

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEKSTİL ATIK SUYUNUN ÇÖKTÜRMEYLE ARITIMINDA YAPAY SİNİR  
AĞI KULLANILARAK ARITIMININ MODELLENMESİ ve pH DENETİMİ**

**Hilal AYYILDIZ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2015**

**Her hakkı saklıdır**

## **ETİK**

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

13.02.2015

**Hilal AYYILDIZ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TEKSTİL ATIK SUYUNUN ÇÖKTÜRMEYLE ARITIMINDA YAPAY SİNİR AĞI KULLANILARAK ARITIMININ MODELLENMESİ ve pH DENETİMİ

Hilal AYYILDIZ

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK

Tekstil üretim prosesleri doğal kaynaklardan yüksek miktarlarda kullanıp aynı doğrultuda çevreye yüksek oranda atık bırakan endüstri kuruluşlarıdır. Üretim sonucunda çevreye deşarj edilen atık su toprağa ve canlılara zarar verebilecek derecede yüksek miktarda çeşitli kirleticiler içermekte ve bu atık suyun karakterizasyonu; kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), türbidite ve renk parametreleri ile değerlendirilir. Arıtmadan sonra bu parametreler çevre mevzuatı kriterlerine göre doğaya deşarj edilmektedir.

Bu amaçla arıtma yöntemlerinden çöktürme, kimyasal bir arıtma yöntemi olup, tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında çoklukla kullanılan bir prosestir. Tekstil endüstrisinde çöktürme prosesi ile atık su içindeki kirlilikleri çöktürmek için kullanılan koagülantlar arasında demir klorür, demir sülfat, alüminyum sülfat bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde de kimyasal çöktürücü olarak bu maddeler kullanılmıştır. Çöktürme için uygun koagülant miktarları ve ortam pH'ını belirlemek için deneyler 2<sup>2</sup> faktöriyel deney tasarımına göre yapılmış ve analiz sonuçları *Design Expert* programı ile değerlendirilmiştir. Bu paket programa göre optimum koagülant miktarı ve pH değerleri alüminyum sülfat, demir klorür ve demir sülfat heptahidrat için sırasıyla 2.5 g/L pH 10.0, 4 g/L pH 11, 2.5 g/L pH 12 olarak belirlenmiştir.

Genelleştirilmiş delta kuralı (GDK) ile pH kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde optimizasyon sonucunda belirlenen optimum pH değerleri sisteme set noktası olarak verilmiştir. Her bir kontrol deneyi setinin başlangıcında atık su tankına optimum miktarda koagülantlar eklenmiştir. Deneylerin ardından alınan numuneler ile *Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)*, *türbidite ve renk* analizleri yapılarak çöktürme prosesinin GDK kontrol ile etkinliği incelenmiştir. Arıtma yapılmamış atık suyun başlangıç KOİ değeri 989 mg/L iken arıtmadan sonra elde edilen sonuçlar ise şöyledir; alüminyum sülfat için 220 mg/L, demir klorür için 205 mg/L ve demir sülfat için 238 mg/L'dir. Bu çalışmanın sonucunda en uygun koagülant demir klorür bulunmuştur. GDK kontrol algoritmasının elverişliliği, Self Tuning PID (STPID) kontrol yöntemi ile de karşılaştırıldığında daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

**Şubat 2015, 96 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Tekstil endüstrisi, atık su, çöktürme, pH kontrolü, kimyasal oksijen ihtiyacı

## ABSTRACT

Master Thesis

### IN THE TREATMENT OF TEXTILE WASTEWATER WITH COAGULATION, MODELING OF TREATMENT AND pH CONTROL USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Hilal AYYILDIZ

Ankara University  
Graduate School of Naturel and Applied Sciences  
Department of Chemical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Zehra ZEYBEK

Textile manufacturing processes use large amounts of naturel resources in line with a high rate of waste left to the envoriment. As a result of producing of wastewater that is discharged into the enviroment can damage the soil and the living creatures because of including the high rate of pollutants. Chemical oxygene demand (COD), turbidity and colour are the parameters for evaluating the wastewater characterization. After treatment these parameters are discharged into the enviroment according to environmental legislation.

For this purpose one of the treatment methods coagulation , is a chemical process which is mostly used for treatment of textile industry wastewater. In textile industry the coagulants used for coagulation process are ferric chloride, ferric sulphate, aluminium sulphate have been used for experimental studies. For optimum coagulant concentration and pH have been determined by  $2^2$  factorial experiment design. The results of these experiments and analysis have been used in an optimization study in *Design Expert* software. After that the optimum concentrations and pH values are for aluminium sulphate, ferric chloride and ferric sulphate 2.5 g/L pH 10, 4 g/L pH 11 and 2.5 g/L pH 12 for given coagulants in order.

The control mechanism is managed by *Generalized Delta Rule (GDR)* algorithm. The optimum pH value is given to the programme as a set point. Optimum coagulants are added in the wastewater reactor start of each control experiments. After the control experiments wastewater samples have been taken from the reactor. Chemical oxygene demand (COD), turbidity and colour analyseses have been done with these samples for researching the effect of the coagulation processes. COD value of the untreated wastewater sample is 989 mg/L. COD values of the treated samples are with aluminium sulphate 220 mg/L, with ferric chloride 205 mg/L, with ferric sulphate 238 mg/L. Optimum coagulant of the result of this study is ferric chloride. In comparison, GDR control algorithm has better results from self tuning PID (STPID) control in this study.

**February 2015, 96 pages**

**Key Words:** Textile industry, wastewater, coagulation, pH control, chemical oxygene demand

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım süresince tüm bilgi ve tecrübesiyle bana her anlamda yardımcı olan, çalışmalarıma yön veren, değerli fikirlerini benimle paylaşan çok saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Zehra ZEYBEK'e (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı) teşekkür ederim. Deneyleirimde yol gösteren ve yanımda olan Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ'a (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı) çok teşekkür ederim. Kendinden ayarlamalı PID kontrol algoritması yazılımından yararlandığım Prof. Dr. Hale HAPOĞLU'na (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı) çok teşekkür ederim.

Deneyleirim için gerekli atık su teminini sağlayan Yeşim Tekstil A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Her zaman olduğu gibi bu süreç içerisinde de hep yanımda olan ve destekleyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Hilal AYYILDIZ

Ankara, Şubat 2015

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAYI SAYFASI

|   |      |
|---|------|
| ETİK.....   | i    |
| ÖZET.....   | ii   |
| ABSTRACT.....   | iii  |
| TEŞEKKÜR.....   | iv   |
| KISALTMALAR DİZİNİ.....   | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | ix   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | xi   |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....  | 3    |
| 3. KURAMSAL TEMELLER.....   | 10   |
| 3.1 Tekstil Endüstrisi Tanımı.....  | 10   |
| 3.2 Tekstil Endüstrisi Prosesleri.....  | 10   |
| 3.2.1 Boyar maddeler.....   | 11   |
| 3.3 Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Kaynağı.....                            | 13   |
| 3.3.1 Atık su özellikleri ve ilgili parametreler.....                         | 13   |
| 3.3.1.1 Fiziksel parametreler.....  | 13   |
| 3.3.1.2 Kimyasal özellikler.....  | 14   |
| 3.4 Tekstil Atık Sularının Arıtımı.....                                       | 16   |
| 3.4.1 Kimyasal yöntemler.....   | 16   |
| 3.4.1.1 Oksidasyon.....   | 16   |
| 3.4.1.1.1 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Fe(II) tuzları (Fenton ayıracı)..... | 16   |
| 3.4.1.2 Ozon.....   | 17   |
| 3.4.1.3 Fotokimyasal yöntem.....  | 17   |
| 3.4.1.4 Sodyum hipoklorit (NaOCl ).....                                       | 18   |
| 3.4.1.5 Elektrokimyasal yöntem.....   | 18   |
| 3.4.1.6 Kimyasal flokleştirme ve çöktürme yöntemi.....                        | 19   |
| 3.4.1.7 Cucurbituril ile arıtım.....  | 20   |
| 3.4.2 Fiziksel yöntemler.....   | 20   |
| 3.4.2.1 Adsorpsiyon.....  | 20   |

|  |    |
|--|----|
| 3.4.2.2 Membran filtrasyonu.....   | 21 |
| 3.4.2.3 İyon değişimi.....   | 22 |
| 3.4.3 Biyolojik yöntemler.....   | 22 |
| 3.4.3.1 Aerobik yöntem.....  | 22 |
| 3.4.3.2 Anaerobik yöntem.....  | 23 |
| 3.4.3.3 Biyosorpsiyon.....   | 23 |
| 3.5 Arıtım Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....                                      | 24 |
| 3.6 Arıtımda Kullanılacak Kontrol Yöntemi.....                                       | 25 |
| 3.6.1 Yapay sinir ağları (YSA).....  | 25 |
| 3.6.2 Yapay sinir ağlarının özellikleri.....   | 27 |
| 3.6.3 YSA ağ yapıları.....   | 28 |
| 3.6.3.1 İleri beslemeli ağlar.....   | 28 |
| 3.6.3.2 Geri beslemeli ağlar.....  | 28 |
| 3.6.4 Öğrenme algoritmaları.....   | 29 |
| 3.6.4.1 Danışmansız öğrenme (Süpervizörsüz).....                                     | 29 |
| 3.6.4.2 Danışmanlı öğrenme (Süpervizörlü).....                                       | 30 |
| 3.6.5 Uygulamaya göre öğrenme algoritmaları.....                                     | 30 |
| 3.6.5.1 Çevrimiçi (On-line) öğrenme.....   | 30 |
| 3.6.5.2 Çevrimdışı (Offline) öğrenme.....  | 30 |
| 3.6.6 Yapay sinir ağlarının avantaj ve dezavantajları.....                           | 30 |
| 3.6.7 Yapay sinir ağı temelli kontrol örneği.....                                    | 31 |
| 3.7 Genelleştirilmiş Delta Kuralı (GDK).....   | 32 |
| 3.7.1 İleri doğru hesaplama.....   | 34 |
| 3.7.2 Geriye doğru hesaplama.....  | 35 |
| 3.7.3 Çok katmanlı ağın çalışma şekli.....   | 35 |
| 3.8 Kendinden Ayarlamalı PID Kontrol (STPID).....                                    | 37 |
| 3.8.1 Sistem modelleri.....  | 38 |
| 3.9 İki Seviyeli Faktöriyel Deney Tasarımı.....                                      | 42 |
| 4. MATERYAL VE YÖNTEM.....   | 46 |
| 4.1 Deney Sistemi.....   | 46 |
| 4.2 Koagülant Seçimi , Optimum Koagülant Miktar ve pH Değerlerinin Belirlenmesi..... | 47 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>5.1 Işık Geçirgenliği Analiz Sonuçları.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>5.1.1 Alum için ışık geçirgenliği analiz sonuçları.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>5.1.2 Demir klorür( FeCl<sub>3</sub>) için ışık geçirgenliği analiz sonuçları.....</b>                                   | <b>50</b> |
| <b>5.1.3 Demir sülfat heptahidrat ( FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O ) için ışık geçirgenliği<br/>analiz sonuçları.....</b> | <b>50</b> |
| <b>5.2 Optimizasyon Çalışması Sonuçları.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>5.2.1 Alum için optimizasyon çalışması.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>5.2.2 Demir klorür için optimizasyon çalışması.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>5.2.3 Demir sülfat heptahidrat için optimizasyon<br/>çalışması.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>5.3 Kontrol Deneyleri.....</b>   | <b>60</b> |
| <b>5.3.1 GDK ile yapılan kontrol deneyleri.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>5.3.1.1 Saf su ile yapılan GDK deneyleri.....</b>  | <b>62</b> |
| <b>5.3.1.2 Koagülantlar ile yapılan GDK deneyleri.....</b>  | <b>66</b> |
| <b>5.3.2 Koagülantlar ile yapılan STP Deneyleri.....</b>  | <b>69</b> |
| <b>5.4 Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Işık Geçirgenliği Analiz Sonuçları.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>  | <b>76</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>   | <b>79</b> |
| <b>EKLER.....</b>   | <b>81</b> |
| <b>EK 1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analiz Prosedürü.....</b>   | <b>82</b> |
| <b>EK 2 Design expert ANOVA sonuçları.....</b>  | <b>83</b> |
| <b>EK 3 Yapay sinir ağlarının tekstil atık su arıtma tesisi işletimine<br/>uygulanması örneği.....</b>                      | <b>92</b> |
| <b>EK 4 Hata analizleri.....</b>  | <b>95</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>96</b> |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|         |  |
|---------|--|
| AHCC    | Adaptif Keşifsel Kontrol   |
| AKM     | Askıda Katı Madde  |
| ARMA    | Doğrusal Sistem Modeli (Auto Regressive Moving Average)          |
| ARMAX   | Doğrusal Sistem Modeli   |
| BOİ     | Biyoloji Oksijen İhtiyacı  |
| BP      | Geri Yayılma (Back Proagation)                                   |
| ÇKM     | Çözülmüş Katı Madde  |
| IAE     | Hata Mutlak Değerleri İntegrali(Integral Absolute Error)         |
| ISE     | Karesel Hata Değerleri   |
| GDK     | Genelleştirilmiş Delta Kuralı                                    |
| GPC     | Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol                            |
| KOİ     | Kimyasal Oksijen İhtiyacı  |
| NEQS    | Ulusal Çevre Kalite Standartları                                 |
| PRBS    | Yalancı İkili Gelişigüzel Sinyal (Pseudo Random Binary Sequence) |
| PFC     | Polidemir Klorür   |
| PDMDAAC | Polidimetildialilamonyum Klorür                                  |
| PAC     | Polialümyum Klorür   |
| PID     | Oransal-Integral-Türevsel (Propotional Integral Derivative)      |
| STPID   | Kendinden Ayarlamalı (Self Tuning) PID Kontrol                   |
| TAKM    | Toplam Askıda Katı Madde   |
| TOK     | Toplam Organik Karbon  |
| YSA     | Yapay Sinir Ağları   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.1 Pamuklu tekstil proses akım şeması ve oluşacak atıklar.....   | 15 |
| Şekil 3.2 Yapay sinir hücre yapısı.....   | 26 |
| Şekil 3.3 Bir tek gizli katmanı bulunan ileri beslemeli ağ.....   | 28 |
| Şekil 3.4 Geri beslemeli yapay sinir ağı.....   | 29 |
| Şekil 3.5 Sistem tanımlama.....   | 32 |
| Şekil 3.6 Yapay sinir ağı temelli kontrol.....  | 32 |
| Şekil 3.7 İleri doğru hesaplamada katmanlar.....  | 34 |
| Şekil 3.8 Net girdi formülü.....  | 35 |
| Şekil 3.9 Çok katmanlı ağın çalışma prensibi.....   | 37 |
| Şekil 3.10 Kendinden ayarlamalı PID kontrol sisteminin blok diyagramı.....  | 38 |
| Şekil 4.1 Çöktürme ile arıtımda pH denetimi için kurulmuş deney düzeneği.....   | 47 |
| Şekil 4.2 Deney düzeneği resmi.....   | 49 |
| Şekil 5.1 Alum ile arıtımda optimum pH ve derişimi 3 boyutlu gösteren grafik.....                                       | 52 |
| Şekil 5.2 Alum ile arıtımda pH ve derişimin ışık geçirgenliği üzerine etkisini gösteren grafik.....                     | 53 |
| Şekil 5.3 Demir klorür ile arıtımda optimum pH ve derişimi 3 boyutlu gösteren grafik.....                               | 55 |
| Şekil 5.4 Demir klorür ile arıtımda pH ve derişimin ışık geçirgenliği üzerine etkisini gösteren grafik.....             | 56 |
| Şekil 5.5 Demir sülfat heptahidrat ile arıtımda optimum pH ve derişimi 3 boyutlu gösteren grafik.....                   | 58 |
| Şekil 5.6 Demir sülfat heptahidrat ile arıtımda pH ve derişimin ışık geçirgenliği üzerine etkisini gösteren grafik..... | 59 |
| Şekil 5.7 PRBS sinyalleri tarafından verilen zaman- pH grafiği.....   | 60 |
| Şekil 5.8 Pompa akış hızına karşı zaman grafiği.....  | 68 |
| Şekil 5.9 Geliştirilen GDK kontrol sisteminin blok diyagram.....  | 61 |
| Şekil 5.10 Saf su ile set noktası 9 alınarak yapılan deneydeki pH –zaman grafiği.....                                   | 63 |
| Şekil 5.11 Saf su ile set noktası 9 alınarak yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği..... | 63 |
| Şekil 5.12 Saf su ile set noktası 10 alınarak yapılan deneydeki pH –zaman grafiği.....                                  | 64 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 5.13 Saf ile set noktası 10 alınarak yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği.....                          | 64 |
| Şekil 5.14 Saf su ile set noktası 11 alınarak yapılan deneydeki pH –zaman grafiği.....   | 65 |
| Şekil 5.15 Saf ile set noktası 11 alınarak yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği.....                          | 65 |
| Şekil 5.16 Alum GDK deneyi pH’ ın zamanla değişimi (2.5 g/L, pH 10 ).....  | 66 |
| Şekil 5.17 Set noktası 10 belirlenerek alum ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği.....                     | 66 |
| Şekil 5.18 Demir klorür GDK deneyi pH’ ın zamanla değişimi .....   | 67 |
| Şekil 5.19 Set noktası 11 belirlenerek demir klorür ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği.....             | 67 |
| Şekil 5.20 Demir sülfat heptahidrat ile GDK deneyi pH’ ın zamanla değişimi .....   | 68 |
| Şekil 5.21 Set noktası 12 belirlenerek demir sülfat heptahidrat ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği..... | 68 |
| Şekil 5.22 Alum ile STP deneyi pH’ ın zamanla değişimi .....   | 69 |
| Şekil 5.23 Set noktası 10 belirlenerek alum ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği.....                     | 69 |
| Şekil 5.24 Demir klorür ile STP deneyi pH’ ın zamanla değişimi.....  | 70 |
| Şekil 5.25 Set noktası 11 belirlenerek demir klorür ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği.....             | 70 |
| Şekil 5.26 Demir sülfat heptahidrat ile STP deneyi pH’ ın zamanla değişimi.....  | 71 |
| Şekil 5.27 Set noktası 12 belirlenerek demir sülfat heptahidrat ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği..... | 71 |
| Şekil 5.28 Alum ile yapılan GDK ve STP deney sonuçlarının pH –zaman karşılaştırması grafiği.....   | 72 |
| Şekil 5.29 Demir klorür ile yapılan GDK ve STP deney sonuçlarının pH –zaman karşılaştırması grafiği.....                                       | 72 |
| Şekil 5.30 Demir sülfat heptahidrat ile yapılan GDK ve STP deney sonuçlarının pH –zaman karşılaştırması grafiği.....                           | 73 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 3.1 Üç faktör için ikinci dereceden plan matrisi.....                                      | 44 |
| Çizelge 5.1 Işık geçirgenliği ve renk analiz sonuçları.....  | 51 |
| Çizelge 5.2 Alum için deney tasarım çizelgesi.....   | 51 |
| Çizelge 5.3 Demir klorür için deney tasarım çizelgesi.....   | 54 |
| Çizelge 5.4 Demir sülfat heptahidrat için deney tasarım çizelgesi.....                             | 57 |
| Çizelge 5.5 Ağırlık verileri.....  | 61 |
| Çizelge 5.6 GDK analiz sonuçları tablosu.....  | 74 |
| Çizelge 5.7 STP analiz sonuçları tablosu.....  | 74 |
| Çizelge 5.8 Alum için GDK ve STP analizleri karşılaştırmalı sonuçları.....                         | 75 |
| Çizelge 5.9 Demir klorür için GDK ve STP analizleri karşılaştırmalı sonuçları.....                 | 75 |
| Çizelge 5.10 Demir sülfat heptahidrat için GDK ve STP<br>analizleri karşılaştırmalı sonuçları..... | 75 |

## 1. GİRİŞ

Su insan yaşamının en önemli ihtiyaçlarından ve sürdürülebilir kalkınma için gereken en önemli kaynaklardan biridir. Dünyada bulunan toplam su miktarının yaklaşık %3'ü tatlı kullanılabilir sudur. Ülkemizde toplam kullanılabilir yer altı ve yer üstü su miktarı 112 milyar m<sup>3</sup>'tür. Kişi başına düşen yıllık su miktarlarına bakıldığında su sıkıntısı çeken olan bir ülkeyiz. 2006 yılı itibariyle kişi başına düşen su miktarı 1652 m<sup>3</sup>/ kişi yıl civarındadır. Türkiye İstatistik Kurumu tahminleri doğrultusunda nüfusumuz 2030 yılında 100 milyon civarında olacaktır ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1000 m<sup>3</sup> / kişi yıl civarına düşecektir (Anonim 2004).

Türkiye gelişme sürecinde olup, hızlı nüfus artışı, endüstriyel, kentsel ve tarımsal faaliyetler nedeniyle büyük ölçüde sınırlı su kaynaklarını kirletmektedir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarının korunması atık su arıtımı ve arıtılan suyun yeniden kullanılması hususu büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde var olan su kaynaklarının giderek azalmakta olması, işletmeleri bir su krizi ile karşı karşıya getirmektedir. Üretim artışına nazaran var olan su kaynaklarındaki azalma, sektörü giderek sıkıntıya düşürmektedir. Bu noktada arıtılan atık suyun proses suyu olarak geri kazanımı akla gelmektedir. Atık suyun geri kazanımı ve tekrar kullanımını sağlamak amacıyla günümüzde ileri oksidasyon teknikleri uygulanmaktadır. İleri oksidasyon tekniklerinin tekstil endüstrisi atık sularının arıtımına uygulanması ile atık su içindeki mevcut renk ve kirlilik önemli ölçüde azaltılabilmektedir. İleri oksidasyon prosesleri her ne kadar farklı reaksiyon sistemlerine sahip olsalar da tümü aynı kimyasal niteliklere sahiptir ve bu ise hidroksil radikallerinin üretimidir. Bu prosesler pahalı reaktanlar gerektirmesine rağmen, sağlamış oldukları giderim verimleri ile biyolojik arıtmaya nazaran daha ekonomik arıtma yöntemleridir.

Tekstil endüstrisi boyama, baskı ve apreleme işlemlerinde önemli miktarda su tüketmektedir. Yıkama ve durulama proseslerinde aşırı seviyede suya ihtiyaç vardır. Su tüketimi tekstil endüstrisi için önemli bir konudur. Tekstil endüstrisinde yün esaslı proseslerde 1 ton ürün için 1100 m<sup>3</sup>, pamuk esaslı proseslerde ise 1 ton ürün için 2750

$m^3$  su tüketilmektedir. Suni ve sentetik esaslı proseslerde bu miktar 1 ton için  $1750 m^3$  'tür.

Tekstil fabrikalarında üretim aşamalarına göre çeşitli bileşim ve miktarlarda atık sular oluşmaktadır. Bu atık suların büyük kısmı ağartma, boyama ve yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Asit, baz, boya, deterjan, tuz ve kullanılan diğer kimyasallar atık suda kirlilik yaratan başlıca kirleticilerdir. Oluşan atık sular oldukça renkli olup bu suları dekolorize etmek güçtür. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık sular yüksek derişimlerde organik ve inorganik kimyasallar içerir. Genelde boyalı atık sular koagülasyon, flokülasyon ve filtrasyonu izleyen konvensiyonel arıtma sistemleri ile arıtılabilmektedir. Fakat bu konvensiyonel prosesler oldukça büyük miktarda çamur oluşturmakta ve bu çamurun bertarafı da ayrı bir sorun haline gelmektedir.

