bazlı sentetik boyalar kullanılır. Boyama liflerin renklendirme prosesidir. Boya banyosunda ve boyama sonrasında çok fazla miktar su tüketimi gerçekleşmektedir. Bu proseste lif üzerinde boyanın tutunumunu artırmak sebebiyle formaldehit, sülfür, yüzey aktifler gibi atıksudaki esas kirlilik oluşturan kimyasallar suya eklenilmektedir. Boyama prosesi

sonrasında genellikle yüksek renk ile düşük oranda organik madde içeren atıksular oluşmaktadır (Robinson vd 2001) (Gönüllü, 2004).

2.1.8 Baskı

Bu proseste kullanılacak olan materyallerle boyama işleminde kullanılanlar aynıdır. Bu iki basamak arasında değişiklik gösteren elyafın yalnızca belirli kısımlarının boyanmasıdır. Proses sonrası meydana gelen atıksuyu renkli olup, inceltici, boyar madde, üre ve solventler gibi çeşitli kimyasallar içerir (Gönüllü, 2004: Verma vd., 2012).

2.1.9 Apreleme

Uygulanan prosesler sonucunda gerek kimyasal gerek fiziksel özellikleri ile değişime uğrayan kumaşın işlenmesi apreleme olarak adlandırılır. Apreleme işlemiyle kumaşın görünümü, pürüzsüzlüğü, yumuşaklılığı, parlaklığı, dayanıklılığı vb özellikleri gelişimi amaçlanır (Shahidi & Wiener, 2010). Proseste kullanılmış olan Sentetik reçineler ve balmumu, kola ve dekstrin kolası, yumuşatıcı maddeler, çinko klorit ve çeşitli özellikte kimyasallar kullanılır. Mevcut kimyasalların kullanılma amacı kumaştaki aşınılma kalitesinin iyileştirilmesi ve kumaşta suya karşı dayanıklılığın arttırılması, küflenmemenin, yanmamanın oluşmasını kazandırmaktır (Kadolph & Langford, 2002).

Proses sonrasında elde edilen atıksu hacimsel olarak küçük fakat bileşiminde büyük farklılıklar gösterir. Entaklorofenoller ile etilklorofosfatlar gibi toksik organik maddeleri içerebilir (Gönüllü, 2004:Yaşar vd, 2006).

3

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU KARAKTERİZASYONU VE ATIKSU OLUŞUMU

Tekstil sektöründeki; haşıllama ve haşıl sökme, yıkama, yün karbonizasyonu, keçeleştirme, ağartma, merserizasyon, boyama, baskı ve apreleme işlemleri uygulandığı esnada yüksek miktarda su kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı da oluşan atıksu debisi yüksek seviyelerde seyretmektedir .(Toprak, 2014).

Tekstil endüstrisinde farklı işlemlerde meydana gelen temel kirleticiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirletici bileşenleri

Prosesler	**Kirleticiler**	**Atıksu Karakteri**
Haşıllama ve Haşıl sökme	Kullanılmayan nişasta kaynaklı parçalar, iplik atıkları	Yüksek BOİ, orta KOİ
Pişirme	Enzimler, amonyak, nişasta	BOİ (%34-50), yüksek KOİ, sıcaklık (70-80 C)
Beyazlatma	Sabunlar, dezenfektanlar, NaOH	BOİ (%30), yağ asitleri, koyu renk, yüksek pH, sıcaklık (70-80 C)
Keçeleştirme	Hidrojen peroksit, NaoCl, AOX, organikler	TDS, yüksek Ph

Merserizasyon	NaOH	Yüksek BOİ, AKM, yüksek pH
Boyama	Renk, tuzlar, metaller, sülfid, asidite/alkalinite	BOİ (%6), yüksek çözünmüş madde, yüksek toksitite, yüksek pH
Baskı	Üre, renk, çözgenler, metaller,	Yüksek BOİ, yüksek KOİ, yüksek toksitite, yüksek çözünmüş katılar, güçlü renk, yüksek pH
Terbiye	Reçineler, klorlanmış bileşikler, yumuşatıcılar, harcanan çözgenler, asetat	: Düşük BOİ, düşük alkalinite, yüksek toksisite

Tekstil endüstri proseslerinde ürünler ile hammaddenin bileşenlerine bağlı farklı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu kimyasalların bir kısmı çeşitli özellikte enzimler, boyalar, sabunlar, asitler, deterjanlar ve tuzlardır. Kimyasallar kumaşta tamamen tutulamadığından atıksu bileşenlerini meydana getirirler (Asad vd.,2007).

Tekstil endüstrisi atıksularındaki kimyasallar sıralayacak olursak;

- Tuzlar, Organik Asitler, Mineraller, Alkaliler, Oksidanlar, Disperse olan aktif yüzey aktif maddeler, Tampon çözelticiler, Ayraçlar, Taşıyıcılar, Ağır metaller ve İndirgecidir.

Tekstil endüstrisin boyama prosesinde boyanın cinsine göre elyafa tutunamayan boyaların %50'ye kadar yükseldiği görülmektedir. Bu boyalar, kimyasal yapı, çözünürlük, renklendirme gibi özelliklere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır.

4

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN BOYAR MADDELERİN SINIFLANDIRILMASI

Cisimlerin kendisini renkli hale getirmede uygulanmakta olan maddelere boyarmadde denir. Tekstil endüstrisinde kullanılmakta olan boyar maddeler, sınıflandırma olarak zararlı atıklardır. Boyaların kompleks organik bileşik yapısında oldukları gözlemlenilmiştir (Robinson vd., 2001). Biyolojik indirgemeye elverişli değildirler. Normal şartlarda boyar maddeler suda çözünebilir özelliktedir fakat uygulanan işlemler sonucunda çözünemez hale gelirler (Forgacs vd., 2004).

Boyarmaddeler kimyasal yapılarına göre veya boyama özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Boyama sırasında boyar maddelerin kimyasal yapısından öncelikle boyama özellikleri bakımından hangi sınıfa dahil olduğu daha sık olarak kullanılmaktadır. Boyar maddeler çözünürlüğe bağlı olarak suda çözünebilen ve suda çözünmeyen olarak, kimyasal yapılarına, boyama özelliklerine göre toplamda dört gruba ayrılabilir (Gökkuş, 2009: Kayseri, 2009).

4.1 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddelerin Özellikleri ve Sınıflandırılması

Cisimlerin kendisini renkli hale getirmede uygulanmakta olan maddelere boyarmadde denir. Tekstil endüstrisinde kullanılmakta olan boyar maddeler, sınıflandırma olarak zararlı atıklardır. Boyaların kompleks organik bileşik yapısında oldukları gözlemlenilmiştir. Biyolojik indirgemeye elverişli değildirler. Normal şartlarda boyar maddeler suda çözünebilir özelliktedir fakat uygulanan işlemler sonucunda çözünemez hale gelirler (Forgacs vd., 2004).

Boyarmaddeler kimyasal yapılarına göre veya boyama özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Boyama sırasında boyar maddelerin kimyasal yapısından öncelikle boyama özellikleri bakımından hangi sınıfa dahil olduğu daha sık olarak kullanılmaktadır. Boyar maddeler çözünürlüğe bağlı olarak suda çözünebilen ve

suda çözünmeyen olarak, kimyasal yapılarına, boyama özelliklerine göre toplamda dört gruba ayrılabilir (Gökkuş, 2009).

4.1.1 Boyarmaddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması

4.1.1.1 Suda Çözünebilen Boyarmaddeler

En az bir adet tuz içermekte olan boyarmadde grubudur. Boyar madde sentezi esnasında kullanılan başlangıç materyali suda çözünebilen herhangi bir madde bulundurmuyorsa, daha sonra ilave edilerek çözünürlük sağlanabilir. Boyar maddeler tuz grubuna göre üç sınıfa bölünebilir (Yaşar vd, 2006).

- Anyonik Suda Çözünen Boyarmaddeler
- Katyonik Suda Çözünen Boyarmaddeler
- Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler

4.1.1.2 Suda Çözenemeyen Boyarmaddeler

Tekstilde ve diğer sektör alanlarında kullanılan ve suda çözünmeyen boyarmaddeler 7 grupta sıralanabilir (Yaşar vd, 2006).

I. Substratta çözünebilen boyarmaddeler,
II. Organik çözücülerde çözünebilen boyarmaddeler,
III. Geçiçi çözünürlükte olan boyarmaddeler,
IV. Polikondensasyon boyarmaddeler,
V. Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler,
VI. Pigmentler

4.1.1.2.1 Organik Çözücüde Çözünen Boyar Maddeler

Bu grupta bulunan boyar maddeler tüm organik çözücülerde çözünür. Solvent olarak da isimlendirilebilir. Çoğunlukla petrol ürünlerinin renklendirilmesinde kullanılır (Güngör, 2021).

4.1.1.2.2 Geçici Çözünürlüğü Olan Boyar Maddeler

Çeşitli indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları uygulanarak suda çözünemez hale getirilirler ve elyafların renklendirilmesinde kullanılır (Yaşar vd, 2006).

4.1.2 Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Bu bölümde elyafın hangi yöntemle boyar maddeyle boyanması incelenir. Buna göre de sınıflandırılma yapılır (Yaşar vd, 2006).

- Katyonikboyar maddeler
- Asit boyar maddeler
- Direkt boyar maddeler
- Reaktif boyar maddeler
- Dispersiyon boyar maddeler
- Pigment boyar maddeler
- Mordan boyar maddeler
- Metal komplex boyar maddeler
- Küp boyar maddeler
- İnkişaf boyar maddeler

4.1.2.1 Katyonik Boyarmaddeler

Katyonik boyarmaddeler organik bazların sıklıkla hidroklorürü şeklinde bulunan tuzlarıdır. Boyarmadde kromofor grup içermediğinden dolayı renksizdir. Asit eklenilmesiyle tuz oluştuğunda renklenme meydana gelir. Katyonik boyar maddelerde renkli kısım katyon halindedir.

Boyarmaddenin bilinen en karakteristik özelliği renk ve parlaklıktır. Genellikle boyama işlenmesinde tannik asit ile asetik asit kullanılır. Takribi 80- 90°C'de poliakrilik elyaf maddeyi çok hızlı şekilde boyarlar, kumaştan ayrışmazlar (Muruganandham vd.,2007).

4.1.2.2 Asit Boyarmaddeler

Asit boyarmaddeler, molekülünde bir veya daha fazla sülfonik asit grubu ya da karboksilik asit grubu içerirler. Özel bir parlaklıkta olan anyonik boyar maddelerdir. Yün, doğal ipek lifleri, poliamid boyanmasında çok kullanılan boyar madde grubundadır (Gürbüz, 2023).

4.1.2.3 Direkt Boyarmaddeler

Ticari açıdan değerli bir boya sınıfı görülmeyen nitro boyalar, yapı olarak basit gruptan bazısını temsil eder. En az bir nitro grubu olan ve bir verici grubunu içermekte olan iki veya daha fazla aromatik halkadan, genellikle naftalen ya da benzenden oluşmaktadırlar (Muruganandham vd., 2007).

4.1.2.4 Trifenilmetan Boyar Maddeler

Trifenilmetan boyalar kolaylıkla oksitlenir, içerdiği fenil halkasından dolayı farklı renklere sahip olabilmektedir. Bu boyarların birçoğu iyoniktir. Suda çözünür özelliğe sahiptir (Gürbüz, 2023).

4.1.2.5 İndigo Boyarmaddeler

Mavi renkte boyar madde olan bu boyarmadde yapısında iki indoksil molekülü bulundurur. Hindistan'da yetiştirilen bu bitki yapraklarının fermantasyonuyla hidroliz edilerek indikandan meydana gelen indoksil atmosferik oksijen ile beraber indigoya yükseltgenir. Oluşan bu bileşik elyaf benzeri ürünleri direkt renklendirebilir (Muruganandham vd., 2007).

4.1.3 Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

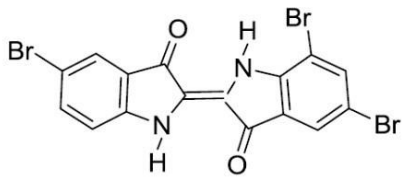
Referans olarak, Boyacılar ve renk uzmanları tarafından 1971 – 1996 yılları arasında yayımlandığı düşünülmektedir. Geleneksel isimlerinin yanında, her boyarmaddeye, uygulanış şekli olarak ile rengine farklı adlandırılır ve numaralandırılır (SDC & AATCC, 1992).

Adlandırma sisteminin temelini olan gruplar;

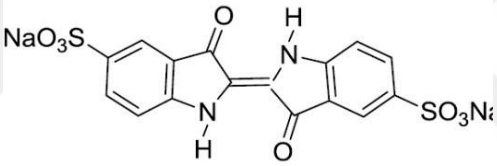
- Direkt boyar maddeler
- Vat boyar maddeler
- Sülfür boyar maddeler
- Azoik boyar maddeler
- Asit boyar maddeler
- Dispers boyar maddeler
- Mordan boyar maddeler
- Bazik (katyonik) boyar maddeler
- Reaktif boyar maddeler

4.1.3.1 Vat Boyarmaddeler

Vat boyarmaddeler, genellikle suda çözünmezler. Fakat bazı indirgenlerin etkisiyle suda çözünebilir şeffaf bileşiklere dönüşürler. Teşekkül eden bileşiklere selüloz ilgi duyar. Yani selülozik elyaf, bu şeffaf bileşikleri kendi üzerine çeker. Oksijenle yükseltgenir. Böylelikle suda çözünmeyen pigmentler oluşur ve boyanın elyafta kalmasını sağlar. Küpe boyarmaddeleri sıklıkla selülozik ve nadiren de protein elyafın boyasında ve baskısında kullanılır (Yaşar vd., 2006).



Vat Blue 5

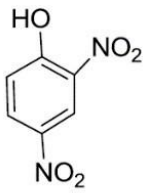


Acid Blue 74

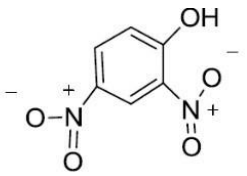
Şekil 1. Vat boyaları tipik kimyasal yapısı

4.1.3.2 Sülfür Boyar Maddeler

Nitro ve amino grupları kapsayan organik bileşiklerle sodyum sülfür veya kükürtle yüksek sıcaklıkta tepkimesiyle meydana gelen boyar maddelerdir. Genellikle alkali banyolar, ipeğin, pamuk elyafın boyanılmasında kullanılır. Sülfür boyalar suda çözünmeyen özelliktedir ve kimyasal indirgeyici maddeler ile beraber alkali çözeltilerde çözünürlüğe ulaştıktan sonra yüksek (100) sıcaklıkta kullanılırlar. Çoğunlukla kahverengi, siyah, mavi gibi koyu renklerde kullanılır (Muruganandham vd., 2007).



Leuco Sulfur black 1



Sulfur black

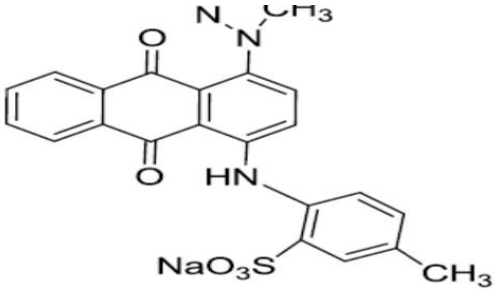
Şekil 2. Sıklıkla kullanılan Kükürt Boyaları kimyasal yapısı

4.1.3 Azoik Boyarmaddeler

İki çözünür bileşiğin birleşerek çözünmez özellikte renk molekülü oluşumu için lif molekülüne emdirilme uygulamasıdır. Azoik boyar maddenin içerisindeki azo bağların ayrılmasıyla toksik özellikli aminler oluşmaktadır. Bu boyalar aromatik karakterlerinden dolayı giderime karşı mukavemetli olmaktadırlar. Bunun sonucunda atık suda daha uzun süre bulunabilmektedir. Boyar maddeler arasında popüler olan azo boyalardır. Azoik boyar madde ilk kez Thomas ve Robert Holiday of Read tarafından 1880 yılında keşfedildi (Rauf vd., 2011: Yagub vd., 2014).

4.1.4 Asit Boyarmaddeler

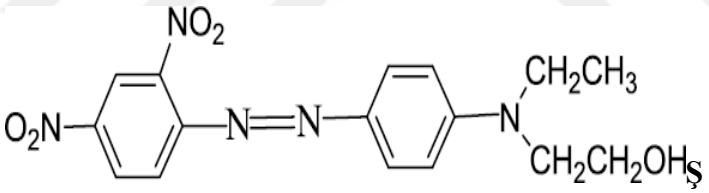
Suda çözünebilir ve protein elyafa karşı dayanıklılığı olan boyar maddelere asi boyar madde denir. Bu boyar madde yanında bir asitle çalışmaktadır. Bu asitler astik asit, formik asit veya sülfirik asit olabilir. Boyar madde seçimine bağlı olarak kuvvetli asit veya zayıf asit seçilir (Broadbent, 2001). Metal kompleks boyalar, mordan boyalara dayanır, ancak mordan metali boya molekülüne dahil edildiğinden ayrı bir modanlama aşaması gerektirmez (Miles, 1993). Metal kompleks boyalar iki sınıfa ayrılır. Bunlar 1:1 metal kompleksleri ve 1:2 metal kompleksleridir. İsimlerinden de anlaşılacağı gibi, metal kompleks boyalar bir boya ligandının bir veya iki molekülüne koordineli metal atomlarından (genellikle krom) oluşur (Çelebi ve Özdoğan,2007).



Şekil 3. Asit (acide blue 25) boyar madde kimysal yapısı

4.1.5 Dispers Boyarmaddeler

Hidrofobik liflere dayanıklılığı yüksek olan suda az çözünür özellikte boyar maddeler dispers boyar maddelerdir. Çoğunlukla sulu dispersiyonlar halinde uygulanmaktadır. Polyester lifleri de polimerlerin sentezlenmesiyle meydana gelir. Sentetik liflerin yapısını oluştururlar. Doğada saf halde bulunmazlar fakat petrol veya kömürün ayrımsal damıtımıyla elde edilirler. Eğirme yöntemiyle sentetik lif hâline getirilmektedirler (Park & Shore, 2007). Piyasada sıklıkla tercih edilen polietilen tereftalat (PET) esaslı olan liftir. Bu boyar maddeler piyasada sıvı olarak dispersiyon halde ya da toz formu içerisinde ıslatma maddesiyle bulunmaktadır. Baskılamada kullanım için en uygun toz formda olanlardır (Başer,1998).



Şekil 4. Dispers Red8 Kimyasal Yapısı

4.1.6 Mordan Boyarmaddeler

Mordan boyar maddeler, boyamaya girecek malzemeyi boyayı bünyesine alacak konuma getirirler. Bitkisel boyacılıkta sıklıkla şap mordan maddesi olarak kullanılır. Boyanın tutunmasını arttırmak amacıyla iplik veya kumaş ilk olarak mordan çözeltisine, sonrasında bo-yaya batırılır. Bu yöntemde avantaj olarak tek bir boyar maddenin çeşitli mordanlar ile açık-koyu tonları değişik renkler vermesidir (Yaşar vd, 2006).

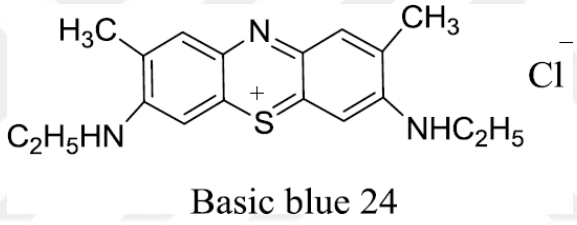
4.1.7 Küpe Boyarmaddeler

Bunlar en az iki oksijen atomu içeren boyalardır. Suda çözünmezler ve doğrudan renklendirme için kullanılamazlar ve karbonatlı boyaların en önemli sınıfıdır.

Selüloz liflerini boyamak için kullanılırlar. Bazik ortamda indirgeyici ajanlar (örnek olarak hidrosülfit) yardımıyla suda çözünebilir hale gelir. Elyaflar çözünür boyalarla renklendirilir ve elyafların içerisinde suda çözünmez hale gelir. Küpe boyalarının renk yelpazesi geniştir ancak renkleri reaktif boyalarla karşılaştırıldığında daha mattır (Maulik vd., 2022).

4.1.8 Bazik Boyarmaddeler

Bazik boyar maddeler, organik bazların hidrürleri şeklindedir. Katyonik grubu renkli kısmında taşırlar. N/S atomu pozitif yük taşıyıcı içerirler. Anyonik grup içermekte olan liflerle bağlanmaktadırlar. Esas olarak poliakrilonitril, bazense yün ile pamuk elyafın boyanılması işleminde kullanılırlar. Elyafla iyonik ilişkili boyarmaddedir. Bazik boyar maddeler, akrilik elyafların boyanmasında özel boya olarak geçerler. Asıl amacı poliakrilonitril elyafların boyanmasında kullanılmaktadır (Kopac vd., 2016).



Basic blue 24

Şekil 5. Bazik basic blue 25 kimyasal yapısı

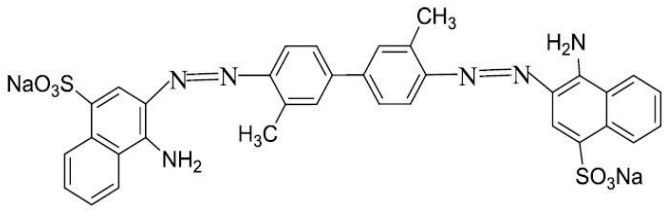
4.1.9 Reaktif Boyarmaddeler

Lif ile kimyasal etkileşim sonucu kovalent bağa sahip tek boyar madde olan reaktif boyar maddelerdir. Karakteristik olarak ufak ve basit molekül yapıya sahiptirler. Reaktif boyarmaddeler selüloz bazlı lifler için kullanılmaktadır. Fakat günümüzde kullanımı azalsa da orlon, akrilik, yün karışımları için kullanılır. Aşındırma işleminde azo grubu ihtiva eden reaktif boyarmaddelerdir. Bilhassa pamuk baskılama işleminde yüksek ışık ile ıslak haslığa sahip parlak renkler oluşur (Yaşar, vd., 2006). Reaktif boyarmadde de herhangi bir işlem için (boya/ baskı) kuvvetli bir ön terbiye işleminden geçmesi gerekmektedir. Bilhassa haşıl olarak nişastanın uzaklaştırılması kesinlikle gereklidir (Broadbent, 2001). Aksi durumda boyarmaddenin materyali yerine nişasta haşılı tepkimeye girer. Durulama işleminde ağartma maddelerinin uzaklaştırması gereklidir. Reaktif boyarmaddeler çektirme, emdirme ve boyama proseslerine uygunlardır. Reaktif boyalar, elyafın bir parçası haline gelir ve yıkamaya karşı olağanüstü renk bozulması direnci sağlar. Lif

ile kalıcı bir bağ oluşturur ve nötr koşullar altında tekrarlanan işlemlerle giderilemez (Irfan vd., 2020).

4.1.10 Direkt Boyarmaddeler

Direk boyar maddeler, sıklıkla sülfonik, karboksilik asitlerin sodyum tuzlardır. Yapı olarak direkt ve asit boyarmaddelerle net bir sınır yoktur. Boyama yöntemi bakımından farklandırılır. Direkt boyarmaddeler, selüloz veya yüne ön işlem görmeden boyarmadde çözeltisinden direk çekilirler. Hiçbir kimyasal bağ getirmeksizin elyafın içerisinde depo edilirler. Sulu çözelti içerisinde anyonik ve katyonik iyon beraberinde bulundururlar (Irfan vd., 2020).



Şekil 6. Doğrudan boyama örneği

4.2 Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Boyar maddeleri sınıflandırmada en uygun yöntem kimyasal yapılarına göre sınıflandırmaktır. Karakteristik özelliğini bilmek için boyar maddenin bağlandığı grup belirlenmelidir. Boyar maddelerin molekülünün kromojenliği, renk verme özelliği olup olmaması, molekülün ana yapısı esas alınır. Boyar maddelerin kimyasal sınıflandırılması şu şekildedir (Shore, 2002).

1. Azo Boyar Maddeleri
2. Nitro ve Nitrozo Boyar Maddeleri
3. Polimetin Boyar Maddeleri
4. Arilmetin Boyar Maddeleri
5. Azo Annulen Boyar Maddeleri
6. Karbonil Boyar Maddeleri
7. Kükürt Boyar Maddeleri

Boyar maddelerin içinde en sık kullanılan azo boyarmaddelerdir. En önemli sınıfa mensuptur. Tüm boyar maddelerin sayısıyla azo boyar maddelerinin sayısı birbirine denktir (Muruganandham vd., 2007).

5

TEKSTİL ATIKSULARINDA RENK PARAMETRESİ VE ÖLÇÜM METOTLARI

360 Nm ile 740 Nm arasındaki dalga boyları insan gözüyle algılanabilmektedir. Işık renk olarak nitelendirilmemektedir (Budak,2017). Kromoform grupların görünür ışığı oluşturan dalga boylarında yuttuğu kısımlara absorblanan renk, kromofor grupları görünür ışığı yuttuğu dalga boylarıdır. Komplementer renk ise görünür ışığın yansıttığı dalga boylarıdır. Geriye kalan göze çarpan renk, komplementer renk ve absorblanmayan kısımların bıraktığı etkileşim sonucu ortaya çıkan renktir (Vigo, 1994: Sevimli, 2000) .

5.1 Renk Ölçüm Metotları

5.1.1 Spektrofotometrik Metot

Spektorometre, renklerin analiz edilmesinde elektromanyetik spektrumu kullanan renk ölçüm cihazıdır. Bu cihaz ilk olarak belirli dalga boyu aralığındaki ışığı nesneye yansıtarak geçirir. Yansıtılan ışık, sensörlere yönlendirilerek cüzi dalga boyu kanallarında algılanarak veriler toplanır. Bu veriler spektrofotometrenin yazılımıyla işlenir. Böylelikle nesnenin renk ölçüm değerlerine ulaşılır. Spektrofotometrik ölçümde yüksek doğruluk sağlanır (Birgül, 2006: Yentürk, 2008).

5.1.2 Görsel Karşılaştırma Metodu

Görsel karşılaştırma yöntemi Hazen yöntemi olarak bilinen standart bir renk ölçüm yöntemidir. Standart renk birimi 1 mg/L platinle üretilmiş renk kabul edilmektedir. Bu yöntem, doğal maddeler ve içme suyu kaynaklı renkleri içeren sularda kullanılmakta olup endüstriyel atık sularında renk ölçümünde tercih edilmemektedir. Ayrıca Hazen renk ölçüm metodunda kullanılmakta olan kirletici metaller sebebiyle Avrupa Birliği ülkelerinde tercih edilmemektedir (Muruganandham, vd., 2007).

5.1.3 Tristumulus Filtre Metodu

Tristimulus ölçüm cihazlarında gözdeki hücrelere karşılık x(λ), y(λ), z(λ) sensörleri bulunur. Cihaz işlemcisi sensördeki değerleri X, Y, Z tristimulus değerlere dönüştürür. Elde edilen değerler daha sonrasında seçilecek metoda dönüştürülür. Bu işlemler tristimulus yöntemi uzantısıdır. Tristimulus yöntemi evsel ve endüstriyel atıksuları renk ölçümünde kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalarda Spektofotometre metodu ile renk ölçümü ile yakın sonuçlar vermektedir (APHA,1998).

6

TEKSTİL ATIKSULARINDA KOİ ve RENK GİDERİMİ İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

Tekstil ve boya sanayi atıksularında muhteva kirletici yüksek derecede askıda katı madde (AKM), KOI, BOİ ve diğer çözünmüş maddelerini içerir. Bu atıksulardaki kirletici maddelerin arıtılmasında renk dışında fiziksel, kimyasal, biyolojik yöntemler gereklidir. Tekstil endüstrisi kaynaklı atıksularda boyama prosesinden sonra kalıntı boyalardan kaynaklı renkli atıksuların arıtılması ek işlemler gerektirir. Bunun için en iyi sonuç ileri oksidasyon işlemler ile elde edilmektedir (Robison vd., 2001).

6.1 Biyolojik arıtım prosesleri

Tekstil atıksularının arıtılmasında sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Atıksuda bulunan sentetik boyaların giderimi uygundur. Mineralizasyon işlemi sonrasında meydana gelen ürünlerin toksikliği yoktur. Biyolojik prosesler sonucu çıkan çamur miktarı düşüktür. Biyolojik proseslerde KOI ve AKM giderimi yüksektir fakat renk gideriminde aynı verimlilik söz konusu değildir. Boya bileşenleri indirgenemez veya hiç bozunmadan kalır (Zhou & Smith, 2002).

Atıksularda bulunan bazik, direk ve bazı azo boyar maddeler, biyolojik olarak indirgenemezler. Ortamdan uzaklaştırılmaları adsorbe edilerek gerçekleşir. Azo boyar maddelerin arıtılmasında döner diskler kullanılmaktadır. Ön çöktürme işlemiyle vat boyalarla çözünmeyen dispers boyaların arıtma verimi çok iyi sonuç vermektedir (Forgacs vd, 2004). Aktif çamur sistemi havalandırma havuzlarına toz aktif karbon salınımıyla renk giderimi gerçekleşir. Toz karbon kullanımı, BOİ ve KOI giderimi verimini yükseltir ve köpük problemi meydana gelmesini engeller. Bu prosesle %20- %55 renk giderimi sağlanır (Lin & Peng, 1994).

Anaerobik arıtmada renk giderimi dışında, organik halojenler ve ağır metallerin giderimi de mevcuttur (Dos Santos vd., 2007). Yüksek renk konsantrasyonuna

sahip atıksu anaerobik arıtmanın ardından, aktif çamur sistemine salınımla %90 civarı KOI ve renk giderimi sağlanır. Aerobik parçalanmada giderilemeyen boyar maddeler, anaerobik parçalanmada boya giderimi gerçekleşir. Fakat ilave karbona ihtiyaç duyan anaerobik parçalamada karbonun metan ve karbondioksit gazına dönüşmesiyle elektronlar meydana gelir (Carliell vd, 1998). Reaktif boyalar böylelikle azo bağını indirger. Anaerobik arıtmanın olumsuz özelliklerinden birisi meydana gelen toksik ve kanserojen aromatik aminlerdir (Carliell vd., 1998).

6.2 Fiziksel Arıtım Prosesleri

Tekstil atıksularının arıtılması filtrasyon, UV, iyon değişimi, adsorpsiyon vb fiziksel prosesler etkilidir. Klasik arıtım metotlarının arıtılmasında zorlandığı zehirli maddeler, koku ve renk kirliliğe vesile olan zehirli maddelerin tutunabildiği katı maddelerin yüzeyine kimyasal ile fiziksel bağlanması adsorpsiyon işlemidir (Robinson vd.., 2001). Aktif karbon kullanımı adsorpsiyon kapasitesini yükseltir. Tekstil atıksuyunda renk gideriminde kil, kül, pirinç, silika vb adsorbanlar kullanım alanındadır. Tekstil atıksularında yüksek değerlerde çözünmüş oksijen boyanın bozunma işleminde gereklidir. UV prosesi, düşük hacimli renk giderimi işlemleri için uygundur, tekstil atıksuyu hacmine cevap veremez. Tekstil atıksuları boyasının gideriminde iyon değişim yöntemi de olumlu sonuçlar vermektedir (Arslan-Alaton & Balcioglu, 2002).

6.3 Membran Prosesler

Atık sulardan renk giderimi membran proseslerle sağlanmaktadır. Boya, kimyasal ve suyun geri kazanımında da membran filtrelerden yararlanılmaktadır. Membran proseslerde boyar madde gideriminde, boyanın türüyle ve istenilen deşarj suyun kalitesine bağlı uygun teknoloji seçimi yapılır. Membran proseslerde yoğun membran değişimi gereklidir. Ön arıtma işlemine gerek duyulur. Maliyet olarak yüksektir. Membran ile beraber ozonlama işlemi de kullanılır (Alzaydien, 2009).

Membran filtrasyonunda 4 çeşit uygulama vardır. Bunlar: ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, mikrofiltrasyon, ters ozmozdur (Mulder, 1996 : Judd, 2006).

Ultrafiltrasyon ile mikrofiltrasyon işlemleri 0,02 mm'lik partikül boyutunda olan yüksek bağıl moleküler kütleye sahip organik maddeler ile AKM azaltılması amacıyla kullanılır. Bu 2 yöntem de inorganik tuz konsantrasyonuna etki

etmemektedir. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve askıda katım madde gideriminde başarılıdır (Judd, 2006).

Nanofiltrasyon ile haşıllama prosesinde kullanılan kimyasalların geri kazanımı sağlanır. Meydana gelen konsantre akım 1/10 atıksu hacmidir. Konsantre akım organik ve inorganik atıksu kirleticilerini içerir. Bu akımın da tekrardan arıtma işleminden geçmesi gerekmektedir (Fersi & Dhiaa, 2005).

Ters ozmoz işlemi tekstil atıksularında ihtiva eden iyonları ve büyük maddeleri ayrıştırarak giderir. Asitlerin, metal komplekslerinin, yüksek çözünürlükte bazik boyaları atıksudan ayrıştırır. Direkt boyama ile reaktif boyama işlemleri sonrasında meydana gelen atıksulara uygulanamaz. Yıkama sularına uygulanabilir. Ters osmoz membranları %90+ verimliliktedir. Kullanım alanları sınırlıdır. Yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri yüksektir (Fersi & Dhiaa, 2005).

6.4 Kimyasal Arıtım Prosesleri

Kimyasal arıtma prosesleri boyaların parçalanılmasında sıklıkla kullanılır. Kimyasal arıtma prosesinde kimyasal kullanım azdır, bekleme süreleri de paralelinde kısadır (Slokar & Marechal, 1998). Kimyasal oksidasyon prosesinde esasen işleyiş kimyasal türler arasındaki elektron transferiyledir. Kimyasal oksidasyonda hedef, suda ihtiva olan maddenin kimyasal oksitlenmesiyle ara ürün ya da son ürüne dönüşümüdür. Bu proseste boya moleküllerindeki aromatik halkalar kılır ve boyaların bir kısmı yahut komple atıksudan bertaraf edilir. Boyar maddenin yapısında ihtiva eden kromofor gruplarındaki konjuge bağ sistemleri kırılarak renk giderimi sağlanır. Böylece İndirgenen ara ürünler sonrasında biyolojik oksidasyon işlemine uygun forma dönüşmüş olur (Kuo, 1999).

6.5 İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP)

İleri oksidasyon prosesi, atıksuda ihtiva eden organik kirleticilerin yüksek derece oksitleme özelliğine sahip türler ile hidroksil radikali üretilmesidir. Hidroksil radikalinin oksidasyon potansiyeli yüksektir, seçiciliği olmayan bir oksidanttır. Ozon ve Hidrojen peroksitten hızlı reaksiyon gerçekleşir. Bunun sonucunda arıtma maliyeti düşüktür. İOP, toksititesi yüksek ve kalıcı özelliği bulunan organik maddeler, zararsız son ürünlere dönüştürülmektedir. (OH) radikali, yüksek termodinamik oksidasyon potansiyeline sahiptir (Glaze vd., 1987 : Pera-Titus vd, 2004).

Ticari uygulamalarda İOP, UV veya görünür ışık kullanılarak OH- radikallerinin üretilir. Bu teknolojiler homojen prosesler ve heterojen proseslerdir.

6.5.1 Homojen İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP)

Homojen İOP'ler atıksu uygulamalarında oksidasyon, sodyum hipoklorit, oksijen, ozon ve sodyum hipoklorit vb oksitleyici maddelerin kullanımı sonucu kirleticilerin oksijeni yüksek forma dönüşmesidir (Esplugas vd, 2002).

6.5.1.1 Fotokimyasal Olmayan Homojen İOP'ler

6.5.1.1.1 Yüksek pH'ta ozonlama (pH=11)

Ozon, oksidanlarda çok kuvvetli özelliktedir.

Ozonun, OH- iyonlarıyla tam reaksiyon gerçekleştirmesi şu şekildedir:

$$3O_3 + H_2O \rightarrow 2OH^- + 4\,O_2 \qquad (1.1)$$

Ozonlama prosesi, yüksek pH değerlerinde değişken özelliktedir ve karmaşık zincir reaksiyonu neticesinde hidroksil radikali meydana gelir (Staehlin ve Hoigne, 1982).

Ozonla gerçekleşen reaksiyonlarda, nötr pH değerlerinde çeşitli kirleticilerin bulunması kaynaklı, kirletici maddenin aynı zaman içerisinde ozonla ve de OH-radikalleriyle reaksiyona girmesi mümkündür. Yüksek pH değerlerinde (pH>10,3) karbonat iyonları, hidroksil radikallerine etkisi bikarbonatlardan 20 kat yüksektir (Arslan, 2000; Yonar, 2005).[3]

6.5.1.1.2 Ozon ve Hidrojen Peroksit Prosesi

Hidrojen peroksit (H_2O_2) ile ozon molekülleri (O_3) su içerisinde birlikte çok yavaş reaksiyon gösterir. H_2O_2 nin suda reaksiyonu sonucu meydana gelen HO_2-moleküler ozonla hızlı reaksiyon gösterir. Ayrıca bu iyonun çözünme hızı pH ile artar (Glaze ve ark.,1987).

Bu prosesin temel reaksiyonları şu şekildedir:

$$H_2O_2 + H_2O \rightarrow HO_2^- + H_3O \qquad (1.2)$$

$$HO_{2-} + O_3 \rightarrow HO_2 + O_3 - \qquad (1.3)$$

$$H_2O_2 + OH- \rightarrow O_2 - + H_2O + H^+ \qquad (1.4)$$

$$HO_2 - + OH- \rightarrow OH^- + HO^2 - \qquad (1.5)$$

Kısaltılmış hali:

$$2O_3 + H_2O_2 \rightarrow 2OH^- + 3O_2 \quad (1.6)$$

şeklindedir (Arslan, 2000).

6.5.1.1.3 Fenton Prosesi (Fe^{2+} / H_2O_2)

İOP türlerinden birisi olan Fenton prosesinde asidik pH değerleri (pH:2-5) ve homojen katalizör olan demir iyonlarının, hidrojen peroksitten hidroksil radikallerinin (OH-) oluşturulması esaslı uygulanan katalitik yönteme verilen isimdir (Bautista vd., 2008).

Fenton prosesi dört basamaktan oluşmaktadır. Bunlar pH ayarlama, oksidasyon reaksiyonu, nötralizasyon-koagülasyon ve çöktürme işlemleridir (Bidga, 1995).

$$Fe^{+2} + H_2O \rightarrow Fe^{+3} + OH^- + OH^- \quad (1.7)$$

Demir iyonu, hidrojen peroksiti ayrıştırmaya başlar, kataliz ederek hidroksil radikalleri meydana gelir. Sulu çözeltilerde komplex reaksiyon zinciridir.

$$OH^- + Fe^{+2} \rightarrow OH^- + Fe^{+3} \quad (1.8)$$

Meydana gelen ferrik iyonları hidrojen peroksiti kataliz eder, su ve oksijene ayrıştırır.

Demir iyonları ile radikallerin reaksiyonları Fe^{+3} iyonunun H_2O_2 ile reaksiyona girmesi Fenton benzeri prosestir (Gürtekin ve Şekerdağ, 2008).

$$Fe^{+3} + H_2O_2 \rightarrow Fe - OOH^{+2} + H^+ \quad (1.9)$$

$$Fe - OOH^{+2} \rightarrow H_2O + Fe^{+2} \quad (1.10)$$

$$Fe^{+2} + HO_2 \rightarrow Fe^{+2} + O_2 + H \quad (1.11)$$

$$OH\text{-} + H_2O_2 \rightarrow H_2O + HO_2 \quad (1.12)$$

Hidroksil radikalleri organikleri okside etmekte protonları çıkarmaktadırlar ve organik radikalleri üretmektedirler.

$$RH + OH\text{-} \rightarrow H_2O + R \quad (1.13)$$

Daha ileri oksidasyon; Fe^{+3} ile okside edilebilen, Fe^{+2} ile indirgenebilen yahut dimerize edilebilen organik serbest radikallerdir.

$$R + Fe^{+3} - \text{oksidasyon} \rightarrow R + Fe^{+2} \quad (1.14)$$

$$R + Fe^{+2} - \text{oksidasyon} \rightarrow R + Fe^{+3} \quad (1.15)$$

$$2R - \text{dimerizasyon} \rightarrow R - R \quad (1.16)$$

Demir iyonları, hidrojen peroksitle reaksiyona girerek ferrik hidroksi kompleksleri oluştururlar.

$$[Fe(H_2O)^6]^{+3} + H_2O \rightarrow [Fe(H_2O)^5]^{+2} + H_3O^+ \quad (1.17)$$

$$[Fe(H_2O)^5]^{+2} + H_2O \rightarrow [Fe(H_2O)^4]^{+2} + H_3O^+ \quad (1.18)$$

pH 3-7 aralığında ise aşağıdaki kompleksleri oluştururlar:

$$[Fe(H_2O)^5OH]^{+2} \rightarrow [Fe(H_2O)^8(OH)^2]^{+4} + 2H_2O \quad (1.19)$$

$$[Fe(H_2O)^8OH]^{+4} + H_2O \rightarrow [Fe(H^2O)^7(OH)^3]^{+3} + H_3O \quad (1.20)$$

$$[Fe(H_2O)^7OH_3]^{+3} + [Fe(H^2O)^5]^{+2} \rightarrow [Fe(H^2O)^7(OH)^4]^{+2} + 2H_2O \quad (1.21)$$

Fenton prosesin koagülasyon kabiliyeti tüm bu komplekslerde oluşur (Neyens ve Baeyens, 2003). H_2O_2/ Fe^{+2} oranıyla çeşitli arıtma fonksiyonları vardır.

Fenton prosesine etki eden faktörler: pH (2-4), sıcaklık (20-40°C), demir iyonu konsantrasyonu, Hidrojen peroksit konsantrasyonu, kirletici konsantrasyonu (50 mM), tamponlayıcı tipi (asetat), reaksiyon süresi (10-24sa).

Fenton Oksidasyonu; Tekstil Endüstrisi, kağıt endüstrisi, Zeytinyağı Endüstrisi, Afyon Alkoloidleri Endüstrisi, Çamur şartlandırma, Pestisit oksidasyonunda ve dezenfeksiyon gb çeşitli endüstride kullanılır (Neyens & Baeyens, 2003).

Tablo 2 Fenton Prosesi Avantaj/Dezavantajları

Avantajlar	**Dezavantajlar**
Prosesin temel olarak kolay olması	Korozyon problemi
Maliyeti düşük olması (H_2O_2/ Fe^{+2})	Köpük kontrol gereksinimi
Kısa reaksiyon süresi gereksinimi	Ekonomik maliyet fazlalığı
Reaktiflerin kullanım kolaylığı	Yüksek hidrojen peroksit maliyeti
Toksik ve dayalı bileşik giderimi	Çamur oluşumu ve uzaklaştırma maliyeti
Biyolojik arıtılabilirlik arttırımı	Uygun reaksiyon şartlarının uygulanabilir zorluğu
Düşük KOİ çıkışı	İlave kimyasal maliyeti

6.5.1.2 Fotokimyasal Homojen İOP'ler

Fotokimyasal Homojen İOP, fotokimyasal koşullarda üretilen (·OH) radikali ile organik kirleticinin oksidasyonunun gerçekleştirilmesidir. Fotokimyasal koşullarda üretilen radikalini kullanır. Fotokimyasal oksidasyon proses çeşidi ·OH radikalinin üretiminde kullanılan görünür ışık (400-700 nm) ve UV radyasyonuna (100-400 nm) göredir. (Bolton 2001b). Bu prosesin temel işleyiş amacı (·OH) radikalinin üretimi için gerekli dalga boyudur.

Görünür ışık radyasyonu boya sentezli fotokimyasal oksidasyonda kullanılmakta olup gerektiği zaman radyasyonu kullanılır (Anonim 1998).

6.5.1.2.1 Persülfat/UV Prosesi (UV/PS)

Işık ve bu ışıkla radikal meydana getirecek veya dönüştürecek madde ile fotokimyasal prosesler gerçekleşir. Fotokimyadaki genel dalga boyu aralığıyla fotonların enerjisi iyonizasyona uğrar veya radyasyona neden olur veya değişime uğramaz. Bu değerler aşağıdaki tabloda mevcuttur.

Tablo 3 Fotokimyasal Spektral Sınırlar

Sınır Adı	**Dalga Boyu(nm)**	**Dalga Sayısı(1/cm)**	**Enerji steAralığı(kJ/Einstein)**
Yakın Kızılötesi	700-1000	10000-14286	120-171
Görünür Işık	400-700	14286-25000	171-299
UV UV-A UV-B UV-C	 315-400 280-315 200-280	 25000-31746 31746-35714 35714-50000	 299-380 380-427 427-598
Vakum-UV(VUV)	100-200	50000-100000	598-1196

Persülfat (PS, bir öncüsü SO4) su arıtımında sıklıkla kullanılan bir dezenfektandır. Avantajları sebebiyle atıksu arıtımında uygulanırlığı artmaktadır. Bunlar maliyetinin düşük oluşu, stabilitesinin yüksek oluşudur. (Lau vd., 2007) Proses sonucu meydana gelen son ürünler toksik değildir. (Weinwe, 2000) Persülfat sıklıkla sodyum, amonyum veya potasyula birleşmiş tuz olarak ihtiva etmektedir. Persülfat tuzları suda çözündüğünde, persülfat (S_2O82-) anyonuna dönüşürler. Kuvvetli bir oksidandır (Huang vd., 2002).

Persülfat eklenilen UV işlemiyle boyarmaddenin bozunması başlatılır. UV ışınları güneşten beslenir. Belirli dalga boylarına göre kullanım alanları değişmektedir (Pera-Titus vd., 2004).

6.5.1.2.2 Persülfat/ Mikrodalga Prosesi (Md/PS)

Persülfat konsantrasyonu mikrodalgada önemli bir rol oynar. SO_2 oksidatif türlerin doğrudan üretimi üzerindeki etkilidir. Mikrodalgaya maruz bırakılan persülfat ilaveli atıksu sıcaklık ve süre faktörlerindeki değişkenliklerle izlendi. İşlem sonrası atıksuda çökelme gerçekleşti. Tekstil atıksuyundan çamurun uzaklaştırılması gerçekleştirildi (Gu vd. 2019).

6.5.1.2.3 Fenton/ Mikrodalga Prosesi ($Md/Fe^{+2}/H_2O_2$)

Fenton ilave edilen atıksu, mikrodalgaya maruz bırakılarak sıcaklık ve süre faktörlerine göre değişkenlik gösterir. İşlem sonrasında atıksuda çökelme gerçekleşir. Tekstil atıksuyundan çamurun uzaklaştırılması gerçekleştirilir. Fenton/Mikrodalga prosesinin avantajı kompak flok oluşumunun gerçekleşmesidir (Wang & Xu, 2012).

6.5.1.2.4 Fenton/ UV ($UV/Fe^{+2}/ H_2O_2$))

Tekstil atıksuyu KOİ, AKM ve renk giderimi sağlanmasında asidik ortam tercih edilir. (Giray, 2014).

Fenton(Fe^{+2}) ile hidrojen peroksitin(H_2O_2) tepkimesiyle OH radikalleri meydana gel ektedir. Reaksiyonda Fe^{+2} konsantrasyona paralel olarak OH radikali de artış/azalış göstermektedir. Artış olması durumunda İOP performansı da iyileşir (Azak, 2012: Matavos-Aramyan & Moussav, 2017). Artışın fazla olması durumunda da reaksiyon hızı olumsuz etkilenmektedir ve AKM'nin artmasına sebebiyet vererek çamur meydana gelir (Gürbüz, 2015: Nikravan, 2015; Matavos-Aramyan & Moussavi, 2017).

Fenton prosesinden sonra uygulanan UV işlemiyle boyarmaddenin bozunması başlatılır. UV ışınları güneşten beslenir. Belirli dalga boylarına göre kullanım alanları değişmektedir.

UV-A 315-400 nm

UV-B 285-315 nm

UV-C < 285 nm

Tekstil atıksuyu gibi kirletici oranı yüksek atıksuların arıtılması işleminde UV-A ışınları tercih edilir. Tekli veya çoklu ışınlarda dalga yayarlar ve civasız lambalara sahiptirler. Bu işlemin en büyük avantajı, işlemden sonra çamur oluşumunun olmamasıdır (Gosavi & Sharma, 2013).

6.5.2 Heterojen Fotokimyasal Oksidasyon Prosesleri

Organik maddelerin parçalanması amacıyla metal oksitlerin kullanıldığı prosesler, heterojen fotokimyasal oksidasyon prosesleridir. Metal oksitlerden bazıları;Fe_2O_3, $SrTiO_3$, In2O_3, K4NbO17, WO_3, TiO_2, V2O5, MoO_3, MoS_2, SiC. Verimliliğe etki

eden faktörler; katalizörlerin fiziksel özellikleri ve kimyasal kararlılıklarıdır (Linsebigler vd.,1995).

Fiziksel özelliklerinden yüzey alanı ve yüzey özelliği en etkili faktörlerdir. Saflığı, gözenek hacmi, mekaniksel te diğer fiziksel özelliklerindendir. Asitlik ve bazlık değerleri metal oksitin katalitik özelliğini belirler (Herrmann vd., (1999).

Heterojen katalizlenme yönteminde TiO_2 en uygun katalizördür. Çalışmalarda TiO_2 kullanıldığında fotokatalitik bozunma işlemindeki sonuçlar olumludur (Fujishima, & Honda, 1972). Prosesin yüksek fotokondüktiviteye sahip olması, düşük maliyetli olması, kolay ulaşılabilirliği ve düşük toksisiteli olması sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir (Küni 2009).

Prosesin avantajları; Titanyumun ucuz oluşu, Doğal kaynakların kullanımı, Düşük konsantrasyonda uygulanabilirliği, Katkı maddesi gerektirmez.

Dezavantajları; Katalizörün tüm yüzeyine eşit yayılamaması, Kullanılacak katalizör miktarının çok olması, Sürekli kullanımda sistem verimi düşmesi, Fotokatalitik reaksiyon hızı düşüktür.

7

MATERYAL VE METOT

7.1 Materyal

7.1.1 Atıksu ve Atıksu Temini Hazırlanması

Bu çalışma İstanbul/ Başakşehir'de hizmet vermekte olan bir boyama-baskı tekstil firmasından atıksu arıtma tesis giriş suyu numunesi alınmıştır. Atıksu +4 derecede muhafaza edildi.
Aşağıda numunenin, ±%5 sapma payı eklenerek hazırlanmış Atıksu Karakterizasyonu Tablosu ve açıklamalı sunumu yer almaktadır.

Tablo 4 ±5% Varyasyon Atıksu Numunesi

Parametre	Ortalama Değer	±5% Değer Aralığı	Birim
Absorbans (ABS)	1620	1539 – 1701	–
KOİ	1565	1487 – 1643	mg/L
$BOİ_5$	375	356 – 394	mg/L
UV254	1395	1325 – 1465	–
Renk	944	897 – 991	Pt-Co
TSS (AKM)	36.5	34.7 – 38.3	mg/L
İletkenlik	1,215	1,154 – 1.276	mS/cm
pH	7,45	7,08 – 7.82	–

7.1.2 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Laboratuvar çalışmalarında distile su ile kimyasal çözeltiler hazırlanarak kullanılmıştır. Örnek numunenin pH'ının ayarlanmasında 6 N H_2SO_4 (sülfürik asit) ve %99 luk NaOH (sodyum hidroksit) dan hazırlanmış NaOH çözeltileri kullanılmıştır. KOİ analiz işleminde K2Cr2O7 (potasyum dikromat) ve sülfirik asit-gümüş sülfat çözeltileri kullanılmıştır. Titrasyon işleminde demir amonyum sülfat

çözeltisi ve indükatör olarak ferroin kullanılmıştır. Çalışmalarda persülfat, sodyumperoksidisülfat kullanılmış olup diğer kullanılan Hidrojen Peroksit %30 derişime sahiptir ve Merck bandrollü Demir (II) Sülfat Heptahidrat ($FeSO_4*7H_2O$) katısı da %99 derişimdedir. Çalışmış olduğum analizler ve cihazlar aşağıda belirtilmiştir (APHA, 2027). (Sigma-Aldrich & Merck KGaA, 2020)

Demir Sülfat Katı Tartısı-Hassas Terazi-KERN PCB

PH ölçümü-pH metre-WTW İnoLaB pH7110

KOİ analiz-Termoreaktör-WTW CR3200

Mikrodalga-Samsung

UV Reaktör-450 ml hacimli Eurotech paslanmaz çelik içine yerleştirilmiş UV-C lamba

Renk analizi-UV/VIS Spektrofotometre-Hach Lange DR5000

UV254 analizi-UV/VIS Spektrofotometre-Hach Lange DR5000

ABS (absorpsiyon) analizleri-UV/VIS Spektrofotometre-Hach Lange DR5000

7.2 Deneysel Metotlar

7.2.1 Mikrodalga/ Persülfat Metodu

Çalışmakta olunan atıksudan 200 ml numune alınır. Çeşitli miktarlarda demir ($FeSO_4*7H_2O$) eklenir ve çeşitli mL'de persülfat dozlanır sonrasında numunenin pH (3.5)'ı ayarlanır. Farklı sıcaklık ve sürelerde mikrodalga cihazına koyulur. Belirlenmiş olan süreç tamamlanınca 50 mL'lik falkon tüplerine numune koyulur. Bir süre numunenin faz oluşumu için beklenir. Sonrasında çöktürme(süpenatant) yöntemi ile numunenin çamursuz üst fazından örnek alınır. Bu numunenin de pH'ı (8-9) ayarlanır.15 mL'lik falcon tüplerine etiketlendirilerek konulur. Çalışma sonunda spektorofotometrik metot ile renk,ABS,UV254 parametreleri analizi ve KOİ analizi (standart metot 5220C.) gerçekleştirilir.

7.2.2 Mikrodalga/ Fenton Metodu

Çalışmakta olunan atıksudan 200 ml numune alınır. Çeşitli miktarlarda demir ($FeSO_4*7H_2O$) eklenir ve çeşitli mL'de Fenton(Fe^{+2}) dozlanır sonrasında numunenin pH (3.5) 'ı ayarlanır. Farklı sıcaklık ve sürelerde mikrodalga cihazına

koyulur. Belirlenmiş olan süreç tamamlanınca 50 mL'lik falkon tüplerine numune koyulur. Bir süre numunenin faz oluşumu için beklenir. Sonrasında çöktürme(süpenatant) yöntemi ile numunenin çamursuz üst fazından örnek alınır. Bu numunenin de pH'ı (8-9) ayarlanır. 15 mL'lik falcon tüplerine etiketlendirilerek konulur. Çalışma sonunda spektorofotometrik metot ile renk,ABS,UV254 parametreleri analizi ve KOİ analizi (standart metot 5220C.) gerçekleştirilir.

7.2.3 UV/Persülfat (UV/Persülfat) Metodu

Çalışmakta olunan atıksudan 200 ml numune alınır. Çeşitli miktarlarda demir ($FeSO_4*7H_2O$) eklenir ve çeşitli mL'de Persülfat dozlanır sonrasında numunenin pH (3.5)'ı ayarlanır. Farklı sürelerde UV cihazına tabi tutulur. Belirlenmiş olan süreç tamamlanınca 50 mL'lik falkon tüplerine numune koyulur. Bir süre numunenin faz oluşumu için beklenir. Sonrasında çöktürme(süpenatant) yöntemi ile numunenin çamursuz üst fazından örnek alınır. Bu numunenin de pH'ı (8-9) ayarlanır.15 mL'lik falcon tüplerine etiketlendirilerek konulur. Çalışma sonunda spektorofotometrik metot ile renk,ABS,UV254 parametreleri analizi ve KOİ analizi (standart metot 5220C.) gerçekleştirilir.

7.2.4 UV/ Fenton (UV/ Fe+2) Metodu

Çalışmakta olunan atıksudan 200 ml numune alınır. Çeşitli miktarlarda demir ($FeSO_4*7H_2O$) eklenir ve çeşitli mL'de Fenton(Fe^{+2}) dozlanır sonrasında numunenin pH (3.5) 'ı ayarlanır. Farklı sürelerde UV cihazına tabi tutulur. Belirlenmiş olan süreç tamamlanınca 50 mL'lik falkon tüplerine numune koyulur. Bir süre numunenin faz oluşumu için beklenir. Sonrasında çöktürme(süpenatant) yöntemi ile numunenin çamursuz üst fazından örnek alınır. Bu numunenin de pH'ı (8-9) ayarlanır. 15 mL'lik falcon tüplerine etiketlendirilerek konulur. Çalışma sonunda spektorofotometrik metot ile renk,ABS,UV254 parametreleri analizi ve KOİ analizi (standart metot 5220C.) gerçekleştirilir.

7.3 Optimizasyon Yöntemi

7.3.1 Deneysel Tasarım

Bu çalışmada Minitab 19 yazılımında Taguchi tasarım metotu kullanılarak deneylerin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Taguchi metodu sağlam deney tasarımıyla bir süreçteki varyasyonu azaltmayı içermektedir. Metot, bu varyasyonu sürdüren Japonya'dan Dr.Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir.

Taguchi Metodu, ortogonal dizileri kullanır ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimalize ederek çalışan deneysel tasarım tekniğidir. Bu teknikte faktör seviyelerinin tespit edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılır. Bu nedenle her bir faktör diğerinden bağımsız olarak değerlendirilebilmektedir. Deney maliyeti azaltılabilir ve zamandan kar edilebilir (Fraley vd., 2009).

İstatiksel bir analiz yazılımı olan miniTAB ölçüm çalışmalarında kullanılır ve Taguchi tasarımında da kullanılabilir. Minitab işletim ortamında iki tip Taguchi tasarımı sunar. Bunlar statik yanıt ve dinamik yanıttır. Statik yanıtta, ilgilenilen kalite özelliği sabit bir seviyededir. Dinamik yanıtta, kalite karakteristiği bir dizi değer boyunca çalışmakta olup edef bir sinyal faktörü ile çıktı arasındaki ilişkiyi geliştirmektir («Minitab 18,» 2022).

Bu tez çalışmasında kullanılan deneysel tasarım verileri aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan deneysel tasarım verileri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Mikrodalga/Persülfat prosesinde 4 faktör 5 seviye, Mikrodalga/Fenton prosesinde 4 faktör 5 seviye, UV/ Persülfat 4 faktör 5 seviye ve UV/Fenton'da 4 faktör 5 seviye olarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5 Mikrodalga/Persülfat Metotu Deneysel Çalışma Verileri-1

	-2	-1	0	1	2
Power(W)	0	300	450	600	800
Süre(dk)	0	2,5	5	7,5	10
Demir(gr)	0	2	4	6	8
H_2O_2 (ml)	0	0,5	1	1,5	2

Tablo 6 Mikrodalga/Fenton Metotu Deneysel Çalışma Verileri-1

	-2	-1	0	1	2
Power(W)	0	300	450	600	800
Süre(dk)	0	2,5	5	7,5	10
Demir(gr)	0	2	4	6	8
Persülfat(ml)	0	4	8	12	16

Tablo 7 UV/Persülfat Deneysel Çalışma Verileri-1

	-2	-1	0	1	2
Power(W)	0	10	20	30	40
Süre(dk)	0	5	15	20	30
Demir(gr)	0	2	4	6	8
H_2O_2 (ml)	0	0,5	1	1,5	2

Tablo 8 UV/Fenton Metotu Deneysel Çalışma Verileri-1

	-2	-1	0	1	2
Power	0	10	20	30	40
Süre(dk)	0	5	15	20	45
Demir(gr)	0	4	8	12	16

H_2O_2 (ml)	0	8	12	16	24

7.3.2 Yanıt Yüzey Metodu

Yanıt yüzeyi metodu (RSM), ilgili yanıtın farklı değişkenlerden etkilenmesiyle meydana gelen bir süreci modelleyen ve analizini yapan istatiksel bir metottur. X1 ve X2 değişkenleri sürekli değişkenlik gösterir (Montgomery, 2003).

Bağımlı değişken Y, X1 ve X2'nin bir fonksiyonudur.

Y =f(X1) +f(X2) +e

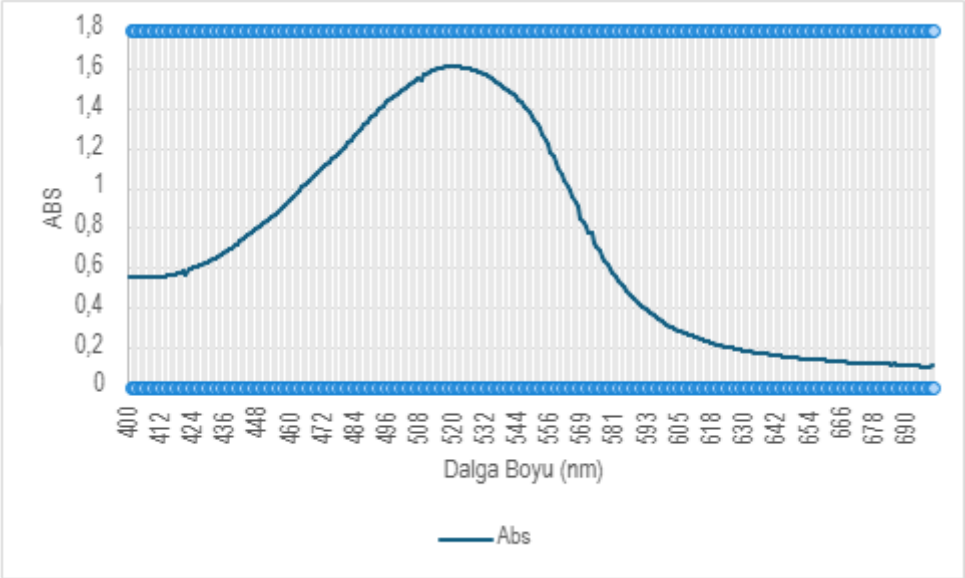
Tepki yüzeyi, yüzey yerleştirmeye dayalı bir yöntemdir. Bundan dolayı RSM çalışmasının amaçları, yerel maksimum, yerel minimum ve sırt çizgilerini ikapsayan yanıt yüzeyinin topografyasını kavramak ve en iyi yanıtın meydana geldiği bölgeyi bulmaktır. Yanıt yüzey metodu, girdi ve çıktı değişkenleri arasında uygun bir yaklaşıklık değeri saptamaya çalışır ve işletme ihtiyaçlarını karşılayan faktör alanının uzay bölgesini saptar. Box-Behnken tasarımları (BBD) ve merkezi bileşik tasarım (CCD), yanıt yüzeyi metodolojisinde kullanılan iki temel deneysel tasarımdır (Aydar, 2018).

Deneysel değerler istatistiksel bir modele denk gelecek biçimde değerlendirilir. Modelin katsayıları sabit terimler, bağımsız değişkenler için doğrusal katsayılar (A, B ve C), etkileşimli terim katsayıları (AB, AC ve BC), kuadratik terim katsayıları (A2, B2 ve C2) ile temsil edilir. Model yeterliliklerinin kontrolünde, korelasyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş belirleme katsayısı (Adj- R^2) ve yeterli kesinlik kullanılır. Model; P değeri <0,05, uyum eksikliği P değeri >0,05, R^2>0,9 ve Adeq hassasiyeti>4 olduğunda yeterlidir. Aradaki değişiklikler istatistiksel anlamlılık bakımında varyans analizi (ANOVA) kullanılarak test edilebilir (Aydar, 2018).

7.3.3 Dalga Boyu Taraması Grafiği ve Veriler

Bir örneğin farklı dalga boylarındaki ışığı hangi ölçüde absorbladığının belirlenmesi amacıyla uygulanmakta olan spektrofotometrik analiz yöntemidir. Sıklıkla UV-Vis spektrofotometre cihazı ölçümüyle 200–800 nm aralığında gerçekleştirilir; her dalga boyunda ölçülen absorbans değerleri örneğin ışıkla etkileşimini gösteren bir spektrum oluşturmaktadır.

Bu yöntemle analiz edilen maddenin maksimum absorbanstaki dalga boyu (λ_{max}) belirlenmekte olup. λ_{max} değeri, nicel analizlerde ise en fazla hassasiyetin ulaşıldığı dalga boyunu ifade etmektedir. Sıradaki absorbans ölçümlerinde sabit dalga boyu olarak kullanılmaktadır (Mettler Toledo, 2021).



Dalga Boyu (nm): 400–690 nm aralığında ölçüm yapılmıştır. Bu aralık görünür ışık bölgesini kapsamaktadır. Birçok organik bileşiğin karakteristik absorbans gösterdiği bölgedir.

Absorbans (ABS): 0 ile 1.8 arasında değişkendir. Işığı ne kadar absorbladığını göstermektedir.

Eğri, yaklaşık 510 nm(ABS 1.612) civarında maksimum absorbans (λ_{max}) göstermektedir. En güçlü ışık absorpsiyonunu gerçekleştirdiği noktadır.

Eğri simetrik olmayan bir çan formuna sahip olup; birtek baskın kromoforun varlığına işaret etmektedir.

8

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde çalışılan proseslerin sonuçları alınarak ABS, UV254, renk ve KOİ giderim verimleri incelenecektir.

8.1 Mikrodalga/Persülfat Prosesi Giderim Verileri

Mikrodalga/Persülfat çalışması sonucuna elde edilen numunelerin ABS, UV254, renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda giderim sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuçlar bu bölümde yer almaktadır. Mikrodalga/Persülfat prosesi deneysel tasarım verileri ile çalışmalar gerçekleştirilmiş olup buna dayalı verilerle hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 9 Mikrodalga/Persülfat Deneysel Çalışma Giderim Verileri

Çalışmalar	X1	X2	X3	X4	KOİ (%)	ABS (%)	UV 254 (%y)	Renk (%)
1	-1	-1	-1	-1	26,8	35,8	26,4	55,6
2	1	-1	-1	-1	39,4	52,3	41,5	73,7
3	-1	1	-1	-1	41,5	54,2	37,5	65,1
4	1	1	-1	-1	58,4	74,4	48,7	79,1
5	-1	-1	1	-1	41,2	62,5	38,9	65,6
6	1	-1	1	-1	55,5	81,6	51,5	87,4
7	-1	1	1	-1	56,4	79,3	49,5	84,6
8	1	1	1	-1	68,8	94,6	61,0	97,5

9	-1	-1	-1	1	36,4	51,5	35,6	63,2
10	1	-1	-1	1	51,4	72,2	49,1	78,2
11	-1	1	-1	1	53,4	74,5	47,6	75,6
12	1	1	-1	1	65,4	93,2	58,2	92,8
13	-1	-1	1	1	49,4	68,2	44,7	76,6
14	1	-1	1	1	62,5	91,1	57,7	94,5
15	-1	1	1	1	63,6	92,5	56,2	92,5
16	1	1	1	1	75,4	98,7	68,6	98,8
17	-2	0	0	0	36,4	42,5	35,2	63,3
18	2	0	0	0	68,6	94,2	63,0	97,7
19	0	-2	0	0	39,2	59,4	38,1	69,4
20	0	2	0	0	66,6	94,6	60,0	94,1
21	0	0	-2	0	40,2	55,2	37,6	68,4
22	0	0	2	0	65,1	92,2	59,5	94,2
23	0	0	0	-2	39,5	58,4	39,9	72,8
24	0	0	0	2	57,2	84,0	55,0	90,6
25	0	0	0	0	47,9	77,4	46,0	82,5
26	0	0	0	0	46,2	79,8	45,3	83,1
27	0	0	0	0	46,6	80,4	44,5	83,8
28	0	0	0	0	45,5	79,5	45,7	85,2

29	0	0	0	0	45,0	80,2	45,0	86,3
30	0	0	0	0	46,56	79,9	44,7	84,9

8.1.1 KOİ Giderimi

İşletme koşulları ve sonuç değerleri ile regresyon denklemi elde edilmiştir. Regresyon, iki veya daha çok değişken arasında ilişkinin fonksiyonel olarak modelleyen matematiksel yönteme denir.

Regresyon Denklemi:

KOİ(% Deney) = 52,958 + 6,875 Süre + 7,243 Md + 6,124 Persülfat (ml) + 4,363 Fe+2

Katsayılar:

Regresyon analizinde kullanılmakta olan istatiksel terimlerden birisi P idir. Bu değer modeldeki regresyon katsayılarının istatiksel anlamlılığını ifade eder. Sıklıkla α değeri 0,05 olarak ifade edilir ve iyi sonuçlanmış anlamına gelir.

$P \leq \alpha$, yanıt değişkeniyle terim ilişkisi anlamlı olarak ifade edilir.

$P > \alpha$, yanıt değişkeniyle terim ilişkisi anlamlı bir sonuç olarak ifade edilemez.

Kullanılan istatiksel terimlerden bir diğeri ise T idir ve bu değer standart hatası ile katsayı arasındaki oranı ölçer.

İstatiksel terimlerden diğeri ise VIF idir. Varyans Enflasyon Faktörü regresyon analizinde çoklu doğrusallık miktarını ölçütler. Değişkenler arasındaki dereceyi belirler.

VIF=1 İlişkili değil,

1<VIF<5 orta dereceli ilişkili,

VIF<5 yüksek derecede ilişkili olarak ifade edilir.

Tablo 10 Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	52,958	0,450	117,70	0,000	
Süre	6,875	0,503	13,67	0,000	1,00
MD	7,243	0,503	14,40	0,000	1,00
Persülfat (ml)	6,124	0,503	12,17	0,000	1,00
Fe+2	4,363	0,503	8,67	0,000	1,00

Katsayı: 52,958 Modelde hiçbir bağımsız değişken etkili değildir. Bağımlı değişkenin değeri yaklaşık 52,96 çıkmıştır. T değeri117,70 çok yüksektir. Sabit terim P 0,00 anlamlıdır. Sürede birimbaşındaki artış, bağımlı değişkeni 6,875 birim artırır. Mikrodalga gücü, Persülfat değeri, demir miktarı da anlamlı ve güvenilirdir.

Model Özeti:

R sq, R^2 modelin açıkladığı yanıtta varyasyon yüzdesi olarak ifade edilir. Doğrulama yöntemi kullanılırken 2 adet R sq daha kullanılır. R sq(adj), model sayısı ile tahmin edicilerin model taraflı açıklanan varyasyon yüzdesi olarak ifade edilir. R sq(pred), modelde kaldırılan gözlemin tahmin derecesini göstermektedir. R^2 değerinin 1'e yaklaştıkça model o kadar uygundur.

R-kare değeri 0,9611 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

Tablo 11 Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için model özeti

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,46445	96,11%	95,49%	94,65%

Varyans Analizi:

Varyans analizinde DF parametresi, verilerdeki toplam bilgi miktarıdır. Toplam serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Adj SS, farklı bileşenler için modelin varyasyon ölçümleridir. Adj MS, tüm terimlerin modelde olduğu varsayılarak,

sıralamadan bağımsız biçimde, bir terim yahut modelin ne kadar varyasyonu açıkladığını ölçmektedir. F değeri, her bir test için terim ile yanıt ilişkisini belirler.

Regresyon P>0,05 olduğundan dolayı sonuçlar anlamlı olarak değerlendirilir. P değeri 0,001'den küçük olduğundan dolayı regresyonun uygundur.