Bu çalışmada; tekstil endüstrisinin atık sularında bulunan kirleticilerin arıtılması ve arıtmayı etkileyen çöktürücü miktarı, pH, kimyasal oksijen ihtiyacı, renk, türbidite gibi parametrelerin optimum değerine ulaştırılması amaçlanmıştır. Yapay sinir ağları kullanılarak arıtım yapılması amaçlanmıştır. Bir yapay sinir ağı modeli olan Genelleştirmiş Delta Kuralı (GDK) ile pH denetimi gerçekleştirilmesi, arıtım için optimum değerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma sanayiye ekonomik arıtma olarak önerilebilecektir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tekstil üretim prosesleri çevreyi büyük ölçüde kirleten üretim proseslerindedir. Yüksek miktarda enerji ve temiz su gerekmektedir. Bilim insanları tarafından da yoğun olarak üzerinde çalışılan bir alandır. Özellikle kullanılan arıtım teknikleri, proses kontrol tekniklerinin uygulanmasıyla önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır.

**Lin vd. (1996)**, tekstil atık suyunun yeniden kullanımı için çeşitli kimyasal yöntemler üzerinde çalışmışlardır. Kimyasal çöktürme, iyon değişimi ve elektrokimyasal yöntemleridir. İyon değişimi ve kimyasal çöktürme ile yapılan çalışmalarda daha iyi verim elde edilmiştir. Türbidite ve kimyasal oksijen ihtiyacı istenen düzeye ulaşmıştır.

**Menzl vd. (1996)**, yaptıkları çalışmada pH denetleci laboratuvar ölçekli reaktörde endüstriyel bir prosesin atık su arıtımında, pH değerinin istenilen düzeye getirmeyi amaçlamışlardır. Denetleç bulanık mantık temelindedir. Bu sistemin kimyasal çöktürmeyle atık su arıtımında pH denetimi için yüksek doğrulukta olduğu gözlenmiştir.

**Pedrides vd. (1998)**, yaptıkları çalışmada atık su arıtma olanaklarını araştırmışlar, prosesin optimizasyonu ve değerlendirilmesi ve tasarımında simülasyonun önemini tartışmışlardır. Arıtım ünitelerinde uçucu organik bileşiklerin emisyonunun denetimi yapılmıştır.

**Li vd. (1999)**, bu makale yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) olan renkli boya atık suyunun kimyasal ve fiziksel yolla arıtımını konu almaktadır. Ayrıca biyolojik kirleticiler atık sudan uzaklaştırılmaya çalışılmıştır. TiO<sub>2</sub> katalizörünün arıtımda iyi olduğu belirtilmiştir.

**Gontarski vd. (2000)**, bu çalışmada, bir atık su iyileştirme sürecinin çıktı akımlarının çevresel özelliklerini tahmin etmek için bir yol önerilmiştir. Girdi değişkenlerinin etkisi yapay sinir ağlarıyla analizlenmiş ve başarılı sonuç elde edilmiştir.

**Papik vd. (2000)**, yaptıkları çalışmada tekstil boyası atık suyu arıtımında flokleştirme yöntemini kullanmışlardır. Bu proseste renk giderimi %95 ten fazla olmuştur. Optimum koşullarda optimum çöktürücü miktarlarını bulmak için testler yapılmıştır ve farklı derişimlerde tekstil boya atık suları hazırlanmıştır. Seçilen boyalar Cl Reaktif Kırmızı 45 ve Cl Reaktif Yeşil 8 olmuştur.  $FeCl_3 \cdot 8H_2O$  çöktürücü olarak seçilmiştir. Cl Reaktif Kırmızı 45 için pH 2.55 te %99.68, Cl Reaktif Yeşil 8 için pH 2.70 te %99.56 türbidite belirlenmiştir. Yeşil boya için kullanılan çöktürücü miktarının kırmızı boya için kullanılanıdan daha az olduğu tespit edilmiştir.

**Tan vd. (2000)**, yaptıkları araştırmada kumaş boyası atık suyunun renk giderimi için 4g  $MgCl_2/L$  kullanmışlardır. Boyanın atık sudan uzaklaştırılmasının pH değerlerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Optimum pH değerleri 10.5-11 arasında bulunmuştur. Deney sonucunda %97.9 renk ,% 88.4 KOİ ,%95.5 askıda katı madde giderimi ile sonuçlanmıştır.

**Kocaer vd. (2002)**, yapılan bu çalışmada boyar madde içeren suların arıtım alternatifleri incelenmiştir. Büyük hacimli atık sulardaki boyarmaddelerin giderimi için düşük maliyetli yöntemler üzerinde araştırma yapılmıştır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik tüm arıtım yöntemleri incelenmiştir.

**Kocaer vd. (2002)**, boyar madde içeren tekstil endüstrisi atık sularından renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Günümüzde boyar maddelerin giderimi büyük oranda fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemlerin maliyeti oldukça yüksektir ve ortaya çıkan büyük miktardaki konsantre çamurun bertarafı problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle büyük hacimli atık sulardaki boyar maddelerin etkili ve ekonomik bir şekilde giderilebilmesi için biyolojik sistemler gibi alternatif yöntemlere gereksinim vardır. Bu çalışmada, boyalı tekstil atık suları için kimyasal, fiziksel ve biyolojik arıtım alternatifleri incelenmiştir.

**Kim vd. (2004)**, yaptıkları çalışmada dispers ve reaktif boyar madde atık sularında kimyasal çöktürme ve fenton oksidasyonu ile renk giderimi incelemiştir. Optimum pH ve çöktürücü jar testleriyle belirlenmiştir. İstenilen pH değerleri için  $H_2SO_4$  ve

NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Optimum çöktürücü miktarları belirlenmiştir. Dispers boyalarda KOİ ve boya giderimlerinin reaktiflere nazaran yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**Papic vd. (2004)**, yaptıkları çalışmada C.I. Reaktif Kırmızı 45 ve C.I. Reaktif Yeşil 8 tekstil boyalarının atık sudan uzaklaştırılması için iki basamaklı Al (III) çöktürme / aktif karbon adsorpsiyon yöntemi kullanmışlardır. Temel arıtım prosesi olarak çöktürme ve ardından adsorpsiyon uygulandığında, atık sudan her iki boyanın uzaklaştırılmasında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK) ve adsorplanabilir organik halojen tuzu gideriminde %90 azalma sağlanmıştır.

**Badani vd. (2005)**, yaptıkları çalışmada tekstil atık suyunun arıtımında membran bio reaktör kullanmışlardır. Membran bio reaktörlerin endüstride kullanımının son yıllarda arıtım için verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) giderimi %97 olarak, renk giderimi de %70 olarak ölçülmüştür.

**Çınar vd. (2005)**, yapılan bu çalışmada atık su arıtma tesisi işletme verileri kullanılarak yapay zeka tekniği uygulanmıştır. Biyolojik oksijen ihtiyacını ve askıda katı madde ve yüksek konsantrasyonlara yol açan sebepler araştırılmıştır. MATLAB programı kullanılmıştır.

**Çınar vd. (2005)**, bu çalışmada, Pelham atık su Arıtma tesisi işletme verileri kullanılarak yapay zeka tekniklerinden Kohonen Özörgütlemeli Harita Ağı metoduyla çıkış parametrelerinden 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>), toplam askıda katı madde (TAKM) araştırılmıştır. Arıtma tesisinde biyolojik reaktördeki pH' ın düşüklüğü yüksek çamur yaşı gibi problemlere yol açabileceği tespit edilmiştir.

**Golob vd. (2005)**, pamuk/poliamid karışımlarının reaktif ve asit boyaları kullanılarak boyanmasından sonra oluşan atıksuyun renk giderimini çöktürme/floklaştırma yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Alüminyum sülfat ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ), demir sülfat heptahidrat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ve demir klorür ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) olmak üzere üç adet çöktürücü

kullanmış ve optimum çöktürücü miktarların ve pH değerini belirlemek için farklı reaksiyon koşullarında jar testleri yapmışlardır. En iyi arıtımın organik floklaştırıcı ve  $Al_2(SO_4)_3$  kombinasyonu ile nötr pH değerinde sağlandığını göstermişlerdir.

**Alpbaz vd. (2006)**, ortam pH değeri, kendinden ayarlamalı PID algoritması ve bilgisayar bağlantılı kontrol sistemi kullanılarak kontrol edilmiştir. Kontrol yöntemi olarak Auto Regressive Moving Average (ARMA) modellerini kullanmışlardır. Kontrol edilen prosesin dinamiklerini belirlemek için Pseudo Random Binary Sequence (PRBS) fonksiyonu kullanılmıştır ve sistem çıkışı ölçülmüştür. Model parametreleri Bierman algoritması kullanılarak ölçülmüştür.

**Can vd. (2006)**, bu çalışma tekstil atık suyunun elektrokoagülasyon ile arıtımını üzerinedir. Kullanılan çöktürücüler PAC ve alumdur. KOİ verileri elde edilmiştir. Elektrokoagülasyon yönteminin yaygınlaşması ve avantajları üzerine durulmuştur.

**Kestioğlu vd. (2006)**, yaptıkları çalışmada tekstil atık suyunu kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon yöntemini uygulamışlardır. KOİ giderim verimleri ölçülmüştür. Kimyasal floklar oluşturulmuş daha sonra bu floklar kimyasal çökeltim tanklarında çöktürülmüş adsorpsiyon kolonlarından geçirilmiştir.

**Ra'duly vd. (2006)**, yapılan bu çalışmada tekstil atık su arıtma tesisi performansının incelenmesinde yapay sinir ağları kullanılmıştır. Çalışmada geri beslemeli yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Model oluşumunda giriş parametresi olarak toplam kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam katı madde, biyokimyasal oksijeni ihtiyacı, toplam azot parametreleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ise, yapay sinir ağlarının atık su arıtma tesisi performansının belirlenmesinde uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.

**Birgül vd. (2006)**, yaptıkları çalışmada çöktürme yöntemini kullanmışlardır. Çöktürme deneylerinde farklı pH değerlerinde demir sülfat, demir klorür ve alum kullanılmıştır. Değişen miktarlarda çöktürücüler kullanılmıştır. Optimum pH değerleri elde edilmiştir. pH değeri sabitlendikten sonra optimum koagülant miktarları belirlenmiştir. KOİ ve

renk gideriminde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Deneyde optimum pH değeri 9 olarak belirlenmiştir. Optimum koagülant miktarları ise demir sülfat, demir klorür ve alum için 800 mg/L , 800 mg/L ve 1000 mg/L olarak belirlenmiştir.

**Gao vd. (2007)**, yaptıkları çalışmada yapay ve gerçek tekstil atıksularını arıtmak amacıyla Polidemir klorür (PFC) ve Polidimetildialilamonyum klorür (PDMDAAC)'nin karışımı ile hazırlanan yeni bir kompozit koagülant kullanmışlar ve renk gideriminde boya suyunun pH'ı ve koagülant miktarının etkisini incelemişlerdir. Kompozit koagülantın (PFC-PDMDAAC) renk giderim verimleri (PFC), (PDMDAAC) ve (PFC/PDMDAAC) ile muamele edilen atıksu değerleri ile karşılaştırılmış ve gerçek tekstil atık suyunun arıtımında (PFC-PDMDAAC)'nin daha etkili bir koagülant olduğu görülmüştür.

**Raghu vd. (2007)**, yaptıkları çalışmada tekstil atık suyunun yeniden kullanımında kimyasal çöktürme ve elektrokimyasal çöktürme işlemlerini iyon değişimi arıtım yöntemlerini uygulamışlardır. %92,31 kimyasal oksijen ihtiyacı sağlanmıştır. Ayrıca iyon değişiminin uygulanmasının da tekstil endüstrisi atık suyunun arıtımında iyi bir tamamlayıcı arıtım yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Türbidite ve renk analizleri de yapılmıştır.

**Zeybek vd. (2007)**, kesikli soğutmalı bir polimerizasyon reaktörünün sıcaklık kontrolü genelleştirilmiş delta kuralı (GDK) VE GPC algoritmaları ile yapılmıştır. Set noktası ile belirlenen sıcaklık optimizasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Reaktör sıcaklığı ile ilgili model yapay sinir ağı tekniği ile bulunmuştur. Deney sonuçlarla kontrol sisteminin uygun olduğu belirlenmiştir.

**Zeybek vd. (2007)**, yaptıkları çalışmada bir boya fabrikasında atıksuyu arıtımının koagülasyon prosesini çalışmak için AHCC (Adaptif Keşifsel Kontrol)'nin deneysel bir uygulamasını sunmuşlardır. Bu amaçla koagülant olarak  $FeCl_3$  ve  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , asit olarak  $H_2SO_4$ , baz olarak ise  $Ca(OH)_2$  kullanılmış ve pH 11'de tutulmuştur. Her iki koagülant için PID ile karşılaştırıldığında AHCC set noktasına doğru daha hızlı yanıtım

göstermiş. Model temelli olmayan bir kontrol yaklaşımının yarı kesikli bir reaktörde pH'ı kontrol etmek için başarılı bir şekilde uygulandığı görülmüştür.

**Aouni vd. (2009)**, bu çalışmada elektro koagülasyon/ nanofiltrasyon prosesi ile tekstil atık suyunun arıtım prosesi incelenmiştir. Tekstil atık sularının yüksek kirliliğinin tüm dünyada problem teşkil ettiğinden bahsedilmiştir. Arıtım için en çok kullanılan ortak tekniğin çöktürme olduğu anlatılmaktadır. Her deneyde KOİ ve türbidimetre analizleri yapılmıştır. Nanofiltrasyon yöntemi ile desteklenmiş çöktürme arıtımın daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

**Pekel vd. (2009)**, çalışmalarında tekstil endüstrisi atık suyu arıtımının koagülasyon prosesini çalışmak için GPC (Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol )'nin deneysel bir uygulanmasını yapmışlardır. Optimum pH aralığını ve koagülant miktarlarını bulmak için Jar testleri yapılmıştır. Koagülant olarak  $MgCl_2$ ,  $FeCl_3$ , ve  $Al_2(SO_4)_3$ , baz olarak  $Ca(OH)_2$  ve NaOH kullanılmış ve pH 12'de tutulmuştur. Elde edilen verilerin yardımıyla GPC kontrol sistemi ile atık suyun pH kontrolü yapılmış, ayarlanabilir değişken olarak baz akış hızı kullanılmıştır. Kontrol çalışmalarının başında uygun kontrol parametreleri bulunmuş ve GPC pH kontrolü ile tekstil boyası atığının arıtılmasındaki etkinlik gözlenmiştir.

**Aulia (2010)**, yaptığı çalışma kapsamında tekstil atıksuyunun arıtılmasında kullanılan kimyasal çöktürme ve flokleştirme yöntemi için  $MgCl_2$  çöktürücü olarak kullanmıştır. Arıtılan atıksuyun spektrofotometre ile dalga boyu ve ışık geçirgenliği ölçülmüştür. Arıtım sonucunda elde edilen giderim yüzdesi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ışığında en iyi arıtımın sağlandığı optimum çöktürücü ve pH değerleri elde edilmiştir. Arıtımın istenilen işletim şartlarında yapılabilmesi için atık su pH'ının kontrolü yapılmıştır. Bunun için istenilen set noktası değeri tespit edilmiş ve kendinden ayarlamalı PID kontrol yöntemi kullanılarak arıtma sisteminin istenilen pH değerinde işletilmesi sağlanmıştır.

**Chaudhari vd. (2010)**, yaptıkları çalışmada çöktürme ile arıtım uygulamışlardır. Kağıt fabrikası atık suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi ve renk iyileştirme çalışmaları

yapılmıştır. Yapılan çalışmada çöktürücü maddeler  $AlCl_3$ , polialüminyum klorür (PAC) ve  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  tır. Yapılan çalışmada pH'ın KOİ ve renk giderimine etkisi , koagülant derişiminin KOİ, renk giderimi ve pH'a olan etkileri araştırılmıştır. Optimum pH değerlerinde yüksek oranda KOİ ve renk giderimi olduğu sonucu elde edilmiştir.

**Khataee vd. (2010)**, yapay sinir ağı modellerinin atık su arıtım proseslerine uygulanışı ile ilgili yaptıkları çalışmada, yapay sinir ağlarının öğrenme algoritmali sistem oluşundan bahsetmiş özellikler sistemin non lineer olduğunda uygulanmasının daha iyi sonuç vereceği üzerine çalışma yapmışlardır. Homojen ve heterojen nano katalizler üzerinden arıtım prosesi modellenmiştir.

**Meral (2012)**, yaptığı çalışmada kağıt endüstrisi atık suyunu çöktürme yöntemi ile iyileştirmiş adaptif keşifsel yöntem ile pH kontrolünü sağlamıştır. Design Expert programı ile analiz sonuçları karşılaştırılmış ve endüstri atık suyu iyi bir sonuç ile arıtılmıştır. Çöktürücü maddeler olarak demir sülfat, demir klorür, alum ve alüminyum klorür kullanılmıştır. Her bir çöktürücü için %90'nın üzerinde ışık geçirgenliği verileri elde edilmiştir. Demir sülfat, demir klorür, alum ve alüminyum klorür için sırasıyla arıtım sonrası %86, %82, %89 ve %87 KOİ giderimi sağlanmıştır.

**Çetinkaya vd. (2013)**, yaptıkları çalışmada geliştirilmiş öngörmeli kontrol (GPC) ile geliştirilmiş delta kuralı (GDK) izotermal koşullar altında stirenin polimerizasyonunun gerçekleştiği ceketli kesikli bir reaktörün sıcaklığını kontrol etmişlerdir. Monomer dönüşümü, viskozite ortalama molekül ve zincir uzunluğu üzerine değişik optimal koşulların etkilerini incelemişlerdir. Reaktör sıcaklığı ve reaktöre verilen ısı arasındaki etkileşime dayanan yapay sinir ağı modelini kullanmışlardır. Sonuçları Self-Tuning PID (STPID) yöntemi ile karşılaştırmışlardır. GDK-GPC yönteminin STPID yönteminden daha iyi olduğu hem kontrol performansından hem de elde edilen polimer özelliklerinden gözlenmiştir.

### **3. KURAMSAL TEMELLER**

#### **3.1 Tekstil Endüstrisi Tanımı**

Yün, pamuk, sentetik ve örme kumaşların yapımında kullanılan liflerden kumaş veya herhangi bir tekstil ürünü üreten endüstri dalı tekstil endüstrisi olarak tanımlanabilir. Günlük yaşamımızın her aşamasında tekstil yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu çeşitlilik tekstil endüstrisi için de çok çeşitli proseslerin oluşmasına neden olmuştur. Tekstil endüstrisinde yaygın olan bu proseslerin pek çoğu çevresel konular içermektedir. Tekstil endüstrisi doğal ve sentetik iplikleri eğirme, örme, dokuma, tekstil ürünleri son işlemleri ve dikim gibi prosesleri içermektedir. Bu endüstrinin kullandığı materyaller evsel, endüstriyel ve ticari pazarlar için yapılan ürünlerden oluşmaktadır.

#### **3.2 Tekstil Endüstrisi Prosesleri**

Tekstil endüstrisinde işlenen genel elyaf çeşitleri pamuklu, yünlü ve sentetik elyaflardır. Kullanılan elyafın özelliğine bağlı olarak bazı farklı üretim işlemlerine de rastlanabilmektedir. Endüstride uygulanan ana işlemler haşılama, haşıl sökme, ağartma merserizasyon, boyama, apreleme olarak sınıflandırılabilirler.

İnce kumaşların dokunması sırasında çok ince iplik kullanılır. Bu ipliklerin dokuma esnasında kopmaması için nişasta gibi maddelerin kullanılarak geçici sağlamlaştırılması haşıllamadır. Boyama ve apreleme kumaşı hazırlamak için haşılama operasyonundan gelen haşıl maddelerinin giderilmesi gerekir. Bu işlem tekstil atık sularında toplam kirlilik yükünün yaklaşık %50'sini oluşturur. Ağartma prosesi en basit ifadeyle ipliklerin renginin ve pisliğinin giderilmesi işlemidir. Merserizasyon malzeme özelliklerinin geliştirilmesi için pamuklu iplik veya kumaşların işlenmesi işlemidir. Kumaş ve iplere renklerin verilmesi boyama; fiziksel ve kimyasal özelliği değişen kumaşın işlenmesi aprelemedir.

Alıcı su kaynaklarına verilen boyar maddeler organik yük kirliliğın bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle boyar madde içeren tekstil endüstrisi atık sularından renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Günümüzde boyar maddelerin giderimi büyük oranda fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemlerin maliyetleri oldukça yüksektir ve ortaya çıkan büyük miktardaki konsantre çamurun bertarafı problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle büyük hacimli atık sulardaki boyar maddelerin etkili ve ekonomik şekilde giderilebilmesi için biyolojik sistemler gibi alternatif yöntemlere ihtiyaç vardır.

### 3.2.1 Boyar maddeler

Tekstil endüstrisinde atık suların arıtımında en fazla oranda boyar maddeler sorun oluşturmaktadır. Bu yüzden boyar maddeler hakkında daha fazla çalışmalar yapılmaktadır. Boyar maddeler 400-700 nm arasında görünür ışığı absorbe edebilme yetenekleriyle karakterize edilirler ve ışığı absorbe ederek renkli görünürler. Tekstil boyar madde seçiminde kullanım yeri, boyama yöntemi, renk işlem kolaylığı gibi faktörler önemlidir. Çeşitli sınıflandırmaları mevcuttur. İki büyük gruba ayrılırlar.

i-İnorganik boyar maddeler

ii-Organik boyar maddeler

Renklendiriciler ya boyar maddeler ya da pigmentlerdir. Pigmentler su ortamında çözünmemeleriyle karakterize edilirler. Normalde bütün hidrokarbonlar renksizdirler. Ancak bunlara kromofor adı verilen doymamış gruplar bağlanırsa renkli görünürler. Kromofor grubu bağlanmış hidrokarbonlara ise kromojen adı verilir. Kromofor renk verici anlamındadır ve kimyasal yapılarına göre 7 gruba ayrılırlar.

Kimyasal yapı grupları

İçerdikleri bağlar

pH-NO (veya =N-OH)

Nitro grubu :..... -NO<sub>2</sub> (veya =NO·OH)

Azo grubu :..... -N=N-

Etilen grubu :..... =C=C=  
Karbonil grubu :..... =C=O  
Karbon-azot grubu: ..... =C=NH ve -CH=N-  
Kükürt grubu :..... =C=S

Boyar maddeler çözünürlük özellikleri göz önüne alınarak da sınıflandırılabilirler. Suda çözünen ve çözünmeyen boyar maddeler mevcuttur. Boyar madde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşır. Suda çözünebilen boyar maddeler tuz teşkil eden grubun karakterine göre ayrılırlar.

Suda çözünen anyonik boyar maddeler: Sülfonik ve karboksilik asitlerin sodyum tuzlarını içerirler.

Suda çözünen katyonik boyar maddeler: Bir bazik grup asitler ile tuz teşkil etmiş halde bulunur.

Zwitter iyon karakterli boyar maddeler: Hem asidik hem bazik gruplar vardır ve bunlar iç tuz oluştururlar.

Çeşitli tipteki boyar maddeler kullanıldığında atık suya geçen bileşenler:

| <u>Boya tipi</u> | <u>Atık su içindeki bileşenler</u>            |
|------------------|---|
| Direkt boya      | Boya, tuz, sodyum karbonat, yüzey aktif madde |
| Reaktif boya     | Boya, sodyum hidroksit, sodyum fosfat         |
| Asidik boya      | Boya, sülfürik asit, yüzey aktif madde        |
| Katyonik boya    | Boya, sodyum asetat, sodyum karbonat          |
| Sülfür boyaları  | Boya, sodyum sülfid, sodyum asetat            |
| Pigment          | Pigment, amonyum, reçine, mineral yağlar      |

Tekstil işletmelerindeki atık suların içerisindeki bu maddelerin belli ölçülerde bulunması gerekmektedir. NEQS yani ulusal çevre kalite standartları tarafından belirlenmiş standartlara uygun olmalıdırlar. Atık suyun debisi ve kirlilik oranları da standartlara uygun olmalıdır.