Tablo 12 Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	3750,42	937,60	154,38	0,000
Süre	1	1134,37	1134,37	186,77	0,000
MD	1	1259,14	1259,14	207,32	0,000
Persülfat (ml)	1	900,02	900,02	148,19	0,000
Fe+2	1	456,88	456,88	75,22	0,000
Error	25	151,84	6,07		
Lack-of-Fit	20	140,59	7,03	3,13	0,105
Hata	5	11,24	2,25		
Toplam	29	3902,26			

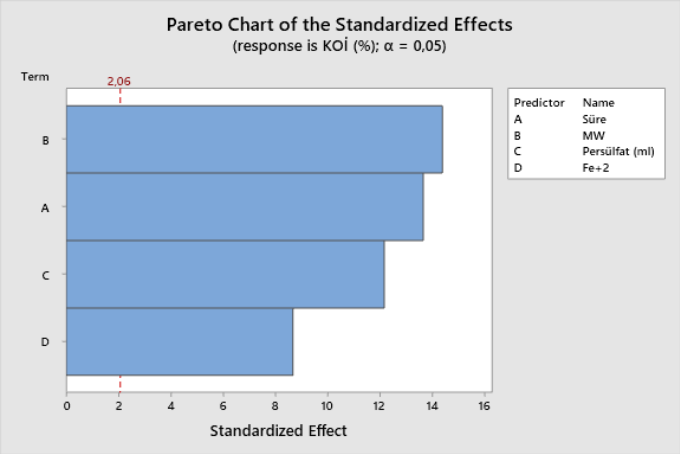
Durbin-Watson İstatistiği:

Durbin Watson istatistiği, regresyon modelinin hatalarında otokorelasyonun varlığını test etmektedir. Bu istatistikte bitişik hata terimlerinin arasında korelasyonun sıfır olup olmadığını belirlenir. D> DU şartında korelasyon yok kabul edilir; D <DL şartında pozitif korelasyon vardır; D iki sınır arasında kalıyorsa, testin kesinliği yoktur.

Pareto Grafiği:

Pareto grafiği, çizilen değerlerin büyükten küçüğe düzenlendiği özel bir çubuk grafik türüne denir. En yaygın parametrelerin belirlenmesi için kullanılır. Şekil 4'te Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ gideriminde tabloda verilen 4 faktör de etkilidir. Az bir farkla Mikrodalga/Persülfat prosesinde KOİ gideriminde en etkili faktör eklenen Mikrodalga etkisi, sonrasında ise süredir.

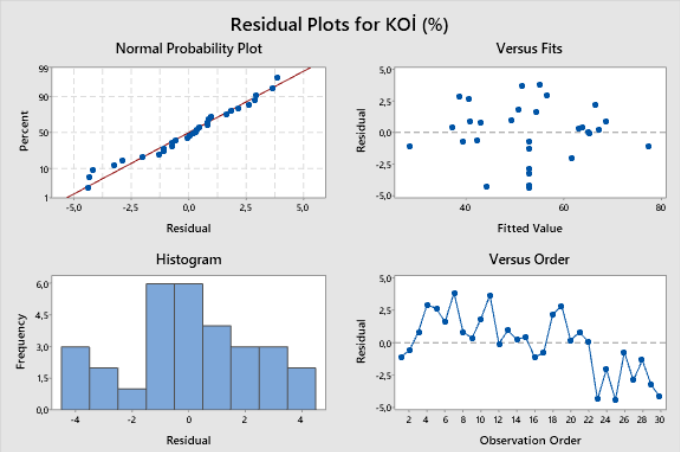
Şekil 7. Md/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği



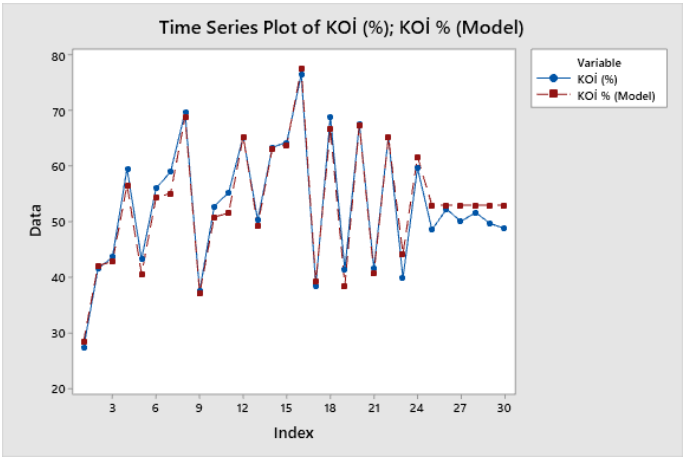
KOİ arıtımı veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre Mikrodalga etkisi, süre, Persülfat miktarı ve demir miktarıdır.

Şekil 8'te Md/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için sonuç-uyum grafikleri aşağıda verilmiştir. Normal olasılık grafiğinde kırmızı renkli eğri modeli ifade eder, mavi renkli noktalar ise deneysel verileri ifade eder.

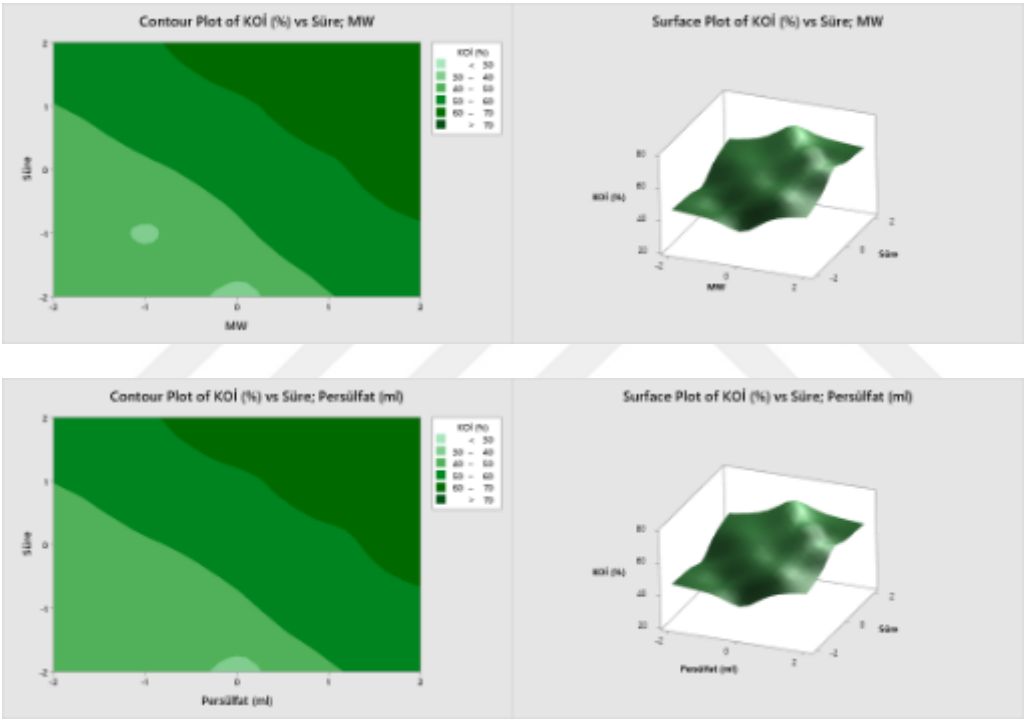
Şekil 8. Md/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

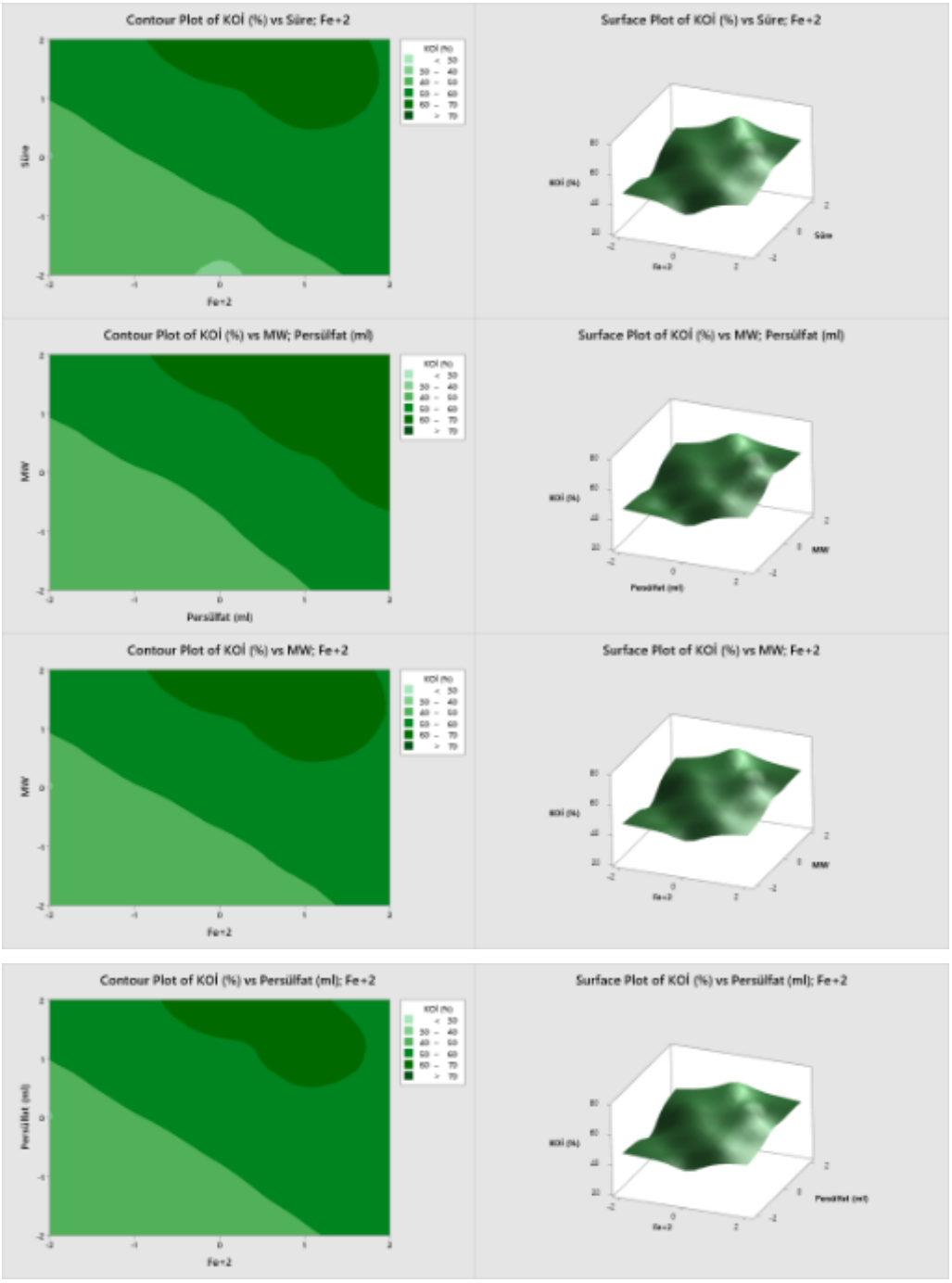


Şekil 8 de 4 grafik paylaşılmıştır. Bunlardan ilkindeki kırmızı çizgi, uygun olan dağıtım çizgisidir. Mavi noktalarsa hesaplanmış KOİ giderim yüzdesi verimleridir. Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelecek şekilde konumlanmakta olup sonuçların doğruluk payını gösterir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir. İkinci grafik sonuçların uyumunu ifade eder ve noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder. Üçüncü grafik histogram grafiğidir. Verilerde herhangi aykırılığın olup olmadığını gösterir.



Şekil 9. Md/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği





Şekil 10. Md/Persülfat prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

Şekilde koyu yeşil ve açık yeşil renkler bulunmaktadır. Koyu yeşiller yüksek KOİ verimini ifade eder, renk açıldıkça verim düşmektedir.

KOİ veriminin en yüksek %80 olduğu; en uygun Md gücü 600 watt süre 5 dk Md gücü 450 watt süre 10 dk dır.

KOİ veriminin en yüksek %80 olduğu; en uygun süre 5 dk Persülfat miktarı 12 ml ve süre 10 dk Persülfat miktarı 8 ml dir.

KOİ veriminin en yüksek %80 olduğu; en uygun süre 5 dk demir miktarı 6 g ve süre 5 dk demir miktarı 4 g dır.

KOİ veriminin en yüksek %80 olduğu; en uygun Md gücü 800 watt Persülfat miktarı 8 ml ve Md gücü 600 watt Persülfat miktarı 12 ml dir.

KOİ veriminin en yüksek %80 olduğu; en uygun Md gücü 800 watt Persülfat miktarı 8 ml ve Md gücü 600 watt Persülfat miktarı 12 ml dir.

KOİ veriminin en yüksek %80 olduğu; en uygun demir 8 g Persülfat miktarı 8 ml ve demir 6 g Persülfat miktarı 12 ml dir.

8.1.2 ABS Giderimi

Regresyon Denklemi:

ABS (%Deney) = 74,531 + 10,12 Süre + 9,04 MD
+ 9,77 Persülfat (ml) + 6,60 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 13 Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	74,531	0,911	81,78	0,000	
Süre	10,12	1,02	9,93	0,000	1,00
Md	9,04	1,02	8,87	0,000	1,00
Persülfat (ml)	9,77	1,02	9,59	0,000	1,00
Fe+2	6,60	1,02	6,48	0,000	1,00

Model Özeti:

R-kare değeri 0,9257 değerindedir ve bu değer optimum değer değildir fakat uygun kabul edilebilir.

Tablo 14 Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için model özeti

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
4,99153	92,57%	91,38%	89,32%

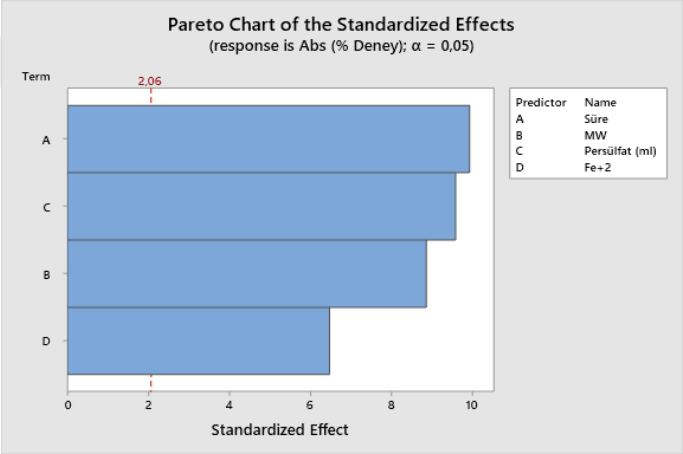
Varyans Analizi:

Regresyon P değeri 0,001'den küçük olduğundan dolayı regresyonun uygundur.

Tablo 15 Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için varyans analizi

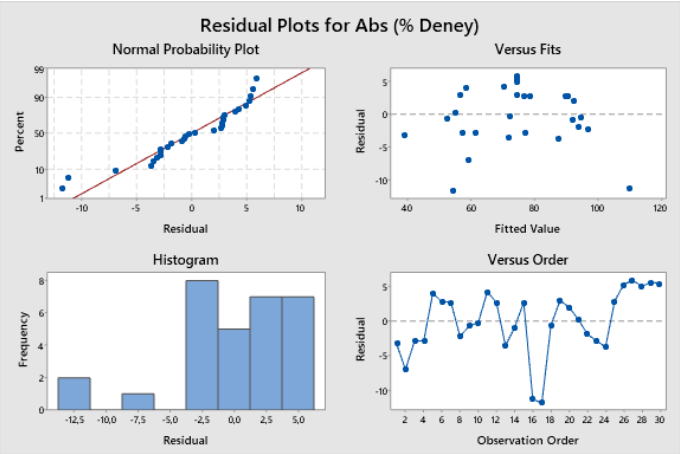
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	7756,90	1939,23	77,83	0,000
Süre	1	2458,45	2458,45	98,67	0,000
Md	1	1959,78	1959,78	78,66	0,000
Persülfat (ml)	1	2291,95	2291,95	91,99	0,000
Fe+2	1	1046,72	1046,72	42,01	0,000
Error	25	622,88	24,92		
Lack-of-Fit	20	616,93	30,85	25,91	0,001
Hata	5	5,95	1,19		
Toplam	29	8379,79			

Pareto Grafiği:



Şekil 11. Md/PS prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği

ABS arıtımı veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre Süre, Persülfat miktarı, Mikrodalga etkisi ve demir miktarıdır.



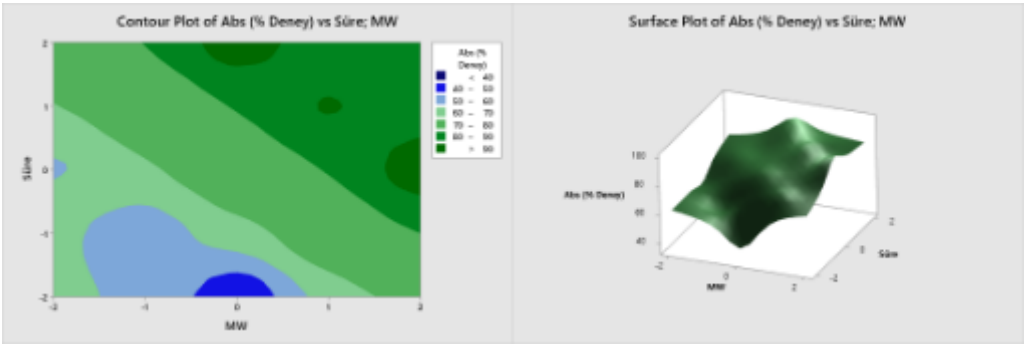
Şekil 12. Md/PS prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

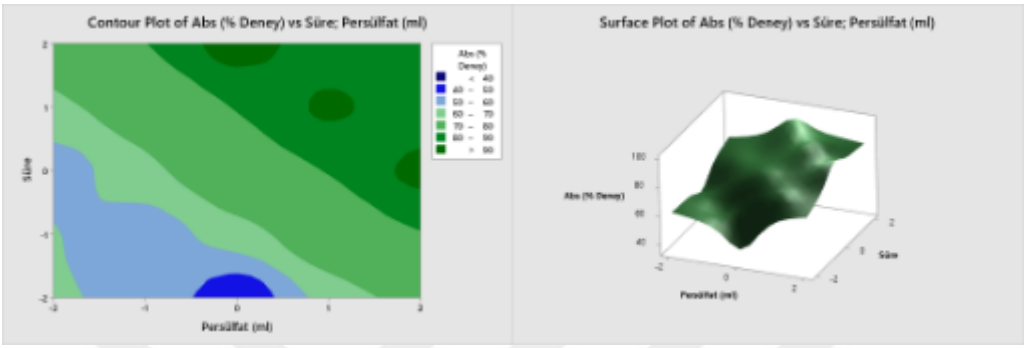
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

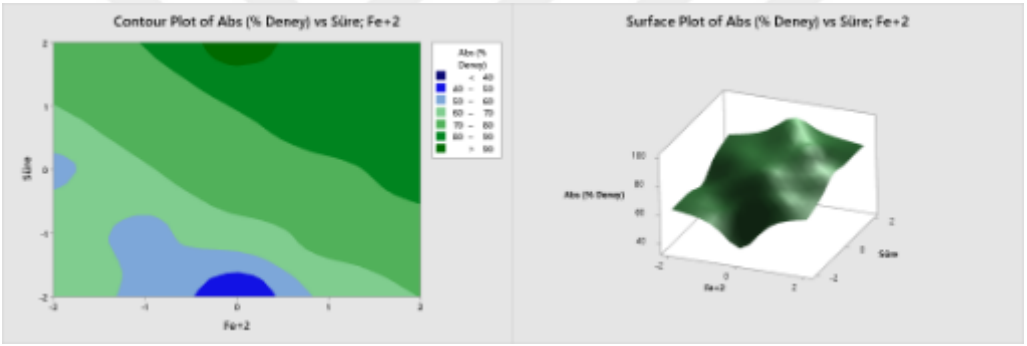
Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.

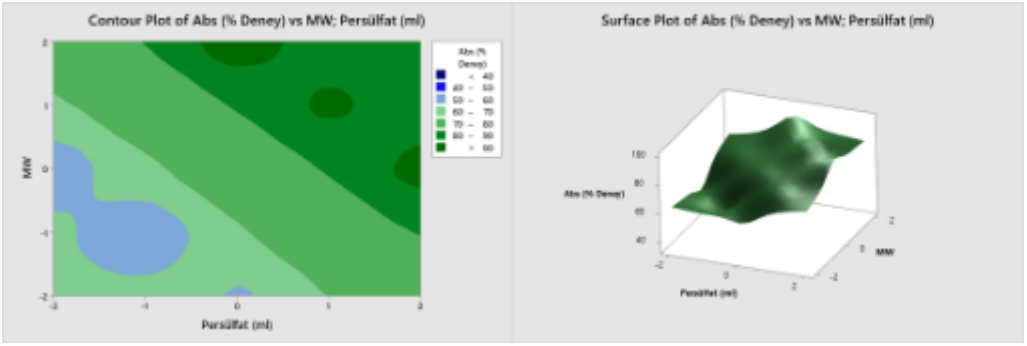


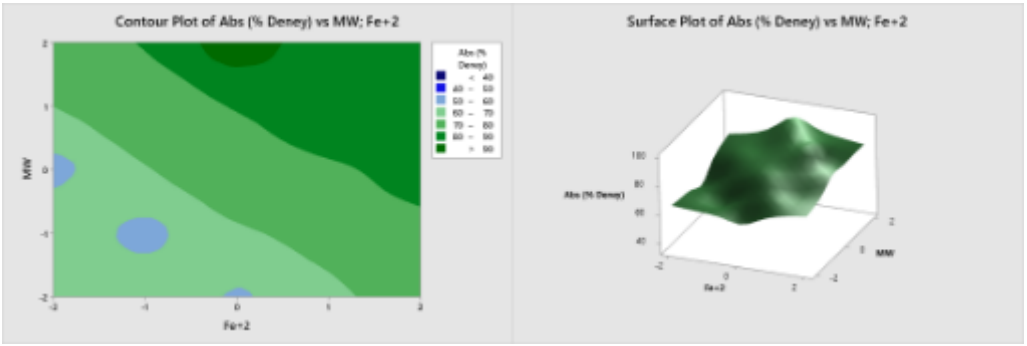
Şekil 13. Md/Persülfat prosesinde ABS giderimi için zaman serisi grafiği

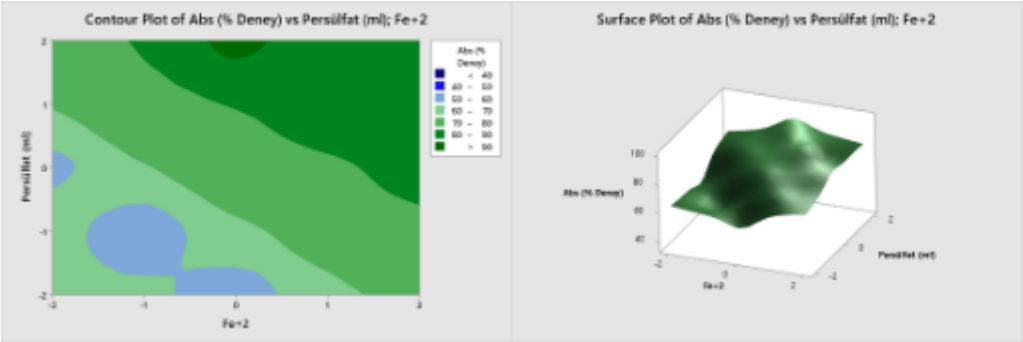

Contour Plot of Abs (% Deney) vs Süre; MW
Surface Plot of Abs (% Deney) vs Süre; MW
Süre
MW
Abs (% Deney)


Contour Plot of Abs (% Deney) vs Süre; Persülfat (ml)
Surface Plot of Abs (% Deney) vs Süre; Persülfat (ml)
Süre
Persülfat (ml)
Abs (% Deney)


Contour Plot of Abs (% Deney) vs Süre; Fe+2
Surface Plot of Abs (% Deney) vs Süre; Fe+2
Süre
Fe+2
Abs (% Deney)


Contour Plot of Abs (% Deney) vs MW; Persülfat (ml)
Surface Plot of Abs (% Deney) vs MW; Persülfat (ml)
MW
Persülfat (ml)
Abs (% Deney)


Contour Plot of Abs (% Deney) vs MW; Fe+2
Surface Plot of Abs (% Deney) vs MW; Fe+2
MW
Fe+2
Abs (% Deney)



Şekil 14. Md/PS prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

ABS verimi	**%90**
Md gücü/Süre	*PS miktarı/Süre*
450watt/10dk-800watt/5dk	16ml/5dk-8ml/10dk
Md gücü/PS miktarı	*Demir miktarı/Süre*
450watt/24ml-800watt/12ml	4g/10dk-8g/5dk
Md gücü/Demir miktarı	*PS miktarı/Demir miktarı*
800watt/4g-450watt/8g	8ml/8g-16ml/4g

8.1.3 UV254 Giderimi

Regresyon Denklemi:

UV254 (%deney) = 47,781+ 6,475 Süre+ 5,239 Md+ 5,306 Persülfat (ml) + 3,869 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 16 Md/Persülfat prosesinde UV254z giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	47,781	0,312	153,20	0,000	
Süre	6,475	0,349	18,57	0,000	1,00
MD	5,239	0,349	15,02	0,000	1,00
Persülfat (ml)	5,306	0,349	15,22	0,000	1,00
Fe+2	3,869	0,349	11,10	0,000	1,00

Model Özeti:

R-kare değeri 0,9737 değerindedir ve bu değer optimum değer değildir fakat uygun kabul edilebilir.

Tablo 17 Md/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için model özeti

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
1,70824	97,37%	96,95%	96,60%

Varyans Analizi:

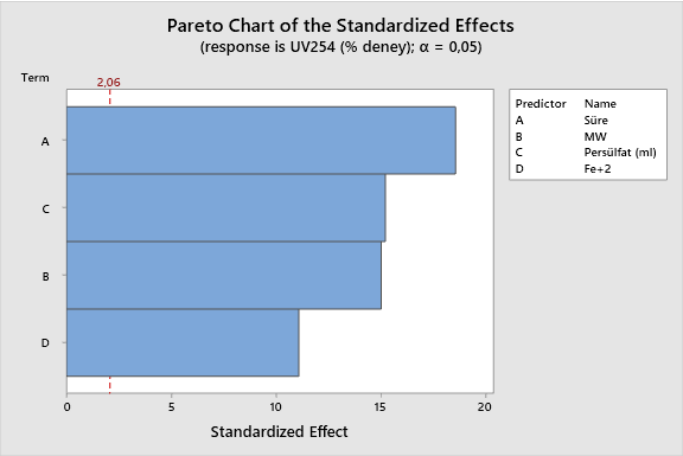
Regresyon P değeri 0,001'den küçük olduğundan dolayı regresyonun uygundur.

Tablo 18 Md/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	2699,72	674,93	231,29	0,000
Süre	1	1006,08	1006,08	344,77	0,000
Md	1	658,61	658,61	225,70	0,000
Persülfat (ml)	1	675,79	675,79	231,59	0,000
Fe+2	1	359,24	359,24	123,11	0,000
Error	25	72,95	2,92		
Lack-of-Fit	20	71,33	3,57	11,00	0,007
Hata	5	1,62	0,32		
Toplam	29	2772,67			

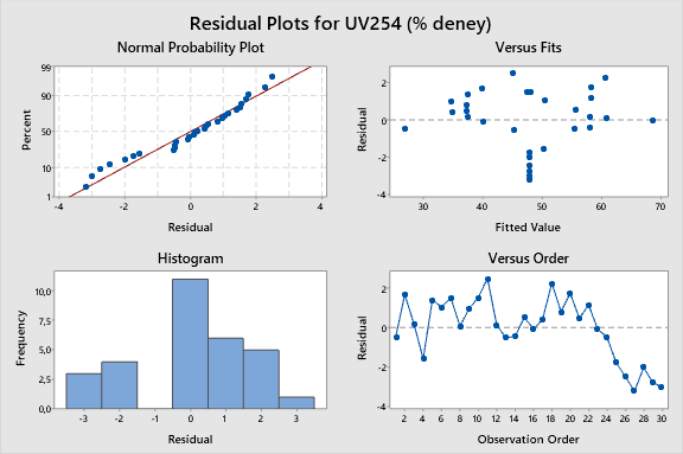
Pareto Grafiği:

Md/Persülfat prosesinde KOİ gideriminde etkili olan parametreler aşağıdaki şekile gösterilmiştir.



Şekil Error! No text of specified style in document.**5.** Md/PS prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği

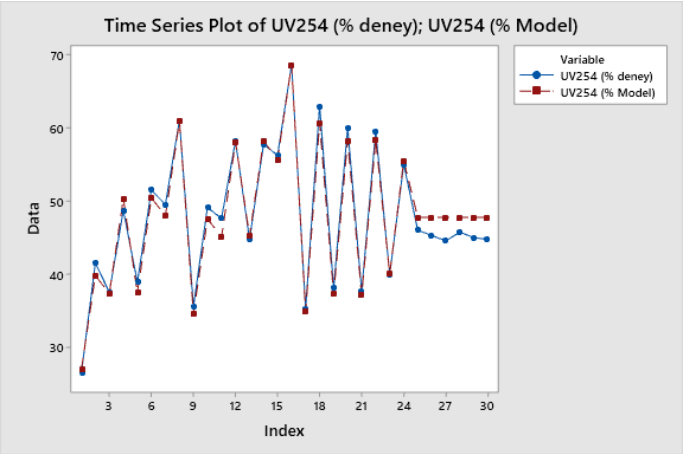
UV254 arıtımı veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, Persülfat miktarı, Mikrodalga etkisi ve demir miktarıdır.



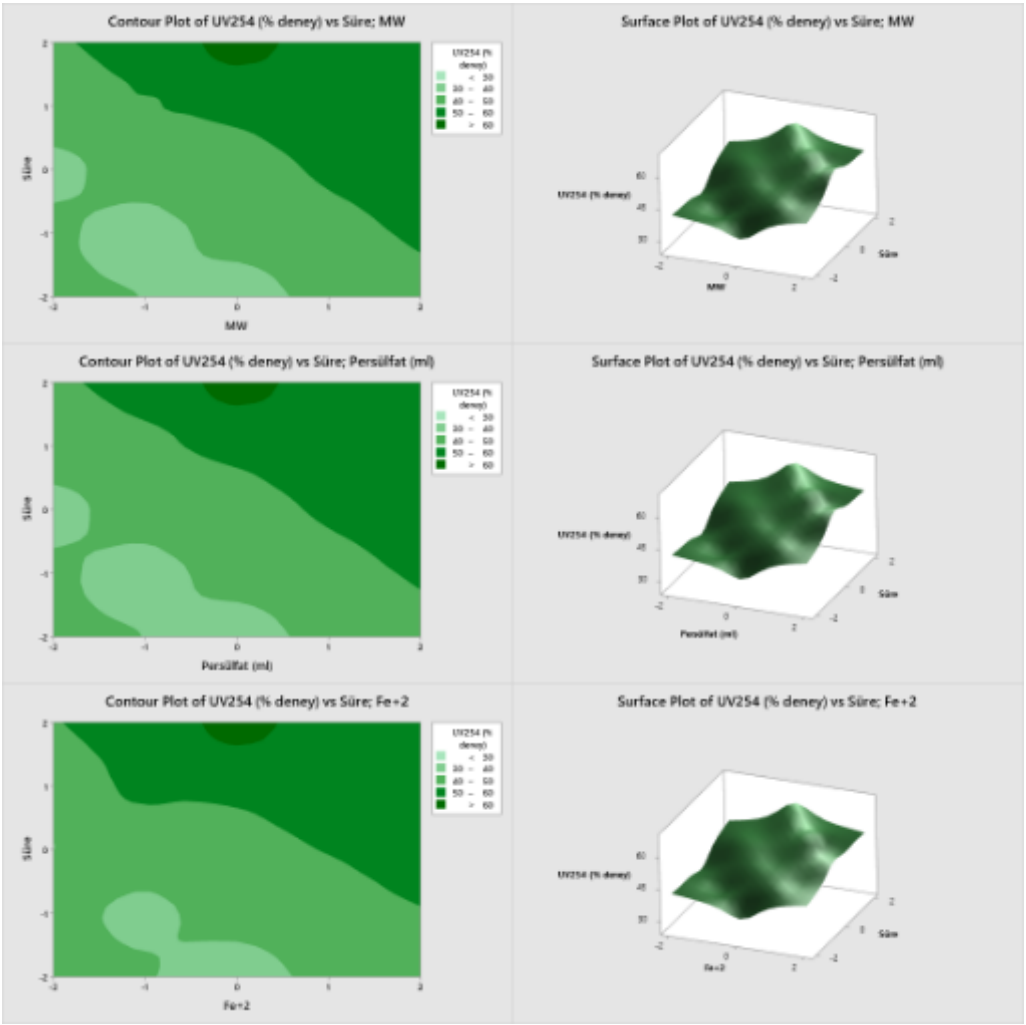
Şekil Error! No text of specified style in document.**6.** Md/PS prosesinde UV254 giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

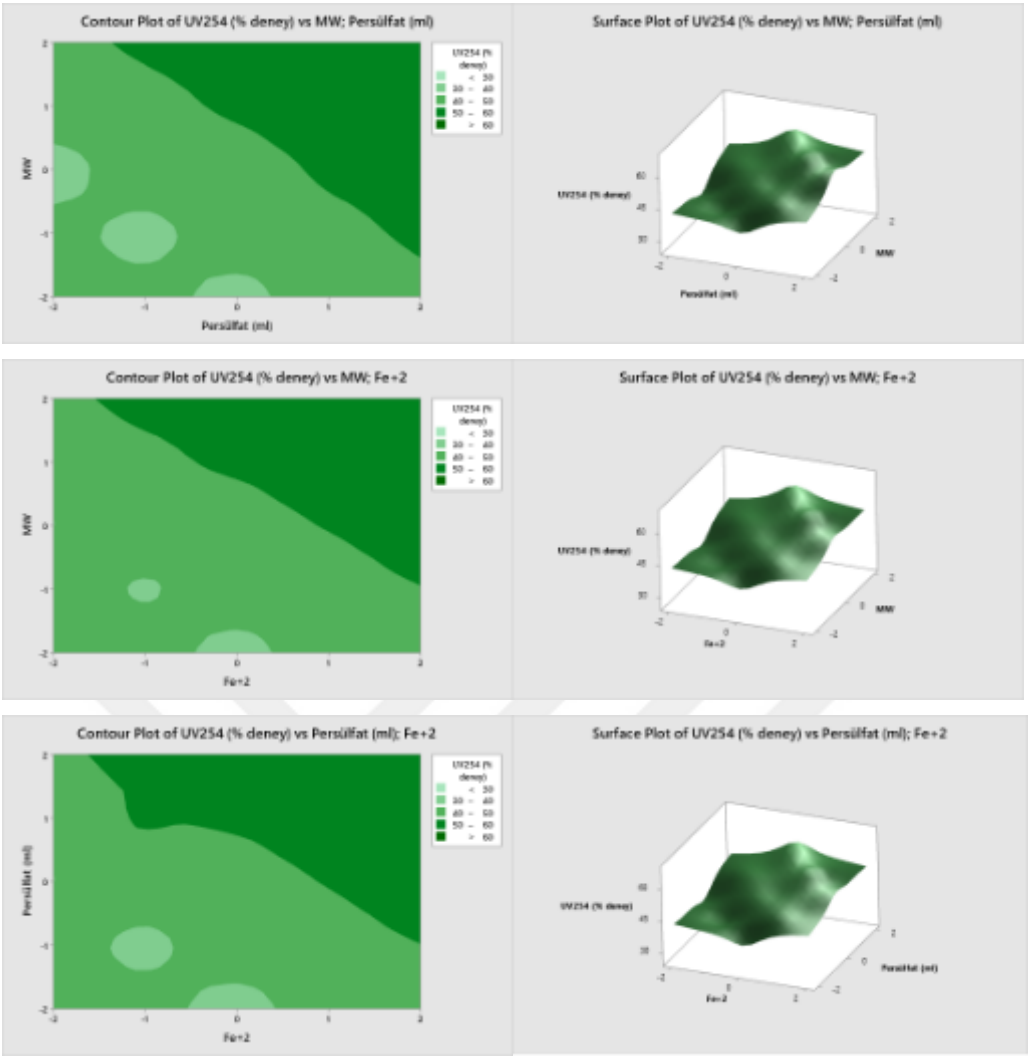
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 17. Md/PS prosesinde UV254 giderimi için zaman serisi grafiği





Şekil 18. Md/PS prosesinde UV254 giderimi için kontür grafikleri

UV254 verimi	**%60**
Md gücü/Süre	*PS miktarı/Süre*
450watt/10dk- 600watt/5dk	12ml/5dk-8ml/10dk
Md gücü/PS miktarı	*Demir miktarı/Süre*
800watt/8ml- 600watt/12ml	6g/5dk-4g/7,5dk

Md gücü/Demir miktarı	*PS miktarı/Demir miktarı*
800watt/4g-450watt/6g	12ml/6g-16ml/4g

8.1.4 Renk Giderimi

Regresyon Denklemi:

Renk (%Deney) = 81,294+ 8,008 Süre+ 5,858 Md+ 6,905 Persülfat (ml) + 4,125 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 19 Md/Persülfat prosesinde renk giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	81,294	0,531	152,98	0,000	
Süre	8,008	0,594	13,48	0,000	1,00
Md	5,858	0,594	9,86	0,000	1,00
Persülfat (ml)	6,905	0,594	11,62	0,000	1,00
Fe+2	4,125	0,594	6,94	0,000	1,00

Model Özeti:

R-kare değeri 0,9487 değerindedir ve bu değer optimum değer değildir fakat uygun kabul edilebilir.

Tablo 20 Md/Persülfat prosesinde renk giderimi için model özeti

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,91057	94,87%	94,05%	92,78%

Varyans Analizi:

Regresyon P değeri 0,001'den küçük olduğundan dolayı regresyonun uygundur.

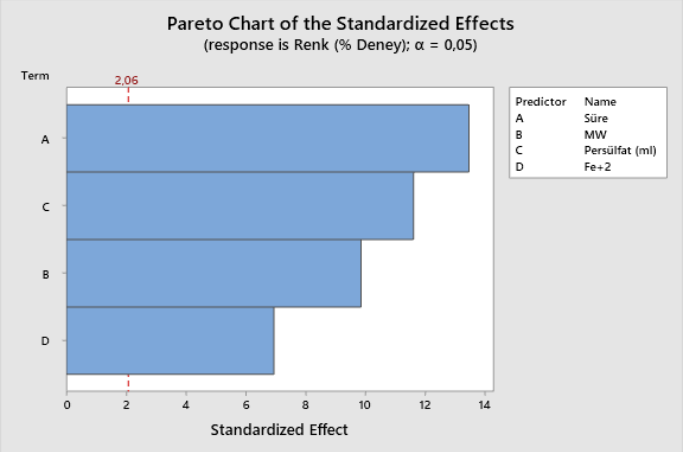
Tablo 21 Md/Persülfat prosesinde renk giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	3915,22	978,80	115,54	0,000

Süre	1	1538,92	1538,92	181,66	0,000
Md	1	823,69	823,69	97,23	0,000
Persülfat (ml)	1	1144,19	1144,19	135,07	0,000
Fe+2	1	408,42	408,42	48,21	0,000
Error	25	211,78	8,47		
Lack-of-Fit	20	201,30	10,06	4,80	0,045
Hata	5	10,49	2,10		
Toplam	29	4127,00			

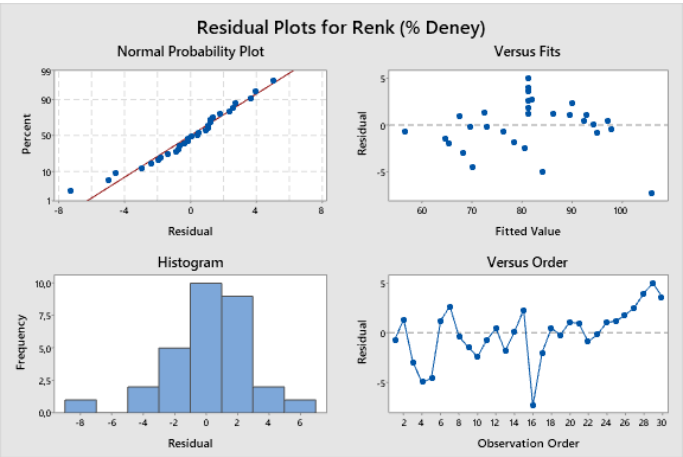
Pareto Grafiği:

Md/Persülfat prosesinde renk gideriminde etkili parametreler süre, Mikrodalga etkisi, Persülfat ve demir miktarıdır.



Şekil 19. Md/ PS prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği

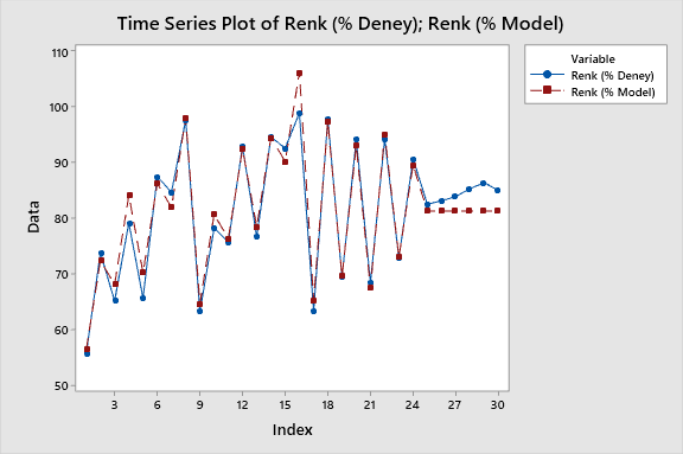
Renk veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre Süre, Persülfat miktarı, Md gücü ve demir miktarıdır.



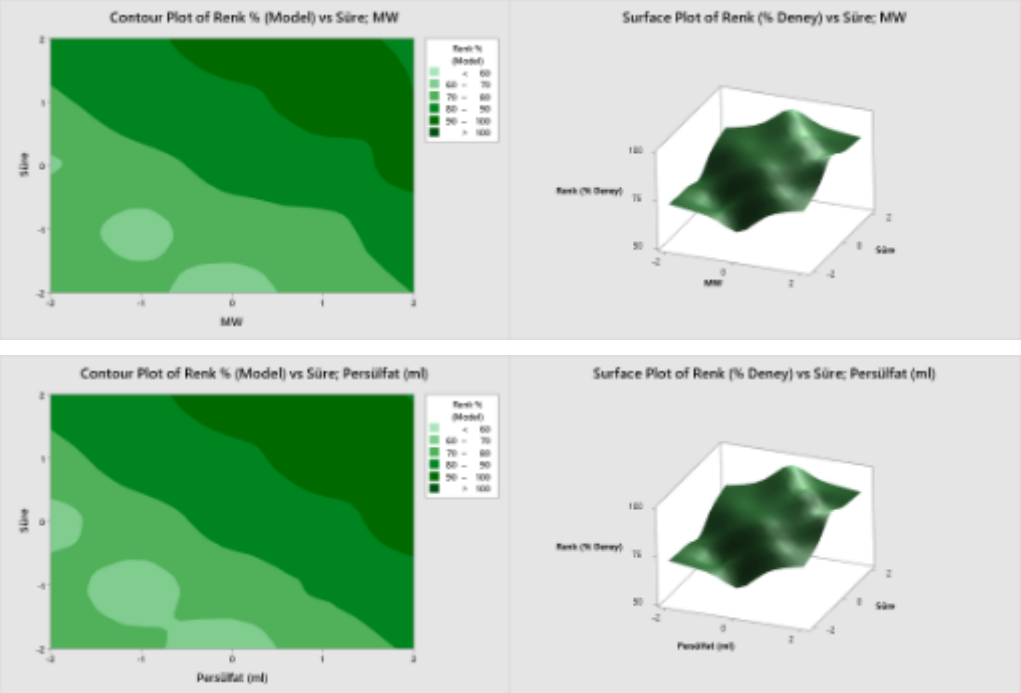
Şekil 20. Md/PS prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

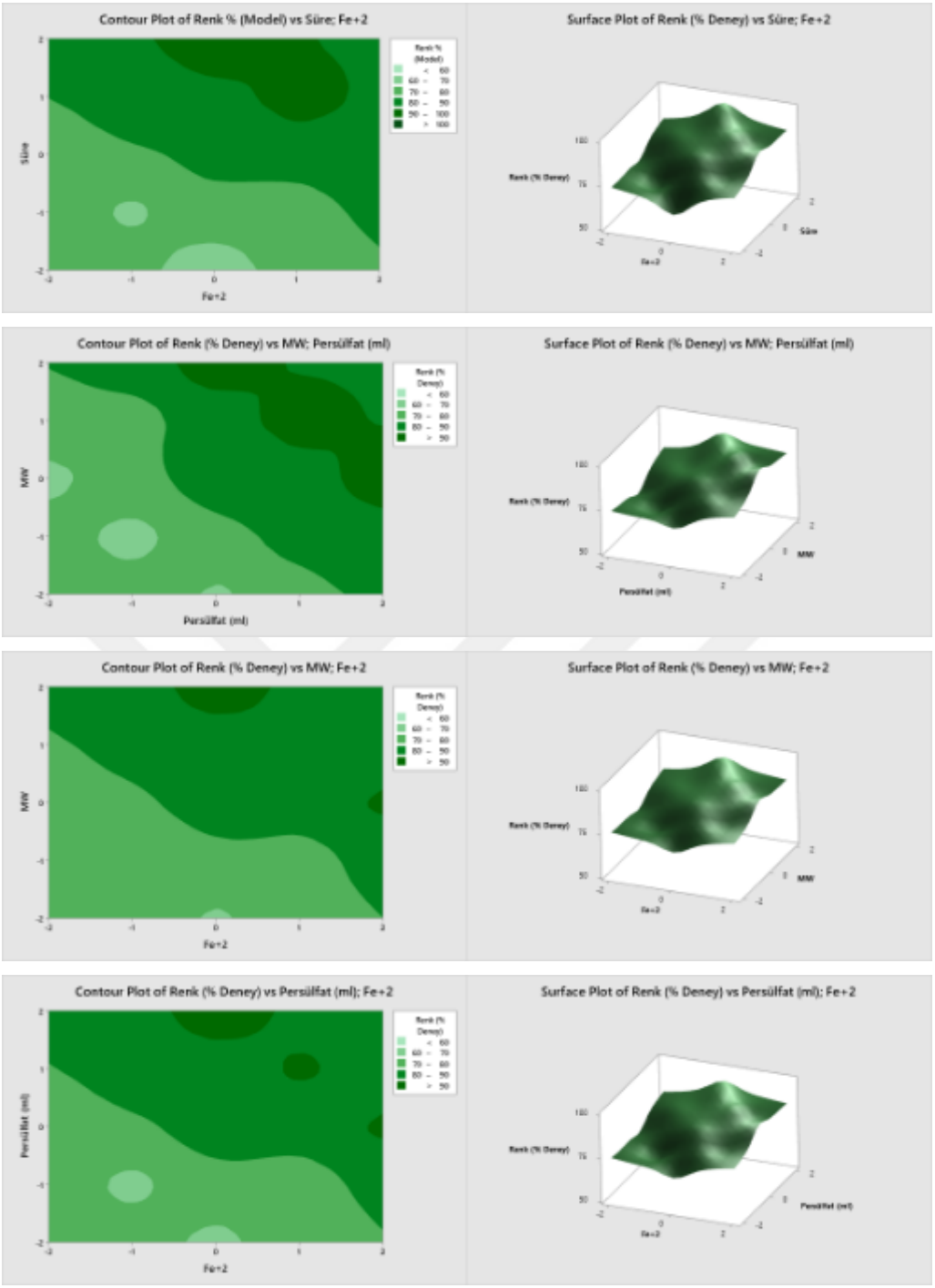
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 21. Md/Persülfat prosesinde Renk giderimi için zaman serisi grafiği





Şekil 22. Md/PS prosesinde renk giderimi için kontür grafikler

Renk veriminin en yüksek >%99 olduğu; en uygun Md gücü 450 watt süre 10 dk Md gücü 800 watt süre 5 dk dır.

Renk veriminin en yüksek >%99 olduğu; en uygun süre 10 dk Persülfat miktarı 8 ml ve süre 5 dk persülfat miktarı 16 ml dir.

Renk veriminin en yüksek >%99 olduğu; en uygun süre 5 dk demir miktarı 8 g ve süre 10 dk demir miktarı 4 g dır.

Renk veriminin en yüksek >%99 olduğu; en uygun Md gücü 800 watt Persülfat miktarı 8 ml ve Md gücü 450 watt Persülfat miktarı 16 ml dir.

Renk veriminin en yüksek >%99 olduğu; en uygun Md gücü 800 watt demir miktarı 4 g ve Md gücü 450 watt demir miktarı 8 g dir.

Renk veriminin en yüksek >%99 olduğu; en uygun demir 4 g Persülfat miktarı 16 ml ve demir 6 g Persülfat miktarı 12 ml dir.

8.2 Md/Fenton Prosesi Giderim Verileri

Md/Fenton çalışması sonucuna elde edilen numunelerin ABS, UV254, renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda giderim sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuçlar bu bölümde yer almaktadır. Md/Fenton prosesi deneysel tasarım verileri ile çalışmalar gerçekleştirilmiş olup buna dayalı verilerle hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlarla giderim verimleri tablo 21'de yer almaktadır.

Tablo 22 Md/Fenton Deneysel Çalışma Giderim Verileri

Süre	Md	H_2O_2 (ml)	Fe+2	KOİ (%)	ABS (%)	UV254 (%)	Renk(%)
-1	-1	-1	-1	41,1	40,9	38,3	58,6
1	-1	-1	-1	57,2	53,4	49,4	67,6
-1	1	-1	-1	58,4	53,4	47,3	62,6
1	1	-1	-1	64,2	63,1	59,2	82,8
-1	-1	1	-1	56,0	56,8	44,5	67,1
1	-1	1	-1	58,7	72,8	54,4	74,4
-1	1	1	-1	58,7	67,3	48,3	76,3
1	1	1	-1	69,8	79,6	60,0	84,6
-1	-1	-1	1	45,7	46,0	39,3	63,6
1	-1	-1	1	57,1	56,4	49,1	76,4
-1	1	-1	1	56,2	55,6	47,9	75,9
1	1	-1	1	69,1	68,0	57,3	85,3
-1	-1	1	1	54,6	58,9	47,1	72,1
1	-1	1	1	66,1	71,8	56,1	83,0
-1	1	1	1	67,3	69,3	54,2	84,7

1	1	1	1	76,4	83,3	66,1	94,1
-2	0	0	0	50,2	53,6	39,6	62,2
2	0	0	0	69,2	79,8	59,0	83,3
0	-2	0	0	50,2	53,3	39,6	62,4
0	2	0	0	69,2	81,6	62,4	85,9
0	0	-2	0	54,6	47,4	41,3	64,3
0	0	2	0	67,9	83,6	59,3	81,4
0	0	0	-2	57,1	56,5	44,8	63,6
0	0	0	2	61,2	68,6	52,0	83,2
0	0	0	0	60,6	66,3	52,0	72,6
0	0	0	0	61,2	67,4	54,3	71,4
0	0	0	0	62,6	66,9	51,3	71,0
0	0	0	0	61,9	66,5	53,8	74,4

8.2.1 KOİ Giderimi

Regresyon Denklemi:

KOİ (%) = 60,156 + 4,936 Süre + 5,057 Md + 3,548 H_2O_2 (ml) + 1,520 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 23. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	60,156	0,391	154,00	0,000	
Süre	4,936	0,437	11,30	0,000	1,00
Md	5,057	0,437	11,58	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	3,548	0,437	8,12	0,000	1,00
Fe+2	1,520	0,437	3,48	0,002	1,00

Tablo 24. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9315 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

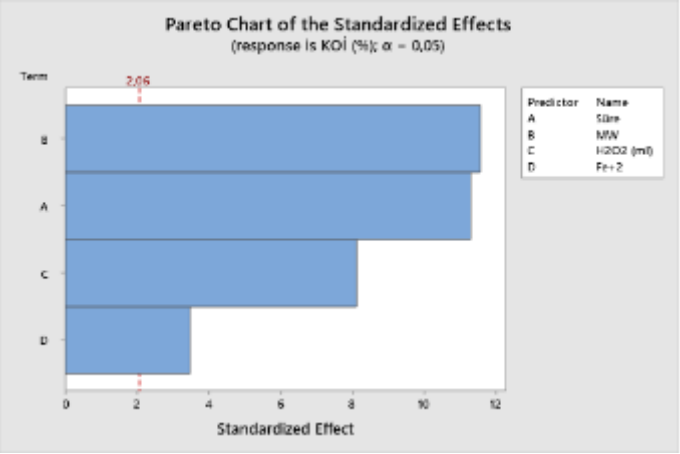
S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,13958	93,15%	92,05%	89,65%

Varyans Analizi:

Tablo 25. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi

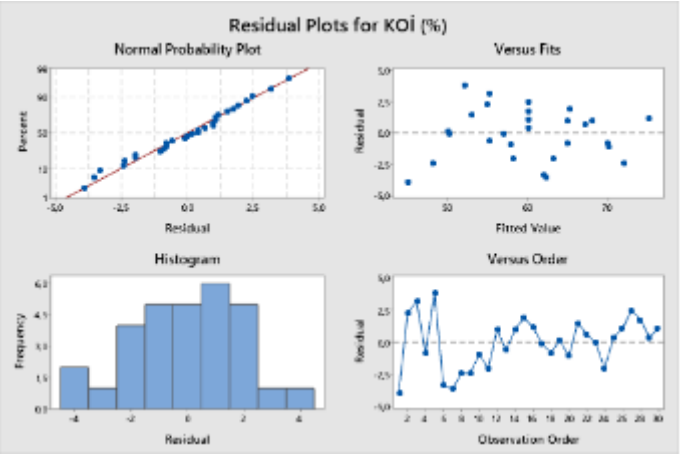
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	1556,33	389,083	84,99	0,000
Süre	1	584,86	584,856	127,76	0,000
Md	1	613,85	613,848	134,09	0,000
H_2O_2 (ml)	1	302,18	302,180	66,01	0,000
Fe+2	1	55,45	55,447	12,11	0,002
Error	25	114,45	4,578		
Lack-of-Fit	20	111,20	5,560	8,55	0,013
Hata	5	3,25	0,650		
Toplam	29	1670,78			

Pareto Grafiği:



Şekil 23. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği

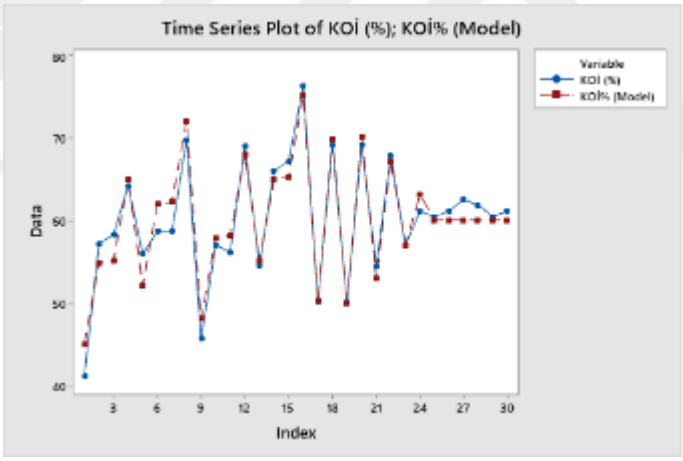
KOİ arıtımı veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre Mikrodalga etkisi, süre, H_2O_2 miktarı ve demir miktarıdır.



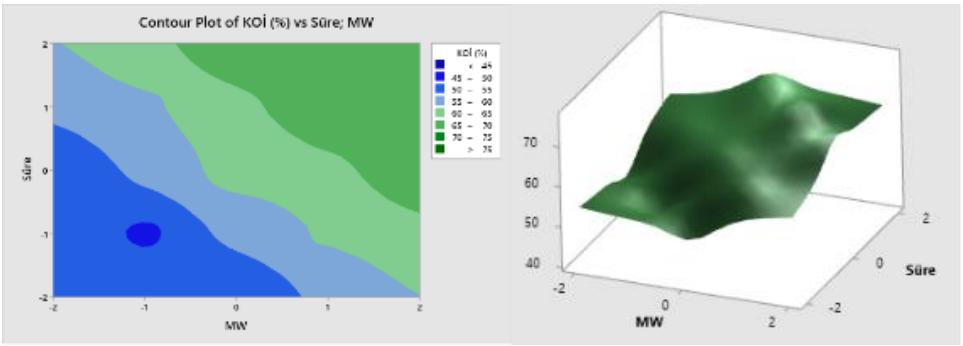
Şekil 24. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

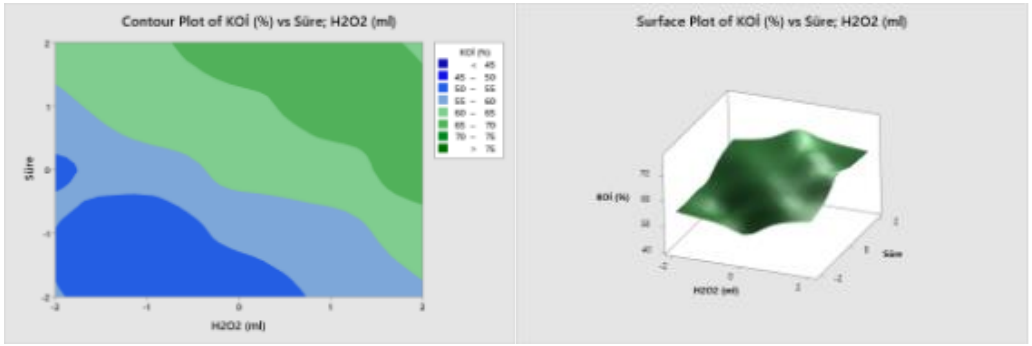
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

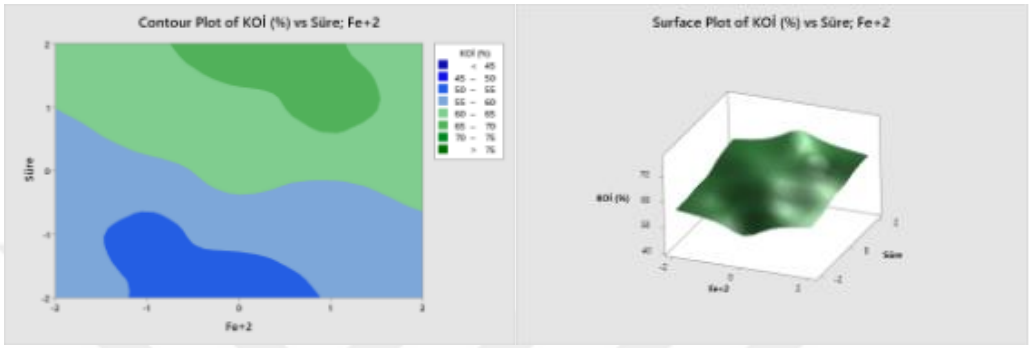
Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.

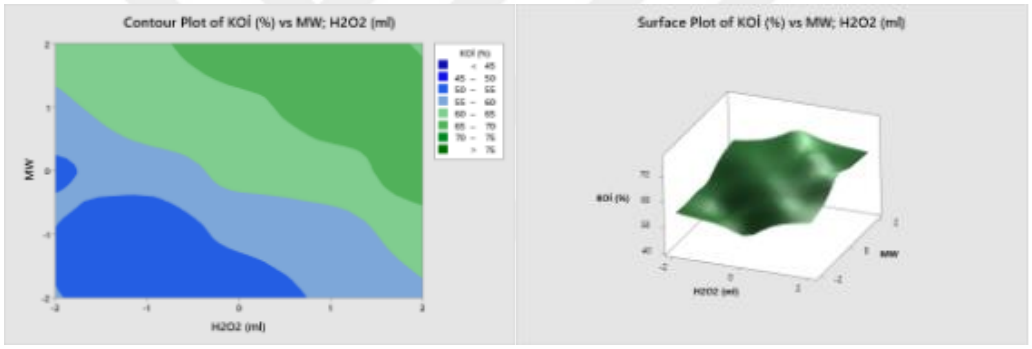


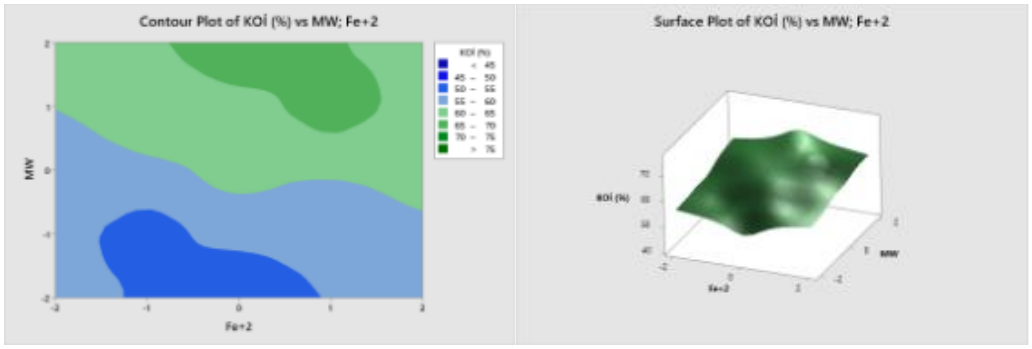
Şekil 25. Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği

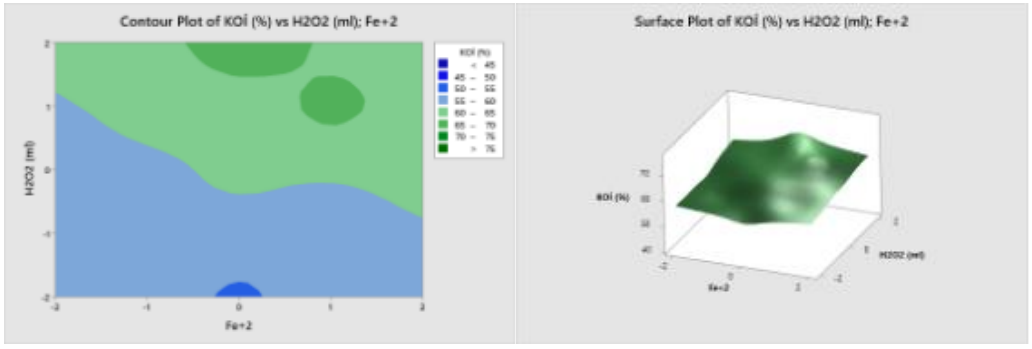



Contour Plot of KOİ (%) vs Süre; H2O2 (ml)
Süre
H2O2 (ml)
KOİ (%)
Surface Plot of KOİ (%) vs Süre; H2O2 (ml)
KOİ (%)
H2O2 (ml)
Süre


Contour Plot of KOİ (%) vs Süre; Fe+2
Süre
Fe+2
KOİ (%)
Surface Plot of KOİ (%) vs Süre; Fe+2
KOİ (%)
Fe+2
Süre


Contour Plot of KOİ (%) vs MW; H2O2 (ml)
MW
H2O2 (ml)
KOİ (%)
Surface Plot of KOİ (%) vs MW; H2O2 (ml)
KOİ (%)
H2O2 (ml)
MW


Contour Plot of KOİ (%) vs MW; Fe+2
MW
Fe+2
KOİ (%)
Surface Plot of KOİ (%) vs MW; Fe+2
KOİ (%)
Fe+2
MW


Contour Plot of KOİ (%) vs H2O2 (ml); Fe+2
H2O2 (ml)
Fe+2
KOİ (%)
Surface Plot of KOİ (%) vs H2O2 (ml); Fe+2
KOİ (%)
Fe+2
H2O2 (ml)

Şekil 26. Md/Fenton prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

KOİ veriminin en yüksek %75 olduğu; en uygun Md gücü 450 watt süre 10 dk Md gücü 600 watt süre 7,5 dk dır.

KOİ veriminin en yüksek %75 olduğu; en uygun süre 7,5 dk H_2O_2 miktarı 12 ml ve süre 10 dk H_2O_2 miktarı 8 ml dir.

KOİ veriminin en yüksek %75 olduğu; en uygun süre 5 dk demir miktarı 4 g ve süre 5 dk demir miktarı 8 g dır.

KOİ veriminin en yüksek %75 olduğu; en uygun demir miktarı 6 g H_2O_2 miktarı 8 ml ve demir miktarı 4 g H_2O_2 miktarı 16 ml dir.KOİ veriminin en yüksek %75 olduğu; en uygun demir 4 g Md gücü 450 watt ve demir 4 g Md gücü 800 watt dır.

KOİ veriminin en yüksek %75 olduğu; en uygun H_2O_2 miktarı 12 ml demir miktarı 4 g ve H_2O_2 miktarı 16 ml demir miktarı 4 g dir.

8.2.2 ABS Giderimi

Regresyon Denklemi:

ABS (%) = 64,164 + 6,365 Süre + 5,809 MD + 8,134 H_2O_2 (ml) + 1,926 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 26 Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	64,164	0,557	115,16	0,000	
Süre	6,365	0,623	10,22	0,000	1,00
Md	5,809	0,623	9,33	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	8,134	0,623	13,06	0,000	1,00
Fe+2	1,926	0,623	3,09	0,005	1,00

Tablo 27 Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için model özeti

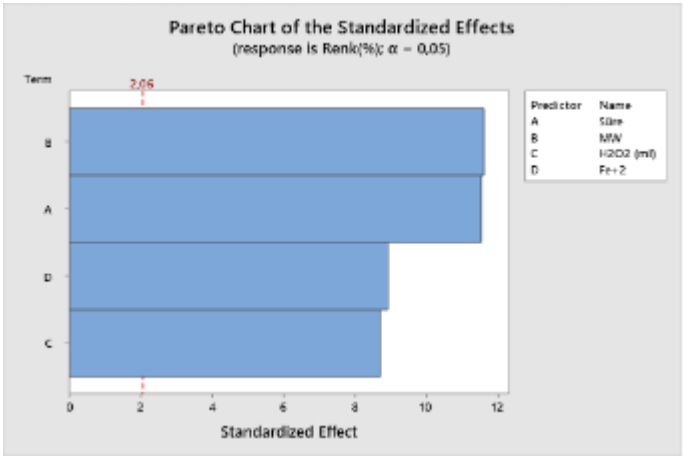
S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
3,05184	93,69%	92,68%	91,05%

Varyans Analizi:

Tablo 28 Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için varyans analizi

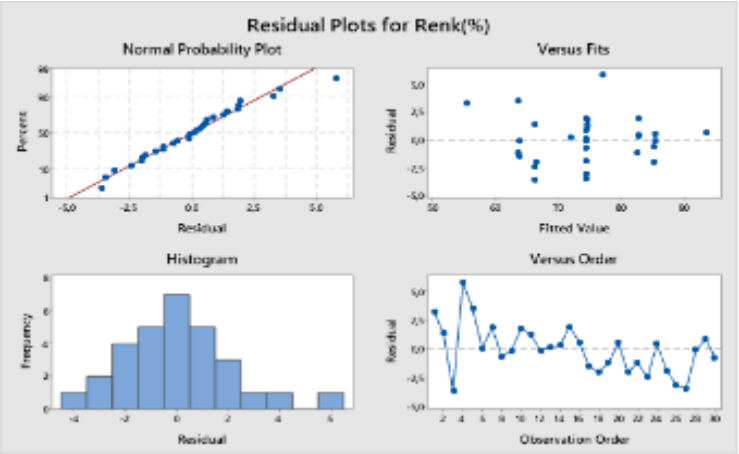
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	3459,18	864,79	92,85	0,000
Süre	1	972,17	972,17	104,38	0,000
Md	1	809,95	809,95	86,96	0,000
H_2O_2 (ml)	1	1588,06	1588,06	170,51	0,000
Fe+2	1	89,00	89,00	9,56	0,005
Error	25	232,84	9,31		
Lack-of-Fit	20	226,45	11,32	8,86	0,012
Hata	5	6,39	1,28		
Toplam	29	3692,02			

Pareto Grafiği:



Şekil 27. Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği

ABS veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, Md etkisi, demir miktarı ve Persülfat miktarıdır.