### **3.3 Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Kaynağı**

Tekstil endüstrisinde haşıl sökme, pişirtme, ağartma, boyama ve yıkama işlemleri sırasında çok fazla su kullanılmakta bu nedenle oluşan atık suyun debisi de çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Tekstil endüstrisi atık suları içerdikleri çok çeşitli kimyasallardan ve özellikle boyar maddelerden dolayı arıtılması zor olan endüstriyel atık sulardır. Değişik organik madde, ağır metal, renk, bulanıklık içeren yüksek pH'larda ve 60-70°C'a varan sıcaklıklarda dış ortama verilen bu sular birinci derecede arıtıma ihtiyaç duyulan sulardır. Boyar madde ve kumaşın türüne, özelliklerine göre boyama esnasında çeşitli yardımcı maddelerin ilavesi de arıtımı güçleştirir. Atık sularda yer alan boyar maddeler renk kirliliğinin yanı sıra ışık penetrasyonuna neden olarak sudaki yaşamın fotosentetik aktivitesini engeller. Ülkemizde su kirliliği yönetmeliğinde deşarj standartlarında renkle ilgili parametre olmamasından dolayı bu atık suların arıtımında daha çok kimyasal oksijen ihtiyacı ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı giderimi amaçlanır.

#### **3.3.1 Atık su özellikleri ve ilgili parametreler**

##### **3.3.1.1 Fiziksel parametreler**

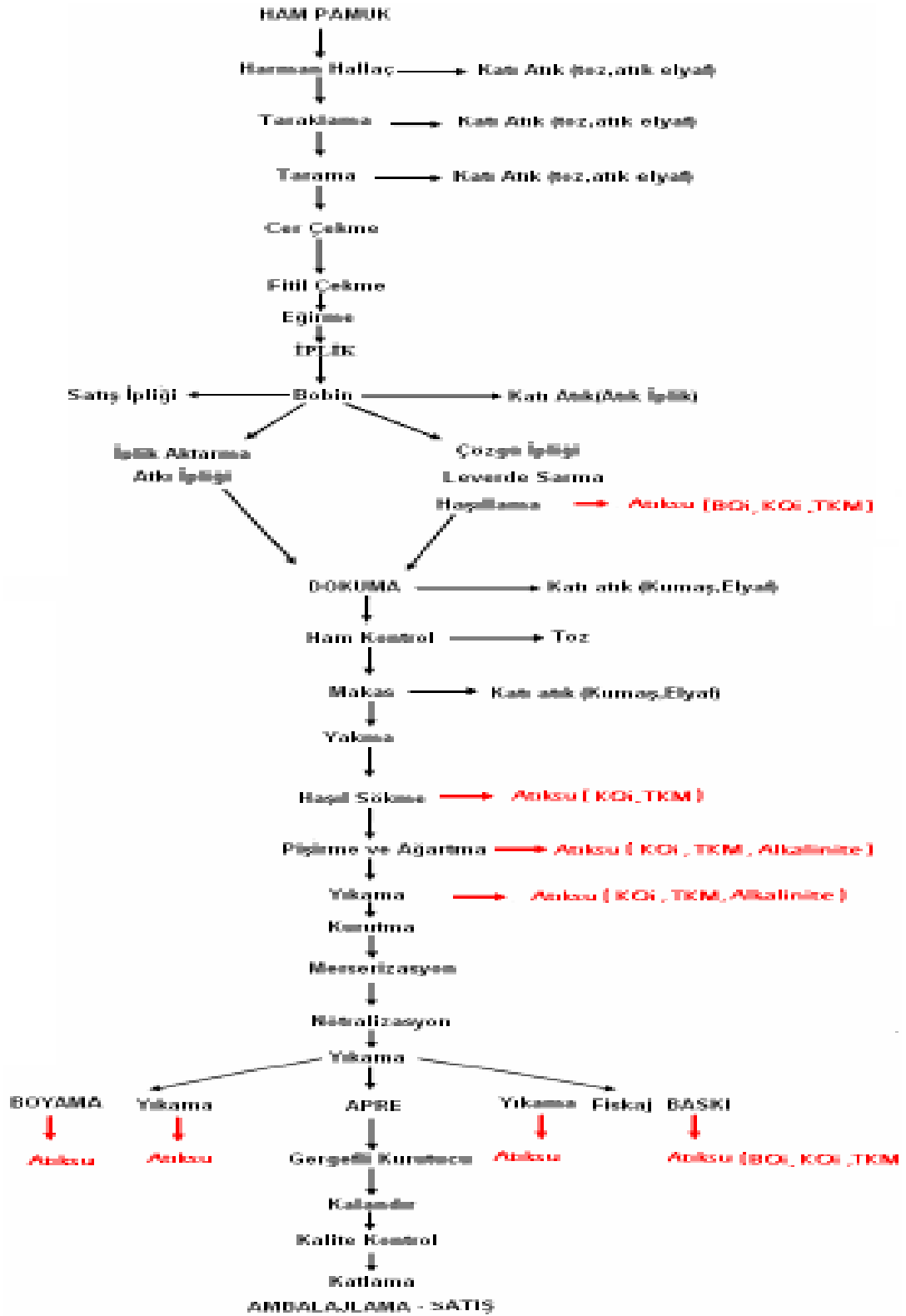
Atık suda bulunan katı maddelerin derişimi, suyun sıcaklığı, pH değeri, kokusu, rengi ve bulanıklığı atık suyun en önemli fiziksel parametrelerdir.

- ✓ Toplam katı madde: Atık suda bulunan toplam katı madde, çökebilen katıları, askıda katıları ve çözünmüş katıları içerir. Toplam katı madde atık suyun belli sıcaklıkta ısıtılmasından ve içindeki suyun buharlaştırılmasından kalan kuru kısmın ağırlığıdır.

- ✓ Sıcaklık ve pH: Nehirlerdeki ve göllerdeki bitkisel ve biyolojik hayatı etkileyen önemli parametrelerdir. Çözünmüş oksijen ve biyolojik oksijen ihtiyacı gibi kalite parametresinin değerini belirleyici rol oynar.
- ✓ Koku: Atık suda bulunan organik maddelerin bozulmasıyla oluşan gazlar kokuya neden olur.
- ✓ Bulanıklık: Suyun içindeki katı maddenin derişimi hakkında bilgi vermektedir.

### **3.3.1.2 Kimyasal özellikler**

- ✓ Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ<sub>5</sub>): Atık sudaki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu sırasında mikroorganizmalar tarafından çözünmüş oksijen miktarıdır.
- ✓ Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): Kimyasal oksijen ihtiyacı su numunesinin asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyiciyle oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. KOİ testi atık suların organik madde içeriğini ölçmek için yapılmaktadır. Bir atık suyun KOİ'si BOİ'sinden daha yüksektir. Çünkü biyolojik olarak oksitlenmeyen bileşik kimyasal olarak oksitlenebilmektedir.
- ✓ pH: Atık sudaki hidrojen iyonu derişimin göstergesidir.
- ✓ Alkanite
- ✓ Azot ve fosfor
- ✓ Kükürt
- ✓ Klorür (Birgöl 2006).



Şekil 3.1 Pamuklu tekstil proses akım şeması ve oluşacak atıklar (Birgül 2006)

### **3.4 Tekstil Atık Sularının Arıtımı**

#### **3.4.1 Kimyasal yöntemler**

Tekstil atık sularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri rağbet gören yöntem olmuştur. Bunun en büyük nedeni şüphesiz atık su kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır. Tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi ve cucurbituril ile arıtmıdır.

##### **3.4.1.1 Oksidasyon**

Oksidasyon kimyasal yöntemler içinde en yaygın olarak kullanılan renk giderme yöntemidir. Bunun en büyük nedeni uygulanmasının basit oluşudur. Kimyasal oksidasyon sonucunda boya molekülündeki aromatik halka kırılarak atık sudaki boyar madde giderilir.

###### **3.4.1.1.1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Fe(II) tuzları (Fenton Ayırıcı)**

Fenton ayırıcı (Fe(II) tuzlarıyla aktive edilmiş hidrojen peroksit) biyolojik inhibe edici ya da toksik atık suların oksidasyonu için çok uygundur. Fenton ayırıcı ile yapılan arıtım ön oksidasyon ve koagülasyon olmak üzere iki adımda gerçekleşir. Yapılan bir çalışmada fenton ayırıcıyla yapılan ön oksidasyon prosesinde renk giderim hızının KOİ giderim hızına göre daha yüksek olduğu ve renk ile KOİ gideriminin büyük bir kısmının ön oksidasyon basamağında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Atık suların fenton ayırıcı ile arıtılmasında renk yok edilebilmektedir. Ayrıca metal kompleks türündeki boyalardan kaynaklanan ağır metaller, demir oksitlerle birlikte nötralizasyon basamağında çöktürülebilmektedir. KOİ, renk ve toksisite giderimi gibi avantajları yanında prosesin bazı dezavantajları da mevcuttur. Proses floklaşma işlemini

de içerdiği için atık sudaki kirleticiler çamura transfer olurlar ve çamur problemi ortaya çıkar (Kocaer 2002).

### **3.4.1.2 Ozon**

Ozon uygulamaları 70'li yılların başında başlamıştır. Ozonlama ile dikkate değer boyutlarda renk giderimi sağlanmaktadır. Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir. Strickland ve Perkins (1995) tarafından yapılan çalışmada 30 dakikalık bir zaman süresince ozonlanan azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atık sularda başarılı renk giderimi sağlanırken vat boyar maddesi içeren atık su aynı başarıyı gösterememiştir.

Boya banyosu çıkış sularının ozonlandıktan sonra tekrar kullanılabilmesi tesis için kimyasal madde ve su tasarrufu sağlamakta, atık su arıtma tesisinin yükü azalmaktadır. Yüksek kararsızlığına bağlı olarak oldukça iyi bir yükseltgen olan ozon aynı zamanda tekstil yaş proseslerinden kaynaklanan atık sularda bulunan yüzey aktif maddeler ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin giderilmesine de yardımcı olmaktadır.

Avantajı ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır. Boyalardaki bağlar kırılarak daha küçük moleküller oluşturabilir ve renkte azalmaya neden olabilirler. Bu küçük moleküller atık suyun kanserojenik ya da toksik özelliklerini artırabilmektedir. Bu durumun önlenmesinde ozonlama ilave bir arıtım metodu olarak da uygulanabilmektedir. Yarı ömrünün kısa oluşu (20 dakika) ozonlamanın en büyük dezavantajıdır. Diğer bir dezavantajı yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği ve yüksek maliyetidir.

### **3.4.1.3 Fotokimyasal yöntem**

Bu yöntem boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin

oluşmasıyla meydana gelir. Yani; UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikale parçalanmasını sağlar. Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. Boyar maddenin giderim hızı; UV radyasyonunun şiddetine, pH'a, boyar maddenin yapısına ve boya banyosunun bileşimine bağlıdır. Genellikle pH 7 olduğunda, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda, farklı boya sınıfları için farklı değerlerde optimum hidrojen peroksit uygulandığında ve boya banyosu yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan oksitleyici maddeler içermediğinde, etkili renk giderimi söz konusudur. Boya içeren atık suların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır (Kocaer 2002).

#### **3.4.1.4 Sodyum Hipoklorit (NaOCl )**

Renkli atık suların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkündür. Bu metotta,  $Cl^+$  ile boya molekülünün amino grubuna etki eder ve azo bağının kırılmasını sağlar. Klor derişimindeki artışla birlikte renk giderimi de artar. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için tatmin edici sonuçlar vermektedir. Reaktif boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Son yıllarda alıcı ortamlardaki olumsuz etkilerinden dolayı boyar madde giderimi için klor kullanımı azalmıştır (Kocaer 2002).

#### **3.4.1.5 Elektrokimyasal yöntem**

Bu yöntem 1990'ların ortalarında geliştirilen bir yöntemdir. Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrot ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki ara yüzeyinden transfer olur. Elektrokimyasal bir reaktör bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Katotta yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olur. Anotta ise yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu artırır. Oksidasyon durumundaki değişimler türlerin kimyasal özelliklerinin ve formlarının değişmesine yol açar.

Boya gideriminde etkili bir şekilde kullanılabilirliği açısından bu yöntem bazı önemli avantajlara sahiptir. Kimyasal madde tüketimi çok azdır veya yoktur ve çamur oluşumu söz konusu değildir. Oldukça etkili ve ekonomik bir boya giderimi sağlar. Renk gideriminde ve dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim gösterir. Organik bileşiklerin elektrokimyasal yöntemlerle arıtımında söz konusu bileşikler anot üzerinde su ve karbondioksite okside olmaktadır.

Önceleri anot olarak grafit sıklıkla kullanılmaktaydı. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar elektro-oksidasyon için ince tabaka halinde soy metallerle (platin, rutenyum) kaplanmış titanyum elektrotlarının kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Tekstil boyar maddesi içeren atık sularının elektrokimyasal olarak arıtıldığı bir çalışmada titanyum/platin anodu kullanılmış ve 18 dakikalık aktif arıtım sresinden sonra KOİ, BOİ ve renkteki azalmanın %80'leri aştığı belirlenmiştir.

Yöntemin en büyük dezavantajı tehlikeli bileşiklerin oluşma olasılığıdır. Tekstil atık sularının elektrokimyasal arıtımı süresince oluşan kloroorganik bileşik miktarlarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüksek akım hızlarının renk gideriminde doğrudan bir azalmaya neden olması diğer bir dezavantajdır. Kullanılan elektrik maliyeti diğer yöntemlerdeki kimyasal madde giderleriyle kıyaslanabilir niteliktedir (Kocaer 2002).

#### **3.4.1.6 Kimyasal floklaştırma ve çöktürme yöntemi**

Bu yöntemde floklaşma ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atık suya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen floklaşma ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilirler. En çok kullanılan kimyasallar arasında  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve kireç sayılabilir.

Kimyasal ktrme deneylerinde makul kimyasal dozlarıyla orta dereceden yüksek dereceye kadar renk giderimi sağlandığı ve kullanılan kimyasallar içinde alumun nispeten daha etkili olduğu grlmştir (Kocaer 2002).

### **3.4.1.7 Cucurbituril ile arıtım**

Cucurbituril glikoluril ve formaldehitten oluşan bir polimerdir. İsimdeki uril bu bileşiğin üre monomerini de içerdiğini ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar bileşiğin çeşitli tipteki tekstil boyaları için oldukça iyi bir sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Cucurbiturilin aromatik bileşiklerle kompleks oluşturduğu bilinmektedir ve reaktif boyaların adsorpsiyonu için bu mekanizmanın geçerliği olacağı düşünülmektedir. Diğer bir yaklaşım ise giderim mekanizmasının hidrofobik etkileşimlere veya çözünemez cucurbituril-boya-kasyon agregatlarının oluşumuna dayandığı doğrudur.

Endüstriyel açıdan uygulanabilir bir proses için sabit yataklı sorpsiyon filtrelerine ihtiyaç vardır. Son yıllarda yapılan çalışmalar kimyasal mekanizmaların anlaşılması üzerinde yoğunlaşmakta ve proses üzerine pH'nın, sıcaklığın ve hidrolizin etkileri araştırılmaktadır. Çoğu kimyasal yöntemde olduğu gibi bu yöntemde de maliyet dezavantajıdır.

## **3.4.2 Fiziksel yöntemler**

### **3.4.2.1 Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon teknikleri konvansiyonel metotlar için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki verimlilikten dolayı son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon ekonomik açıdan makul bir yöntemdir ve yüksek kalitede ürün oluşumu sağlar. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko kimyasal faktörün etkisi altındadır. Adsorpsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan yöntem aktif karbon yöntemidir. Aktif karbonla renk giderimi özellikle katyonik ve asit boyalar için etkiliyken dispers, vat, reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi söz konusudur. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon giderilmesiyle aşılabılır ancak aktif karbon pahalı bir maddedir.

Adsorban olarak kullanılabilen diğler bir malzeme bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü, boya içeren atık sulardaki polar organik bileşikleri ve geçiş metalleri adsorplayabilmektedir. Adsorban olarak bataklık kömürünün kullanımı özellikle bol bulunduğu İrlanda ve İngiltere gibi ülkelerde söz konusudur. Bataklık kömürü aktif karbona göre daha ucuzdur. Ancak aktif karbonun toz haldeki yapısından kaynaklanan geniş yüzey alanı daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesini de ifade etmektedir. Ağaç kırıntıları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer mısır koçanı gibi malzemeler de boya gideriminde adsorban olarak kullanılabilir. Bunların ucuz oluşu kullanımını cazip kılmaktadır.

### **3.4.2.2 Membran filtrasyonu**

Bu yöntemde boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre olması ve atık sudan ayrılması mümkün olmaktadır. Diğler yöntemlere göre en önemli üstünlüğü atık sudan ayrılmasının mümkün olmasıdır. Sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olması avantajıdır. Ters osmoz membranları çoğu iyonik türler için %90 'nın üzerinde verim gösterir. Ve yüksek kalitede süzüntü eldesi sağlar. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur. Ancak yüksek osmotik basınç farklılığı ters osmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır.

Yapılan çalışmalar membran filtrasyonu ile çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak yöntem suyun yeniden kullanılması açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez. Membran teknolojileri ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara sahiptir.

### **3.4.2.3 İyon değişimi**

Boya içeren atık suların arıtılmasında iyon değiştiricilerinin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı olmasıdır. Yöntemde atık su mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde boyar madde içeren atık sulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılır. Yöntemin maliyeti dezavantajdır. Organik çözücüler oldukça pahalıdır ve iyon değişimi metodu dispers boyalar için uygun değildir (Kocaer 2002).

### **3.4.3 Biyolojik yöntemler**

Biyolojik arıtım endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atık suları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılmıyor olmaları, uygulamanın sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan birçok çalışma farklı boya türlerinin arıtılmasında farklı mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamıştır. Yani teorik olarak biyolojik arıtma yöntemleri kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemlerine göre daha az çamur üretmesi, maliyetinin az olması gibi özelliklerinden dolayı tekstil atık su arıtımı için uygun görülmektedir.

#### **3.4.3.1 Aerobik yöntem**

Tekstil endüstrisi atık suları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Endüstriyel atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenebilmekte ya da inert kalmaktadır. Suda iyi çözünen bazik, direkt ve bazı azo boya atıklarının olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikleri biyolojik olarak indirgeyememekle beraber boyanın bir kısmını adsorbe ederek atık suyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanmaktadır.

Boyar maddelerin aerobik biyodegradasyonunu bir faktör molekül ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle hücre zarından geçişlerinin zorlanmasıdır. Yapılan bir çalışmada aerobik kolonlardan izole edilmiş saf bakteri kültürlerinin renk giderimini gerçekleştirmediği belirlenmiştir. Azo boyar madde içeren tekstil atık sularının renginin giderilmesinde aerobik yöntemin yetersizliği anlaşılmıştır (Kocaer 2002).

### **3.4.3.2 Anaerobik yöntem**

Anaerobik arıtımın ilk basamağında asidojenik bakteriler karbonhidratlar, yağlar veya proteinler gibi organikleri düşük molekül ağırlıklı ara ürünlere dönüştürürler. Bu fermentasyon ürünleri daha sonra asidojenik bakteri tarafından kullanılır ve asetat, karbondioksit ve moleküler hidrojen açığa çıkar. Son olarak metanojenik bakteriler asetat ve karbondioksiti metana dönüştürürler. Metan ve karbondioksit içeren biyogaz anaerobik parçalanma testlerinde parçalanmanın seviyesini belirlemek amacıyla kullanılır. Boyar maddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları özellikle aerobik ortamda parçalanmayan suda çözünebilir azo boyar maddeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılmasını gerektirir. Anaerobik olarak renk giderimi için fazladan karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbon metan ve karbondioksite dönüştürülür ve elektronlar açığa çıkar. Bu elektronlar boyayla reaksiyona girer ve azo bağı indirger. Azo bağı kırılır ve renk giderimi sağlanır.

Azo bağına kırılmasıyla anaerobik olarak parçalanamayan aromatik aminler de oluşur. Anaerobik parçalanma sonucu oluşan aminler kanserojenik özellik gösterir. Bu nedenle anaerobik sistemler aerobik sistem öncesi ön arıtım olarak kullanılmaktadır (Kocaer 2002).

### **3.4.3.3 Biyosorpsiyon**

Kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu veya küttelede birikimi biyosorpsiyon olarak ifade edilir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyar madde içeren

atık suların renginin giderilmesinde kullanılabilir. Tekstil boyalarının kimyası geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiği için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın kimyasına ve mikrobiyal kütlelerin spesifik kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Boyar madde içeren atık su çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır (Kocaer 2002).

### **3.5 Arıtım Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Tekstil atık suları yüksek hacimli ve bileşimi büyük değişimler gösterebilen atık sular olarak tanımlanır. Biyolojik olarak parçalanamayan boyar maddeler ve toksik bileşikler içermesi olasılığının yüksek olması, alıcı sular açısından risk oluşturma potansiyelini de beraberinde getirir. Bu nedenle tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atık suların uygun ve etkili yöntemlerle giderilmesi büyük önem taşımaktadır.

Boyar madde içeren tekstil endüstrisi atık sularına uygulanan mevcut renk giderme yöntemleri rengin çamurda yoğunlaştırılması veya renkli moleküllerin kısmen ya da tamamen parçalanmasını içermektedir. Boya giderimi için fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kullanılması özellikle atık su hacmi küçük olduğunda etkili olmaktadır. Bu durum membran filtrasyonu veya cucurbituril gibi yöntemler için de geçerlidir.

Kimyasal çöktürme yönteminde kullanılan kimyasalların maliyeti ve oluşan çamur problemi şüphesiz yöntemin en büyük dezavantajlarıdır. Oksidasyon yöntemlerinin uygulanmasını sınırlayan faktör ise oluşan yan ürünlerin oluşma potansiyelidir. Fiziksel yöntemler içinde yaygın şekilde kullanılan adsorpsiyon yönteminde aktif karbon kullanımı arıtım verimliliği açısından etkili olurken malzemenin pahalı oluşu dezavantaj oluşturmaktadır. Daha ucuz adsorbanların kullanımı rejenerasyon ihtiyacını ortadan kaldırırken bertaraf edilmesi gereken atık problemi ortaya çıkar.

Diğer bir fiziksel metot olan membran filtrelerde ayırmadan sonra kalan konsantrasyonun bertaraf probleminin nedeni olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanması gibi dezavantajlar mevcuttur.

İyon değiştiriciler için en büyük dezavantaj ise yöntemin maliyetidir. Nispeten ucuz yöntemler olan konvansiyonel aktif çamur sistemleri yalnız başına etkili renk giderimi sağlayamaz. Bazı özel aerobik türlerin kullanılmasıyla etkin renk giderimi sağlanabilmesine rağmen klasik aktif çamur sistemlerinde renk giderimi genel olarak biyokütleyle olan adsorpsiyonla sağlanır.

Son yıllarda yapılan çalışmalarla boyar madde içeren tekstil atık sularının arıtımında anaerobik yöntemlerin ön arıtımda kullanılabilirliği üzerinde yoğunlaşmıştır.