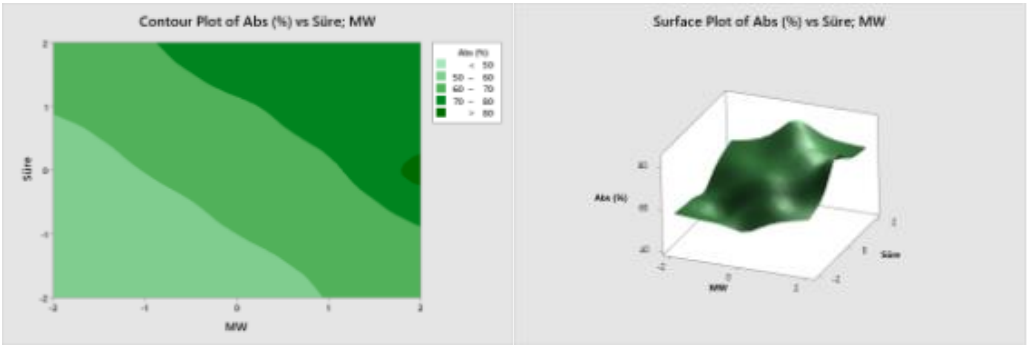
Şekil 28. Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

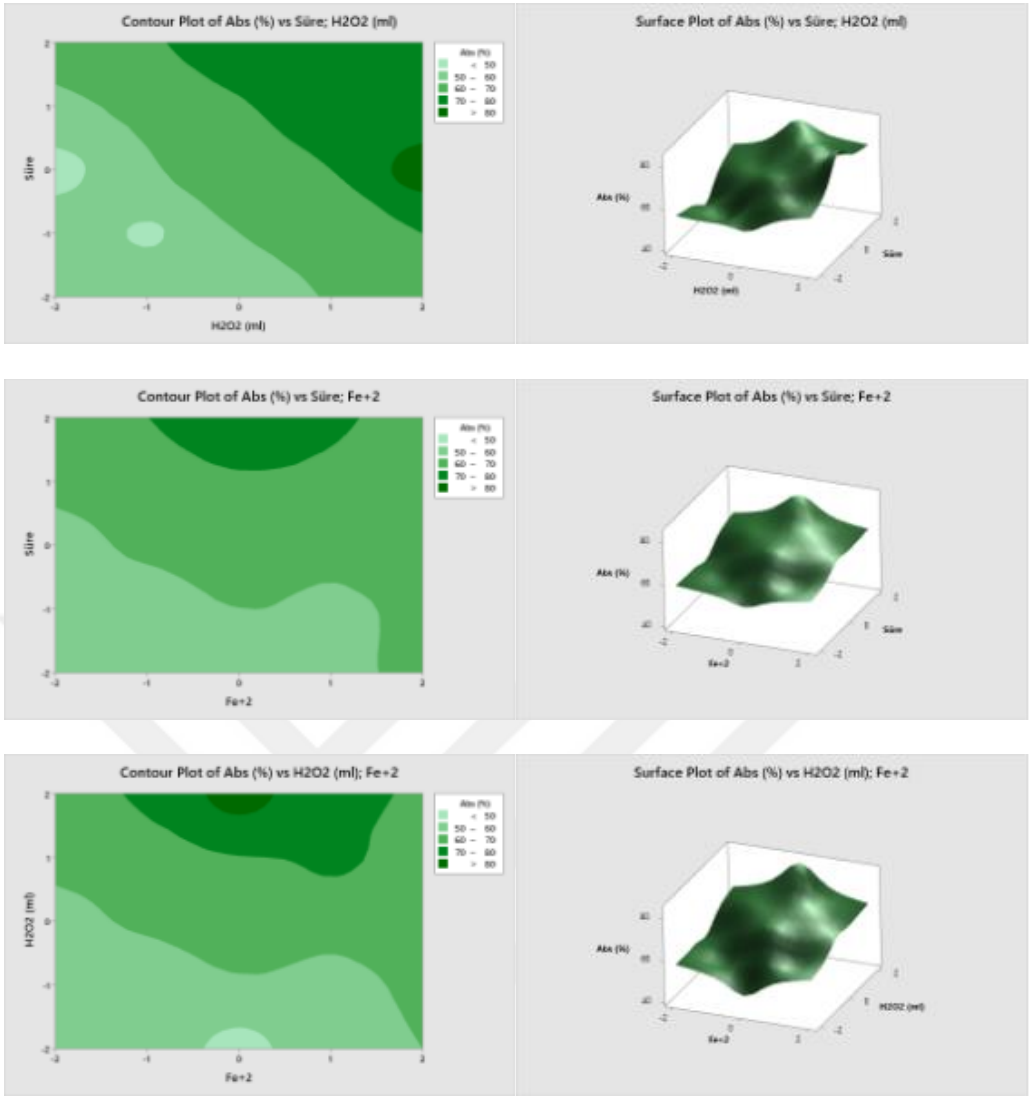
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 29. Md/Fenton prosesinde ABS giderimi için zaman serisi Grafiği





Şekil 30. Md/Fenton prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

ABS verimi	**%80**
Md gücü/Süre	*H_2O_2 miktarı/Süre*
450watt/10dk-600watt/5dk	2ml/5dk-1ml/10dk
H_2O_2 miktarı/Demir miktarı	*Demir miktarı/Süre*
12ml/6g-16ml/4g	4g/10dk-8g/5dk

8.2.3 UV254 Giderimi

Regresyon Denklemi:

UV254 (%) = 51,252 + 5,154 Süre + 4,491 MD + 3,289 H_2O_2 (ml) + 1,260 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 29 Md/Fenton prosesinde UV254giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	51,252	0,445	115,23	0,000	
Süre	5,154	0,497	10,37	0,000	1,00
Md	4,491	0,497	9,03	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	3,289	0,497	6,61	0,000	1,00
Fe+2	1,260	0,497	2,53	0,018	1,00

Tablo 30 Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9054 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,43614	90,54%	89,02%	86,65%

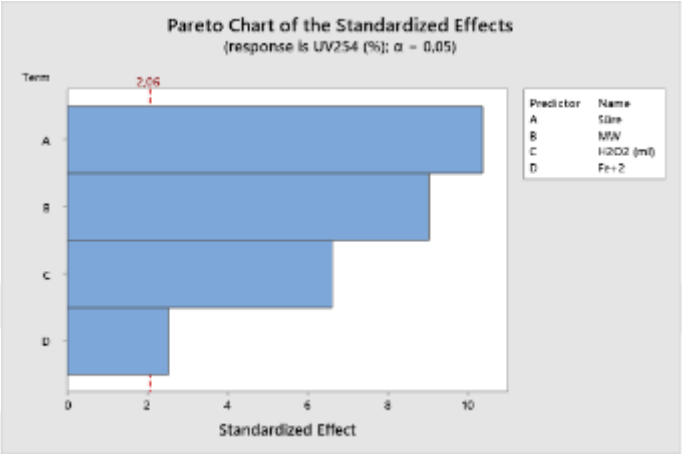
Varyans Analizi:

Tablo 31 Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	1419,44	354,859	59,79	0,000
Süre	1	637,62	637,622	107,44	0,000
Md	1	484,07	484,071	81,57	0,000
H_2O_2 (ml)	1	259,63	259,630	43,75	0,000
Fe+2	1	38,11	38,114	6,42	0,018

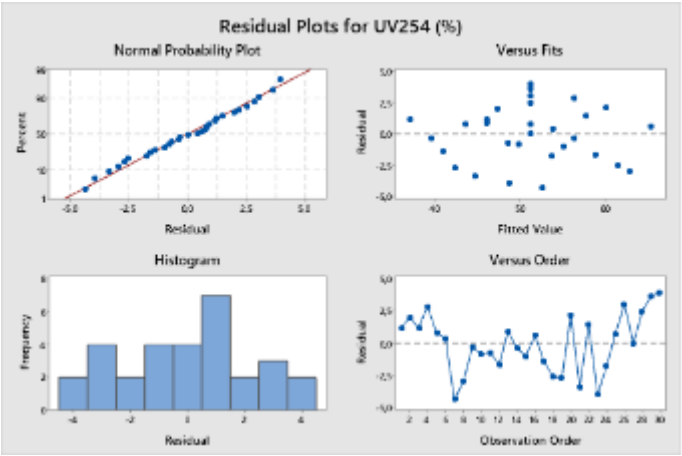
Error	25	148,37	5,935		
Lack-of-Fit	20	135,45	6,772	2,62	0,145
Hata	5	12,92	2,585		
Toplam	29	1567,81			

Pareto Grafiği:



Şekil 31. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği

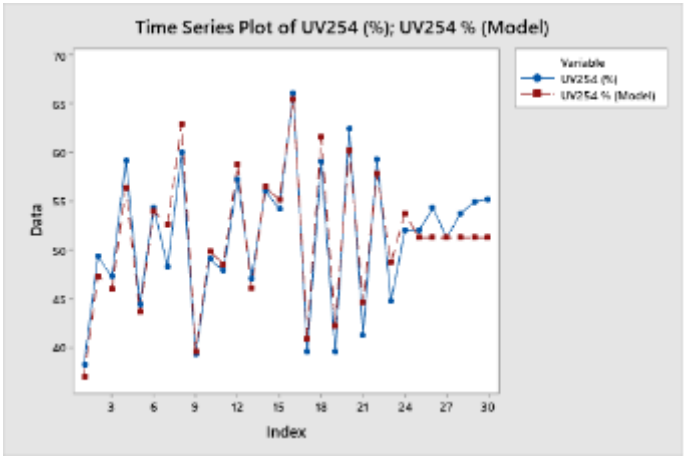
UV254 veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, Mikrodalga etkisi, H_2O_2 miktarı ve demir miktarıdır.



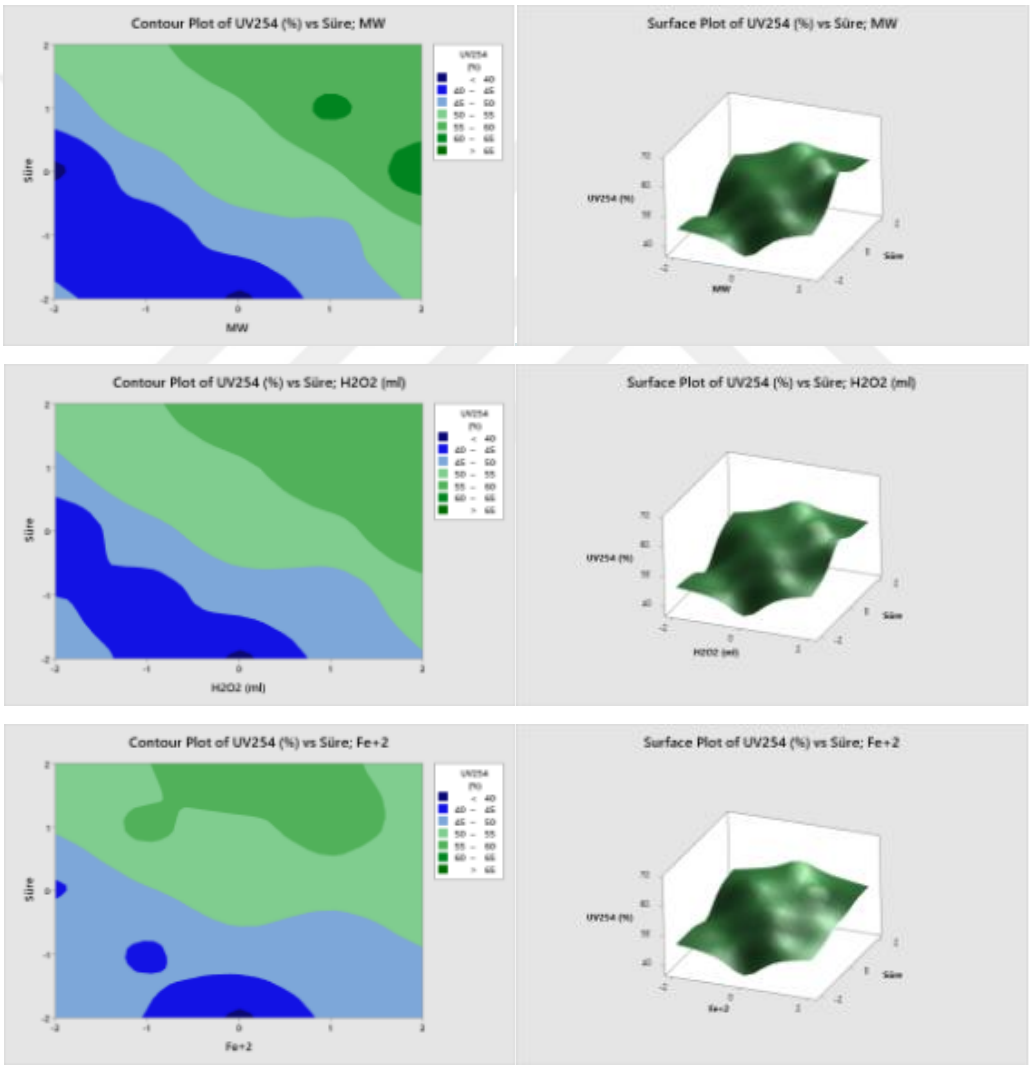
Şekil 32. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği

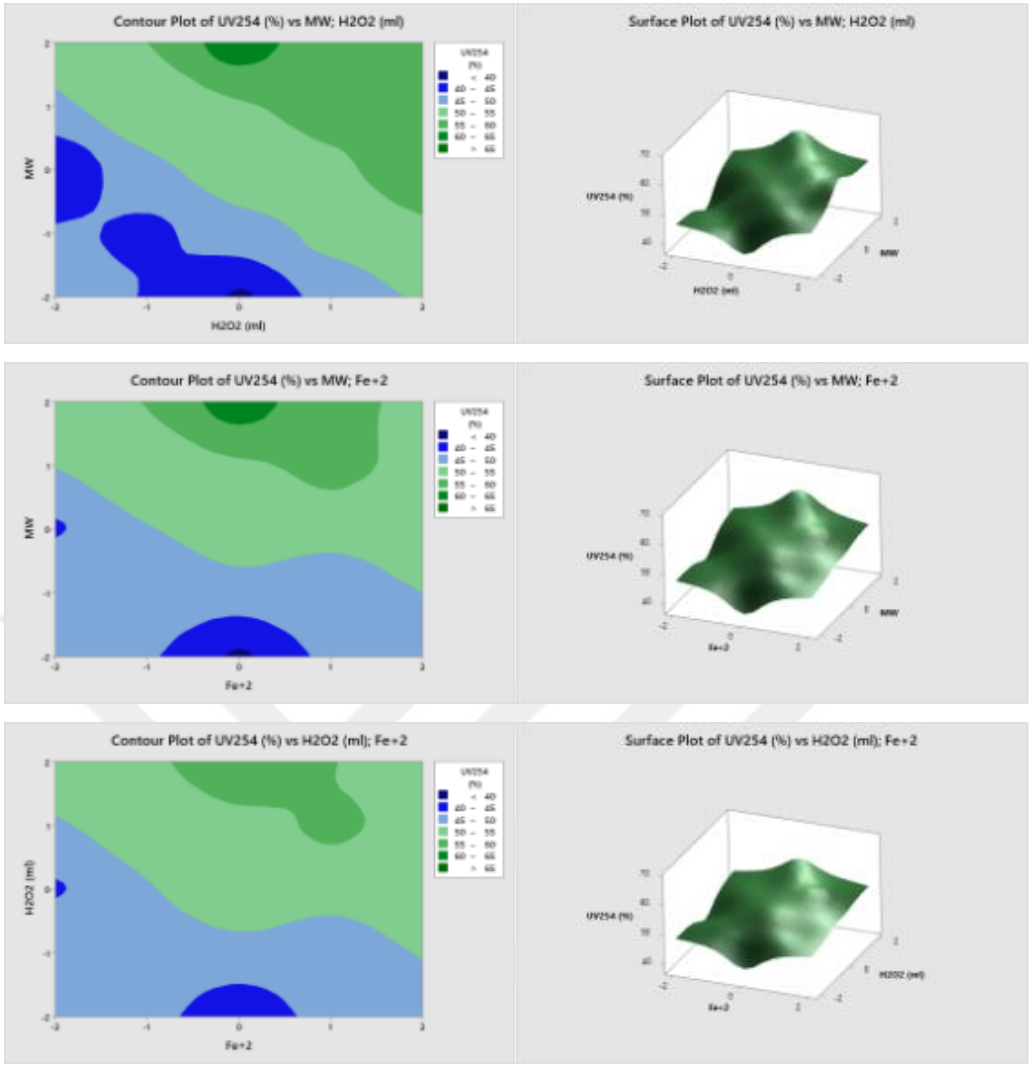
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 33. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi için zaman serisi grafiği





Şekil 34. Md/Fenton prosesinde UV254 giderimi kontür grafikler

UV254 verimi	**%65**
Md gücü/Süre	*H_2O_2 miktarı/Süre*
600watt/7,5dk- 450watt/10dk	12ml/7,5dk-16ml/5dk
Md gücü/ H_2O_2 miktarı	*Demir miktarı/Süre*
450watt/8ml- 600watt/12ml	4g/5dk-6g/7,5dk

Md gücü/Demir miktarı	*H202 miktarı/Demir miktarı*
450watt/4g-450watt/6g	8ml/6g-16ml/4g

8.2.4 Renk Giderimi

Regresyon Denklemi:

Renk (%) = 74,449 + 5,399 Süre + 5,430 Md + 4,074 H_2O_2 (ml) + 4,175 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 32 Md/Fenton prosesinde renk giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	74,449	0,418	177,91	0,000	
Süre	5,399	0,468	11,54	0,000	1,00
Md	5,430	0,468	11,61	0,000	1,00

Tablo 33 Md/Fenton prosesinde KOİ giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9442 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,29202	94,42%	93,53%	91,84%

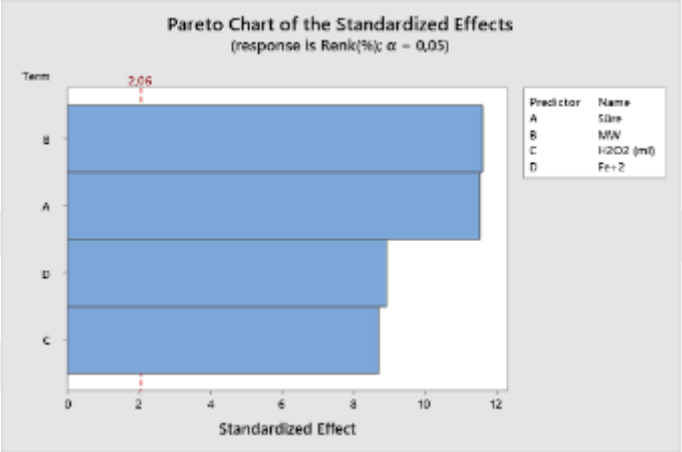
Varyans Analizi:

Tablo 34 Md/Fenton prosesinde renk giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	2223,62	555,905	105,82	0,000
Süre	1	699,49	699,487	133,15	0,000
Md	1	707,55	707,550	134,69	0,000
H_2O_2 (ml)	1	398,32	398,317	75,82	0,000
Fe+2	1	418,27	418,266	79,62	0,000

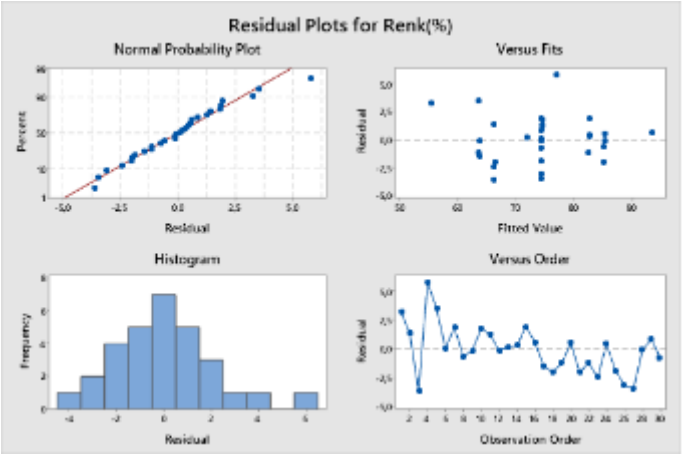
Error	25	131,33	5,253		
Lack-of-Fit	20	116,69	5,835	1,99	0,229
Hata	5	14,64	2,929		
Toplam	29	2354,95			

Pareto Grafiği:



Şekil 35. Md/Fenton prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği

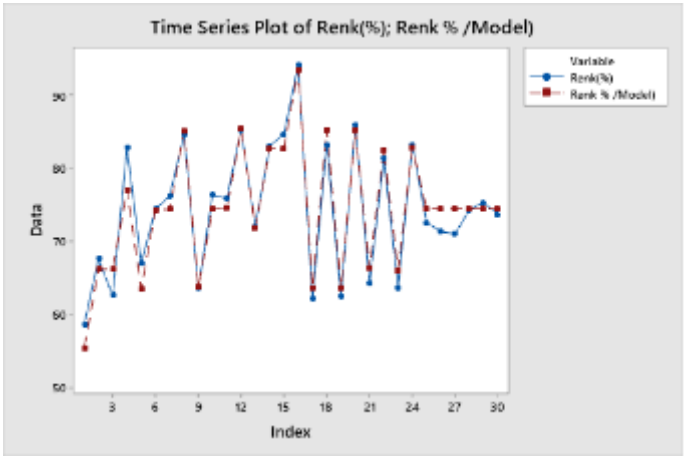
Renk veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre Mikrodalga etkisi, süre, H_2O_2 miktarı ve demir miktarıdır.



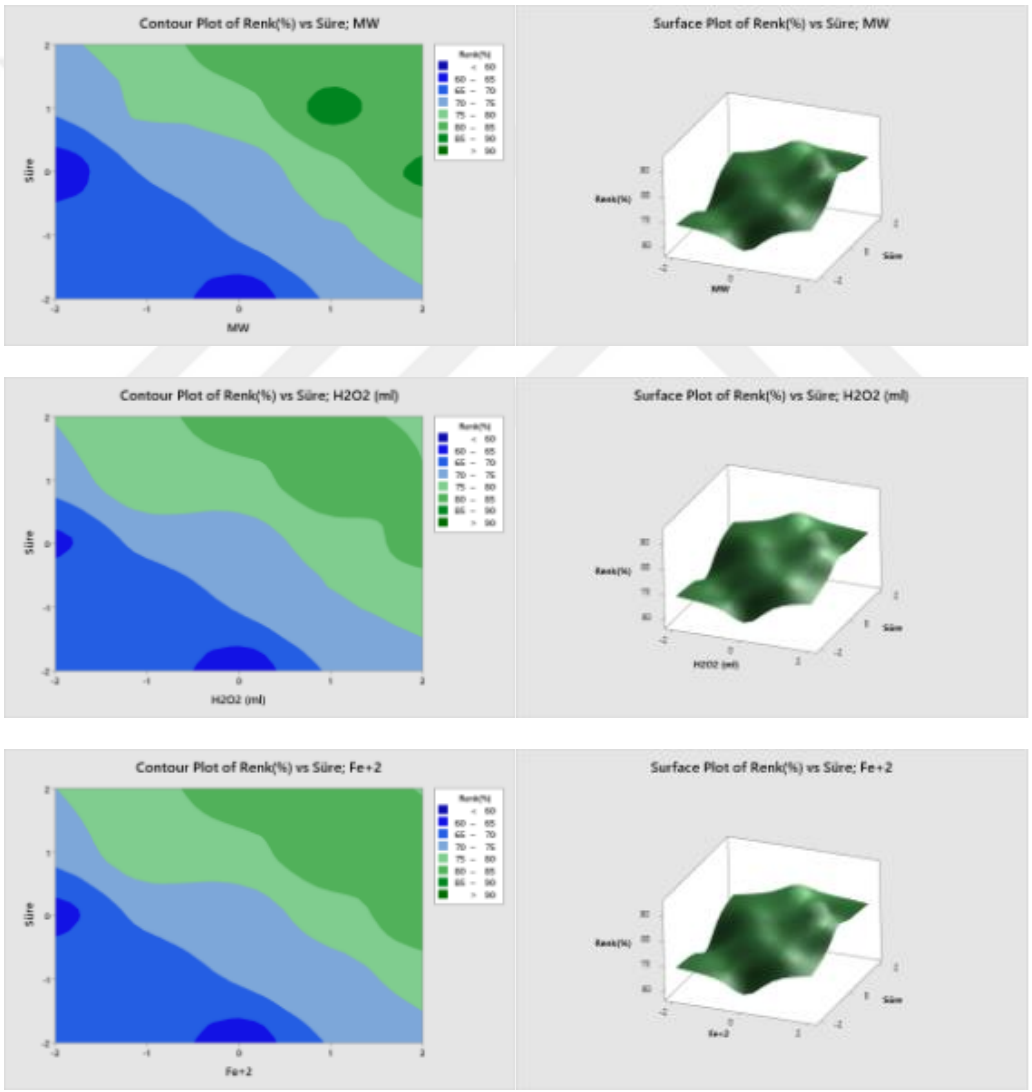
Şekil 36. Md/Fenton prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

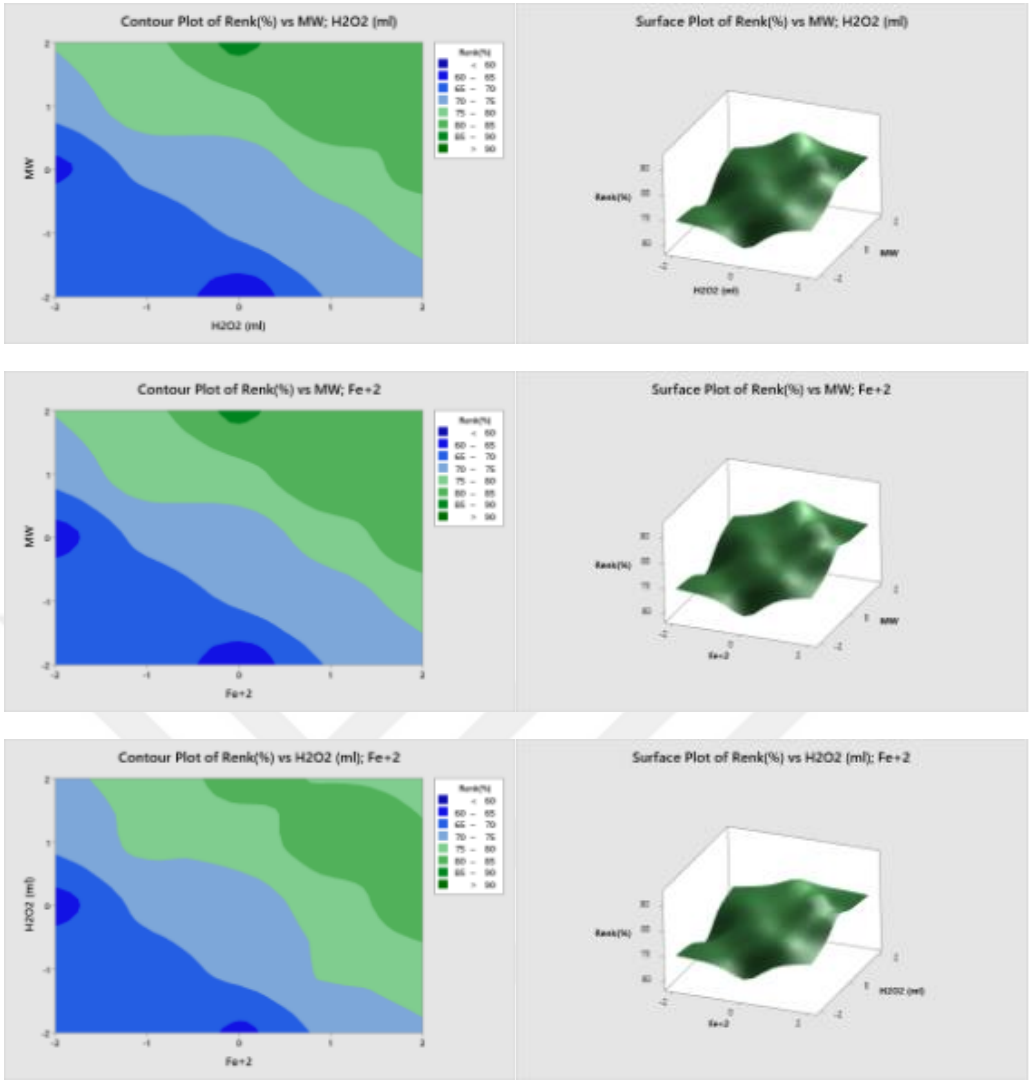
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 37. Md/Fenton prosesinde renk giderimi zaman serisi Grafiği





Şekil 38. Md/Fenton prosesinde kontür grafikleri

Renk verimi	**%90**
Md gücü/Süre	*H_2O_2 miktarı/Süre*
450watt/7,5dk- 450watt/5dk	12ml/5dk-8ml/10dk
Md gücü/PS miktarı	*Demir miktarı/Süre*
450watt/24ml- 800watt/12ml	6g/10dk-6g/5dk

Md gücü/Demir miktarı	*H_2O_2 miktarı/Demir miktarı*
800watt/8g-600watt/16g	12ml/6g-16ml/4g

8.3 UV/Persülfat Prosesi Giderim Verileri

UV/Persülfat çalışması sonucuna elde edilen numunelerin ABS, UV254, renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda giderim sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuçlar bu bölümde yer almaktadır. UV/Persülfat prosesi deneysel tasarım verileri ile çalışmalar gerçekleştirilmiş olup buna dayalı verilerle hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlarla giderim verimleri tablo 35'te yer almaktadır.

Tablo 35 UV/Persülfat Deneysel Çalışma Giderim Verileri

Süre	UV	Persülfat (ml)	Fe+2	KOİ (%)	ABS(% Deney)	UV254(%deney)	Renk (% Deney)
-1	-1	-1	-1	26,8	37,6	24,2	55,7
1	-1	-1	-1	39,5	54,3	41,3	73,8
-1	1	-1	-1	41,6	56,3	38,6	65,2
1	1	-1	-1	60,2	76,7	49,6	79,1
-1	-1	1	-1	43,7	63,0	40,2	66,2
1	-1	1	-1	56,3	82,0	53,3	88,2
-1	1	1	-1	57,6	81,0	50,2	85,0
1	1	1	-1	69,6	95,0	61,0	98,0
-1	-1	-1	1	38,5	52,9	36,2	64,3
1	-1	-1	1	53,3	74,6	52,2	79,9
-1	1	-1	1	54,7	77,6	49,0	77,8
1	1	-1	1	67,0	94,0	62,3	93,6
-1	-1	1	1	51,3	70,1	46,6	77,7

1	-1	1	1	63,5	92,3	57,2	95,7
-1	1	1	1	65,3	93,0	63,3	94,3
1	1	1	1	76,8	99,0	71,3	98,9
-2	0	0	0	37,5	43,6	37,1	64,3
2	0	0	0	70,0	95,0	66,0	96,6
0	-2	0	0	41,3	59,7	40,3	70,6
0	2	0	0	67,6	95,0	61,0	94,3
0	0	-2	0	41,3	59,0	39,6	67,7
0	0	2	0	67,3	93,7	61,1	95,0
0	0	0	-2	41,6	61,0	47,6	78,6
0	0	0	2	57,6	85,7	58,6	91,0
0	0	0	0	49,0	78,8	46,2	84,1
0	0	0	0	47,9	81,9	47,6	85,0
0	0	0	0	48,0	82,3	48,7	84,7
0	0	0	0	47,0	80,0	47,0	86,4
0	0	0	0	47,9	81,3	48,1	87,3
0	0	0	0	48,1	82,1	45,8	85,3

8.3.1 KOİ Giderimi

Regresyon Denklemi:

KOİ (%) = 60,156 + 4,936 Süre + 5,057 Md + 3,548 H_2O_2 (ml) + 1,520 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 36 UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	52,579	0,592	88,84	0,000	
Süre	7,161	0,662	10,82	0,000	1,00
UV	7,191	0,662	10,87	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	6,433	0,662	9,72	0,000	1,00
Fe+2	4,467	0,662	6,75	0,000	1,00

Tablo 37 UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9375 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

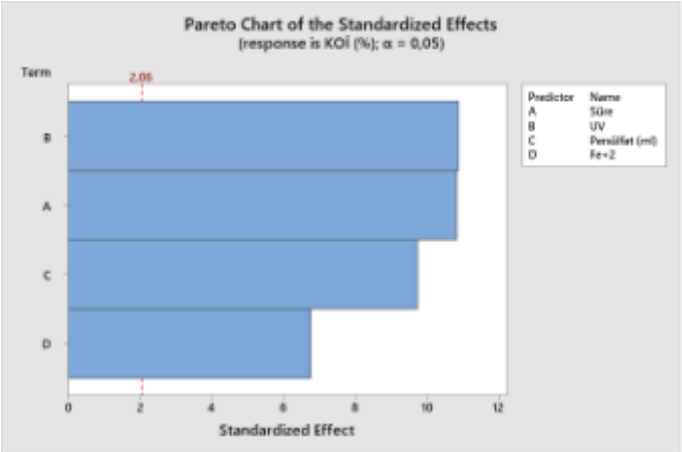
S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
3,24181	93,75%	92,76%	91,75%

Varyans Analizi:

Tablo 38 UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi

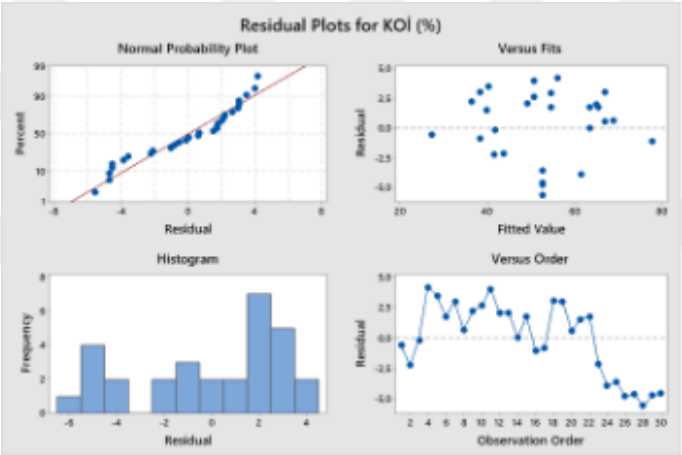
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	3944,12	986,03	93,82	0,000
Süre	1	1230,77	1230,77	117,11	0,000
UV	1	1241,18	1241,18	118,10	0,000
H_2O_2 (ml)	1	993,25	993,25	94,51	0,000
Fe+2	1	478,92	478,92	45,57	0,000
Error	25	262,73	10,51		

Pareto Grafiği:



Şekil 39. UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği

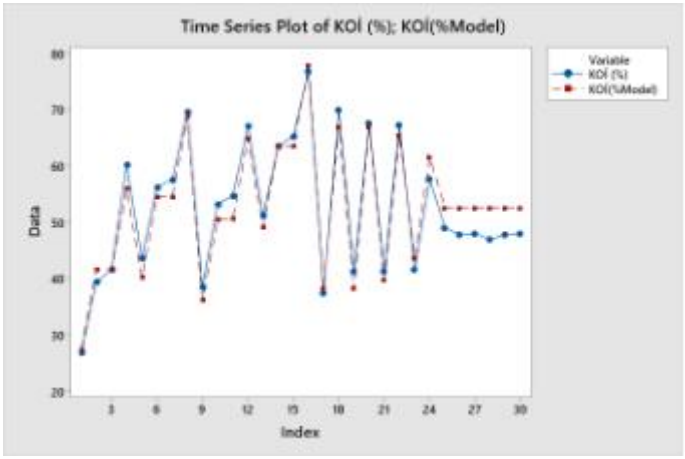
KOİ arıtımı veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre UV etkisi, süre, Persülfat miktarı ve demir miktarıdır.