### **3.6 Arıtımda Kullanılacak Kontrol Yöntemi**

#### **3.6.1 Yapay sinir ağları (YSA)**

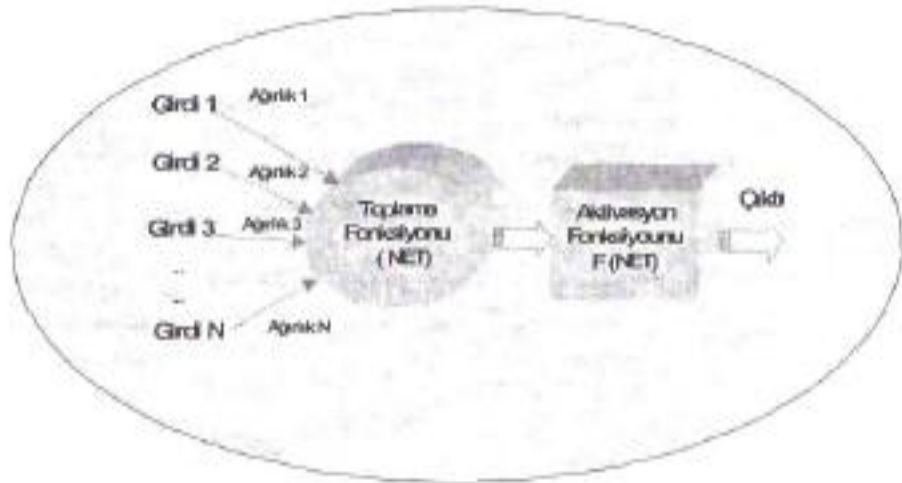
Bilgisayarlar çok karmaşık sayısal işlemleri anında çözümlenebilmelerine karşın idrak etme ve deneyimlerle kazanılan bilgileri kullanabilme noktasında çok yetersizdirler. Bu olayda insanı ya da insan beynini üstün kılan temel özellik sinirsel algılayıcılar sayesinde kazanılması ve görece olarak sınıflandırılmış bilgileri kullanabilmesidir. Uzman sistemler, bulanık mantık, genetik algoritma ve yapay sinir ağları gibi yapay zeka alt dalları özellikle son yıllarda geniş bir araştırma ve uygulama alanı bulmaktadır. Temelde yapay sinir ağları insan beyninin mimarisinden yola çıkılarak düzenlenmektedir. Bu konudaki ilk teoriler Mc Culloch ve Pitts tarafından 1943 te ortaya atılmıştır. Daha sonra Hebb'in çalışması insan beyninin nöronlarının nasıl öğrendiklerini ortaya koymaya çalışmıştır. 1958 yılında Rosenblatt algılama üzerinde durmuştur. Yapay sinir ağlarıyla ilgili en başarılı uygulama 1960'lı yıllarda Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiştir (Kabalcı 2010).

Yapay sinir ağları tecrübeden öğrenebilme yeteneğine sahip yeni durumlara adapte olabilen, bunun yanında oldukça hızlı çalışan güçlü ve kıyaslanabilir bilgisayar

sistemleridir. Yapay sinir ağlarında temel süreçleme elemanı nörondur. Her nöron ağırlıklı birleştirilmiş bir girdi setine sahiptir. YSA'lar bilgi alabilen ve depolayabilen hücrelerdir. Hali hazırda YSA'lar pek çok problemin çözümünde kullanılırlar.

Yapay zekanın bir dalı olan yapay sinir ağları, biyolojik beyinden daha iyisini yapmaya çalışan büyük paralel hesaplama sistemleridir. Bunlar zekayı birbiriyle bağlantılı ağırlıklarında depolarlar. Bu değişken ağırlıklar düğümleri (nöronları) paralel ve ardışık biçimde birleştirirler.

Yapay sinir ağları bir girdi, bir ya da daha fazla gizli ve bir çıktı katman içerir. Bu çıktılar bağlantılar aracılığıyla iletilir. Her bir sinaptik bağlantı kuvveti, ağırlık adı verilen sayısal değerlerle belirtilir.  $i$ . nöron  $j$ . nörona sinyal gönderdiğinde bu sinyal  $i$ . sinapsın ağırlığıyla çarpılır ve  $i$ . nöronun çıktısı  $x_i$  olarak gösterilir.  $j$ . nörondaki ağırlıklandırılmış girdiler nörondaki işlemci eleman tarafından toplanır. Elde edilen toplam nöron aktivasyon olarak adlandırılır. Aktivasyon tamamen nöronun iç durumudur. Ağırlıklar ve girdiler tamamen pozitif veya negatif olabilirken aktivasyondan dolayı pozitif, sıfır veya negatif olabilir. Pozitif durum aktive olmuş nöronu negatif durum pasif kalmış durumu gösterir.



Şekil 3.2 Yapay sinir hücre yapısı

### 3.6.2 Yapay sinir ağlarının özellikleri

1-Doğrusal Olmama: Bütün sonuçların her bir girdiyle etkileşim içinde olduğu manasına gelir. Doğrusal bir sistemde girdilerin biri değiştirildiğinde çıktı bu değişimle bağlantılı olarak değişir ve bu etki sadece değiştirilen girdinin değeriyle bağlantılıdır.

2-Hata Toleransı: YSA paralel dağılmış parametrelili bir sistem olduğundan her işlem elemanı izole edilmiş bir ada gibidir. Bu nedenle işlem elemanları zarar görse bile bu sistem performansının düşmesine neden olabilir ancak sistem hiçbir zaman durmaz.

3-Eğitilme: Nöron ağı kendi parametrelerini değiştirerek somut problemin çözümü için kendini adapte etme özelliğine sahiptir. Bu zaman çözülen problem alanı hakkında çok da bilgiye sahip olmadan ağın parametrelerini hesaplamaya imkan verir.

4-Öğrenme: YSA'nın bir problemi öğrenmesi için problemin giriş verilerine karşılık gelen çıkış verilerinin ya da sadece giriş verilerinin sağlanması gerekir. Öğrenme süreci sistem girişleri ve sistem çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlayan ağırlık verilerinin elde edilmesi sürecidir.

5-Genelleştirme: Nöron ağları yalnızca eğitilen tasvirleri üretmekten başka yeni tasvirlerde oluşturabilirler.

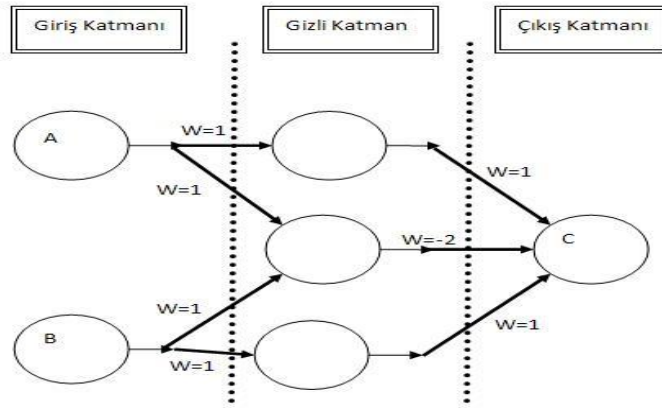
6-Bellek: YSA'nın önemli bir özelliği bilgiyi saklama şeklidir.

YSA'da bellek birçok yerel bellekler oluşturularak dağıtılır. Bağlantı ağırlıkları YSA bellek biçimleridir. Ağırlıkların değerleri, ağın o anki bilgi durumunu temsil eder. Örneğin; bir giriş/ istenen çıkış çiftinin belirtilen bilgi parçası ağın içinde birçok bellek biçimine dağıtılmıştır. Bellek üniteleri ile diğer saklı bilgiler, bu bilgiyi paylaşırlar.

### 3.6.3 YSA ağ yapıları

#### 3.6.3.1 İleri beslemeli ağlar

İleri beslemeli YSA’larda katmanlar ileri yöndedir, tersine bir yönelme yoktur. Her bir katmandaki hücreler sadece bir önceki katmanın hücrelerince beslenir. İleri beslemeli yapay sinir ağları nöron adı verilen çok katmanlı karar verici düğümleri kapsar. İlk katman girdi katmanırken son katman ise çıktı katmanıdır. Girdi ve çıktı katmanları dış çevreyle bağlantılı olan katmanlardır. En az bir gizli katman ortada bulunmaktadır. İleri beslemeli YSA’da her bir girdi nöronu ilk gizli katmandaki her bir nörona bağlıdır. Ve her bir katmanın çıktısı bir sonraki katmanın girdisidir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı ağları örnek verilebilir. Bu ağlar statik ağlar olarak da nitelendirilirler.

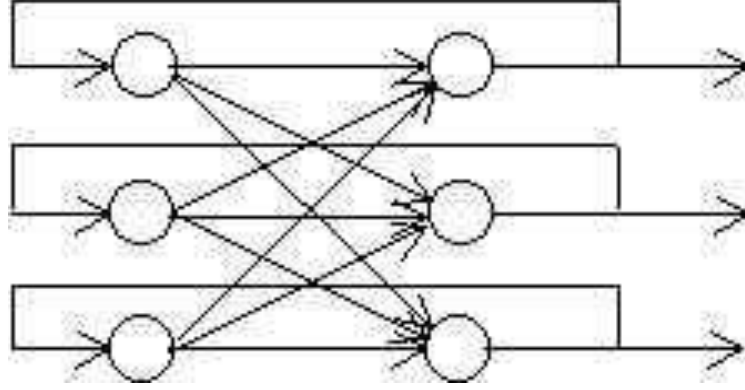


Şekil 3.3 Bir tek gizli katmanı bulunan ileri beslemeli ağ

#### 3.6.3.2 Geri beslemeli ağlar

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında en az bir hücre sonraki katmanlardaki hücrelerce de beslenir. Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katman çıkışların giriş birimlerine veya

önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece girişler hem ileri yönde, hem de geri yönde aktarılmış olur.



Şekil 3.4 Geri beslemeli yapay sinir ağı

YSA, gösterilen örnekten öğrenerek kendi kurallarını oluşturur. Öğrenme, giriş örneklerine veya bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağın bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan öğrenme kuralı ile gerçekleştirilir. Öğrenme kurallarına Hopfield kuralı, Delta kuralı ve Hebb kuralı örnek verilebilir.

### 3.6.4 Öğrenme algoritmaları

İki tür eğitime söz konusudur. Danışmanlı ve danışmansız öğrenme.

#### 3.6.4.1 Danışmansız öğrenme ( Süpervizörsüz)

Bu eğitimde nöron ağının ortam (çevre) ile ilişkisi minimuma indirilir. Bu eğitimde eğitici kümede yalnızca giriş vektörleri mevcuttur.

Eğitimin amacı ağın uygun parametrelerini uyarlamakla giriş vektörü kümesine özgü olabilecek konuma uygunlukları belirlemektir.

### **3.6.4.2 Danışmanlı öğrenme (Süpervizörlü )**

Danışmanlı öğrenmede gerçek YSA çıktısı istenilen çıktı ile karşılaştırılır. Sonra elde edilen çıktı ile hedef çıktı arasındaki hatayı minimize etmek için bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Bu öğrenmede geri yayılım algoritması en popüler olan uygulamadır.

### **3.6.5 Uygulamaya göre öğrenme algoritmaları**

#### **3.6.5.1 Çevrimiçi (On-line) öğrenme**

Bu kurala göre öğrenen sistemler gerçek zamanda çalışırken bir taraftan fonksiyonları yerine getirmekte bir taraftan da öğrenmeye devam etmektedir.

#### **3.6.5.2 Çevrimdışı (Offline) öğrenme**

Bu kurala dayalı sistemler kullanıma alınmadan önce örnekler üzerinden eğitilirler. Bu kuralı kullanan sistemler eğitildikten sonra gerçek hayatta kullanıma alındığında artık öğrenme olmamaktadır.

### **3.6.6 Yapay sinir ağlarının avantaj ve dezavantajları**

#### Avantajları:

-Yapay sinir ağları önceki deneyimlerden öğrenebilir, bir kez eğitildiklerinde yeni bir veri kümesine hemen cevap verebilir. Bir örnekten hareket ederek diğer örnekleri açıklayabilir.

-Yapay sinir ağları matematiksel modele ihtiyaç duymaz. Yapay sinir ağı yazınında verilerin yapay sinir ağının eğitiminde kullanılması için gerekli bir varsayıma rastlanmamıştır.

-Yapay sinir ağları verilerden hareketle bilinmeyen ilişkileri akıllıca hemen ortaya çıkarabilir. Ağların bu özelliği uygulama açısından önemlidir.

-Geleneksel bilgisayar sistemleri, sistemde oluşacak hatalara karşı çok hassastır. Sistemde meydana gelebilecek en ufak bir hata, sonuca ulaşmama ya da sonuçlarda büyük hatalara yol açabilmektedir.

-Ağ ağırlık katsayısı ve yapısı gibi kendi parametreleri değiştiğinde somut bir problemin çözümü için kendini adapte edebilme özelliğine sahiptir.

-Ağlar doğrusal değildir. Bu nedenle karmaşık problemleri doğrusal tekniklerden daha doğru çözebilirler.

#### Dezavantajları:

-Sistem içerisinde ne olduğu bilinemez. Bu sebeple bazı durumlarda ağların verdiği sonuçları değerlendirmek zor olabilir.

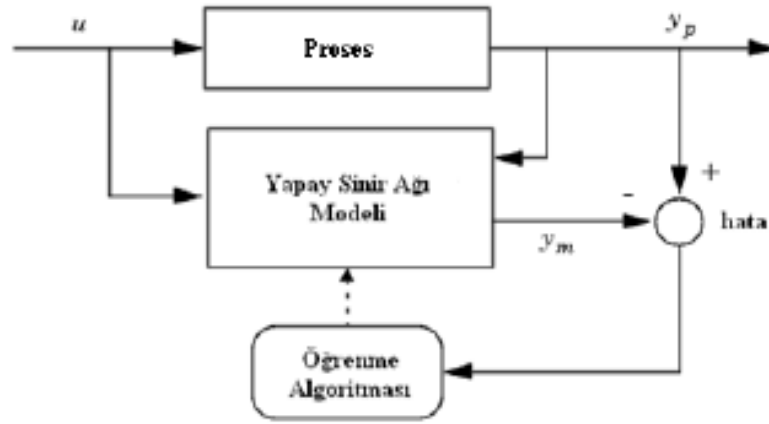
-Bir problemin çözümünde çok uygun bir çözüm bulamayabilirler ya da hata yapabilirler. Bunun sebebi ağı eğitecek bir fonksiyonun bulunmamasıdır. Bazı durumlarda fonksiyon bulunsa bile yeterli veri bulunamayabilir.

-Eğitilmek için uzun zamana ihtiyaç duyarlar ve bundan dolayı zaman ve para maliyeti yüksektir.

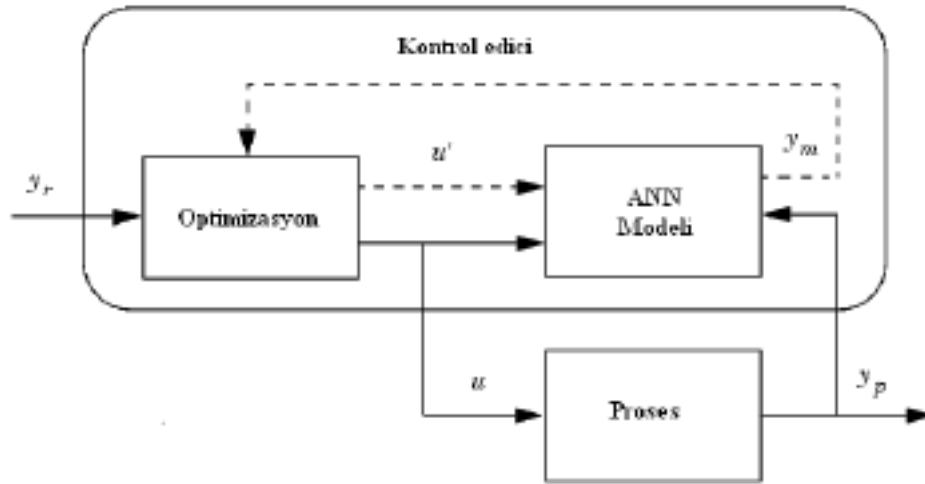
-Farklı sistemlere uygulanması zor olabilir (Tolon 2010).

### **3.6.7 Yapay sinir ağı temelli kontrol örneği**

Yapay sinir ağı temelli model öngörmeli kontrolde, doğrusal olmayan prosesin yapay sinir ağı modeli kullanılarak sistemin gelecek yanıtını öngörülür. Kontrol edici, bir optimizasyon algoritması kullanılarak tanımlanan zaman ufku boyunca sistemin gelecekteki performansı iyileştirecek şekilde kontrol sinyali hesaplar. İlk basamak yapay sinir ağı proses modelini tanımlamaktır. İkinci kısım ise kontrol basamağıdır. İlk aşamada prosesin ileriye dönük dinamiği yapay sinir ağı ile eğitmektir. Sistem çıktısı ile yapay sinir ağı modeli arasındaki tahmin hatası YSA eğitim sinyali olarak sisteme geri beslenir.



Şekil 3.5 Sistem tanımlama



Şekil 3.6 Yapay sinir ağı temelli kontrol

$u$ : Proses modelinin girdisi  $u'$ : Deneme kontrol sinyali  $y_r$ : İstenen yanıtım  $y_m$ : Ağ modelinin cevabı  
 $y_p$ : Proses cevabı

### 3.7 Genelleştirilmiş Delta Kuralı (GDK)

GDK algoritması çok tabakalı ağların eğitimine izin veren önemli bir algoritmadır. Rumelhart ve arkadaşları tarafından delta kuralından elde edilen bir genelleştirilme gizli tabakalı ağlar için gereklidir. Rumelhart ve arkadaşları GDK'yi popüler hale getirmelerine rağmen, kendi kendine öğrenme kuralı önceleri üç ayrı bağımsız durum

ortaya çıkarmıştır; ilki 1974’de Werbos, daha sonra 1982’de Parker ve son olarak da 1986’da LeCun tarafından ortaya atıldı. Gerçekte, GDK geri yayılma (back propagation) (BP) şeklinin basit bir temelidir. Onun en genel haliyle, BP büyük sistemlerin kontrolüne ve tahminine katkıda bulunur ve sık sık söz edildiği gibi denetimli öğrenmesi basit değildir. Sonuçta, BP herhangi bir diferansiyellenebilir, seyrek, doğrusal olmayan sisteme uygulanabilir. Hata minimizasyonunun geleneksel metotlara göre BP’nin temel avantajı, bir N faktörünün türevleri hesaplama maliyetini azaltır. Böylece, problemlerin uygulanabilmesi için hassasiyet ve yüksek derecede nonlieneer olmaya izin verir. Geri yayımlı öğrenmede ağırlıkların iyileştirilmesi, bir sinir ağı yapısı BP öğrenme algoritmasının gelişmesinde temel rol oynayan genelleştirilmiş delta kuralına izin verir. Delta kuralı veya ‘Widrow-Hoff rule’ kuralı aşağıdaki amaç fonksiyonlu bir optimizasyondan çıkarılır (Zeybek 2013).

$$(E_p = \frac{1}{2} \sum_j (y_{pj} - y_{pj}^d)^2) \quad (3.1)$$

Burada  $E$ , I/O (girdi/çıkıtı) örnek  $p$  için hata ölçümüdür ve  $E = \sum E_p$  hata toplamıdır. Genelleştirilmiş delta kuralı  $E_p$  ’yi minimize etmek için dik iniş yaklaşımı (gradient descent approach) ile elde edilebilir. Doğrusal bir sinyal farz edilerek, delta kuralı basitçe aşağıdaki gibi verilebilir:

$$-\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \delta_j u_j \quad (3.2)$$

$$W_{ji} \propto \frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} \quad (3.3)$$

$$W_{ji} = \eta \delta_j u_i \quad (3.4)$$

Burada  $\eta$  öğrenme hızını gösterir veya plastiklik katsayısı olarak adlandırılır:

$\delta_j = (y_j - y_j^d)$ ,  $j=1, n$  } geri bildirim öğrenme olarak kullanılan hata sinyalleridir. R ve n sırasıyla girdi ve çıktı katmanlarındaki nöron sayılarını gösterir.

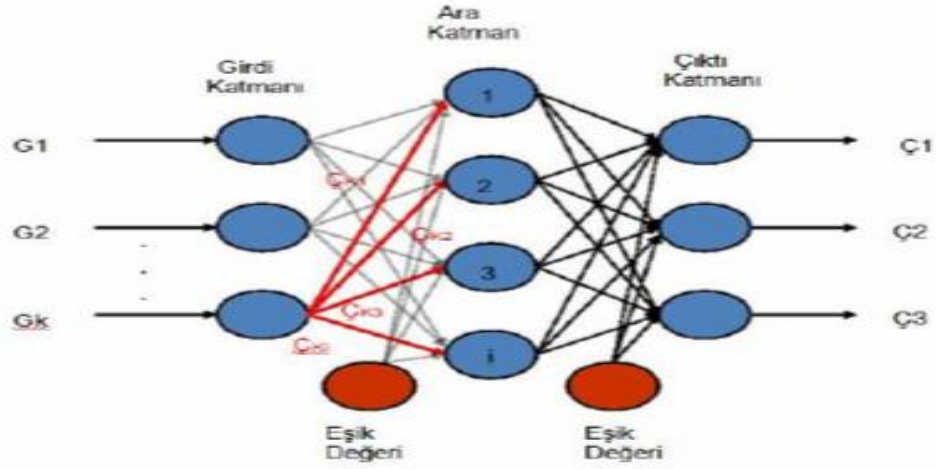
Genelleştirilmiş Delta Kuralı 2 aşamadan oluşur.

1) İleri Doğru Hesaplama

2) Geri Doğru Hesaplama

### 3.7.1 İleri doğru hesaplama

Bu safhada bilgi işleme eğitim setindeki bir örneğin girdi katmanından ağa gösterilmesi ile başlar. Gelen girdiler hiç bir değişiklik olmadan ara katmana gönderilir.



Şekil 3.7 İleri doğru hesaplamada katmanlar

Ara katmandaki her proses elemanı girdi katmanındaki bütün proses elemanlarından gelen bilgileri bağlantı ağırlıklarının ( $A_1, A_2, \dots$ ) etkisi ile alır. Önce ara katmandaki proses elemanlarına gelen net girdi ( $NET_j^a$ ) şu formül kullanılarak hesaplanır:

$$NET_j^a = \sum_{k=1}^n A_{kj} C_k^i$$

Şekil 3.8 Net girdi formülü

### 3.7.2 Geriye doğru hesaplama

Ağa sunulan girdi için ağın ürettiği çıktı ağın beklenen çıktıları ile karşılaştırılır.. Bunların arasındaki fark hata olarak kabul edilir. Amaç bu hatanın düşürülmesidir. Bu hata, ağın ağırlık değerlerine dağıtılarak bir sonraki iterasyonda hatanın azaltılması sağlanır.

Çıktı katmanındaki m. proses elemanı için oluşan hata ( $E_m$ )

$$E_m = B_m - C_m$$

### 3.7.3 Çok katmanlı ağın çalışma şekli

Örneklerin toplanması: Ağın çözmesi istenen olay için daha önce gerçekleşmiş örneklerin bulunması adıımıdır. Ağın eğitilmesi için örnekler toplandığı gibi (eğitim seti), ağın test edilmesi içinde örneklerin (test seti) toplanması gerekmektedir.

Ağın topolojik yapısının belirlenmesi: Öğrenilmesi istenen olay için oluşturulacak olan ağın yapısı belirlenir. Kaç tane girdi ünitesi, kaç tane ara katman, her ara katmanda kaç tane hücre elemanı ve kaç tane çıktı elemanı olması gerektiği belirlenmektedir.

Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi: Ağın öğrenme katsayısı, proses elemanlarının toplama ve aktivasyon fonksiyonları, momentum katsayısı gibi parametreler bu adımda belirlenmektedir.

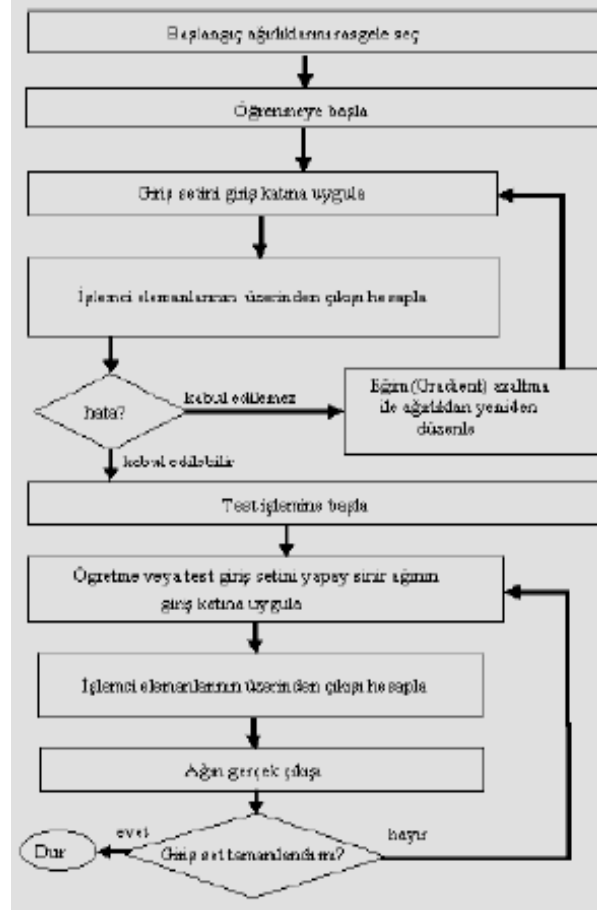
Ağın başlangıç değerlerinin atanması: Hücra elemanlarını bir birine bağlayan ağırlık değerlerinin ve eşik değere başlangıç değerinin atanması

Öğrenme setinden örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi: Ağın öğrenmeye başlaması, öğrenme kuralına uygun olarak ağırlıkların değiştirilmesi için ağa örneklerin gösterilmesi.

Öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması: Verilen girdi için ağın çıktı değerinin hesaplanması.

Gerçekleşen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması: Ağın ürettiği hata değerlerinin hesaplanması.

Ağırlıkların değiştirilmesi: Geri hesaplama yöntemi uygulanarak üretilen hatanın azalması için ağırlıkların değiştirilmesi.

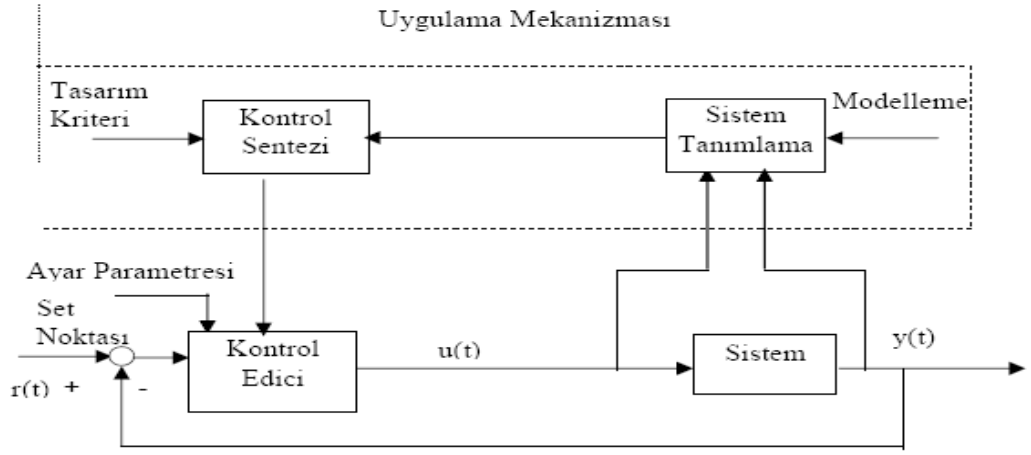


Şekil 3.9 Çok katmanlı ağın çalışma prensibi

Ağın kendisine gösterilen girdi örneği için beklenen çıktıyı üretmesini sağlayacak ağırlık değerleri bulunmaktadır. Başlangıçta bu değerler rast gele atanmakta ve ağa örnekleri gösterdikçe ağın ağırlıkları değiştirilerek zaman içerisinde istenilen değerlere ulaşması sağlanmaktadır. İstenilen ağırlık değerlerinin ne olduğu ise bilinmemektedir. Bu nedenle YSA'nın davranışlarını yorumlamak ve açıklamak mümkün olmamaktadır. Bunun temel nedeni ise, bilginin ağ üzerinde dağıtılmış olması ve ağırlık değerlerinin kendi başlarına herhangi bir anlam göstermemeleridir.

### 3.8 Kendinden Ayarlamalı PID Kontrol (STPID)

Kendinden ayarlamalı kontrol mekanizması iki basamaktan oluşur. Birinci basamakta sisteme giriş ve çıkış değişkenler ölçülerek sistem modeli oluşturulur. İkinci basamakta ise kendinden ayarlamalı kontrol mekanizması uygulanır.



Şekil 3.10 Kendinden ayarlamalı PID kontrol sisteminin blok diyagramı

### 3.8.1 Sistem modelleri

Sistem modeli kesikli zamandaki PID kontrol edici hız formunun Self Tuning formatına eşdeğer olduğu düşünülürse;

$$u(t) = \frac{S}{R} [r(t) - y(t)] \quad (3.5)$$

$$S = s_0 + s_1 z^{-1} + s_2 z^{-2} \quad (3.6)$$

$$R = (1 - z^{-1}) \quad (3.7)$$

Burada  $r(t)$  set noktası,  $u(t)$  sistem girdisi,  $y(t)$  sistem çıktısı, S ve R ise  $z^{-1}$  teriminin polinomlarıdır.

Analog PID kontrol edicinin standart formu aşağıda verilmektedir.

$$u(t) = K_e \varepsilon(t) + \frac{K_e}{\tau_I} \int \varepsilon(t) dt + K_e \tau_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (3.8)$$

$$u(t) = K_c \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_c \tau_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (3.9)$$

Sayısal PID kontrol edicinin standart formu aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$u(t) = K_c \varepsilon(t) + \frac{K_c \Delta t}{2\tau_I} \sum_{n=0}^{t-1} \varepsilon(n) + \varepsilon(n+1) + \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} \varepsilon(t) + \varepsilon(t-1) \quad (3.10)$$

(t-1) zaman adımı için benzer yaklaşım yapılarak;

$$u(t-1) = K_c \varepsilon(t-1) + \frac{K_c \Delta t}{2\tau_I} \sum_{n=0}^{t-2} [\varepsilon(n) + \varepsilon(n+1)] + \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} [\varepsilon(t-1) + \varepsilon(t-2)] \quad (3.11)$$

u(t)'den u(t-1) çıkarılırsa;

$$\Delta u(t) = \left[ K_c + \frac{K_c \Delta t}{2\tau_I} + \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} \right] \varepsilon(t) + \left[ \frac{K_c \Delta t}{2\tau_I} - K_c - \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} \right] \varepsilon(t-1) + \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} \varepsilon(t-2) \quad (3.12)$$

$$\Delta u(t) = s_0 \varepsilon(t) + s_1 \varepsilon(t-1) + s_2 \varepsilon(t-2) \quad (3.13)$$

Burada;

$$s_0 = K_c + \frac{K_c \Delta t}{2\tau_I} + \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} \quad (3.14)$$

$$s_1 = \frac{K_c \Delta t}{2\tau_I} - K_c - \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} \quad (3.15)$$

$$s_2 = \frac{K_c \tau_D}{\Delta t} \quad (3.16)$$

ARMAX modelinde zaman  $z^{-1}$  gecikme zamanı cinsinden;

$$y(t) = \frac{B}{A} z^{-1} u(t-1) + \frac{C}{A} e(t) \quad (3.17)$$

$$A = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots \quad (3.18)$$

$$B = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots \quad (3.19)$$

$$C = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots \quad (3.20)$$

Eşitlik (3. 17 ) eşitlik (3. 5 )'de yerine konursa;

$$y(t) = \frac{B}{A} z^{-1} \left[ \frac{S}{R} \mathbf{I}(t) - y(t) \right] + \frac{C}{A} e(t) \quad (3.21)$$

$$y(t) = \frac{z^{-1}BS}{AR + z^{-1}BS} r(t) + \frac{RC}{AR + z^{-1}BS} e(t) \quad (3.22)$$

Eşitlik (18)'de T polinomunun katsayıları kullanıcı tarafından belirlenmiştir:

$$T = AR + z^{-1}BS \quad (3.23)$$

T polinomunun dereceleri arasında aşağıdaki bağıntı vardır:

$$n_a + n_r = n_b + n_s + 1 = n_t \quad (3.24)$$

Kesikli zaman sistem transfer fonksiyonu açık hat için eşitlik (3.25) ile verilmektedir.

$$y(t) = \frac{b_0 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} u(t) \quad (3.25)$$

$$y(t) = \frac{b_0 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \left[ \frac{S_0 + S_1 z^{-1} + S_2 z^{-2}}{(1 - z^{-1})} r(t) - \frac{S_0 + S_1 z^{-1} + S_2 z^{-2}}{(1 - z^{-1})} y(t) \right] \quad (3.26)$$

Kapalı hat için eşitlik (3.27) ile elde edilmektedir.

$$y(t) = \frac{b_0 S_0 z^{-1} + b_0 S_1 z^{-2} + b_0 S_2 z^{-3}}{1 + z^{-1} (S_1 - 1 + b_0 S_0) + z^{-2} (S_2 - a_1 + b_0 S_1) + z^{-3} (S_3 - a_2 + b_0 S_2)} r(t) \quad (3.27)$$

Kapalı hat sistemine eşdeğer formdaki T polinomu:

$$T = 1 + t_1 z^{-1} + t_2 z^{-2} + t_3 z^{-3} \quad (3.28)$$

(3.27) ve (3.28) eşitliklerinin paydaları eşitlenerek aşağıda gösterilen eşitlikler elde edilir:

$$\begin{aligned} 1 + a_1 - 1 + b_0 s_0 z^{-1} + a_2 - a_1 + b_0 s_1 z^{-2} + b_0 s_2 - a_2 z^{-3} \\ = 1 + t_1 z^{-1} + t_2 z^{-2} + t_3 z^{-3} \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$s_0 = \frac{(t_1 - a_1 + 1)}{b_0} \quad (3.30)$$

$$s_1 = \frac{(t_2 - a_2 + a_1)}{b_0} \quad (3.31)$$

$$s_2 = \frac{(t_3 + a_1)}{b_0} \quad (3.32)$$

(Hapoğlu 2014)

### 3.9 İki Seviyeli Faktöriyel Deney Tasarımı

Faktöriyel deneylerin elementer kümesi “ $2^k$ ” faktördür. Burada k iki seviye için alınan ilgili faktörlerin (değişkenlerin) sayısıdır. Tasarımın bu tipi birinci derece bağıntı ile sunulan eşitlik için yeterli deneysel durumları kapsamaması bakımından yararlı olacaktır. Burada uygulanan kombinasyonlarla ilgili klasik notasyonlar kullanılacaktır.

Aşağıda tanımlanan birinci dereceden eşitliğe uygunlaştırılması istendiğinde  $2^k$  faktöriyel deney, eşitliğin bağımsız değişkenlerinin “-1”(düşük seviyesinde), “+1”(yüksek seviyesinde) kodlaştırılmış değerleriyle ifade edilecektir.

#### Birinci derece model

$$Y = f(x) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^n b_{ij} x_i x_j \quad (3.33)$$

#### İkinci derece model

$$Y = f(x) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad (3.34)$$

Oluşturulmak istenen regresyon modelindeki  $x_i$  ve  $x_j$  simge değerlerinin hesaplanması için, aşağıdaki eşitliklerden yararlanılır.

$$x_i = \frac{U_i - U_{i,ort}}{\Delta U_i} \quad (3.35)$$

Burada  $U_i$  : Orjinal birimde okunan değişkenlerin gerçek değeri

$\Delta U_i$  :  $U_i$  değişkeninin yüksek seviyesi ile düşük seviyesi arasındaki uzaklığın yarısı

$U_{i,ort}$  :  $U_i$  değişkeninin yüksek seviyesi ile düşük seviyesinin ortalaması.

$$D = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \\ -1 & -1 & -1 & (1) \\ 1 & -1 & -1 & a \\ -1 & 1 & -1 & b \\ -1 & -1 & 1 & c \\ 1 & 1 & -1 & ab \\ 1 & -1 & 1 & ac \\ -1 & 1 & 1 & bc \\ 1 & 1 & 1 & abc \end{bmatrix} \quad D' = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_1x_2 \dots x_2x_3 & x_1^2 \dots x_3^2 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \dots 1 & 1 \dots 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 \dots 1 & 1 \dots 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 \dots -1 & 1 \dots 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \dots -1 & 1 \dots 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \dots -1 & 1 \dots 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \dots -1 & 1 \dots 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \dots 1 & 1 \dots 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \dots 1 & 1 \dots 1 \end{bmatrix}$$

Böylelikle verilen D matrisine göre birinci derece modele deneyleri uygunlaştırabiliriz.  $b_0$ ,  $b_1$  ve  $b_{ij}$ ,  $b_{ii}$  katsayılarının bulunması gerekmektedir.

Genel olarak ortogonal planlar için regresyon modellerinin katsayıları aşağıdaki formülle belirlenir.

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}, \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij} y_j}{N}, \quad (i = 0, n) \quad (3.36)$$

Benzer şekilde doğrusal olmayan model için deney sayısı  $2^k+2k+1$  olarak hesaplanır ve yukardaki eşitlikten katsayılar hesaplanır.

Burada (+1) yüksek seviyeyi, (-1) aşağı, (0) ise ortalama seviyeyi gösterir.  $\pm\alpha$  ise yıldız noktası adlandırılarak aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\alpha = \sqrt{1/2 \left( \sqrt{N_K^2 + N_K(N_\alpha + 1)} - N_K \right)} \quad (3.37)$$

K: faktör sayısı,  $N_K: 2^K$ ,  $N_\alpha: 2K$

Çizelge 3.1 Üç faktör için ikinci dereceden plan matrisi (Zeybek 2014)

| Deney No | X <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | y               |
|----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1        | +1             | +1             | +1             | y <sub>1</sub>  |
| 2        | +1             | +1             | -1             | y <sub>2</sub>  |
| 3        | +1             | -1             | +1             | y <sub>3</sub>  |
| 4        | +1             | -1             | -1             | y <sub>4</sub>  |
| 5        | -1             | +1             | +1             | y <sub>5</sub>  |
| 6        | -1             | +1             | -1             | y <sub>6</sub>  |
| 7        | -1             | -1             | +1             | y <sub>7</sub>  |
| 8        | -1             | -1             | -1             | y <sub>8</sub>  |
| 9        | $+\alpha$      | 0              | 0              | y <sub>9</sub>  |
| 10       | $-\alpha$      | 0              | 0              | y <sub>10</sub> |
| 11       | 0              | $+\alpha$      | 0              | y <sub>11</sub> |
| 12       | 0              | $-\alpha$      | 0              | y <sub>12</sub> |
| 13       | 0              | 0              | $+\alpha$      | y <sub>13</sub> |
| 14       | 0              | 0              | $-\alpha$      | y <sub>14</sub> |
| 15       | 0              | 0              | 0              | y <sub>15</sub> |

verilen üç faktör için D değişken matrisini x ile gösterirsek

$$X = \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 \\ 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad X^T X = \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8 \end{bmatrix}$$

Burada gözlemler için önceden tanımlanan notasyonlar kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen y değerlerini,  $X^T y$  şeklinde vektör haline getirilir. Aşağıda 3 değişken için  $2^k=8$  deney için bir katsayının hesaplanması gösterilmiştir.

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_a \\ y_b \\ y_c \\ y_{ab} \\ y_{ac} \\ y_{bc} \\ y_{abc} \end{bmatrix} \quad X^T y = \begin{bmatrix} y_1 + y_a + y_b + y_c + y_{ab} + y_{ac} + y_{bc} + y_{abc} \\ y_a + y_{ab} + y_{ac} + y_{abc} - y_1 - y_b - y_c - y_{bc} \\ y_b + y_{ab} + y_{bc} + y_{abc} - y_1 - y_a - y_c - y_{ac} \\ y_c + y_{ac} + y_{bc} + y_{abc} - y_1 - y_a - y_b - y_{ab} \end{bmatrix}$$

$$b_1 = \left( y_a + y_{ab} + y_{ac} + y_{abc} - y_1 - y_b - y_c - y_{bc} \right) 8 \quad (3.38)$$

Burada not edilmesi gereken nokta  $2^k$  faktöriyel deneysel tasarımına “orthogonal tasarım” denir. Tasarımda  $X^T X$  matrisin diyagonalinde oluşur ve böylece model katsayıları birbiriyle bağıntılı değildir. (Zeybek 2014)

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Atık su arıtımı için gerekli olan tekstil endüstrisi atık suyu Yeşim Tekstil A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Alınan atık su numunesi üretimin son aşamasından çıkan hiçbir arıtma işlemine uğramamış, oldukça kirli bir proses atık suyudur. Bu atık suyun pH'ı 9,47; türbidimetre sonucu %49,4 ve renk değeri ise % 37'dir. Kimyasal oksijen ihtiyacı ise 989 mg/l'dir. Yapılan deneylerle çeşitli koagülant maddeler kullanılarak bu atık suyun standartlara uygun arıtımı hedeflenmiştir. Resmi Gazete'de yer alan Su Kirliliği Yönetmeliği Kapsamında atık su pH'sının olması gereken aralığa çekilmesi buna bağlı olarak da ışık geçirgenliğinin ve KOİ değerini istenilen düzeyde sağlanması hedeflenmiştir. Suda bulunan bulanıklığı belirlemek için su içinden ışık geçirilir ve ışığın ne derece engellenmiş olduğu anlaşılır. Yapılan ışık geçirgenliği analizinde *Orbeco- Hellige 975 MP* su analiz cihazı kullanılmıştır.

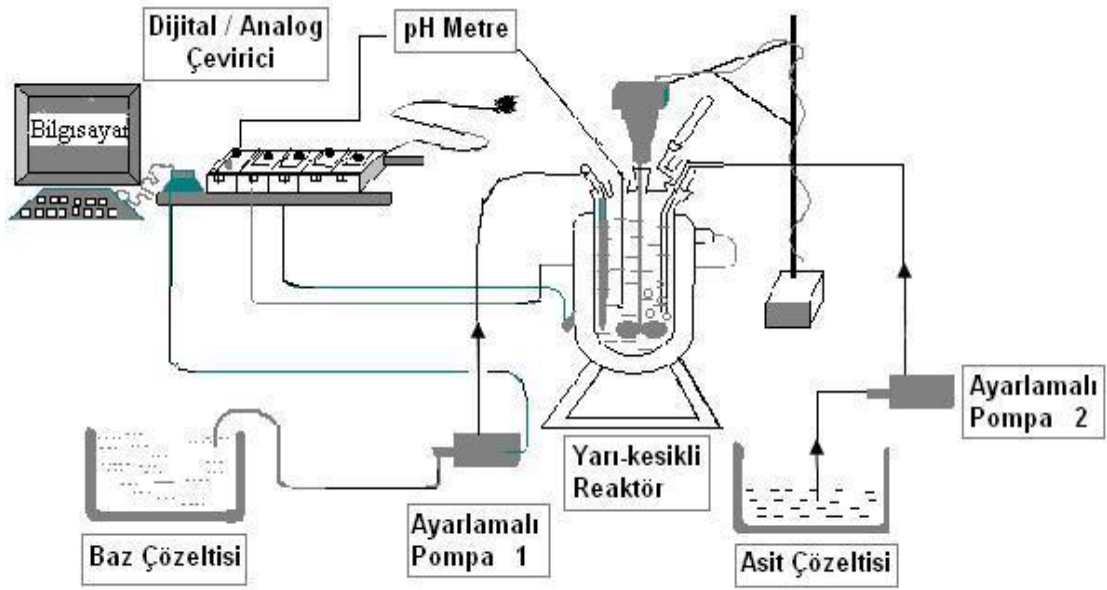
KOİ değeri su örneğinin asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyiciyle oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. Yapılan KOİ analizi *Orbeco-Hellige* marka cihazında yapılmıştır. Prosedür EK 1'de verilmiştir.

### 4.1 Deney Sistemi

Tekstil üretim prosesi atık suyunun arıtımı için 2 L'lik yarı kesikli bir reaktör kullanılmıştır. Sistemde bilgisayar, pH metre, 2 adet pompa, asit baz çözeltileri, yarı kesikli reaktör ve çevirici bulunmaktadır. Şekil 4.1'de deney sistemi verilmiştir. Şekil 4.2'de deney düzeneği resmi verilmiştir.

Sistemde çalışma hacmi 1 L olarak belirlenmiştir. Reaktöre beslenen atık su optimum karıştırma hızında karıştırılmaya başlandıktan sonra optimum değeri yapılan ön deney ve analizlerle belirlenen çöktürücü madde reaktöre eklenmiştir. Sisteme baz akımı %20 lik NaOH çözeltisi on-line pompa tarafından kontrollü bir şekilde verilirken, asit akımı olarak da %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi sabit bir akış hızında beslenmiştir. Reaktör sistemine on line bağlı bilgisayarda ilk adımda *Visial Basic* programlama diliyle yazılmış olan self tuning PID kontrol ve algoritması ile sistem pH sı istenen düzeyde tutulmuştur. 1

saniyelik zaman aralıklarıyla pH ölçümleri yapılmış ve ölçülen değerler bilgisayara on line olarak işletilmiş algoritma istenen pH değerinde tutabilmek için program gerekli akış hızını ayarlamıştır. Yaklaşık 400-500 saniye civarında deneyler sonucunda sisteme polielektrolit madde eklenmiş ve topaklanma sağlanmıştır. Reaktörden alınan numuneler bir gün bekletilmiş ve ardından gerekli analizler yapılmıştır.



Şekil 4.1 Çöktürme ile arıtımda pH denetimi için kurulmuş deney düzeneği

#### 4.2 Koagülant Seçimi, Optimum Koagülant Miktarı ve pH Değerlerinin Belirlenmesi

Tekstil atık suyunun proseslerinin arıtım yöntemlerinde çöktürmeyle arıtımda kullanılacak kimyasalların derişimlerinin ve pH değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla yapılan literatür taramasında çöktürücü olarak demir sülfat heptahidrat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), demir klorür ( $\text{FeCl}_3$ ), alüminyum sülfat (alum,  $\text{Al}_2\text{SO}_4$ ) uygun çöktürücü kimyasallar belirlenmiştir.

Her bir deney için 50 ml atık suya 0.25, 0.5, 0.75 olmak üzere çöktürücü eklenmiştir. Aynı koagülant miktarları 75 ml ve 100 ml'lik atık su kullanılarak ve farklı pH değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. 7 ile 12 arasındaki pH değerlerinde yapılan

her bir deney için turbidimetre ve renk analizleri yapılmıştır. Çöktürme prosesinde uygun derişimler ve pH değerleri belirlenmiştir. Örnekler önce 2 dk ile 100 rpm, 20 dk ile 40 rpm karıştırma hızlarında karıştırılmış, karıştırma esnasında ilgili örneğin ayarı yapılmıştır. Karıştırma işlemi sonrasında topaklaştırıcı madde eklenip numuneler 1 gün süreyle bekletilmiş ardından ışık geçirgenliği verileri ve pH değerleri kullanılarak *Design Expert* programında optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışması sonucunda uygun derişim ve pH verilerine ulaşılmıştır. Turbidimetre ve renk analizleri

Deneylerde Kullanılan Çöktürücü Maddeler ;

Demir sülfat heptahidrat: Mol kütlesi 278.01 g/mol (CAS no 7782-63-0, EC no 231-753-5)'dür. Deneylerde Merck marka demirsülfat heptahidrat kullanılmıştır. Oda sıcaklığında mavi yeşil mono klinik kristaller halinde bulunur. Suda çözünebilir.

Demir klorür: Mol kütlesi 162.20 g/mol (CAS no 7705-08-0, EC no 231-729-4)'dür. Deneylerde Merck marka demir klorür kullanılmıştır. Oda sıcaklığında yeşilimsi toz kristaller halinde bulunur. Endüstride atık su arıtımında kullanılmaktadır.