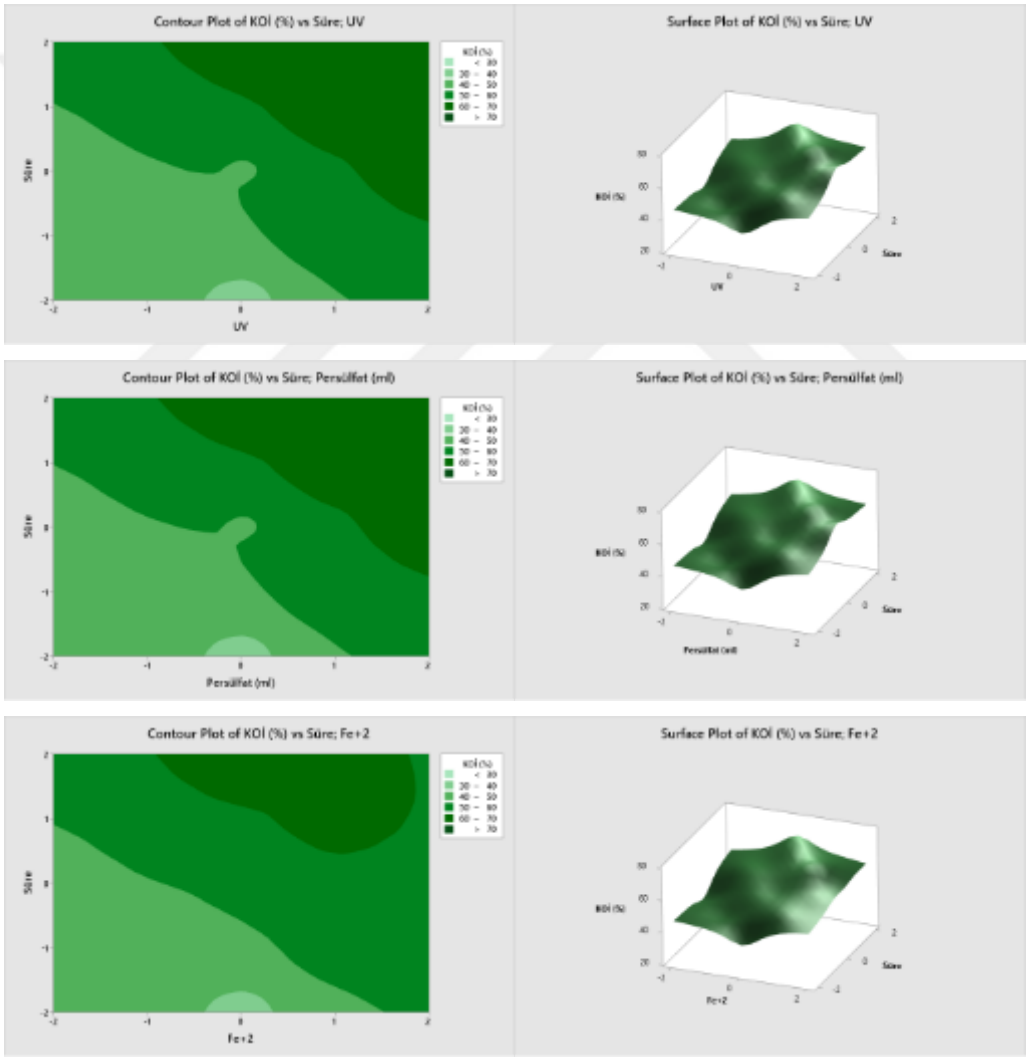
Şekil 40. UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

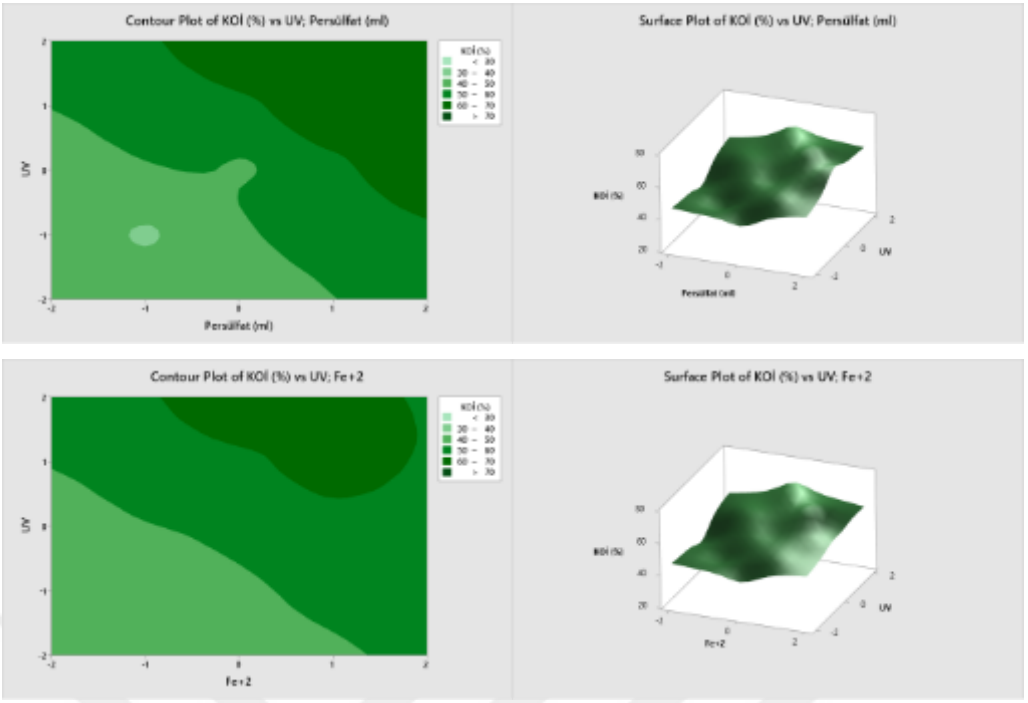
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 41. UV/Persülfat prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği





Şekil 42. UV/Persülfat prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

KOİ verimi	**%75**
UV gücü/Süre	*PS miktarı/Süre*
20watt/40dk- 40watt/20dk	1,5ml/30dk-1ml/40dk
UV gücü/PS miktarı	*Demir miktarı/Süre*
30watt/1ml- 40watt/1,5ml	8g/45dk-16g/15dk
UV gücü/Demir miktarı	*PS miktarı/Demir miktarı*
20watt/6g-40watt/4g	2ml/4g-6ml/1g

8.3.2 ABS Giderimi

Regresyon Denklemi:

ABS (%) = 75,939 + 9,97 Süre + 9,02 UV + 9,20 Persülfat (ml) + 6,54 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 39 UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	75,939	0,921	82,50	0,000	
Süre	9,97	1,03	9,69	0,000	1,00
UV	9,02	1,03	8,77	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	9,20	1,03	8,94	0,000	1,00
Fe+2	6,54	1,03	6,36	0,000	1,00

Tablo 40 UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için model özeti

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
5,04189	92,09%	90,82%	88,66%

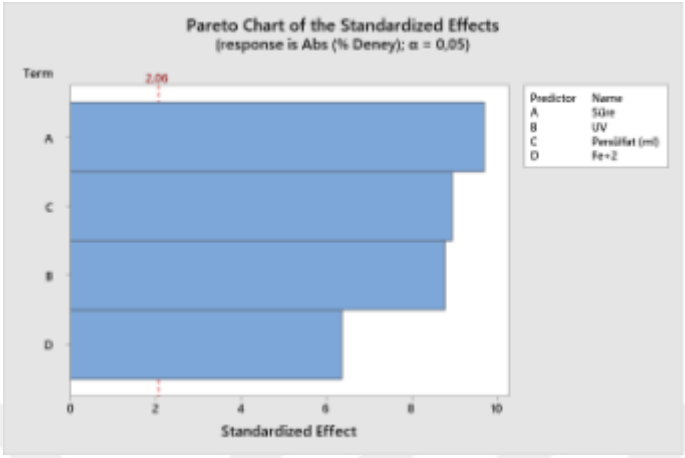
Varyans Analizi:

Tablo 41 UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	7399,10	1849,77	72,77	0,000
Süre	1	2385,53	2385,53	93,84	0,000
UV	1	1954,74	1954,74	76,90	0,000
H_2O_2 (ml)	1	2031,52	2031,52	79,92	0,000
Fe+2	1	1027,31	1027,31	40,41	0,000
Error	25	635,52	25,42		
Lack-of-Fit	20	626,14	31,31	16,69	0,003

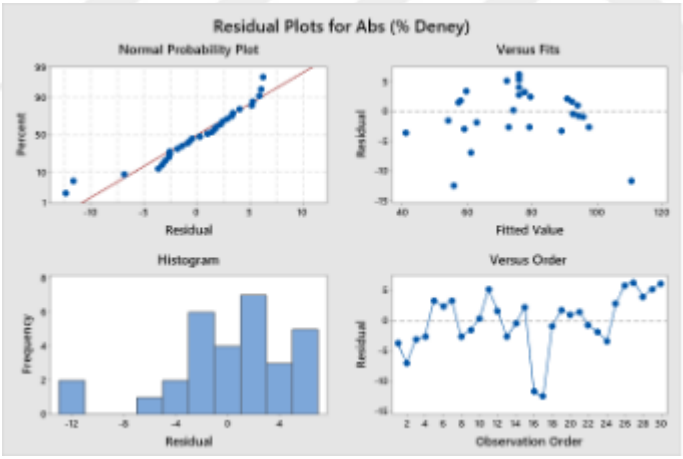
Hata	5	9,38	1,88		
Toplam	29	8034,62			

Pareto Grafiği:



Şekil 43. UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği

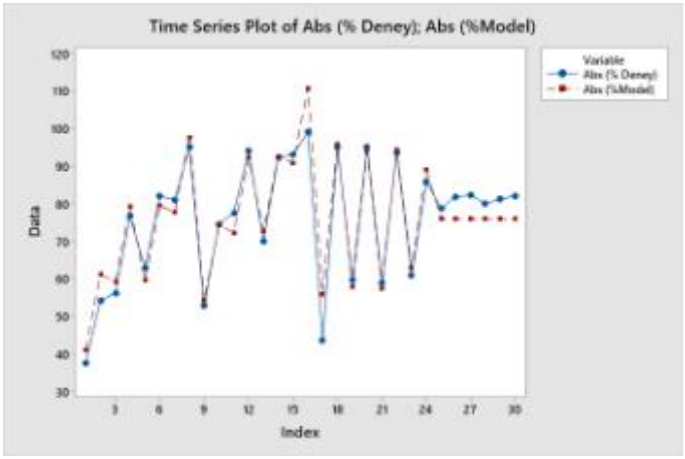
ABS veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, Persülfat miktarı, UV gücü ve demir miktarıdır.



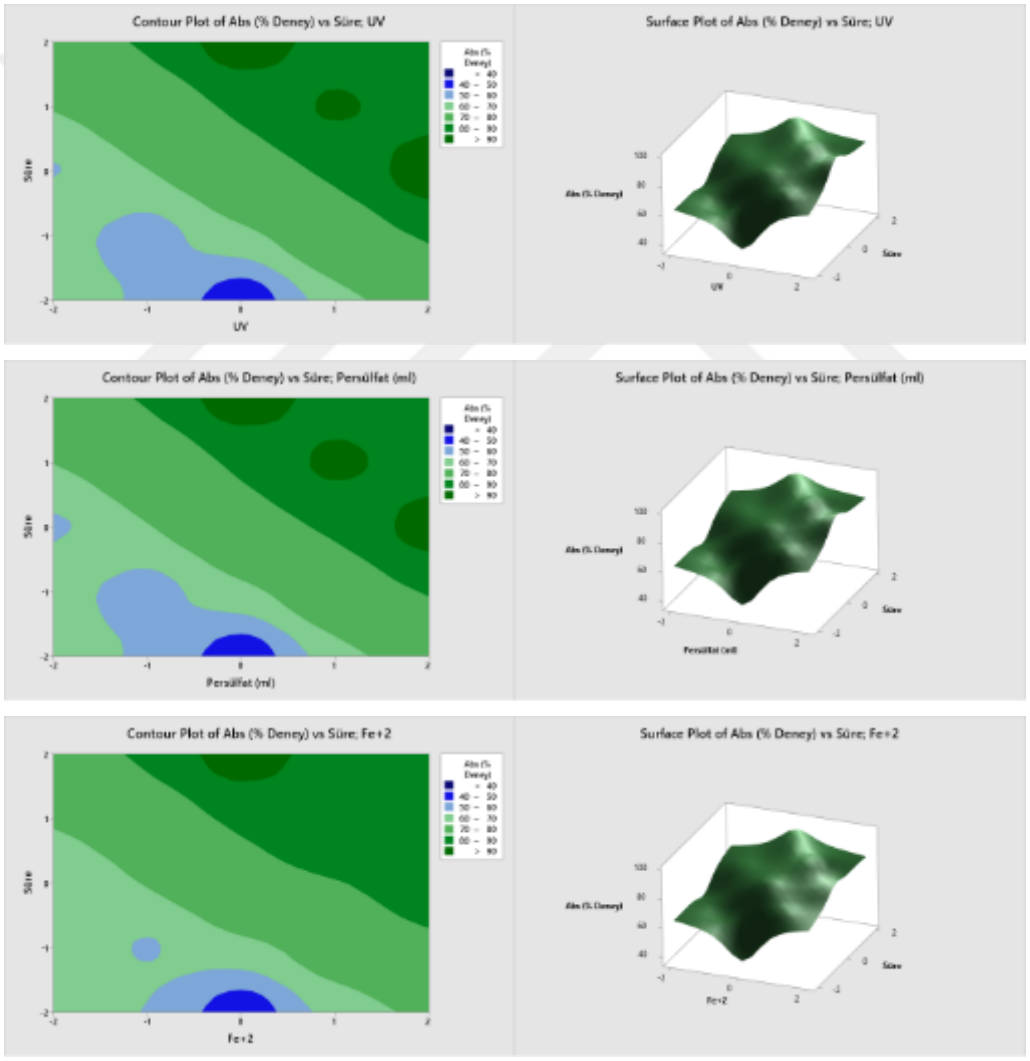
Şekil 44. UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

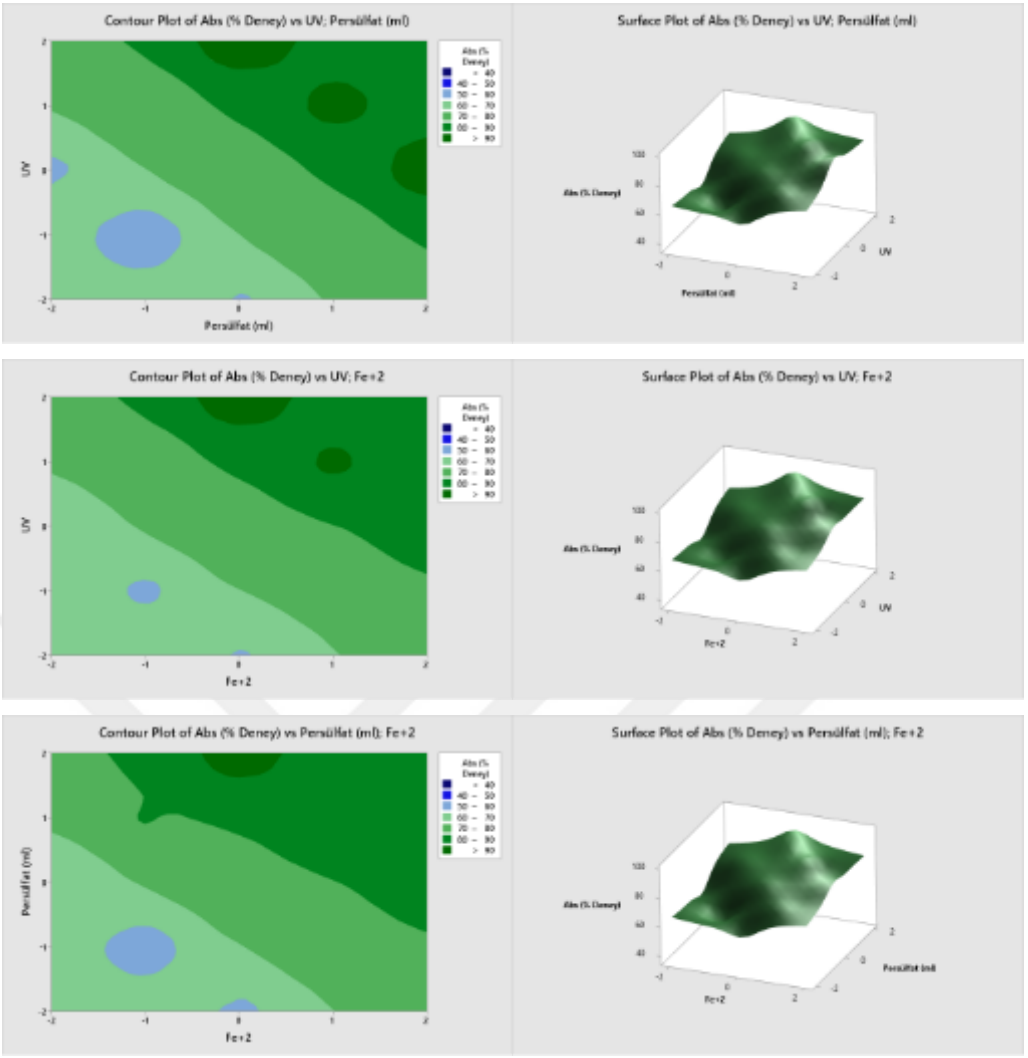
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 45. UV/Persülfat prosesinde ABS giderimi için zaman serisi Grafiği





Şekil 46. UV/Persülfat prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

ABS verimi	**%70**
UV gücü/Süre	*PS miktarı/Süre*
20watt/30dk- 30watt/15dk	1ml/30dk-1,5ml/15dk
UV gücü/PS miktarı	*Demir miktarı/Süre*
20watt/1,5ml- 40watt/1ml	4g/30dk-6g/10dk

UV gücü/Demir miktarı	*PS miktarı/Demir miktarı*
20watt/6g-40watt/4g	2ml/4g-1ml/6g

8.3.3 UV254 Giderimi

Regresyon Denklemi:

UV254 (%) = 49,706 + 6,569 Süre + 5,643 UV + 5,532 Persülfat (ml) + 4,244 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 42 UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	49,706	0,480	103,58	0,000	
Süre	6,569	0,537	12,24	0,000	1,00
UV	5,643	0,537	10,52	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	5,532	0,537	10,31	0,000	1,00
Fe+2	4,244	0,537	7,91	0,000	1,00

Tablo 43 UV/ Persülfat prosesinde UV254 giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9450 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,62841	94,50%	93,62%	92,07%

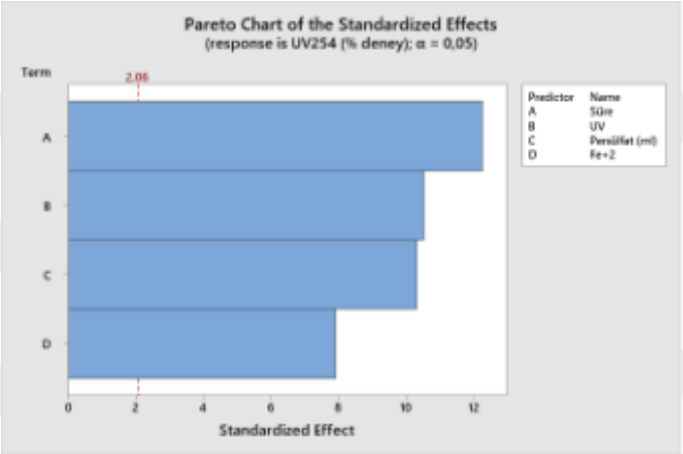
Varyans Analizi:

Tablo 44 UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	2966,30	741,58	107,34	0,000
Süre	1	1035,54	1035,54	149,89	0,000
UV	1	764,16	764,16	110,61	0,000

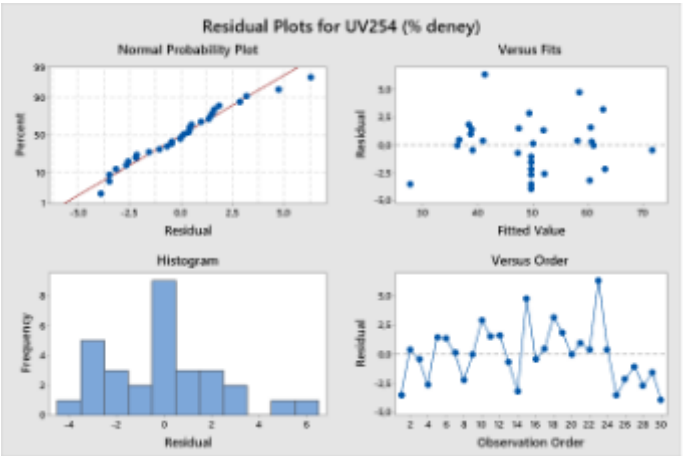
H_2O_2 (ml)	1	734,38	734,38	106,30	0,000
Fe+2	1	432,23	432,23	62,56	0,000
Error	25	172,71	6,91		
Lack-of-Fit	20	166,60	8,33	6,81	0,021
Hata	5	6,12	1,22		
Toplam	29	3139,01			

Pareto Grafiği:



Şekil 47. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği

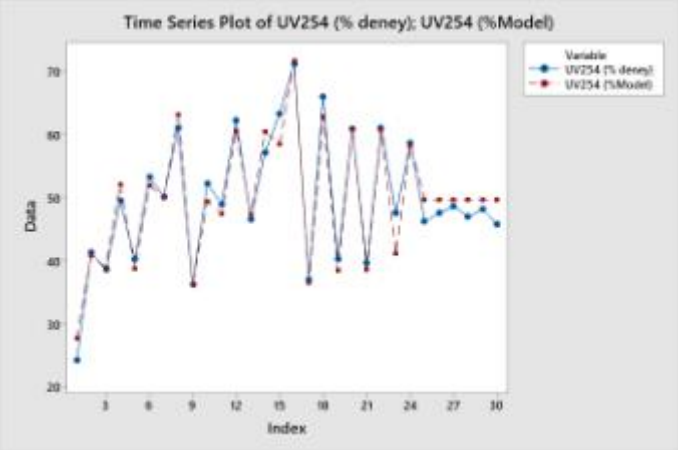
UV254 veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre Süre, UV etkisi, Persülfat miktarı ve demir miktarıdır.



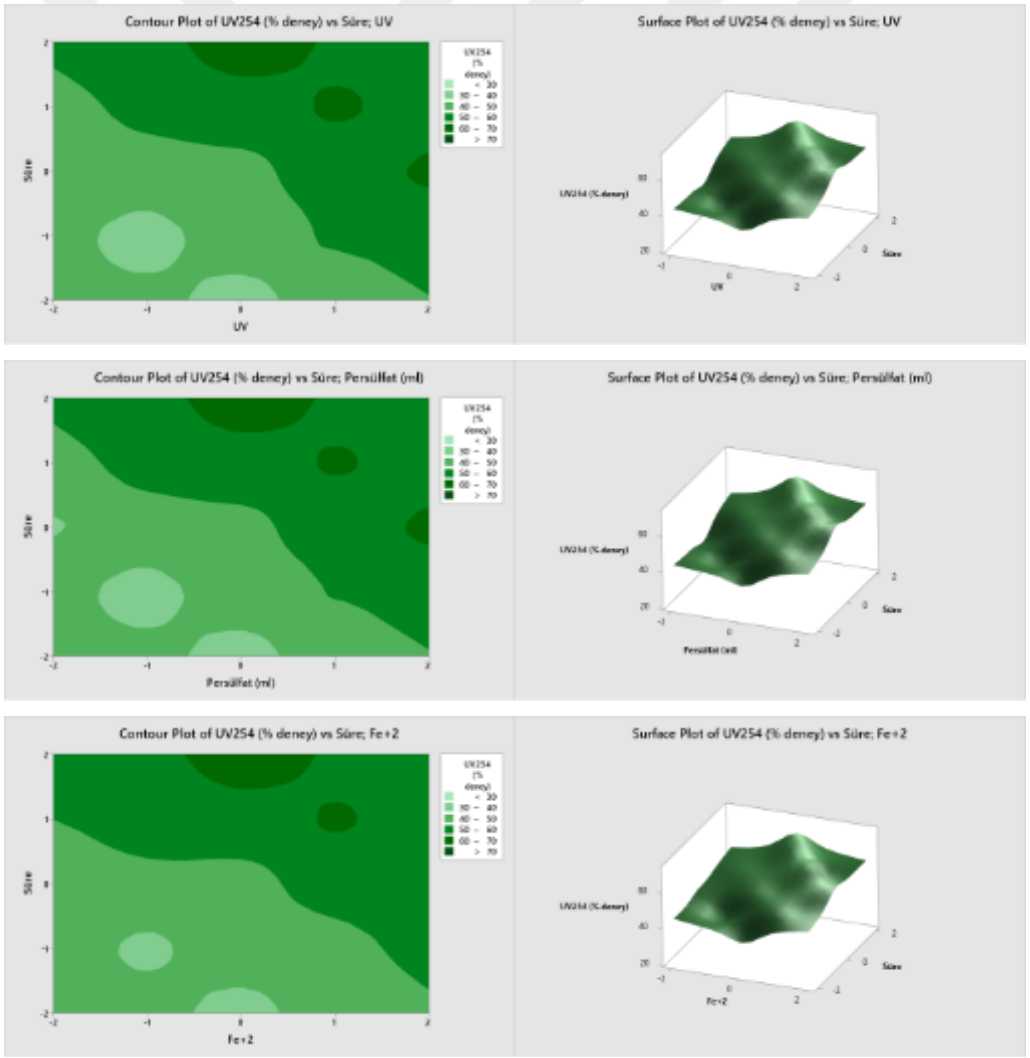
Şekil 48. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği

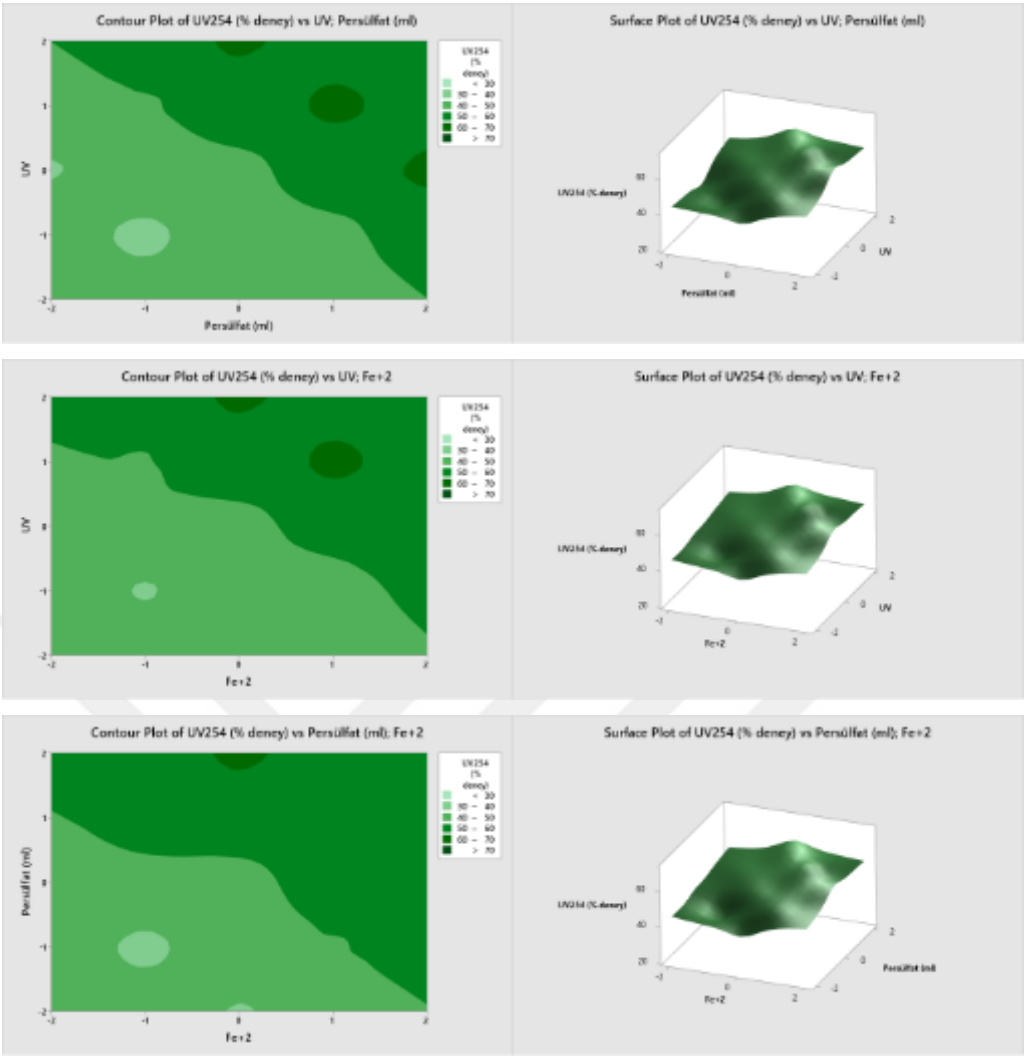
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 49. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği





Şekil 50. UV/Persülfat prosesinde UV254 giderimi kontür grafikler

UV254 verimi	**>%99**
UV gücü/Süre	*PS miktarı/Süre*
20watt/10dk-40watt/5dk	2ml/5dk-1ml/10dk
UV gücü/PS miktarı	*Demir miktarı/Süre*
20watt/2ml-40watt/1ml	8g/5dk-4g/10dk
UV gücü/Demir miktarı	*PS miktarı/Demir miktarı*
20watt/8g-40watt/4g	2ml/4g-6ml/1,5g

8.3.4 Renk Giderimi

Regresyon Denklemi:

Renk(%) = 82,137 + 7,738 Süre + 5,735 UV
+ 7,059 Persülfat (ml) + 3,987 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 45 UV/Persülfat prosesinde renk giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	82,137	0,594	138,20	0,000	
Süre	7,738	0,664	11,65	0,000	1,00
UV	5,735	0,664	8,63	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	7,059	0,664	10,62	0,000	1,00
Fe+2	3,987	0,664	6,00	0,000	1,00

Tablo 46 UV/Persülfat prosesinde renk giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9349 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
3,25524	93,49%	92,45%	90,71%

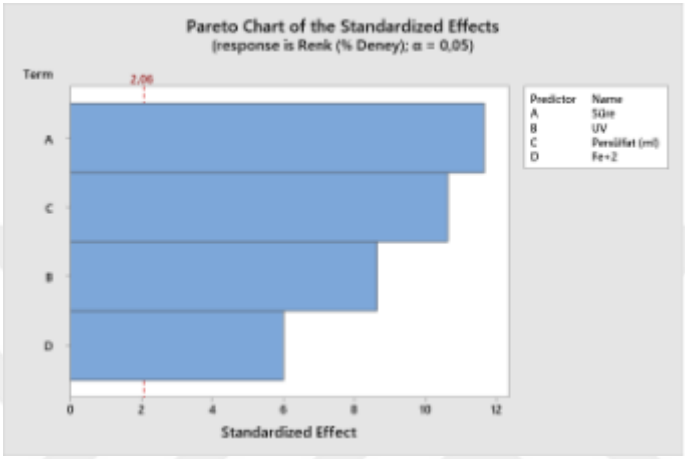
Varyans Analizi:

Tablo 47 UV/Persülfat prosesinde renk giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	3803,72	950,93	89,74	0,000
Süre	1	1437,10	1437,10	135,62	0,000
UV	1	789,27	789,27	74,48	0,000
H_2O_2 (ml)	1	1195,78	1195,78	112,85	0,000

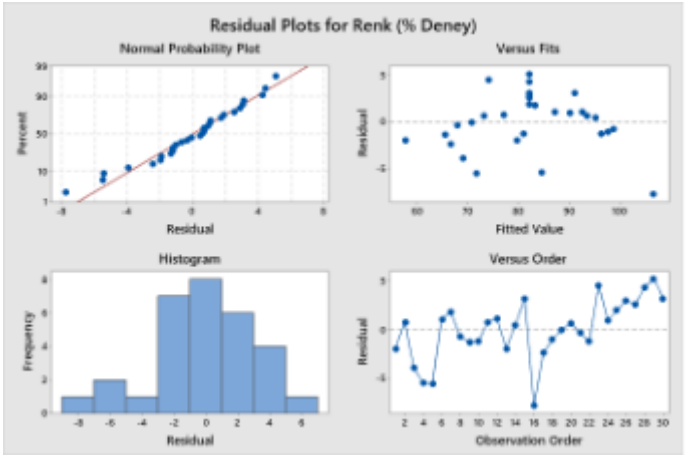
Fe+2	1	381,57	381,57	36,01	0,000
Error	25	264,92	10,60		
Lack-of-Fit	20	257,96	12,90	9,27	0,011
Hata	5	6,96	1,39		
Toplam	29	4068,64			

Pareto Grafiği:



Şekil 51. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği

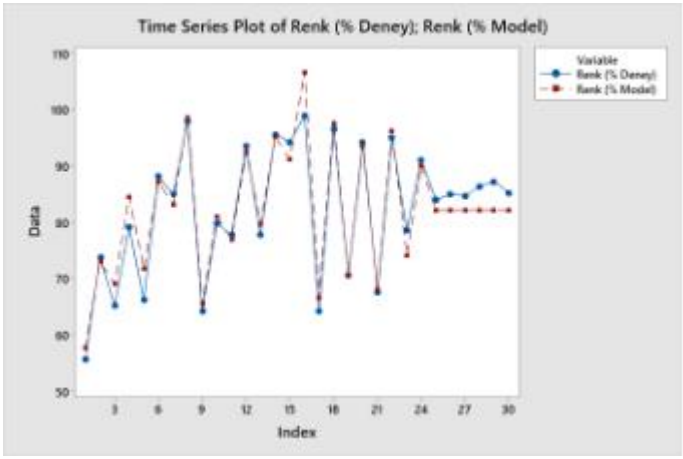
Renk veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, Persülfat miktarı, UV ve demir miktarıdır.



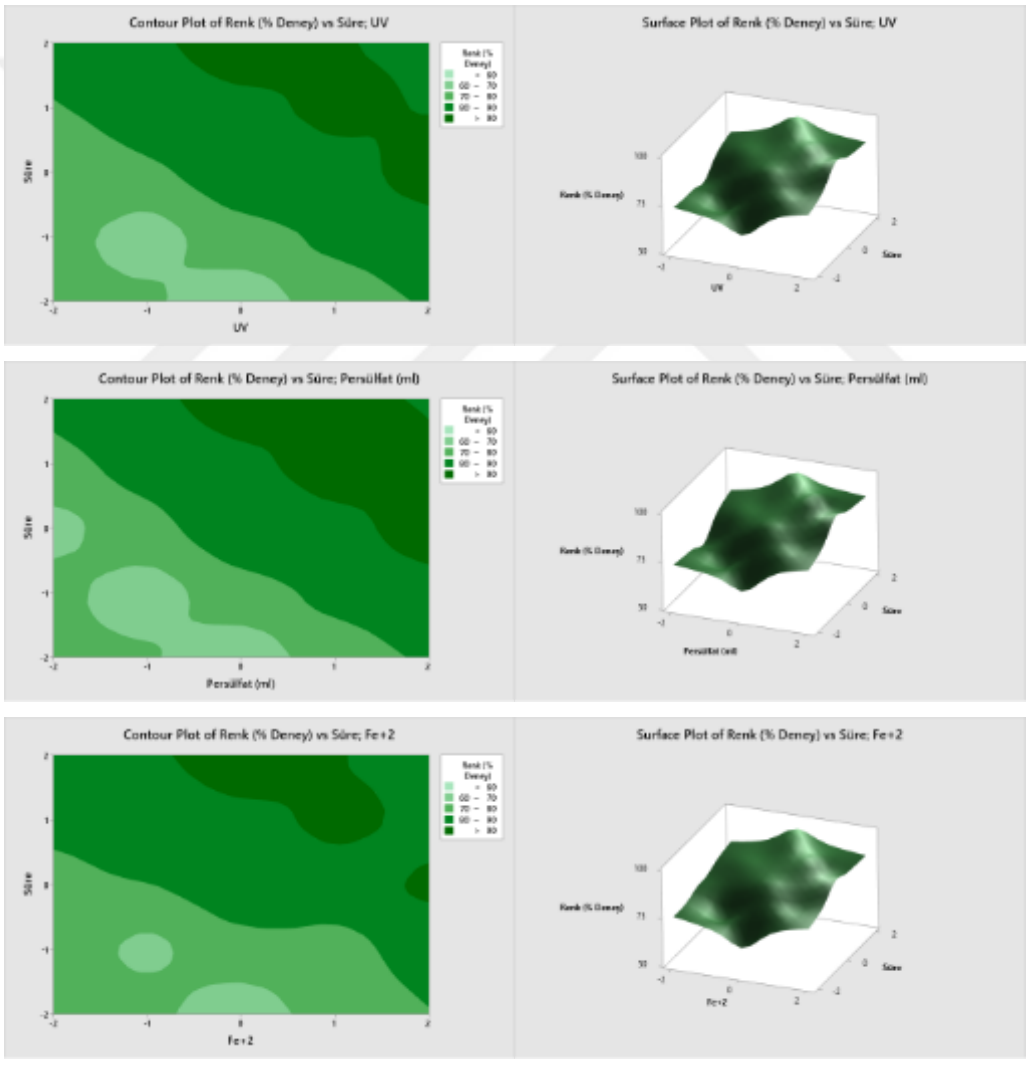
Şekil 52. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

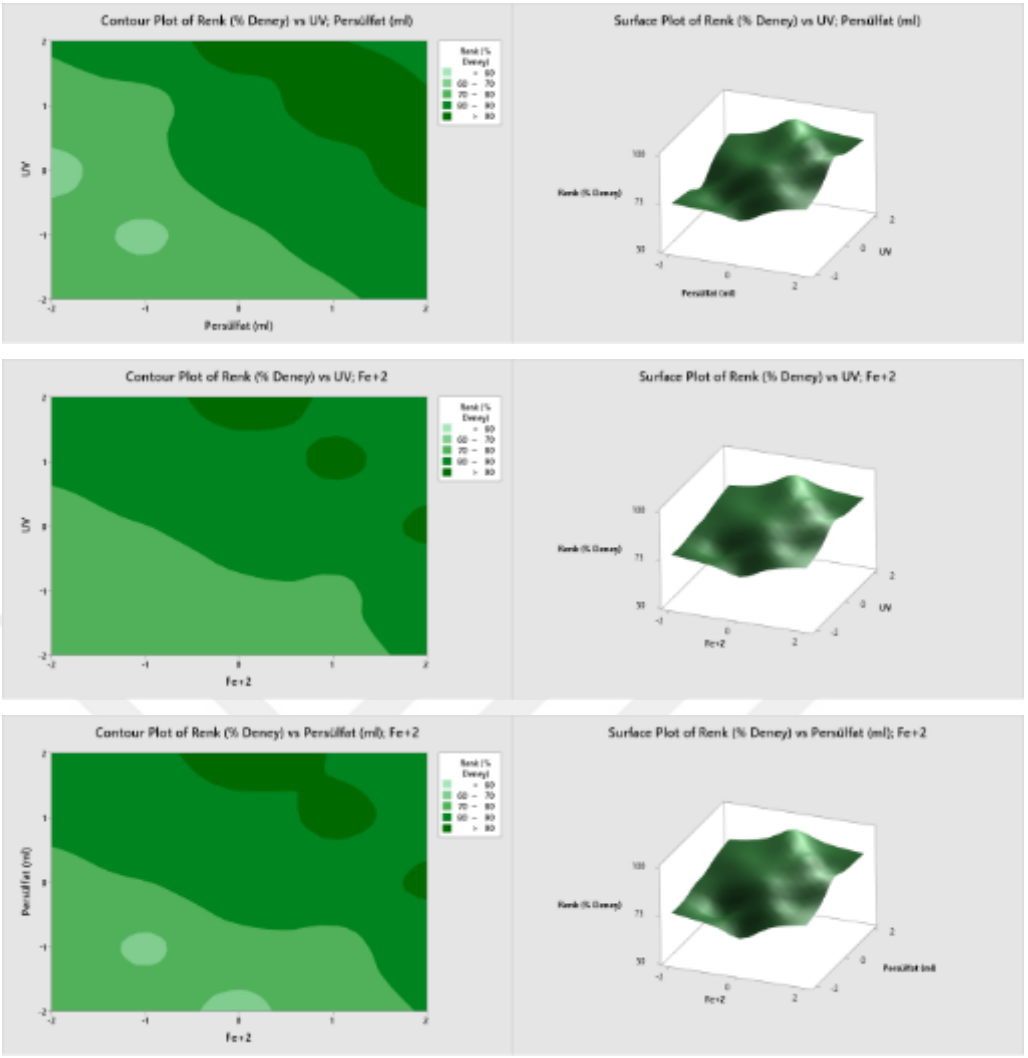
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder



Şekil 53. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi zaman serisi Grafiği





Şekil 54. UV/Persülfat prosesinde renk giderimi kontür grafikler

Renk verimi	**%70**
UV gücü/Süre	*PS miktarı/Süre*
20watt/30dk- 30watt/15dk	1ml/30dk-1,5ml/15dk
UV gücü/PS miktarı	*Demir miktarı/Süre*
20watt/1,5ml- 40watt/1ml	4g/30dk-6g/10dk
UV gücü/Demir miktarı	*PS miktarı/Demir miktarı*

20watt/6g-40watt/4g	2ml/4g-1ml/6g

8.4 UV/Fenton Prosesi Giderim Verileri

UV/Fenton çalışması sonucuna elde edilen numunelerin ABS, UV254, renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda giderim sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuçlar bu bölümde yer almaktadır. UV/Fenton prosesi deneysel tasarım verileri ile çalışmalar gerçekleştirilmiş olup buna dayalı verilerle hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlarla giderim verimleri tablo 47'de yer almaktadır.