Alüminyum sülfat: Mol kütlesi 342.15 g/mol (CAS no 10043-01-3, EC no 233-135-0)'dür. Deneylerde Sigma-Aldrich marka ürün kullanılmıştır. Oda koşullarında beyaz kristaller halinde bulunur. İçme suyu arıtımında kullanılır.



Şekil 4.2 Deney düzeneği

## **5. ARAŞTIRMA BULGULARI**

Arıtım yapılmamış atık su numunesinin ışık geçirgenliği %49,4 olarak belirlenmiştir. Her bir çöktürücü madde için deneyler yapılmış ve türbidimetre, renk sonucunun en iyi olduğu pH değerleri belirlenmiştir. Analizler için çöktürücü madde miktarları yapılan deneyler neticesinde 1 g/l , 2,5 g/l ve 4 g/l olarak belirlenmiştir. pH değer aralıkları ise 10 -12 arasında en iyi netice vermektedir.

### **5.1 Işık Geçirgenliği Analiz Sonuçları**

#### **5.1.1 Alum için ışık geçirgenliği analiz sonuçları**

Yapılan deneyler neticesinde alum için en yüksek ışık geçirgenliği sonucu %95 olarak belirlenmiştir. Herhangi bir optimizasyon çalışması olmadan yapılan 35 deneyin sonucu olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda renk analiz sonucu da %91,6'dır. pH değeri de 10 olarak belirlenmiştir. 1 L atık su için 2,5 gr alumun yeterli olduğu belirlenmiştir.

#### **5.1.2 Demir klorür için ışık geçirgenliği analiz sonuçları**

Yapılan deneyler neticesinde demir klorür için en yüksek ışık geçirgenliği %94 olarak belirlenmiştir. Her hangi bir optimizasyon çalışması olmaksızın yapılan deney verileri elde edilmiştir. Renk analiz sonucu %91.7 olarak belirlenmiştir. pH değeri ise 11 olarak belirlenmiştir. 1L atık su için 4g/L FeCl<sub>3</sub> yeterli olduğu belirlenmiştir.

#### **5.1.3 Demir sülfat heptahidrat için ışık geçirgenliği analiz sonuçları**

Yapılan deneyler neticesinde demir sülfat hepta hidrat için en yüksek ışık geçirgenliği %92 olarak belirlenmiştir. Her hangi bir optimizasyon çalışması olmaksızın yapılan deney sonuçları bulunmuştur. Renk analizi %95 olarak belirlenmiştir. pH değeri ise 12 olarak tespit edilmiştir. 1 L atık su için 2.5 g/ L FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O yeterli bulunmuştur.

Çizelge 5.1 Işık geçirgenliği ve renk analiz sonuçları

| Koagülant madde                                 | Işık geçirgenliği(%) | Renk(%) |
|---|----------------------|---------|
| Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 95                   | 91.6    |
| FeCl <sub>3</sub>                               | 94                   | 91.7    |
| FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O            | 92                   | 95      |

## 5.2 Optimizasyon Çalışması Sonuçları

Işık geçirgenliği analizi sonucunda elde edilen değerler ile derişim ve pH değerleri kullanılarak *Design Expert* programında *Merkezi Kompozit Tasarım* ile optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasının ANOVA test sonuçları ekte verilmiştir.

### 5.2.1 Alum için optimizasyon çalışması

Çizelge 5.2 Alum için deney tasarım çizelgesi

| Deney no | Faktör 1<br>A : Çöktürücü | Faktör 2<br>B : pH | Cevap<br>R1 : türbidite |
|----------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1        | 0.00                      | 0.00               | <b>94</b>               |
| 2        | -1.00                     | 0.00               | <b>94</b>               |
| 3        | 1.00                      | 1.00               | 90                      |
| 4        | 1.00                      | -1.00              | 70                      |
| 5        | 0.00                      | 0.00               | 93                      |
| 6        | -1.00                     | -1.00              | 71                      |
| 7        | 0.00                      | 0.00               | <b>94</b>               |
| 8        | 0.00                      | 0.00               | <b>94</b>               |
| 9        | 1.00                      | 0.00               | 92                      |
| 10       | 0.00                      | -1.00              | 72                      |
| 11       | 0.00                      | 0.00               | 90                      |
| 12       | 0.00                      | 1.00               | 89                      |
| 13       | -1.00                     | 1.00               | 88                      |

A: 1 g/L, 2.5 g/L ve 4 g/L olan alum derişimlerinin eşitlik 3.35 kullanılarak kodlanmış değerleri -1,0 ve 1 olarak gösterilmiştir.

B : 8, 10 ve 12 pH değerlerinin kodlanmış değerleri çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

R1 : % türbidite değerleridir.

Alum için yapılan optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen model denklemini aşağıda vermiştir.

$$\text{Türbidite} = +93.10 - 0.17 * A + 9.0 * B + 0.75 * A * B - 0.36 * A^2 - 12.86 * B^2$$

(  $R^2 = 0.9855$  ) (5.1)

A : Alum derişimi

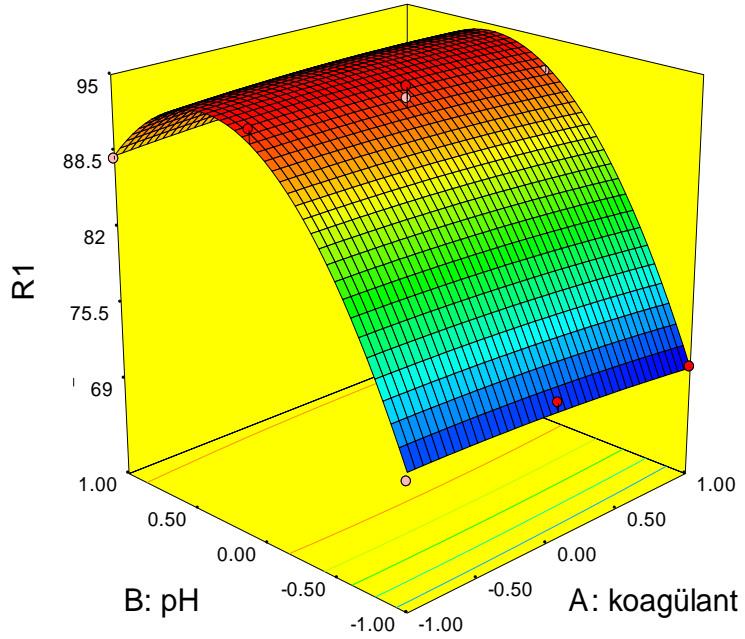
B : 8 , 10 ve 12 arasındaki pH değerleridir.

R1 : % türbidite değerleridir.

Design-Expert® Software

R1  
94  
70

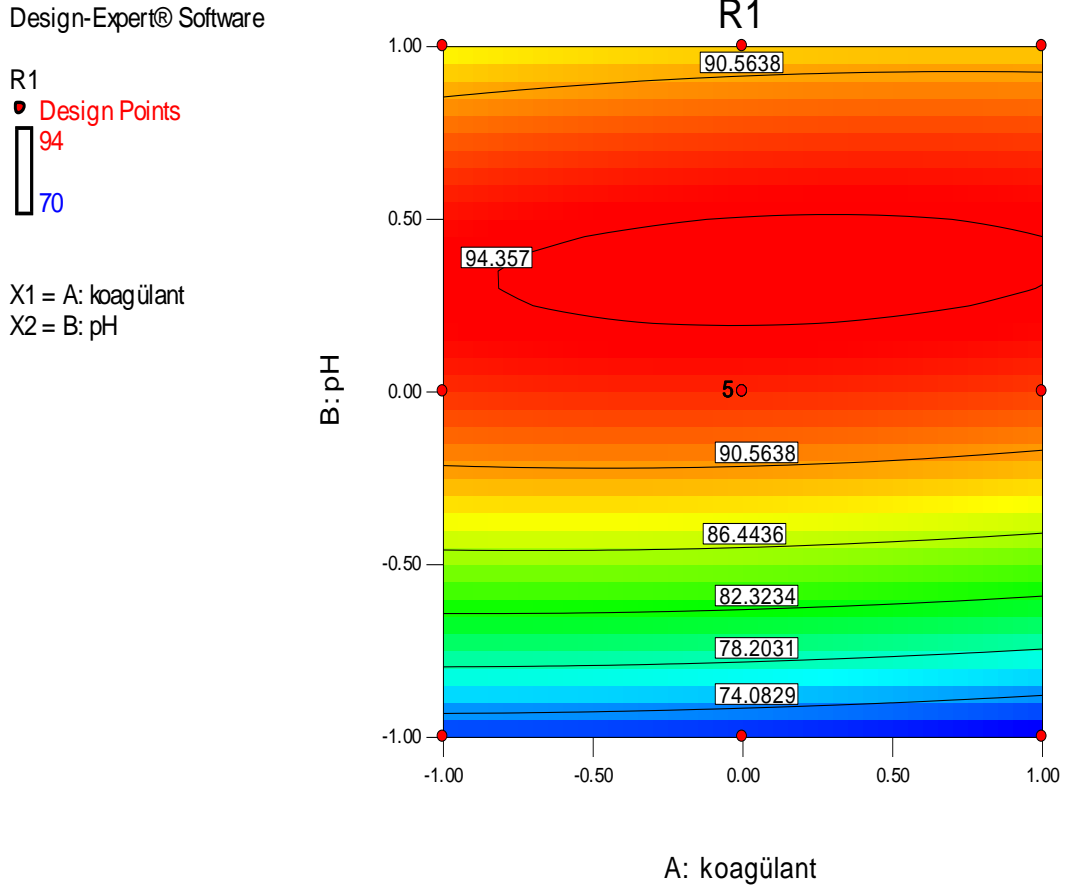
X1 = A: koagülant  
X2 = B: pH



Şekil 5.1 Alum ile arıtımda optimum pH ve derişimi 3 boyutlu gösteren grafik

Programdan elde edilen 3 boyutlu grafiğe göre alum ile arıtım yapılırken kullanılacak olan en uygun pH aralığı 10 olarak okunabilmektedir. Türbidite bu pH değerinde en yüksek değerine ulaşmıştır. Programın bize verdiği sonucun maksimum türbidite için %94 olduğu çizelge 5.2’de verilmektedir. Alum için çöktürücü miktarının pek bir önemi

olmadığı daha az çöktürücü ile de iyi bir sonuç elde edilebileceği görülmektedir. Işık geçirgenliği analiz sonuçlarında derişim 2.5 g/L olarak belirlenmiş idi. pH aralık sonucunun her ikisi için de aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2 Alum ile arıtımda pH ve derişimin ışık geçirgenliği üzerine etkisini gösteren 2 boyutlu grafik

İki boyutlu grafik incelendiğinde ise maksimum türbidite değeri %94 olarak okunabilmektedir. Daha az çöktürücü miktarı ile sonuç elde edilebileceği bu grafikte de açıkça görülmektedir. Uygun pH 10'a oldukça yakındır. Yapılan deneyler ile *Design Expert* sonuçları pH açısından değerlendirildiğinde aynıdır. 2.5 g/L'den daha az çöktürücü ile de iyi bir türbidite sonucu elde edilebileceği görülmektedir.

## 5.2.2 Demir klorür için optimizasyon çalışması

Çizelge 5.3 Demir klorür için deney tasarım çizelgesi

| Deney no | Faktör 1<br>A: Çöktürücü | Faktör 2<br>B : pH | Cevap<br>R1 : türbidite |
|----------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1        | -1.00                    | -1.00              | 75                      |
| 2        | 1.00                     | -1.00              | 76                      |
| 3        | 1.00                     | 0.00               | 95                      |
| 4        | -1.00                    | 0.00               | <b>96</b>               |
| 5        | 0.00                     | 1.00               | 87                      |
| 6        | 0.00                     | 0.00               | 95                      |
| 7        | 1.00                     | 1.00               | 88                      |
| 8        | 0.00                     | 0.00               | 95                      |
| 9        | 0.00                     | 0.00               | <b>96</b>               |
| 10       | -1.00                    | 1.00               | 85                      |
| 11       | 0.00                     | -1.00              | 77                      |
| 12       | 0.00                     | 0.00               | 90                      |
| 13       | 0.00                     | 0.00               | 91                      |

A: 1 g/L , 2.5 g/L ve 4 g/L FeCl<sub>3</sub> derişimlerinin kodlanmış değerleri eşitlik 3.35 e göre sırasıyla -1(minimum),0(orta) ve 1(maksimum) olarak gösterilmiştir.

B : 8 , 10 ve 12 pH kodlanmış değerleri çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

R1 : % türbidite değerleridir.

Demir klorür için yapılan optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen model denklemini aşağıda verilmiştir.

$$\text{Türbidite} = +93.83 + 0.50 * A + 5.33 * B + 0.50 * A * B + 0.60 * A^2 - 12.90 * B^2$$

(R<sup>2</sup> 0.9465) (5.2)

A : 1 g/L , 2.5 g/L ve 4 g/L demir klorür derişimi

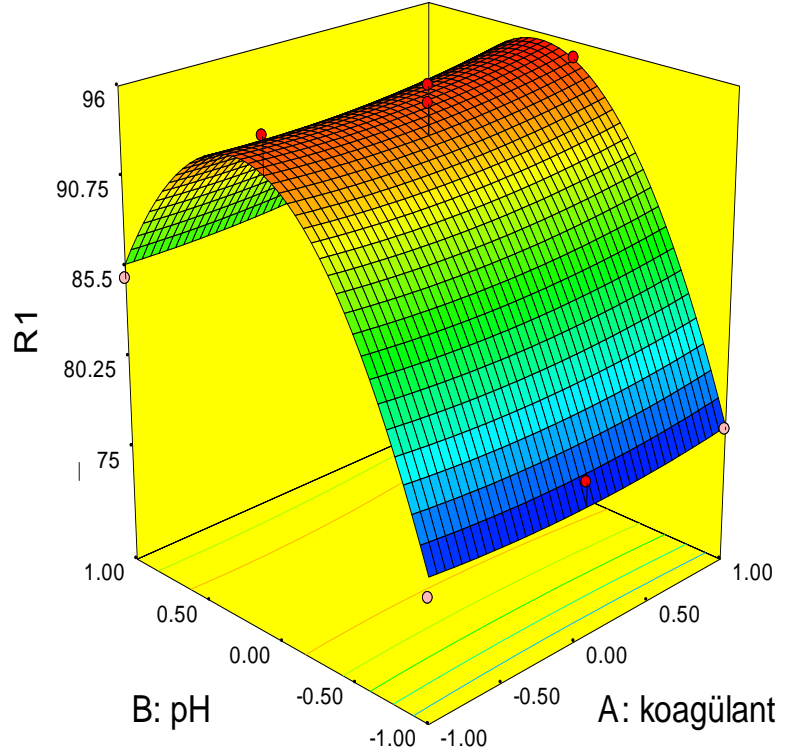
B : 8 , 10 ve 12 arasındaki pH değerleri

R1 : % türbidite değerleri

Design-Expert® Software

R1  
96  
75

X1 = A: koagülant  
X2 = B: pH



Şekil 5.3 Demir klorür ile arıtımda optimum pH ve derişimi 3 boyutlu gösteren grafik

Programdan elde edilen 3 boyutlu grafiğe göre demir klorür ile arıtım yapılırken kullanılacak olan en uygun pH aralığı 10 ile 11 arasında olduğu okunabilmektedir. Türbidite bu pH değerinde en yüksek değerine ulaşmıştır. Demir klorür için daha az çöktürücü ile de iyi bir sonuç elde edilebileceği görülmektedir. Işık geçirgenliği analiz sonuçlarında derişim 4 g/L olarak belirlenmişti. pH aralık sonucunun her ikisi için de aynı olduğu görülmektedir.

Design-Expert® Software

R1

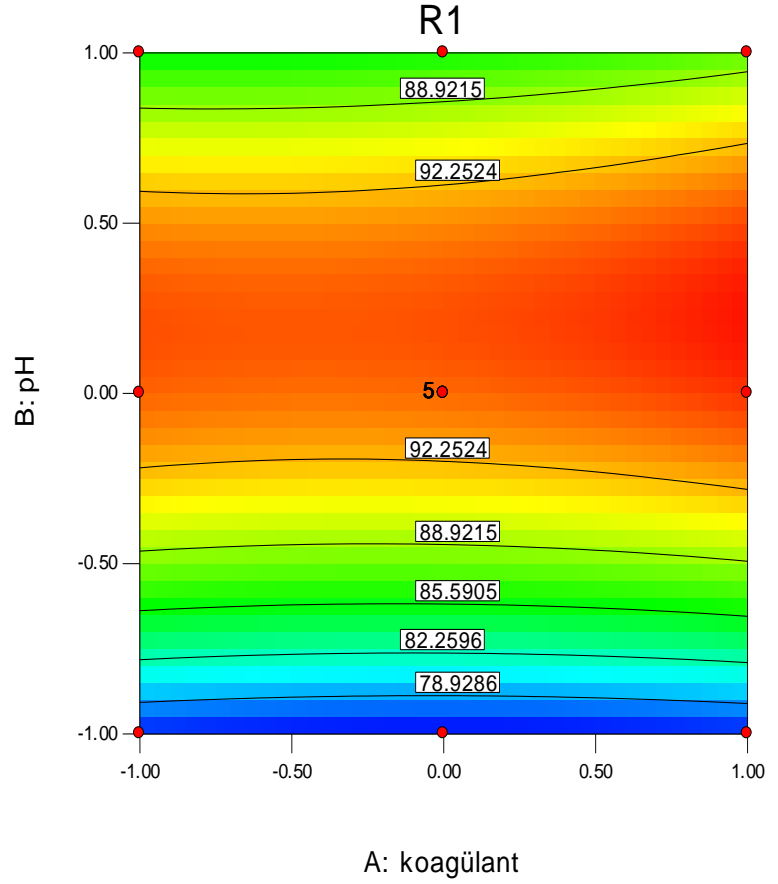
● Design Points

96

75

X1 = A: koagülant

X2 = B: pH



Şekil 5.4 Demir klorür ile arıtımda pH ve derişimin ışık geçirgenliği üzerine etkisini gösteren grafik

Demir klorür için 2 boyutlu grafik incelendiğinde ise koagülant miktarlarının bu arıtım için daha uygun bu da minimum değer olan 1g/L olduğu görülmektedir. Daha az koagülant kullanılarak da iyi bir sonuç elde edileceği belirlenmiştir. Uygun pH miktarının ise 10 ile 11 arasında bir değer olduğu pH 11'e daha yakın bölgenin kırmızı olduğu görülmektedir.

### 5.2.3 Demir sülfat heptahidrat için optimizasyon çalışması

Çizelge 5.4 Demir sülfat hepta hidrat için deney tasarım çizelgesi

| Deney no | Faktör 1<br>A: Çöktürücü | Faktör 2<br>B: pH | Cevap<br>R1 : türbidimetre |
|----------|--------------------------|-------------------|----------------------------|
| 1        | -1.00                    | -1.00             | 75                         |
| 2        | 0.00                     | 1.00              | 95                         |
| 3        | -1.00                    | 1.00              | <b>96</b>                  |
| 4        | 0.00                     | 0.00              | 82                         |
| 5        | 0.00                     | 0.00              | 84                         |
| 6        | 0.00                     | 0.00              | 82                         |
| 7        | 1.00                     | 1.00              | 95                         |
| 8        | 1.00                     | 0.00              | 84                         |
| 9        | 0.00                     | 0.00              | 82                         |
| 10       | -1.00                    | 0.00              | 83                         |
| 11       | 0.00                     | -1.00             | 73                         |
| 12       | 0.00                     | 0.00              | 85                         |
| 13       | 1.00                     | -1.00             | 71                         |

A: 1 g/L , 2.5 g/L ve 4 g/L demir sülfat hepta hidrat derişimlerinin kodlanmış değerleri eşitlik 3.35 e göre sırasıyla -1,0 +1 olarak çizelge 5.4 te gösterilmiştir.

B : 8 , 10 ve 12 pH değerleri

R1 : % türbidite değerleridir.

Demir sülfat heptahidrat için yapılan optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen model denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\text{Türbidite} = +83.03 - 0.67* A + 11.17* B + 0.75* A * B + 0.38* A^2 + 0.88* B^2$$

(R<sup>2</sup> 0.9841)

(5.3)

A : 0.1 ile 4 g/L arasındaki derişimi göstermektedir.

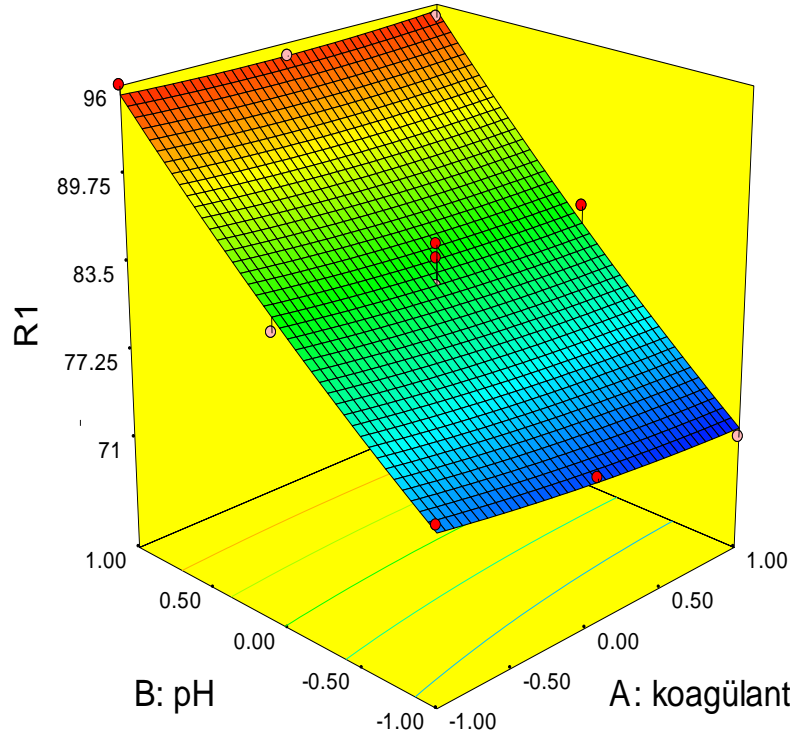
B : 8 ile 12 arasındaki pH değerleridir.

R1 : türbidite değerleri

Design-Expert® Software

R1  
96  
71

X1 = A: koagülant  
X2 = B: pH



Şekil 5.5 Demir sülfat heptahidrat ile arıtımda optimum pH ve derişimi 3 boyutlu gösteren grafik

3 boyutlu grafik incelendiğinde maksimum türbidite değerine ulaşıldığı nokta pH'ın 12 olduğu yerdir. Koagülant miktarının daha az olması takdirinde yine iyi bir ışık geçirgenliği sonucu elde edilebileceği görülmektedir. Analiz sonuçları ile belirlenen 2.5 g/L'den daha az koagülant kullanılabileceği görülmektedir.

Design-Expert® Software

R1

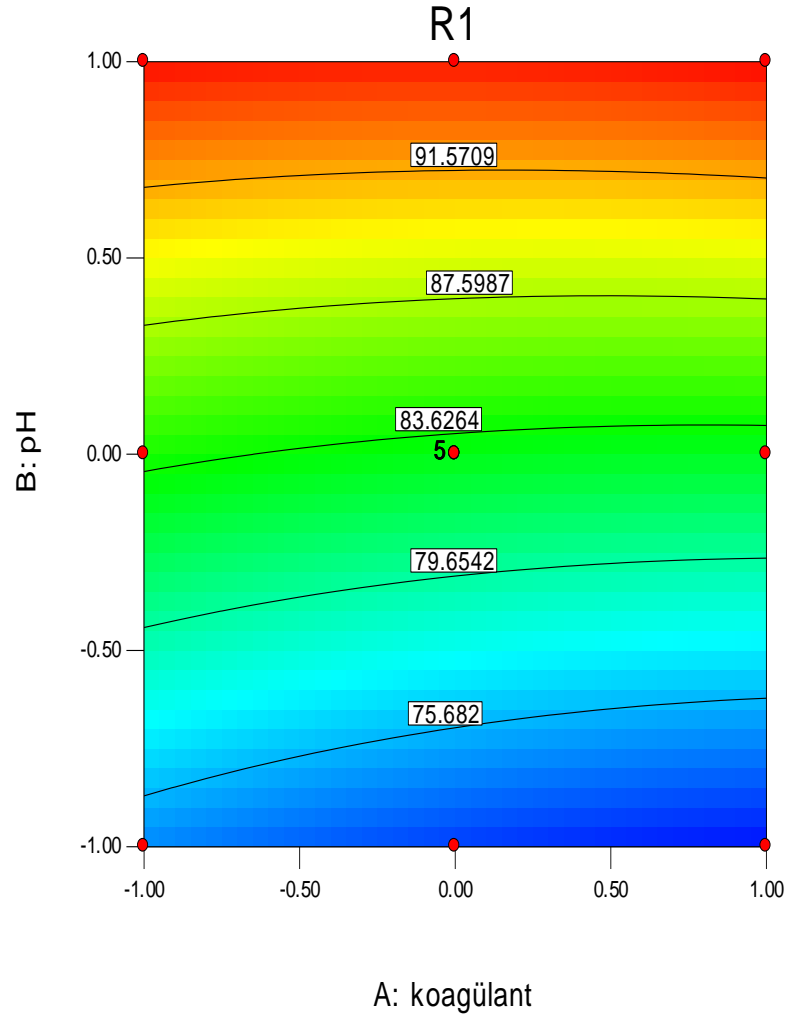
● Design Points

96

71

X1 = A: koagülant

X2 = B: pH



Şekil 5.6 Demir sülfat heptahidrat ile artımda pH ve derişimin ışık geçirgenliği üzerine etkisini gösteren 2 boyutlu grafik

2 boyutlu grafikten de yine maksimum türbidite değerine pH 'ın 12 olduğu noktada ulaşıldığı görülmektedir. Koagülant miktarının daha az olması takdirinde yine iyi bir türbidite değeri elde edileceği görülmektedir.

Her bir deney için ANOVA sonuçları EK 2'de verilmiştir.

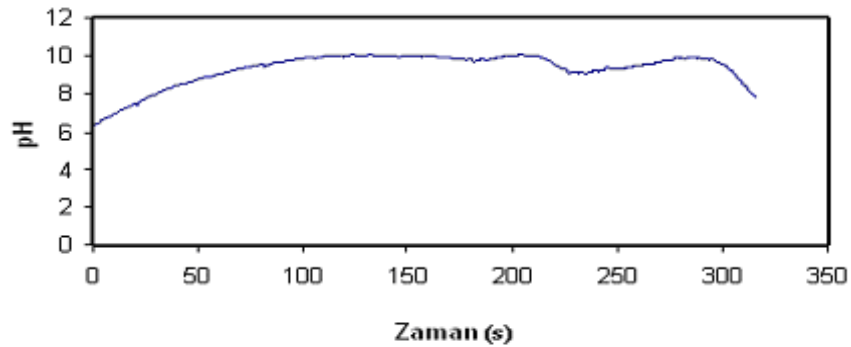
### 5.3 Kontrol Deneyleri

Kendinden ayarlamalı kontrol sisteminin etkin olarak çalışabilmesi için ARMAX modelinin katsayıları uygun olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerle ARMAX modelinin katsayıları hesaplanmış ve aşağıdaki modelde gösterilmiştir.

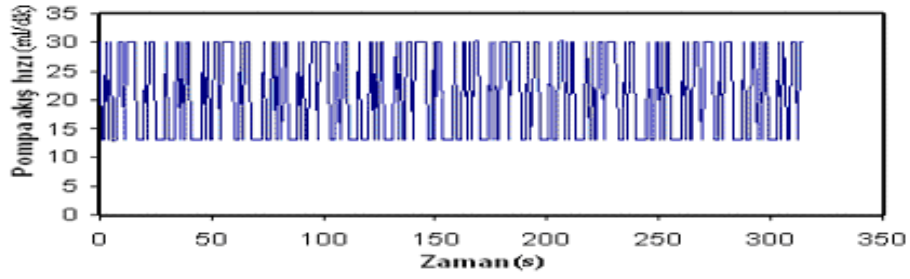
$$y(t) = \frac{B}{A} z^{-1} u(t-1) + \frac{C}{A} e(t) \quad (5.4)$$

Söz konusu model parametreleri en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu amaçla PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) sinyallerinden yararlanılmıştır. PRBS sinyalleri sistemde pompa hızına etkiler verilerek gönderilmiştir. Sistemin yanıtını on-line bilgisayar yardımıyla pH ölçümleri ile alınmıştır.

PRBS sinyalleri bilgisayarda teorik olarak oluşturulmuş ve bir sinyal yardımıyla sisteme baz besleyen peristaltik pompaya gönderilerek baz akış hızını ayarlamıştır. Ardından bir pH metre yardımıyla sistem çıkışında pH değerleri ölçülmüş ve ölçüm değerleri bilgisayara kaydedilmiştir. Yapılan çalışma ile ilgili bilgisayar programı Visual Basic programlama dilinde yazılmıştır. İlgili PRBS sinyalleri şekil 5.7- 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 PRBS sinyallerine sistemin pH cevabı



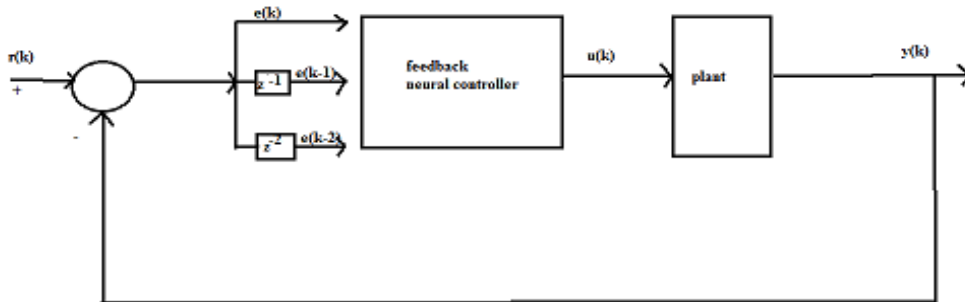
Şekil 5.8 Pompa akış hızına verilen PRBS sinyalleri

Önerilen GDK ile kontrolde, off line eğitilen yapay sinir ağı modelinin ağırlıkları şekil 5.7 - 5.8 de verilen PRBS sinyallerinden alınan verilerle hesaplanmıştır. Ağırlık verileri çizelge 5.5 deki gibidir.

Çizelge 5.5 Ağırlık verileri

|                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| $W(2,1)=0.0445943$ | $W(2,2)=0.065258$  | $W(2,3)=0.112580$  |
| $W(3,1)=-0.204870$ | $W(3,2)=-0.088017$ | $W(3,3)=-0.758834$ |
| $V(1,1)=-0.582956$ | $V(1,2)=6.284228$  | $V(1,3)=0.082497$  |
| $V(2,1)=1.417514$  | $V(2,2)=6.793530$  | $V(2,3)=-0.918205$ |
| $V(3,1)=0.945863$  | $V(3,2)=6.754486$  | $V(3,3)=0.053294$  |

### 5.3.1 GDK ile yapılan kontrol deneyleri

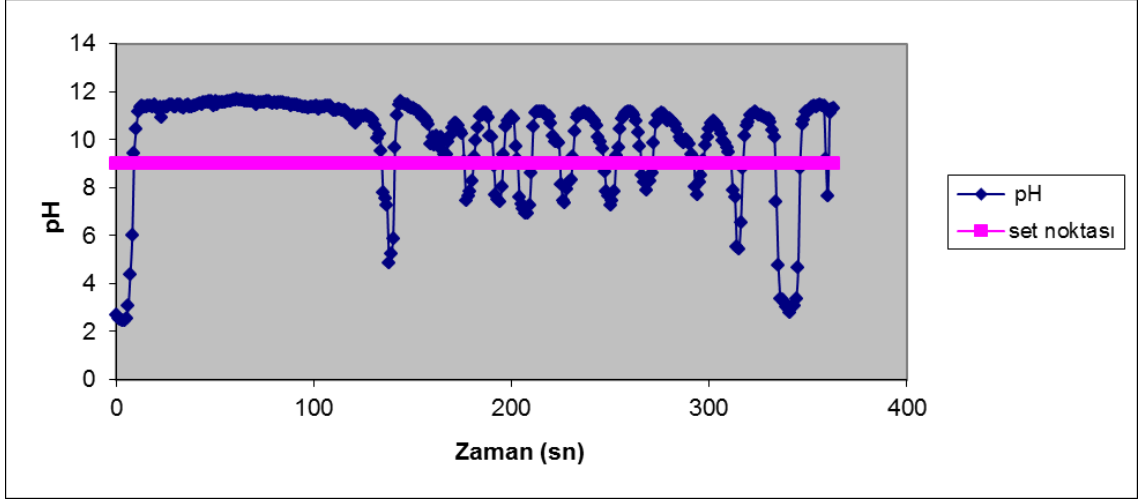


Şekil 5.9 Geliştirilen GDK kontrol sisteminin blok diyagramı

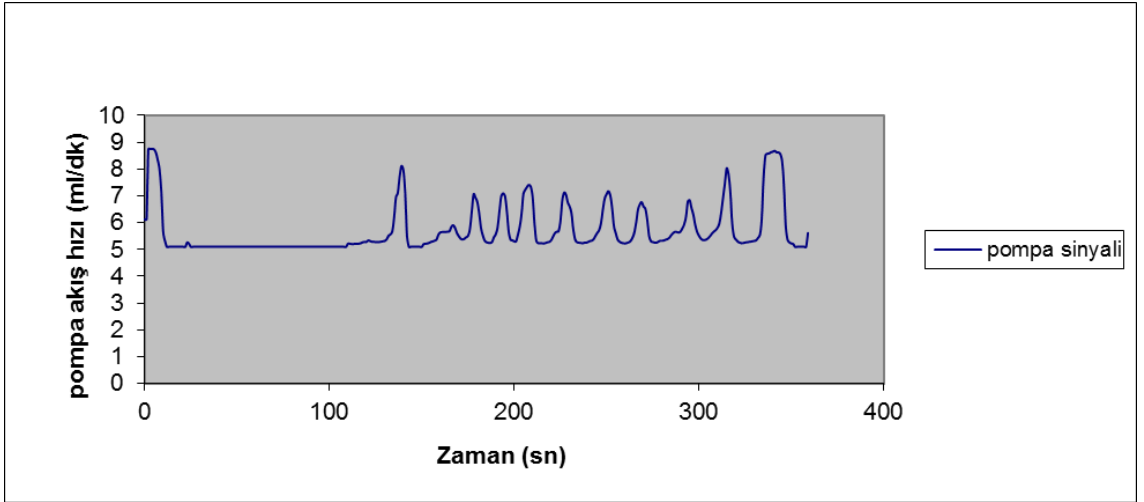
### 5.3.1.1 Saf su ile yapılan GDK kontrol deneyleri

Bu çalışmanın amacı saf su kullanılarak belirlenmiş set noktaları ile GDK ile yapılan deneylerinde pH değerlerinin set noktası takibinin incelenmesidir. Aynı zamanda ayarlanabilen değişken baz akış hızının eş anlı davranışı gözlenmiştir. Set noktası 9 için zamana karşı pH ve baz akış hızı sırasıyla şekil 5.10 ve 5.11 de verilmiştir. Bu grafiğe göre pH 9'u takip etmiş ancak gürültüyle birlikte -2 - +2 'lik bir salınım vermiştir. Bunun nedeni ağın off line ağırlıklarının eğitiminde PRBS sinyallerinin pH cevabı genelde pH 10 ve pH 11 civarında olduğundan ağırlıkların güncellenmesinde sapmalar meydana gelmiştir. Bunun önlenmesi için PRBS sinyallerinin pH cevabının daha salınımlı olması ve böylece bütün pH değerlerini taraması sağlanması iyi olur. Diğer bir çözümde ağın kontrol esnasında on-line eğitilmesidir.

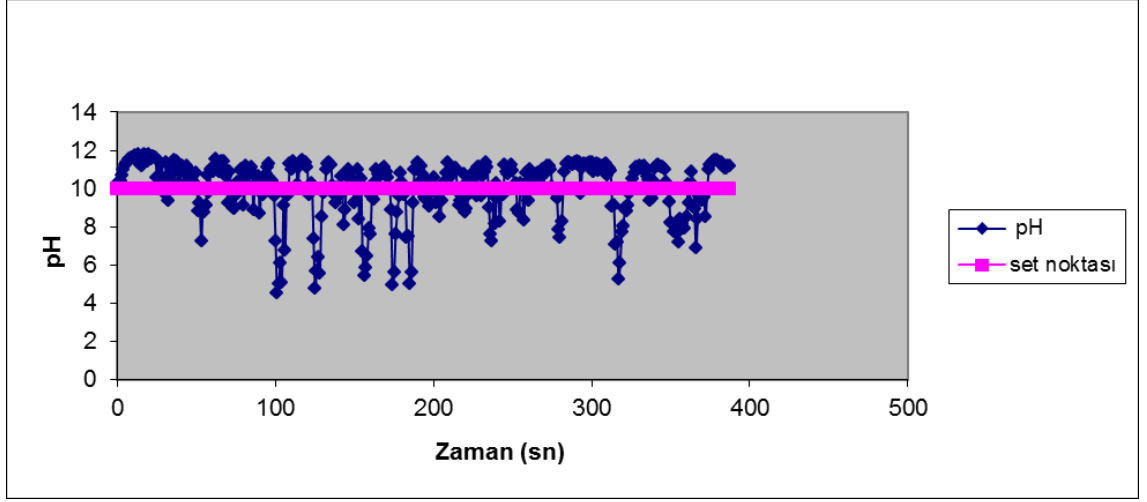
GDK ile saf suda yapılan set noktası pH 10 ve pH 11 için yapılan deneylerin performansı sırasıyla şekil 5.12-5.13, şekil 5.14 -5.15'te gösterilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere set noktaları pH 10 ve pH 11'de başarılı bir kontrol gerçekleştirmiştir. Yapay sinir ağı ağırlıkları off-line eğitim sonucunda yeterli olmuştur.



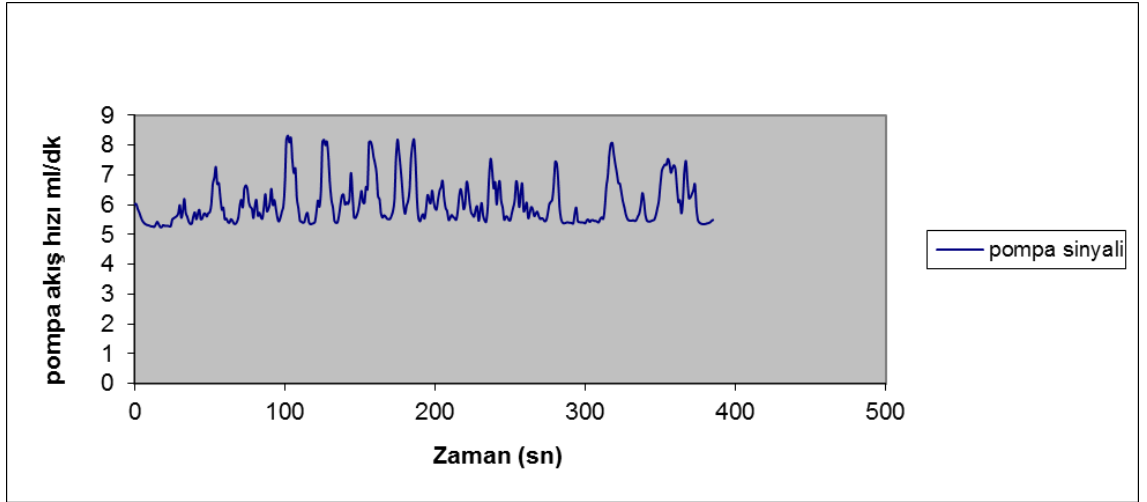
Şekil 5.10 Saf su ile set noktası 9 alınarak yapılan deneydeki pH –zaman grafiği



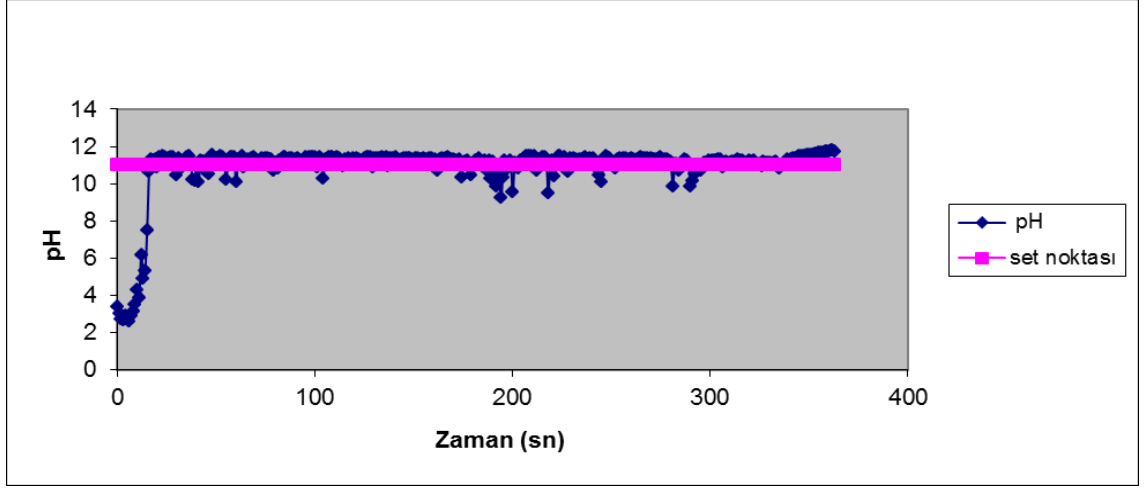
Şekil 5.11 Saf su ile set noktası 9 alınarak yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği



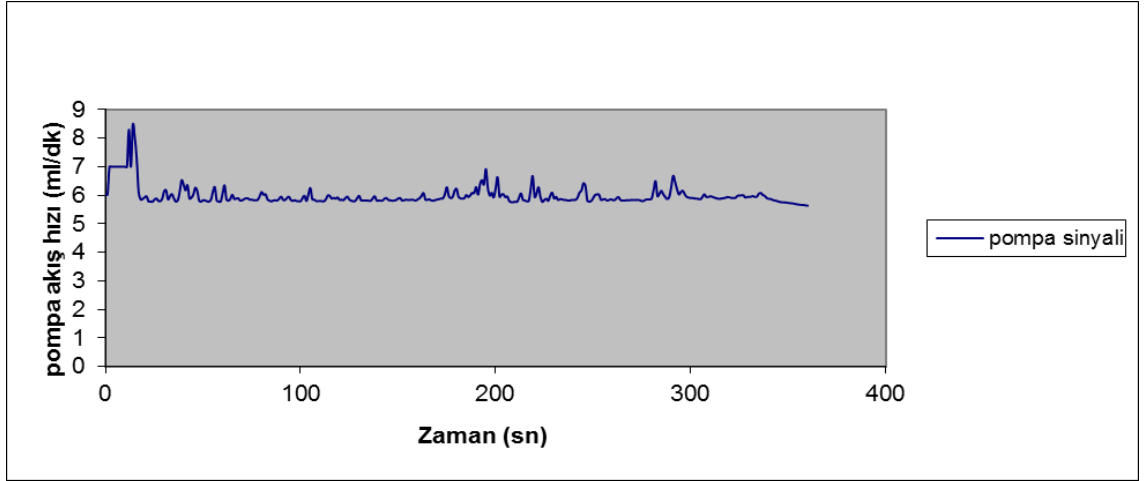
Şekil 5.12 Saf su ile set noktası 10 alınarak yapılan deneydeki pH –zaman grafiği



5.13 Saf ile set noktası 10 alınarak yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği



Şekil 5.14 Saf su ile set noktası 11 alınarak yapılan deneydeki pH –zaman grafiği

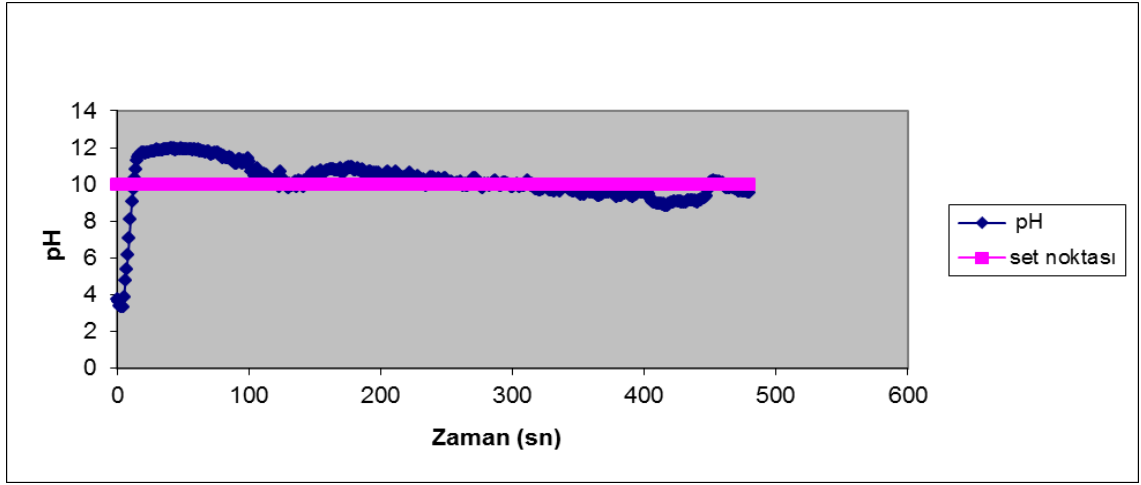


Şekil 5.15 Saf ile set noktası 11 alınarak yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği

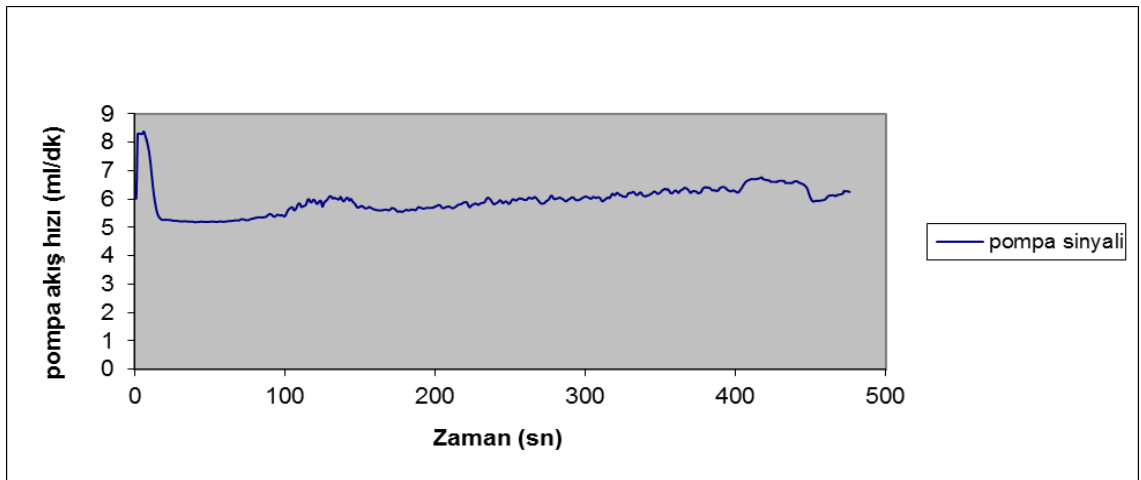
### 5.3.1.2 Çöktürücüler ile yapılan GDK kontrol deneyleri

- Alum etkisi

Çöktürücüsü alum olan sistemde GDK ile kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. pH 10'a set edilmiştir. Şekil 5.16'da görüldüğü üzere gittikçe azalan salınımlarda pH 10'da tutmayı başarmıştır. Şekil 5.17'de pompa akış hızının zamana karşı grafiği verilmektedir.