Tablo 48 UV/Fenton Deneysel Çalışma Giderim Verileri

Süre	UV	H_2O_2 (ml)	Fe+2	KOİ (%)	ABS (%)	UV254 (%)	Renk (%)
-1	-1	-1	-1	44,3	42,4	39,6	56,3
1	-1	-1	-1	57,7	55,4	52,3	61,6
-1	1	-1	-1	59,4	52,4	51,7	63,1
1	1	-1	-1	66,3	67,5	62,4	80,0
-1	-1	1	-1	57,4	59,6	51,4	61,4
1	-1	1	-1	60,3	70,4	54,8	72,6
-1	1	1	-1	61,3	70,3	50,4	72,3
1	1	1	-1	72,9	83,7	65,9	84,6
-1	-1	-1	1	48,1	44,4	44,7	59,6
1	-1	-1	1	58,7	59,6	54,6	71,4
-1	1	-1	1	60,0	57,6	55,4	75,9

1	1	-1	1	69,7	72,3	60,0	84,0
-1	-1	1	1	55,6	62,3	49,6	70,0
1	-1	1	1	67,8	74,6	61,1	80,1
-1	1	1	1	68,4	72,4	62,8	81,3
1	1	1	1	77,7	81,3	69,6	94,1
-2	0	0	0	52,2	53,7	42,4	62,2
2	0	0	0	70,1	74,7	62,6	82,7
0	-2	0	0	51,4	53,5	44,3	61,3
0	2	0	0	71,6	79,0	64,5	84,3
0	0	-2	0	54,6	56,6	45,7	64,3
0	0	2	0	68,4	80,1	65,0	76,5
0	0	0	-2	57,6	62,4	54,3	64,3
0	0	0	2	59,7	66,3	56,3	80,0
0	0	0	0	60,6	65,0	55,3	77,7
0	0	0	0	60,3	64,4	53,7	76,2
0	0	0	0	63,5	70,0	52,4	77,0
0	0	0	0	62,6	71,3	54,7	75,0
0	0	0	0	63,3	66,4	55,1	72,7

0	0	0	0	63,0	67,7	55,3	75,5

8.4.1 KOİ Giderimi

Regresyon Denklemi:

KOİ (%) = 61,465 + 4,684 Süre + 5,260 UV + 3,529 H_2O_2 (ml) + 1,274 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 49 UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	61,465	0,345	177,95	0,000	
Süre	4,684	0,386	12,13	0,000	1,00
UV	5,260	0,386	13,62	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	3,529	0,386	9,14	0,000	1,00
Fe+2	1,274	0,386	3,30	0,003	1,00

Tablo 50 UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9447 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
1,89187	94,47%	93,58%	91,75%

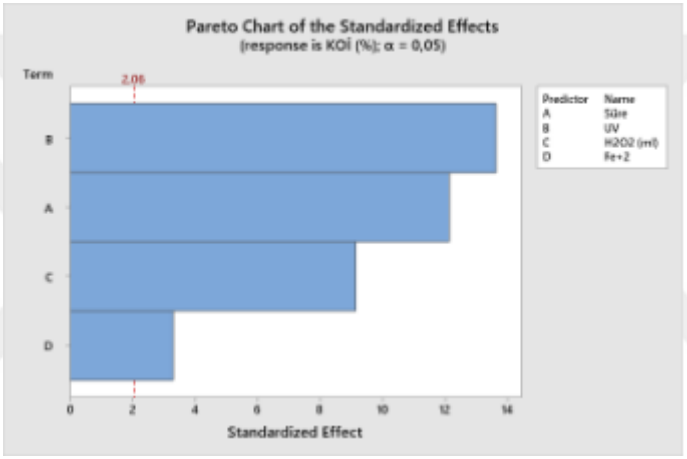
Varyans Analizi:

Tablo 51 UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	1528,28	382,070	106,75	0,000
Süre	1	526,60	526,604	147,13	0,000

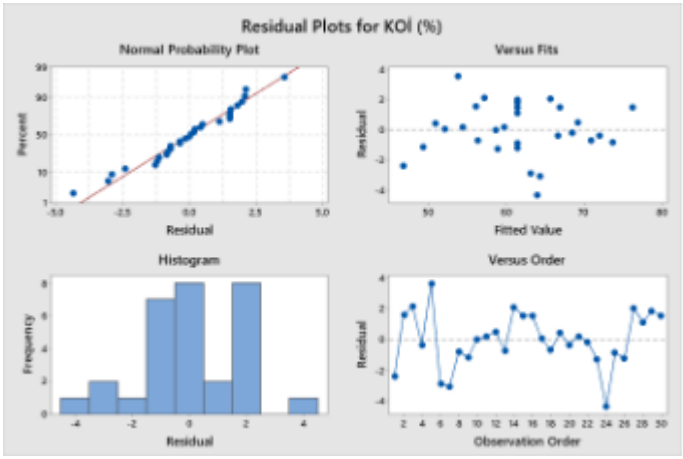
UV	1	663,93	663,933	185,50	0,000
H_2O_2 (ml)	1	298,81	298,811	83,49	0,000
Fe+2	1	38,93	38,931	10,88	0,003
Error	25	89,48	3,579		
Lack-of-Fit	20	79,63	3,981	2,02	0,224
Hata	5	9,85	1,970		
Toplam	29	1617,76			

Pareto Grafiği:



Şekil 55. UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Pareto Grafiği

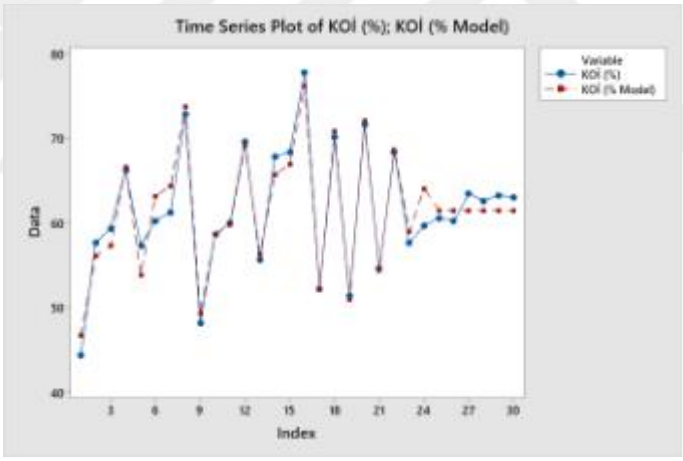
KOİ arıtımı veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre UV etkisi, süre, H_2O_2 miktarı ve demir miktarıdır.



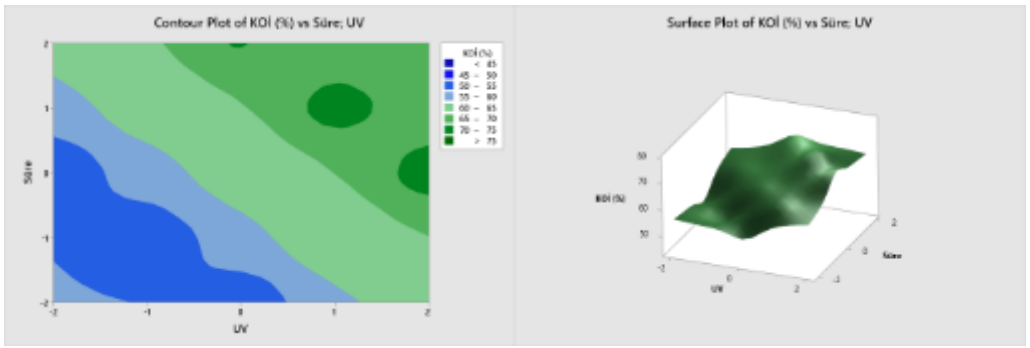
Şekil 56. UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

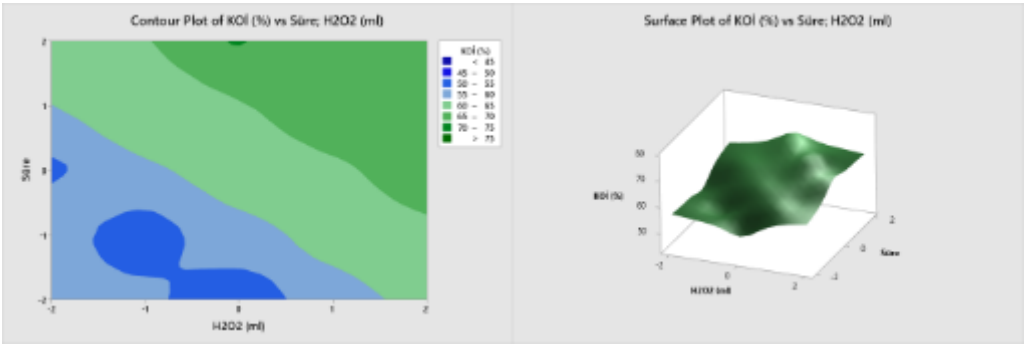
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

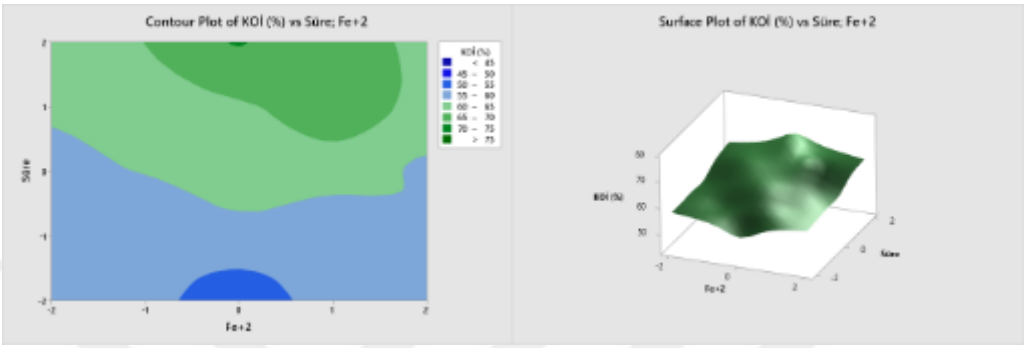
Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.

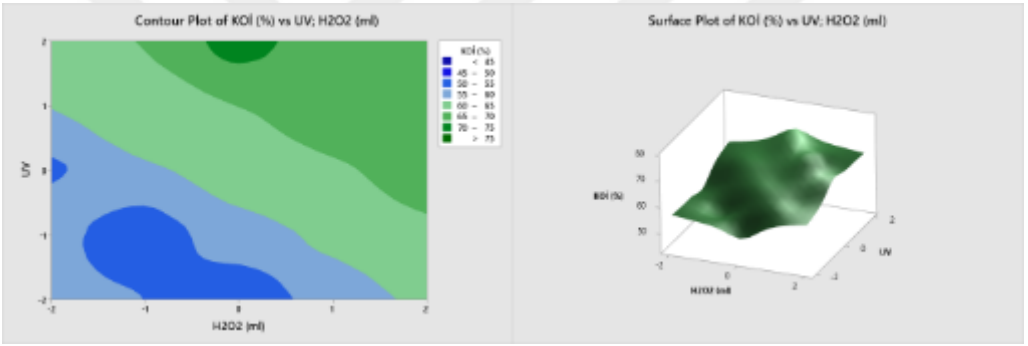


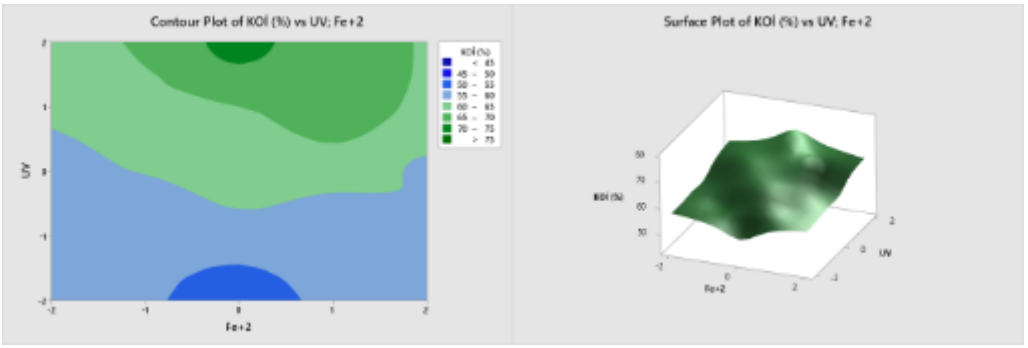
Şekil 57. UV/Fenton prosesinde KOİ giderimi için zaman serisi Grafiği

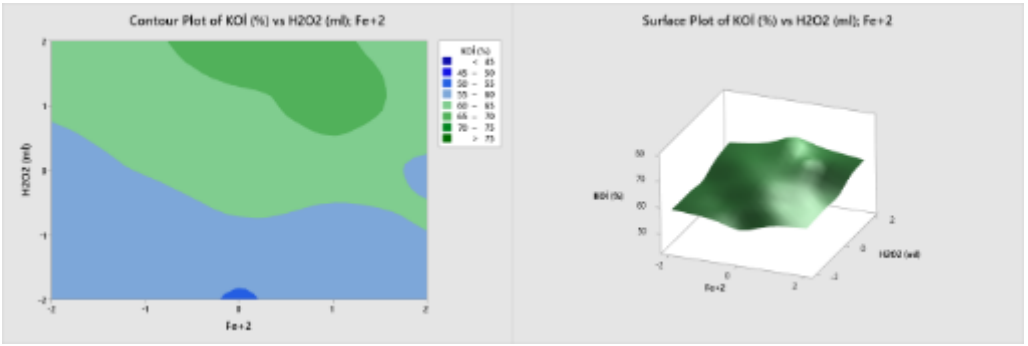



Contour Plot of KOİ (%) vs Süre; H2O2 (ml)
Surface Plot of KOİ (%) vs Süre; H2O2 (ml)
Süre
H2O2 (ml)
KOİ (%)


Contour Plot of KOİ (%) vs Süre; Fe+2
Surface Plot of KOİ (%) vs Süre; Fe+2
Süre
Fe+2
KOİ (%)


Contour Plot of KOİ (%) vs UV; H2O2 (ml)
Surface Plot of KOİ (%) vs UV; H2O2 (ml)
UV
H2O2 (ml)
KOİ (%)


Contour Plot of KOİ (%) vs UV; Fe+2
Surface Plot of KOİ (%) vs UV; Fe+2
UV
Fe+2
KOİ (%)


Contour Plot of KOİ (%) vs H2O2 (ml); Fe+2
Surface Plot of KOİ (%) vs H2O2 (ml); Fe+2
H2O2 (ml)
Fe+2
KOİ (%)

Şekil 58. UV/Fenton prosesiyle KOİ giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

KOİ verimi	**%75**
UV gücü/Süre	*H_2O_2 miktarı/Süre*
20watt/45dk-30watt/15dk	12ml/45dk-12ml/20dk
UV gücü/ H_2O_2 miktarı	*Demir miktarı/Süre*
20watt/24ml-40watt/12ml	8g/45dk-12g/15dk
UV gücü/Demir miktarı	*H_2O_2 miktarı/Demir miktarı*
20watt/8g-40watt/8g	24ml/8g-12ml/16g

8.4.2 ABS Giderimi

Regresyon Denklemi:

ABS (%) = 65,227 + 6,061 Süre + 5,831 UV + 7,078 H_2O_2 (ml) + 1,275 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 52 UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için katsayılar

Term	**Katsayı**	**SE Katsayı**	**T-Değer**	**P-Değer**	**VIF**
Sabit	65,227	0,488	133,72	0,000	
Süre	6,061	0,545	11,11	0,000	1,00
UV	5,831	0,545	10,69	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	7,078	0,545	12,98	0,000	1,00

Fe+2	1,275	0,545	2,34	0,028	1,00

Tablo 53 UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9428 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

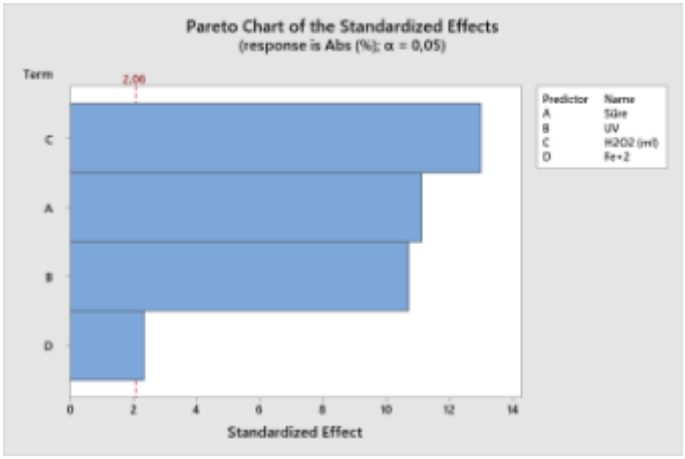
S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,67172	94,28%	93,36%	92,13%

Varyans Analizi:

Tablo 54 UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için varyans analizi

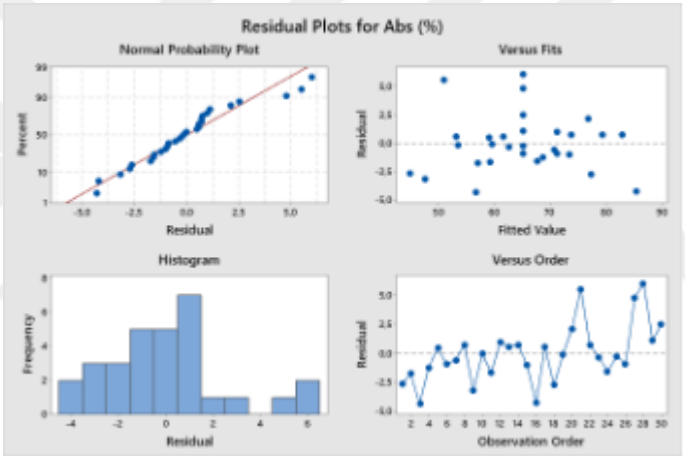
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	2938,96	734,74	102,93	0,000
Süre	1	881,67	881,67	123,52	0,000
UV	1	816,11	816,11	114,33	0,000
H_2O_2 (ml)	1	1202,20	1202,20	168,42	0,000
Fe+2	1	38,99	38,99	5,46	0,028
Error	25	178,45	7,14		
Lack-of-Fit	20	140,47	7,02	0,92	0,600
Hata	5	37,98	7,60		
Toplam	29	3117,41			

Pareto Grafiği:



Şekil 59. UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için Pareto Grafiği

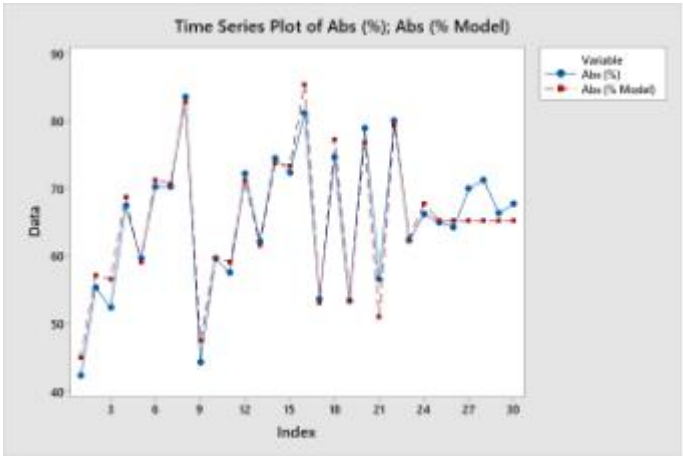
ABS arıtımı veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, UV etkisi, H_2O_2 miktarı ve demir miktarıdır.



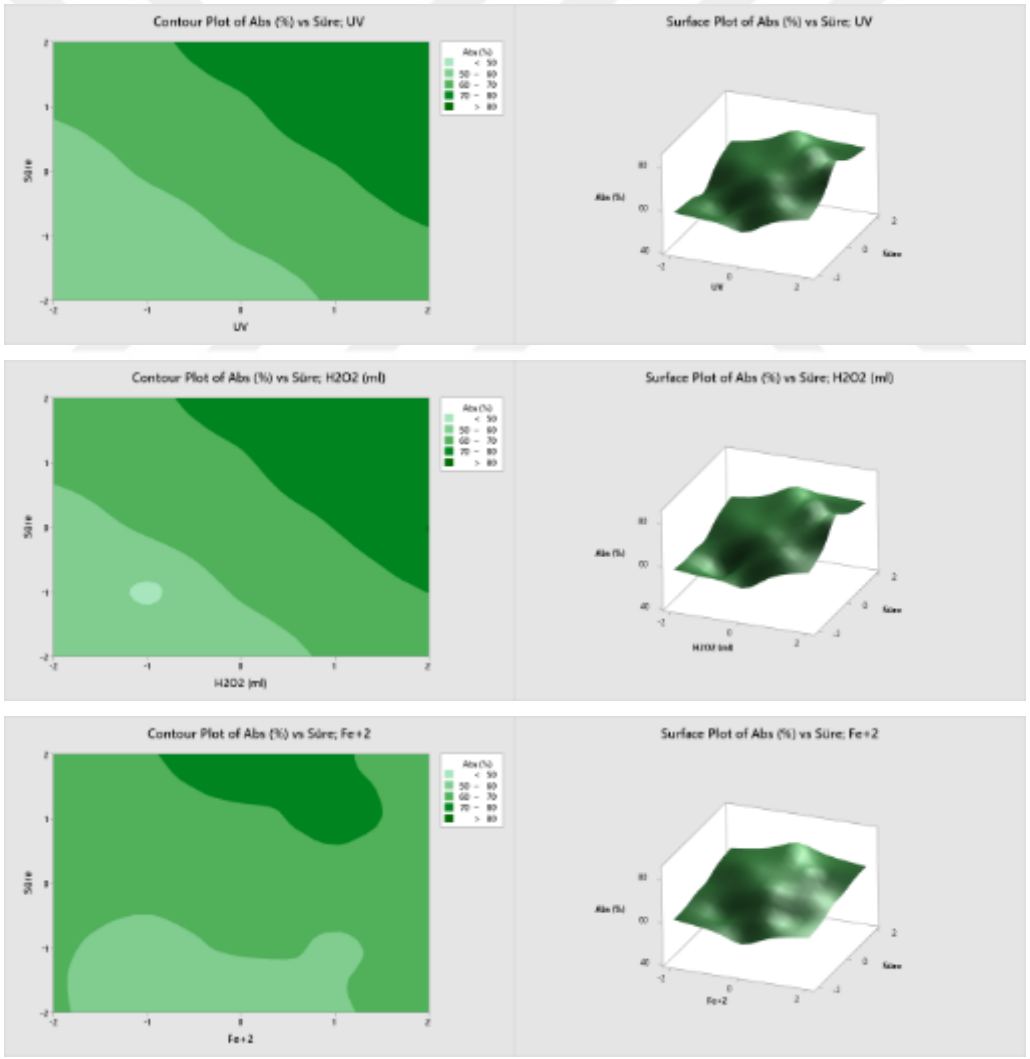
Şekil 60. UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

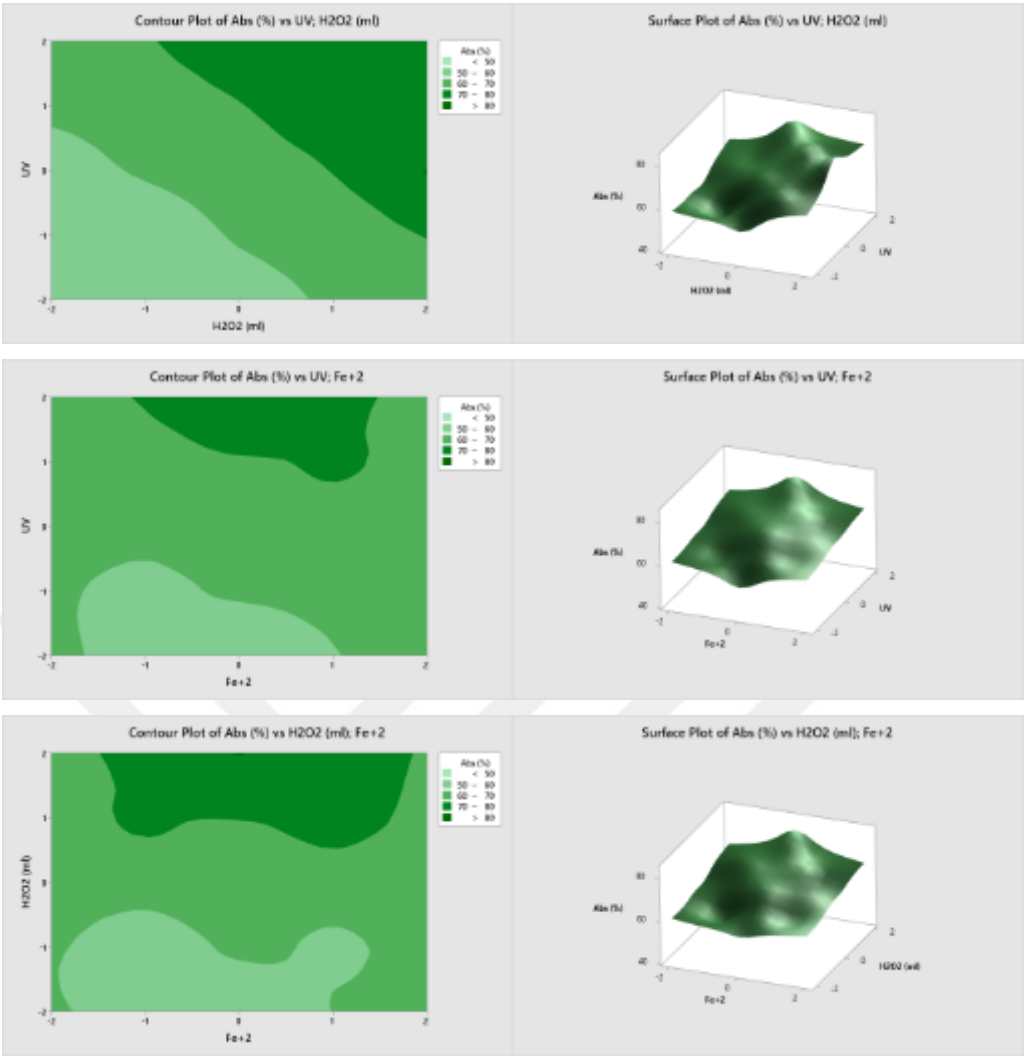
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 61. UV/Fenton prosesinde ABS giderimi için zaman serisi Grafiği





Şekil 62. UV/Fenton prosesiyle ABS giderimi için kontur ve üç boyutlu yüzey grafikleri

ABS verimi	**%90**
UV gücü/Süre	*H_2O_2 miktarı/Süre*
20watt/45dk- 30watt/15dk	12ml/45dk-24ml/15dk
UV gücü/ H_2O_2 miktarı	*Demir miktarı/Süre*
20watt/24ml- 40watt/12ml	8g/45dk-8g/20dk

UV gücü/Demir miktarı	*H_2O_2 miktarı/Demir miktarı*
20watt/12g-40watt/8g	24ml/8g-12ml/12g

8.4.3 UV254 Giderimi

Regresyon Denklemi:

UV254 (%) = 54,919 + 4,816 Süre + 4,601 UV + 3,489 H_2O_2 (ml) + 1,393 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 55 UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	54,919	0,450	122,05	0,000	
Süre	4,816	0,503	9,57	0,000	1,00
UV	4,601	0,503	9,14	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	3,489	0,503	6,94	0,000	1,00
Fe+2	1,393	0,503	2,77	0,010	1,00

Tablo 56 UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için model özeti

R-kare değeri 0,9023 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,46465	90,23%	88,67%	85,01%

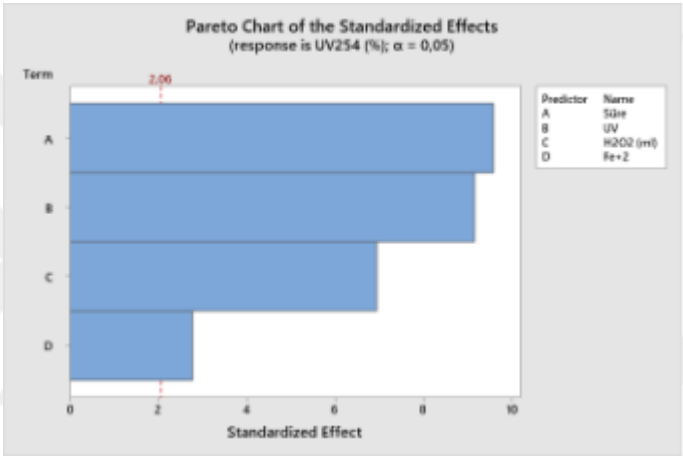
Varyans Analizi:

Tablo 57 UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için varyans analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	1403,28	350,821	57,75	0,000
Süre	1	556,56	556,562	91,62	0,000

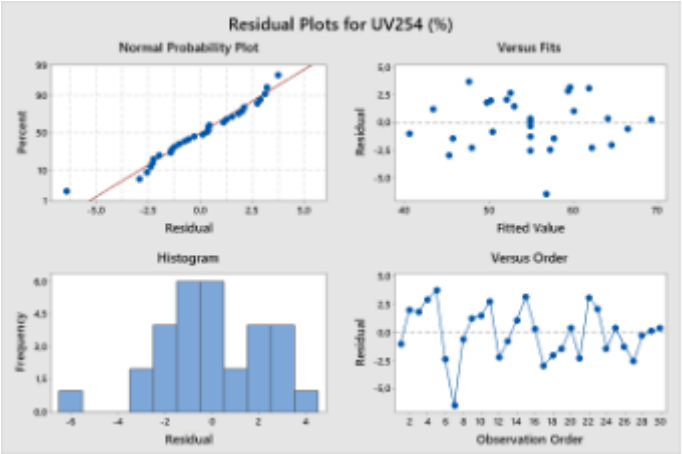
UV	1	507,95	507,954	83,62	0,000
H_2O_2 (ml)	1	292,17	292,169	48,10	0,000
Fe+2	1	46,60	46,600	7,67	0,010
Error	25	151,86	6,074		
Lack-of-Fit	20	145,10	7,255	5,37	0,036
Hata	5	6,76	1,352		
Toplam	29	1555,15			

Pareto Grafiği:



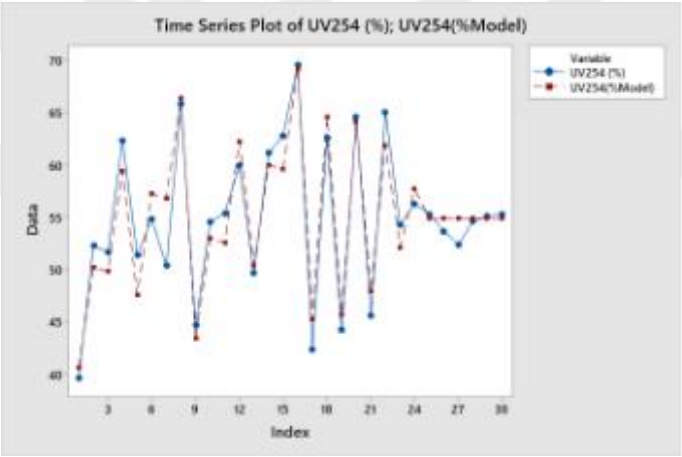
Şekil 63. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Pareto Grafiği

UV254 veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, UV etkisi, H_2O_2 miktarı ve demir miktarıdır.

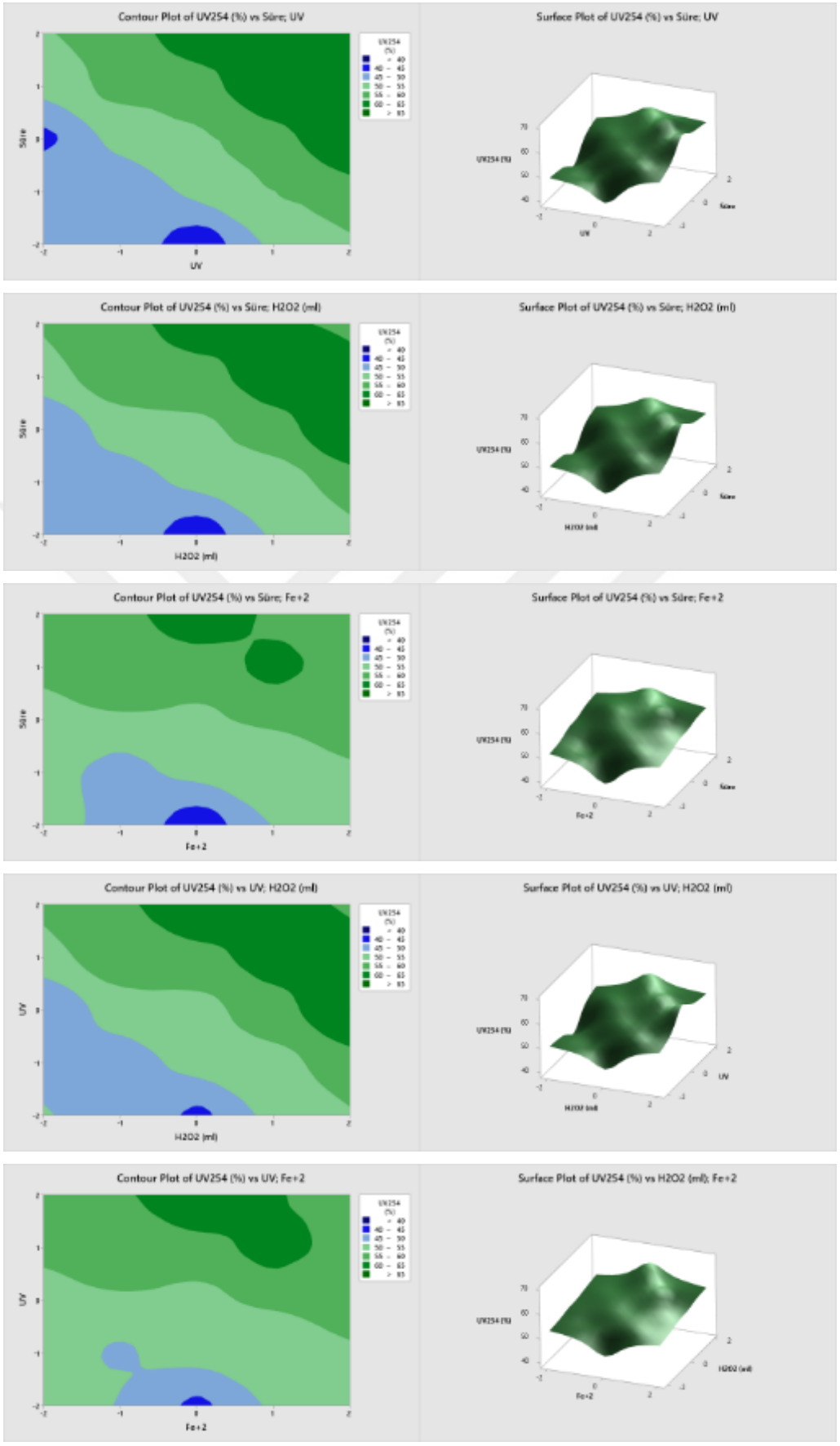


Şekil 64. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için Uyum-Sonuç Grafiği

Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir. Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 65. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi için zaman serisi grafiği



Şekil 66. UV/Fenton prosesinde UV254 giderimi kontür grafikler

UV254 verimi	%65
UV gücü/Süre	*H_2O_2 miktarı/Süre*
20watt/45dk-15watt/30dk	12ml/45dk-16ml/15dk
UV gücü/ H_2O_2 miktarı	*Demir miktarı/Süre*
30watt/16ml-40watt/12ml	8g/45dk-12g/15dk
UV gücü/Demir miktarı	*H_2O_2 miktarı/Demir miktarı*
30watt/12g-40watt/8g	16ml/8g-12ml/12g

8.4.4 Renk Giderimi

Regresyon Denklemi:

Renk(%) = 73,258 + 5,393 Süre + 6,177 UV + 3,692 H_2O_2 (ml) + 4,002 Fe+2

Katsayılar:

Tablo 58 UV/Fenton prosesinde renk giderimi için katsayılar

Term	Katsayı	SE Katsayı	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	73,258	0,412	177,83	0,000	
Süre	5,393	0,461	11,71	0,000	1,00
UV	6,177	0,461	13,41	0,000	1,00
H_2O_2 (ml)	3,692	0,461	8,02	0,000	1,00
Fe+2	4,002	0,461	8,69	0,000	1,00

R-kare değeri 0,9481 değerindedir ve bu değer 1'e yakındır ve uygun kabul edilebilir.

Tablo 59 UV/Fenton prosesinde renk giderimi için model özeti

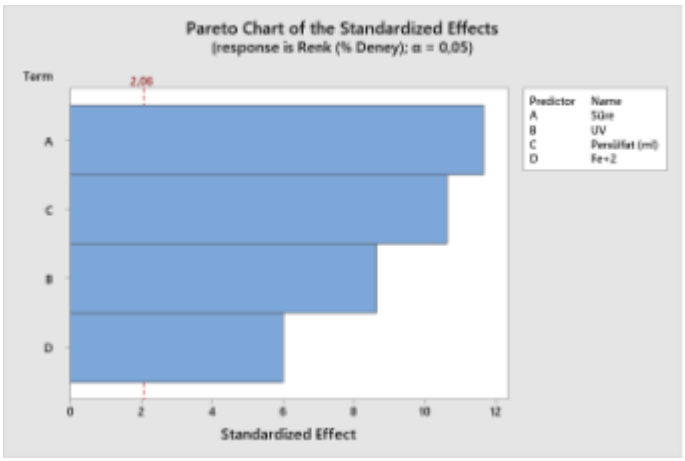
S	R-kare	R-kare(adj)	R-kare(pred)
2,25633	94,81%	93,98%	92,91%

Varyans Analizi:

Tablo 60 UV/Fenton prosesinde renk giderimi için varyans analizi

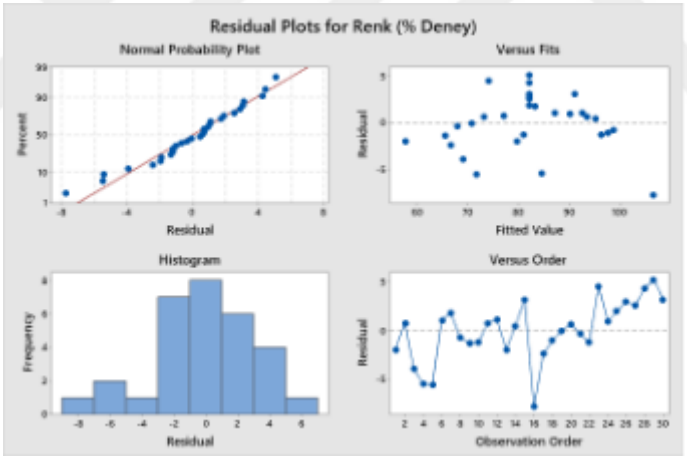
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Regresyon	4	2325,39	581,348	114,19	0,000
Süre	1	697,93	697,928	137,09	0,000
UV	1	915,83	915,829	179,89	0,000
H_2O_2 (ml)	1	327,21	327,213	64,27	0,000
Fe+2	1	384,42	384,423	75,51	0,000
Error	25	127,28	5,091		
Lack-of-Fit	20	111,66	5,583	1,79	0,270
Hata	5	15,61	3,123		
Toplam	29	2452,67			

Pareto Grafiği:



Şekil 67. UV/Fenton prosesinde renk giderimi için Pareto Grafiği

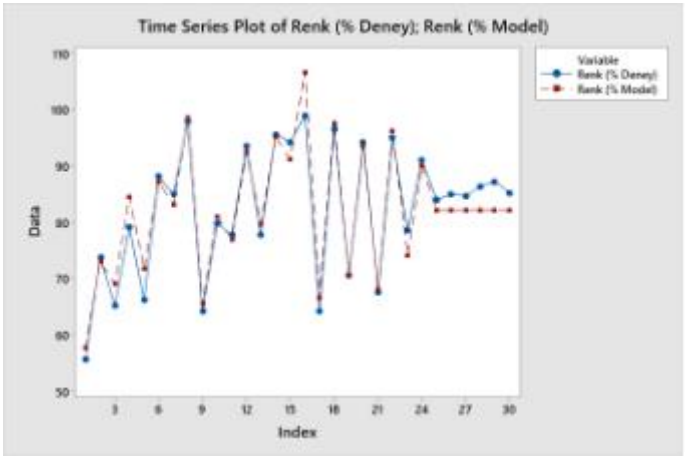
Renk veriminde standartlaştırılmış etkenden büyük olan parametreler öncelik sıralamasına göre süre, Persülfat miktarı, UV etkisi ve demir miktarıdır.



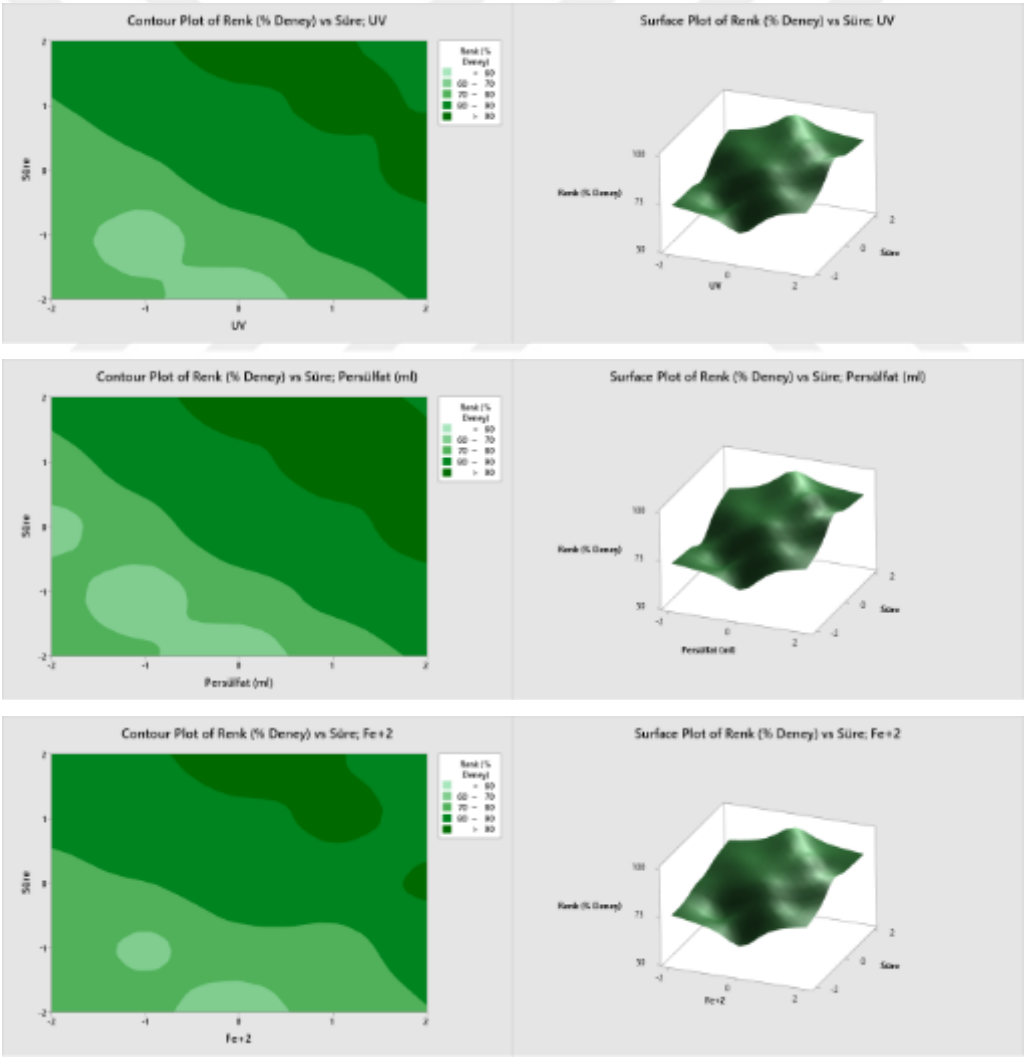
Şekil 68. UV/Fenton prosesinde renk giderimi için Sonuç-Uyum Grafiği

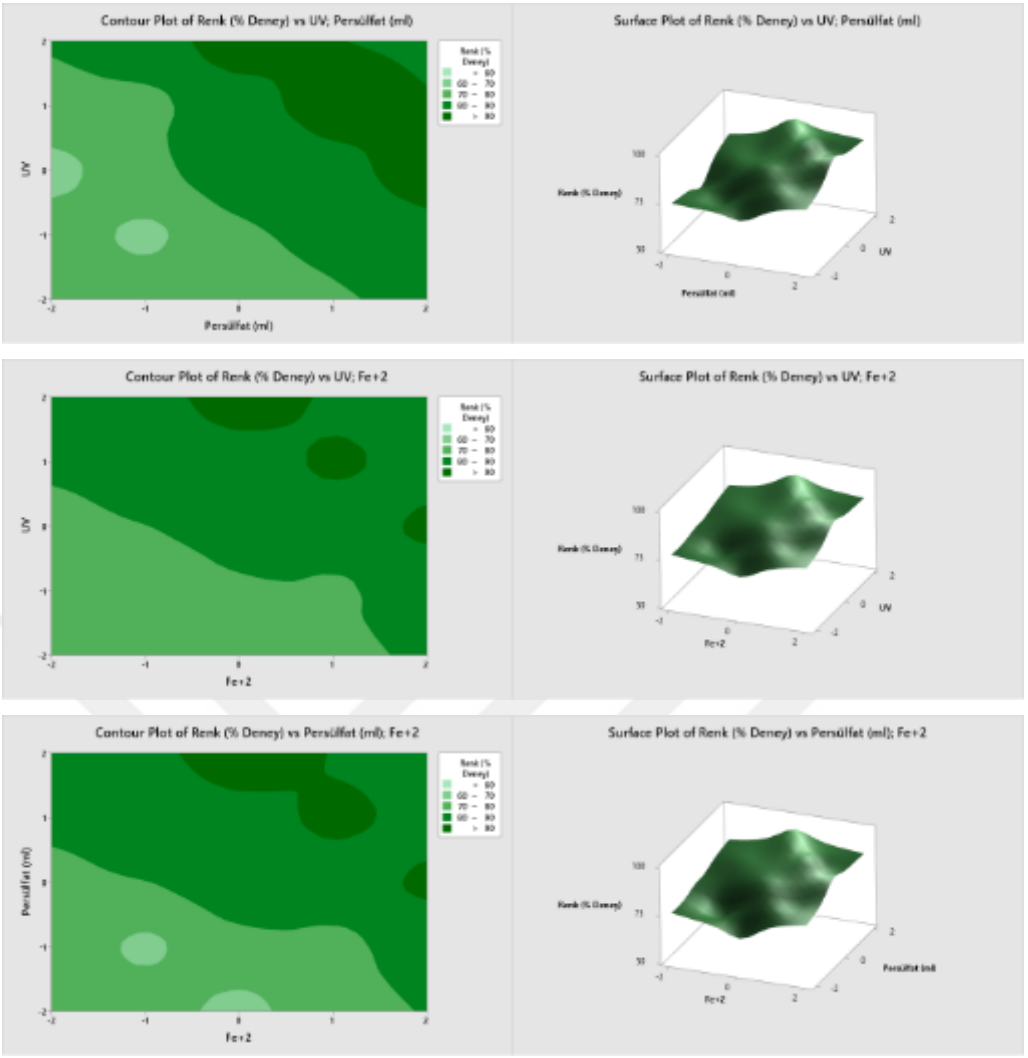
Burada mavi noktalar ile kırmızı çizgi üzerine teğet gelmiştir. Proseste sonuçların doğruluk payı yüksektir.

Noktaların düzensiz dağılmış olması, tanınabilecek bir model oluşmamasını ifade eder.



Şekil 69. UV/Fenton prosesinde renk giderimi zaman serisi Grafiği





Şekil 70. UV/Fenton prosesinde kontür grafikler

Renk verimi	**%90**
UV gücü/Süre	*H_2O_2 miktarı/Süre*
20watt/45dk- 40watt/15dk	8ml/45dk-16ml/15dk
UV gücü/ H_2O_2 miktarı	*Demir miktarı/Süre*
20watt/24ml- 40watt/12ml	8g/45dk-16g/15dk

UV gücü/Demir miktarı	*H_2O_2 miktarı/Demir miktarı*
20watt/24g-40watt/12g	24ml/8g-16ml/12g

9

SONUÇ

Günümüzde tekstil endüstrisi, tüm dünyada yaygın oduğu gibi stratejk konum açısından ülkemizde de popüler bir alandır. Fakat üretim kısmında proseslerin ve kimyasal yoğunluğun fazlalığı, tekstil sektörünün çevresel sürdürülebilirliğini kritikleştirmektedir (Yılmaz vd., 2024).

Tekstil endüstrisinin majör çevresel problemleri su kirliliğidir. Bilhassa boyama, yıkama ve apreleme işlemleri esnasında kimyasal oranı yüksek atıksu oluşur. Bu atıksular; renk, amonyum,AKM, BOİ, KOİ ve çeşitli toksik bileşenlerin kirlilik yüküne yüksektir (Kant, 2012). Bu parametrelerin, kapsadığı yönetmeliklerle standartlara uygun seviyelere düşürülmesi gerekir (Chung, 2016).

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemlerinin yetersiz kaldığı noktada, ileri arıtma proseslerine yönelinmektedir. IOP, yüksek reaktifliğe sahip hidroksil radikalleri aracılığıyla, kalıntı organik kirleticileri parçalar (Gogate & Pandit, 2004).

Tez kapsamında İOP türlerinden Md/Fenton, Md/Persülfat, UV/Fenton UV/Persülfat arıtma metodları çalışılmış olup tekstil endüstrisi kaynaklı meydana gelen atıksuyun nihai arıtımı gerçekleştirilmiştir.

Mikrodalga/Persülfat yöntemi:

KOİ, UV254, ABS ve renk verimliliğini etkileyen faktörler demir miktarı, Mikrodalga maruz kalma süresi, Md gücü ve Persülfat dozudur.

KOİ, UV254, ABS, renk veriminde major faktörler Süre ve Persülfat miktarıdır.

	Verim	Süre(dk)	Mikrodalga (watt)	Persülfat(ml)	Demir (g)
KOİ	%90	5-10	450-800	2-1	8-4
ABS	%90	5-10	450-800	2-1	8-4
UV254	%60	5	600	1,5	6
Renk	>%99	10-5	450-800	1-2	4-8

Örnek literatür çalışması:

Parametre	Giderim (%)	**Atıksu Kaynağı:**Tekstil atıksuyu (reaktif boyalar içeriyor)
KOİ (COD)	91 %	**Katalizör:** $Na_2S_2O_8$ (persülfat)
UV254	80 %	**Persülfat Dozu:** Aşırı doz, radikal-radikal tepkimeleriyle verimi azaltabilir. Optimum doz önemlidir.
ABS (λmax) Giderimi (%)	83 %	**Boyar madde türü:** Reaktif, disperse ve direkt boyar maddelere göre verim değişebilir.
Renk	95,0 %	**Güç kaynağı:** 300-900 Md
		Süre: 10-60 dakika
		Kaynak: Chen ve ark. (2019)
		pH: 3-5

Mikrodalga/Fenton yöntemi:

KOİ, UV254, ABS ve renk verimliliğini etkileyen faktörler demir miktarı, Mikrodalgaya maruz kalma süresi, Mikrodalga gücü ve Persülfat dozudur.

KOİ, UV254, ABS, renk veriminde major faktörler Mikrodalga gücü ve süredir.

	Verim	**Süre(dk)**	**Md (watt)**	**H_2O_2(ml)**	**Demir (g)**
KOİ	%75	10	450	8	4
ABS	%90	5-10	450-800	16-8	8-4
UV254	%65	5	600	12	6
Renk	%90	10-5	450-800	8-16	4-8

Örnek literatür çalışması:

Parametre	**Giderim (%)**	**Atıksu Kaynağı:** Reaktif azo boyalı tekstil atıksuyu
KOİ (COD)	85 %	**Katalizör:** H_2O_2
UV254	70 %	**Persülfat Dozu:** Aşırı doz, radikal-radikal tepkimeleriyle verimi azaltabilir. Optimum doz önemlidir.
ABS (λmax) Giderimi (%)	90 %	**Boyar madde türü:** Methylene Blue (MB) boyası
Renk	95 %	**Güç kaynağı:**700 Md
		Süre: 1-6 dakika
		Kaynak: Jiang vd.., 2010.
		pH: 3

UV/Persülfat yöntemi:

KOİ, UV254, ABS ve renk verimliliğini etkileyen faktörler demir miktarı, Md maruz kalma süresi, UV gücü ve Persülfat dozudur.

KOİ, UV254, ABS, renk veriminde major faktörler UV gücü ve süredir.

	Verim	**Süre(dk)**	**UV (watt)**	**Persülfat(ml)**	**Demir (g)**
KOİ	%75	40	40	1	4
ABS	%70	30	20	1	4
UV254	>%99	20-40	20-40	1-2	8-4
Renk	%70	30-15	20-40	1-1,5	6-4

Örnek literatür çalışması:

Parametre	**Giderim (%)**	**Atıksu Kaynağı:**Tekstil atıksuyu (reaktif boyalar içeriyor)
KOİ (COD)	85,5 %	**Katalizör:** $Na_2S_2O_8$ (persülfat)
UV254 (dolaylı)	Belirtilmemiş	**H_2O_2 Dozu:** 250 mg/L
TOC	65,7 %	**pH:** 7
Renk (465)	99,0 %	**Güç kaynağı:** UV-C ışık (254 nm)
		Süre: 60 dakika
		Kaynak: Kızıltaş, Ş. (2022) "Treatment of a textile wastewater using sulfate and hydroxyl radicals under UV light: Comparison of UV/H_2O_2, UV/PS and UV/PMS"

UV/Fenton yöntemi:

KOİ, UV254, ABS ve renk verimliliğini etkileyen faktörler demir miktarı, UV maruz kalma süresi, Md gücü ve Persülfat dozudur.

KOİ, UV254, ABS, renk veriminde major faktörler UV gücü ve süredir.

	Verim	**Süre(dk)**	**UV (watt)**	**H_2O_2 (ml)**	**Demir (g)**
KOİ	%75	15	30	16	8
ABS	%80	45	20	12	12
UV254	%65	15-45	20-40	16-12	12-8
Renk	%70	15-45	40-20	24-12	16-8

Örnek literatür çalışması:

Parametre	**Giderim (%)**	**Atıksu Kaynağı:** Biyolojik arıtma sonrası tekstil boyama tesisi atıksuyu
KOİ (COD)	63,7 %	**Katalizör:** Fe-Cu-pumice (5 g/L)
UV254 absorbansı	66,3 %	**H_2O_2 Dozu:** 250 mg/L
ABS 280 nm	72,9 %	**pH:** 3
Renk (RES-436)	92,9 %	**Güç kaynağı:** UV
Renk (RES-525)	96,7 %	**Süre:** 3saat
Renk (RES-620)	98,1 %	**Kaynak:** Çifçi & Meriç, *Environmental Research & Technology*, 2021

Tekstil endüstrisi kaynaklı atıksuların arıtımında dört farklı İleri Oksidasyon Prosesi (İOP) uygulanmıştır. Bu yöntemler; Mikrodalga/Fenton, Mikrodalga/Persülfat, UV/Fenton ve UV/Persülfat prosesleridir. Arıtım işlemlerinde, kirletici parametrelerin başlangıç konsantrasyonlarında kayda değer oranlarda azalma sağlanmıştır (Wang vd., 2018).Yapılan karşılaştırmşalı değerlendirmeler sonucunda, tüm parametreler (KOİ, BOİ, renk, bulanıklık vb.) açısından en yüksek giderim veriminin Mikrodalga/Fenton prosesiyle elde edildiği

tespit edilmiştir. Diğer yöntemler ise sırasıyla Mikrodalga/Persülfat, UV/Fenton ve UV/Persülfat olarak performans sıralamasında yer almaktadır. Bu sonuçlar, özellikle mikrodalga destekli Fenton prosesinin, tekstil atıksularının arıtımında etkili ve verimli bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Atıksuda ön arıtma işlemiyle; fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak arıtıma hazır duruma getirilmesi hedeflenmektedir (Tchobanoglous vd., 2014). İOP veriminin artışı sağlanmakta olup, arıtılmış suyun alıcı ortama deşarj önesi yasal yönetmelik şartlarınca sınır değere yakınlaşmak hedeflenir. Sonuç olarak, tekstil endüstrisinin çevresel etkilerini minimum düzeye indirmede ileri arıtma teknolojileri entegrasyonuyla mümkün kılınabilir. Tekstil sektöründe yenilikçilik, entegre ve mevzuata uyumlu yaklaşımlarla sürdürebilir hedefelere ulaşılmalıdır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı , 2021)

Md/Fenton Metotu Deneysel Çalışma Verileri

	Verim	Süre (dk)	Md (watt)	H_2O_2 (ml)	Demir (mg)
KOİ	%90	5-10	450-800	2-1	8-4
ABS	%90	5-10	450-800	2-1	8-4
UV 254	%60	5	600	1,5	6
Renk	>%99	10-5	450-800	1-2	4-8

Md/Persülfat Metotu Deneysel Çalışma Verileri

	Verim	Süre (dk)	Md (watt)	PS (ml)	Demir (mg)
KOİ	%75	10	450	8	4
ABS	%90	5-10	450-800	16-8	8-4
UV 254	%65	5	600	6	6
Renk	%90	10-5	450-800	8-16	4-8

UV/ Fenton Metotu Deneysel Çalışma Verileri

	Verim	Süre (dk)	Md (watt)	H_2O_2 (ml)	Demir (mg)
KOİ	%75	40	40	1	4
ABS	%70	30	20	1	4
UV 254	>%99	20-40	20-40	1-2	8-4
Renk	%70	30-15	20-40	1-1,5	6-4

UV/ Persülfat Metotu Deneysel Çalışma Verileri

	Verim	Süre (dk)	Md (watt)	PS (ml)	Demir (mg)
KOİ	%75	15	30	16	8
ABS	%80	45	20	12	12
UV 254	%65	15-45	20-40	16-2	12-8
Renk	%70	15-45	40-20	24-12	16-8

KAYNAKÇA

Alzaydien, A. (2009). Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto a low-cost natural Jordanian Tripoli. *Journal of Hazardous Materials, 168*(2–3), 652–659.

APHA. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.). American Public Health Association.

Arslan, S. (2000). Fenton ve Fenton-benzeri reaksiyonlar ile atık suların ileri oksidasyon teknikleri ile arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Arslan-Alaton, I., & Balcıoğlu, I. A. (2002). Advanced oxidation of a reactive dyebath effluent: Comparison of O3, H_2O_2 /UV-C and Fenton's reagent. *Water Research, 36*(5), 1143–1154.

Aydar, A. Y. (2018). Response Surface Methodology (RSM) using Design-Expert Software. In *Statistical Modeling of Machine Learning* (pp. 1–40).

Balcioglu, I. A., Arslan, I., & Sacan, M. T. (2001). Homogenous and heterogenous advanced oxidation of two commercial reactive dye

Başer, İ., (1998). *Tekstil Teknolojisi*. MEB Yayınları.

Bautista, P., Mohedano, A. F., Casas, J. A., Zazo, J. A., & Rodriguez, J. J. (2008). An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 83*(10), 1323–1338.

Bidga, R. (1995). Color removal from wastewater using adsorbents. *Environmental Technology, 16*(5), 409–416.

Booth, J. E. (1975). *Principles of Textile Testing* (3rd ed.). Butterworths.

Carliell, C. M., Barclay, S. J., Shaw, C., Wheatley, A. D., & Buckley, C. A. (1998). The effect of salinity on the anaerobic treatment of textile wastewaters. *Water Research, 32*(5), 1575–1580.

Chandran, P., & Hoch, L. (2020). Sustainable textiles and fashion: A case study. *Journal of Cleaner Production, 276*, 123213.

Çelebi, M., & Özdoğan, R. (2007). Koagülant kullanımıyla boyar madde giderimi. *Çevre Bilimleri Dergisi, 3*(1), 12–19.

Dos Santos, A. B., Cervantes, F. J., & van Lier, J. B. (2007). Review paper on current technologies for decolorization of textile wastewaters. *Bioresource Technology, 98*(12), 2369–2385.

EPA. (1997). *Wastewater Technology Fact Sheet*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 832-F-00-016.

Eser, B., Çelik, P., Çay, A., & Akgümüş, D. (2016). Tekstil ve konfeksiyon sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm olanaklari. *Tekstil ve Mühendis*, *23*(101), 43-60.

Esplugas, S., Bila, D. M., Krause, L. G. T., & Dezotti, M. (2002). Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents. *Journal of Hazardous Materials, 149*(3), 631–642.

Fersi, C., & Dhiaa, A. (2005). Treatment of textile industry wastewater using membrane technology. *Desalination, 185*(1–3), 399–409.

Forgacs, E., Cserháti, T., & Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: A review. *Environment International, 30*(7), 953–971.

Gençoğlu, M. T. (1991). *Tekstil Sanayi ve Çevre*. TMMOB Yayınları.

Giray, F. (2014). Fotokatalitik oksidasyon ile tekstil atık sularından boyar madde giderimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Glaze, W. H., Kang, J. W., & Chapin, D. H. (1987). The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and UV radiation. *Ozone: Science and Engineering, 9*(4), 335–352.

Gökkuş, Ö. (2009). *Kayseri tekstil sanayiinde çevresel etkiler ve çözüm önerileri*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Yayınları.

Gosavi, V. D., & Sharma, S. (2013). A review on removal of dyes from wastewater using various adsorbents. *International Journal of Environmental Sciences, 4*(3), 486–501.

Gu, Z., Chen, W., Li, Q., & Zhang, A. (2019). Kinetics study of dinitrodiazophenol industrial wastewater treatment by a microwave-coupled ferrous-activated persulfate process. *Chemosphere*, *215*, 82-91.

Gürbüz, G. (2015). AOP yöntemleri ile boyar madde giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi.

Gürtekin, E., & Şekerdağ, N. (2008). Tekstil atık sularının ozonla arıtımı. *Journal of Polytechnic, 11*(1), 23–30.

Hai, F. I., Yamamoto, K., & Fukushi, K. (2007). Hybrid treatment systems for dye wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 37*(4), 315–377.

Herrmann, J. M. (1999). Heterogeneous photocatalysis: Fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. *Catalysis Today, 53*(1), 115–129.

Huang, W., Yu, H., & Chen, J. (2002). Degradation of methyl orange by ozonation and Fenton oxidation. *Dyes and Pigments, 56*(2), 183–194.

Irfan, M., Xie, K., & Hou, A. (2020). Effect of reactive dye structures and substituents on cellulose fabric dyeing. *Fibers and Polymers*, *21*(9), 2018-2023.

İlkin, N., & Alkin, T. (1991). *Boyar maddeler ve çevresel etkileri*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.

İnalcık, H. (2008). *Osmanlı ve Modern Türkiye*. İstanbul: Kronik Yayıncılık.

Judd, S. (2006). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. Elsevier.

Kadolph, S. J., & Langford, A. L. (2002). *Textiles* (9th ed.). Prentice Hall.

Kopac, T., Sulu, E., & Toprak, A. (2016). Effect of KOH treatment on bituminous coal for the effective removal of basic blue 41 dye from aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*, *57*(59), 29007-29018.

Küni, S. (2009). Güneş ışığı ile fotokatalitik oksidasyon yönteminin tekstil atık sularında uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Kuo, W. G. (1999). Decolorizing dye wastewater with Fenton's reagent. *Water Research, 33*(3), 751–759.

Kurt, U., İlhan, F., & Apaydın, Ö. (2023). *Desalination and Water, 307*, 68–79.

Lau, W. J., Ismail, A. F., & Misdan, N. (2007). Recent developments in the membrane-based technologies for dye wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment, 41*(1), 1–10.

Lin, S. H., & Peng, C. F. (1994). Treatment of textile wastewater by electrochemical method. *Water Research, 28*(2), 277–282.

Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates, J. T. (1995). Photocatalysis on TiO_2 surfaces: Principles, mechanisms, and selected results. *Chemical Reviews, 95*(3), 735–758.

Maulik, S. R., Chakraborty, D., Mohanty, M., & Debnath, C. (2022). Vat dye and its evolution in dyeing. *Textile Dyes and Pigments: A Green Chemistry Approach*, 87-105.

Mettler Toledo. (2021). *UV/Vis Spectrophotometry Guide: Fundamentals, Applications, Tips and Tricks*. METTLER TOLEDO AG. Erişim adresi: Spectrophotometric Fundamentals, Applications, Tips and Tricks

Montgomery, D. C. (2003). *Design and Analysis of Experiments* (5th ed.). John Wiley & Sons.

Muruganandham, M., Selvam, K., & Swaminathan, M. (2007). Enhanced degradation of reactive azo dyes by UV/TiO2, UV/H_2O_2 and UV/Fenton processes: A comparative study. *Journal of Hazardous Materials, 149*(3), 351–357.

Neyens, E., & Baeyens, J. (2003). A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials, 98*(1–3), 33–50.

Öztürk, E., & Demir, S. (2016). Tekstil atık sularının arıtımı: Fenton ve koagülasyon yöntemlerinin karşılaştırılması. *Çevre Bilimleri Dergisi, 7*(2), 145–153.

Park, C. H., & Shore, J. (2007). Color in dyeing: Fundamentals and applications. *Journal of Textile Science, 20*(3), 120–135.

Pera-Titus, M., García-Molina, V., Baños, M. A., Giménez, J., & Esplugas, S. (2004). Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: A general review. *Applied Catalysis B: Environmental, 47*(4), 219–256.

Rauf, M. A., Meetani, M. A., & Hisaindee, S. M. (2011). An overview on the photocatalytic degradation of azo dyes in the presence of TiO_2 doped with selective transition metals. *Desalination, 276*(1–3), 13–27.

Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology, 77*(3), 247–255.

SDC & AATCC. (1992). *Colour Fastness Tests*. Society of Dyers and Colourists.

Shore, J. (2002). *Colorants and Auxiliaries: Organic Chemistry and Application Properties* (2nd ed.). Society of Dyers and Colourists.

Talha Gönüllü, M. (2004). *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*.

Trotman, E. R. (1984). *Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres* (6th ed.). Charles Griffin & Co.

TÜİK. (2023). Türkiye İstatistik Kurumu Resmi İstatistik Verileri. https://www.tuik.gov.tr

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*(1), 154–168.

Vigo, T. L. (1994). *Textile Processing and Properties*. Elsevier.

Wang, Y., & Xu, X. (2012). Photocatalytic degradation of dye pollutants in aqueous solution using nanostructured catalysts under visible light. *Catalysis Science & Technology, 2*(4), 658–672.

Yasar, A., Ahmad, N., & Khan, A. A. A. (2010). Bio-treatment of textile wastewater using bacterial consortium. *Journal of Environmental Sciences, 22*(4), 608–613.

Yaseen, D. A., & Scholz, M. (2019). Treatment of synthetic textile wastewater containing dye mixtures with microcosms. *Ecological Engineering, 127*, 48–59.

Yılmaz, K., Aksu, İ. Ö., Göçken, M., & Demirdelen, T. (2024). Sustainable textile manufacturing with revolutionizing textile dyeing: Deep learning-based, for energy efficiency and environmental-impact reduction, pioneering green practices for a sustainable future. *Sustainability*, *16*(18), 8152.

Yonar, T. (2005). Advanced oxidation of dyes with TiO_2 and UV light. *Environmental Technology, 26*(5), 531–538.

Zhou, W., & Smith, J. V. (2002). Ozonation of dye effluents in advanced wastewater treatment. *Journal of Environmental Engineering, 128*(11), 1051–1058.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Öztürk E., İlhan F., Tekstil Endüstrisinde Suyun Sürdürülebilirliği ve Atıksularının İleri Oksidasyon Prosesleri ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, 12. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 11-13 Aralık 2024, Sakarya-Türkiye