Şekil 5.16 Alum ile yapılan GDK deneyi pH' ın zamanla değişimi (2.5 g/L, pH 10 )

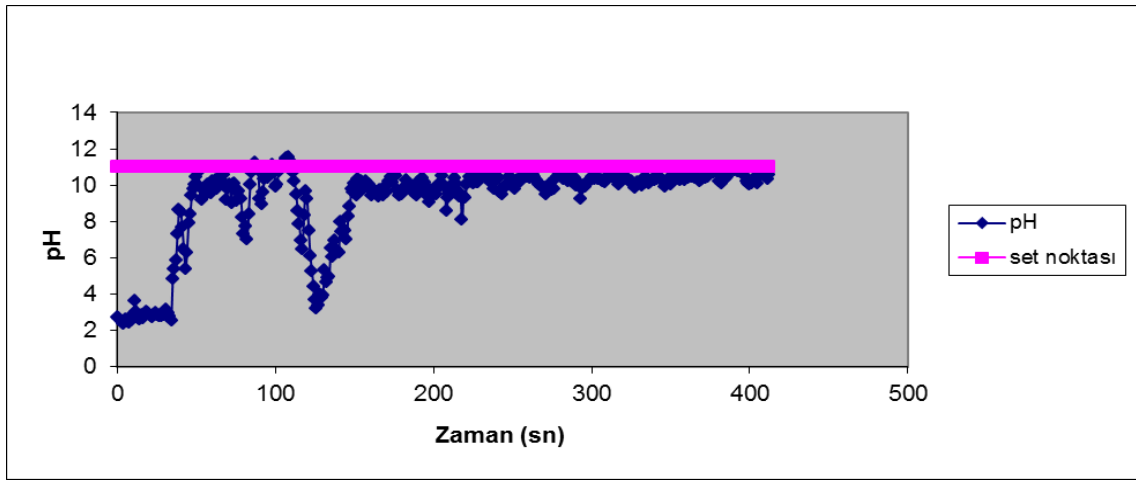


Şekil 5.17 Set noktası 10 belirlenerek alum ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği

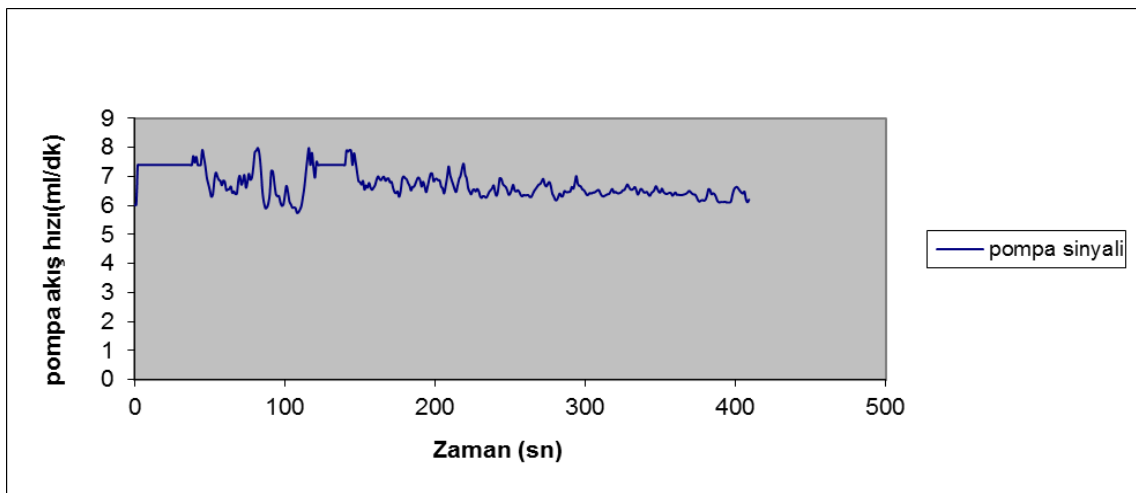
Kontrol deneyi 478 sn ile gerçekleştirilmiştir. Bu süre içinde istenen set pH değeri yakalanabilmektedir.

- **Demir klorür etkisi**

Çöktürücüsü demir klorür olan sistemde GDK ile kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. pH 11'e set edilmiştir. Şekil 5.18'de görüldüğü üzere gittikçe azalan salınımlarda pH 11' de tutmayı başarmıştır.



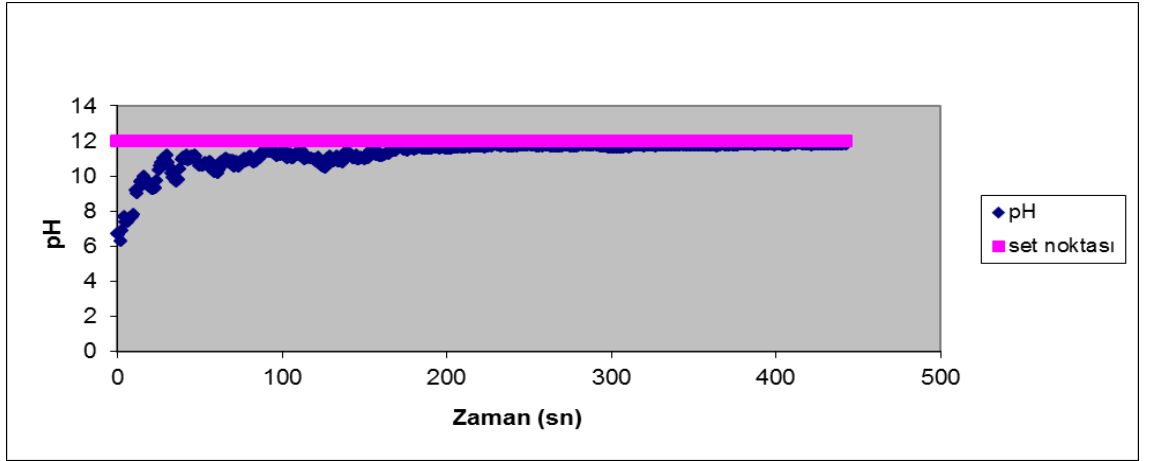
Şekil 5.18 Demir klorür ile yapılan GDK deneyi pH' ın zamanla değişimi(4 g/L, pH 11)



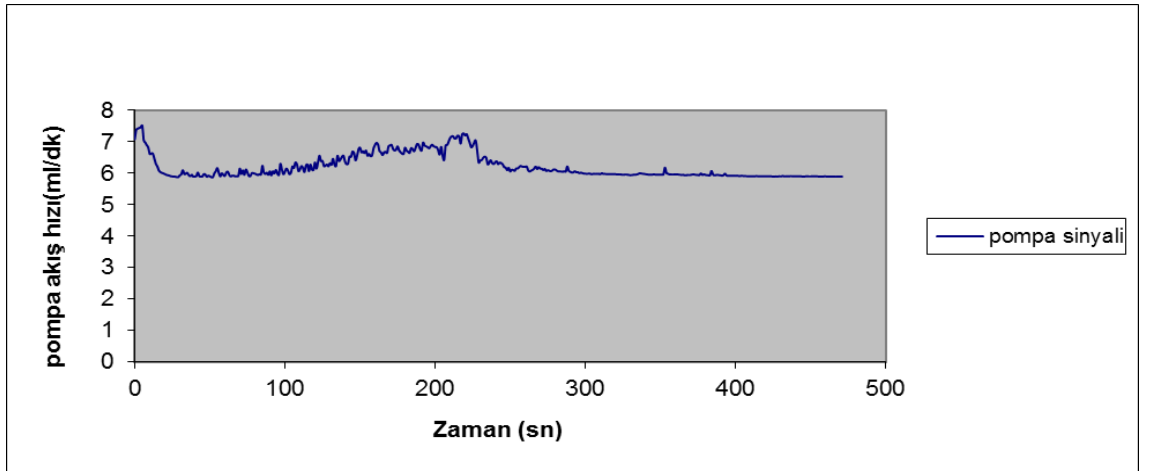
Şekil 5.19 Set noktası 11 belirlenerek demir klorür ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği

- **Demir sülfat heptahidrat etkisi**

Çöktürücüsü demir sülfat heptahidrat olan sistemde GDK ile kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. pH 12'e set edilmiştir. Şekil 5.20'de görüldüğü üzere gittikçe azalan salınımlarda pH 12'de tutmayı başarmıştır. Şekil 5.21'de pompa akış hızı verilmiştir.



Şekil 5.20 Demir sülfat heptahidrat ile GDK deneyi pH' ın zamanla değişimi (2.5 g/L, pH 12)

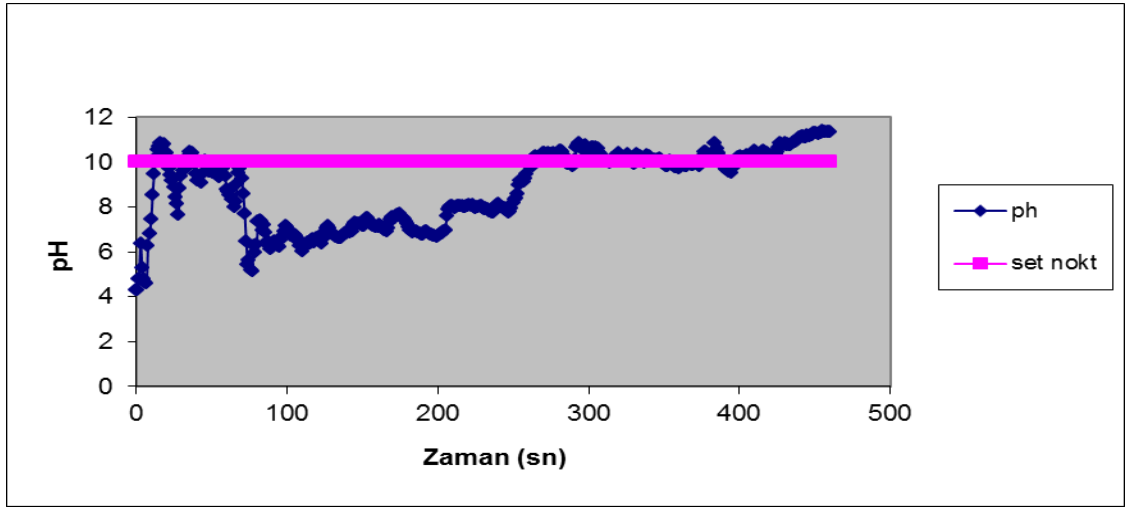


Şekil 5.21 Set noktası 12 belirlenerek demir sülfat heptahidrat ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği

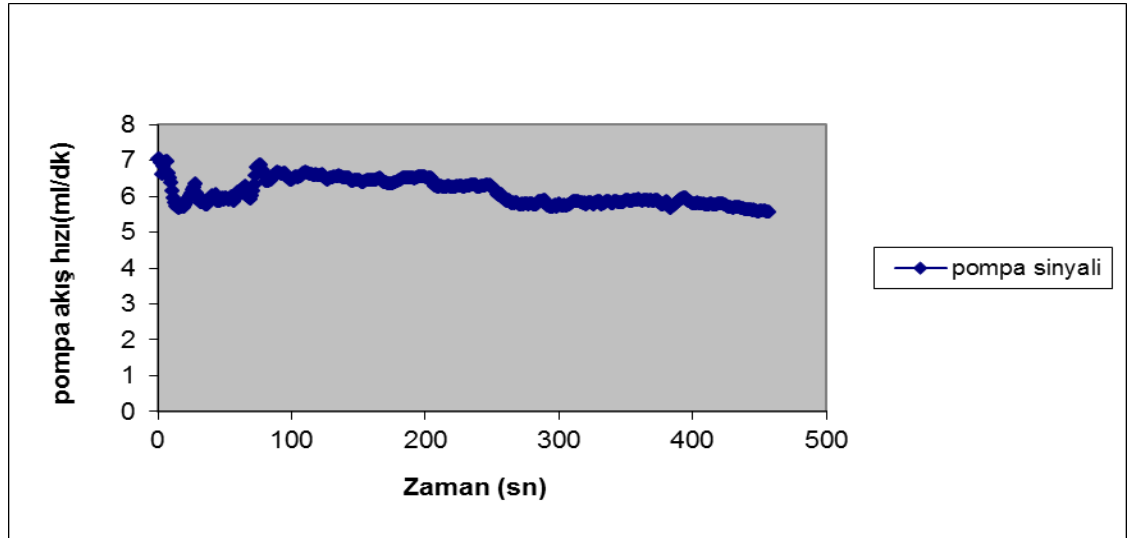
### 5.3.2 Koagülantlar ile yapılan STP kontrol deneyleri

- Alum etkisi

Çöktürücüsü alum olan sistemde STP ile kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. pH 10'a set edilmiştir. Şekil 5.22'de zamana karşı pH değerleri yer almaktadır.



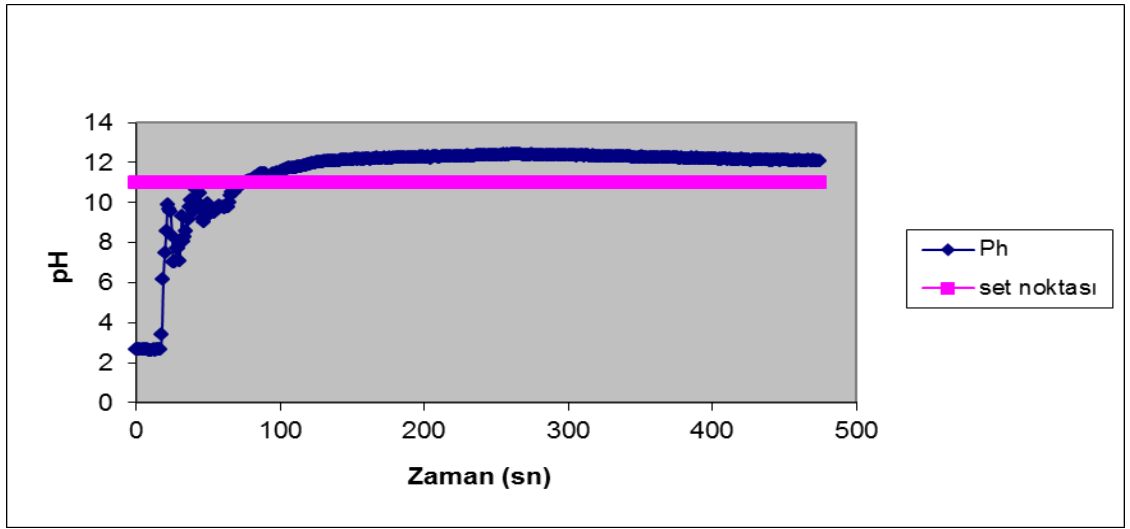
Şekil 5.22 Alum ile STP deneyi pH'ın zamanla değişimi (2.5 g/L, pH 10 )



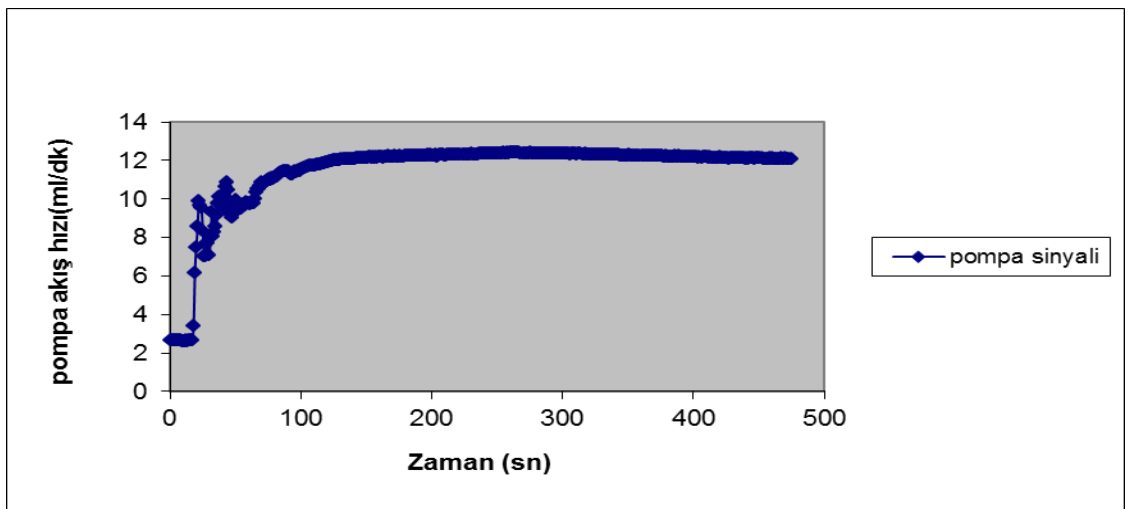
Şekil 5.23 Set noktası 10 belirlenerek alum ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği

- **Demir klorür etkisi**

Çöktürücüsü demir klorür olan sistemde STP ile kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. pH 11'e set edilmiştir. Şekil 5.24'te görüldüğü üzere gittikçe azalan salınırlarda pH 11'de tutmayı başarmıştır. Ancak bu deneyde de GDK kontrol algoritması kadar başarılı bir sonuç elde edilmemiştir.



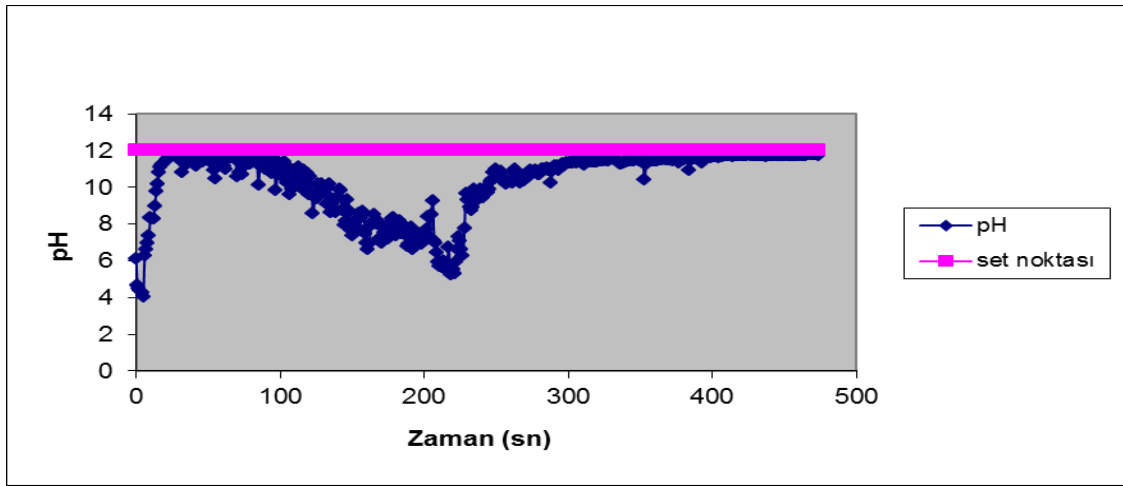
Şekil 5.24 Demir klorür ile STP kontrol deneyi pH' ın zamanla değişimi (4 g/L, pH 11 )



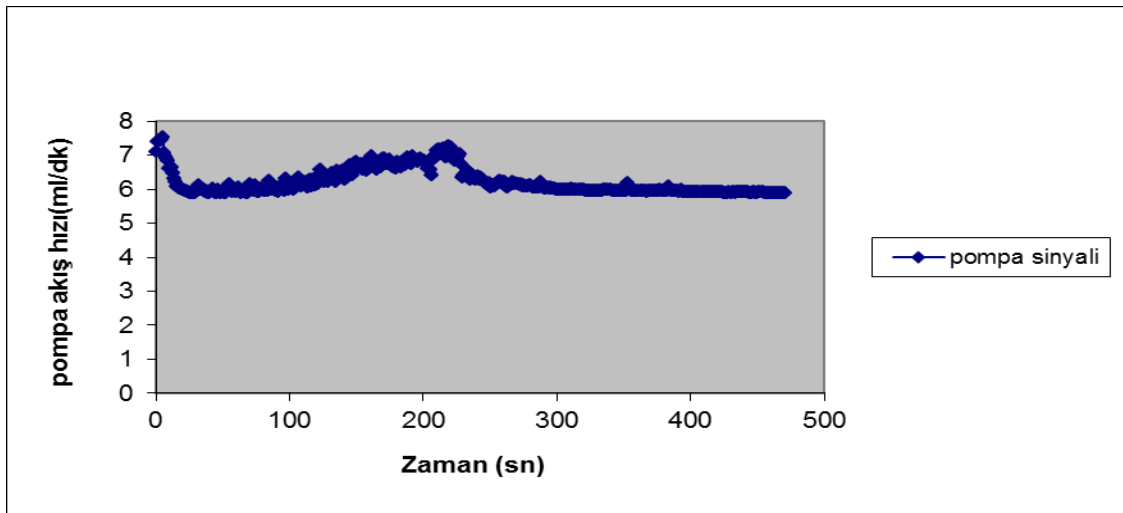
Şekil 5.25 Set noktası 11 belirlenerek demir klorür ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği

- **Demir sülfat heptahidrat etkisi**

Çöktürücüsü demirsülfat heptahidrat olan sistemde STP ile kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. pH 11'e set edilmiştir. şekil 5.26'da görüldüğü üzere yaklaşık 100 sn'lik zaman diliminde +5 ve +6 lık bir off-set vermiştir. Son saniyelerde pH 12'yi yakalamış, bu performans artırım için yüksek KOİ değerlerinin bulunmasına yol açmıştır.

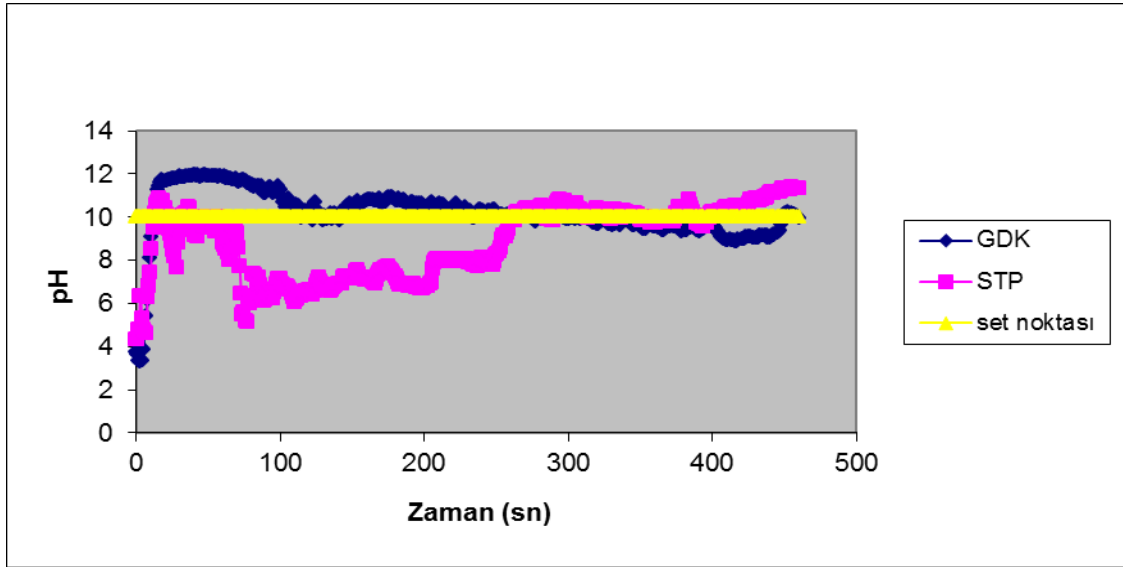


Şekil 5.26 Demir sülfat hepta hidrat ile STP deneyi pH' ın zamanla değişimi (2.5 g/L, pH 12)

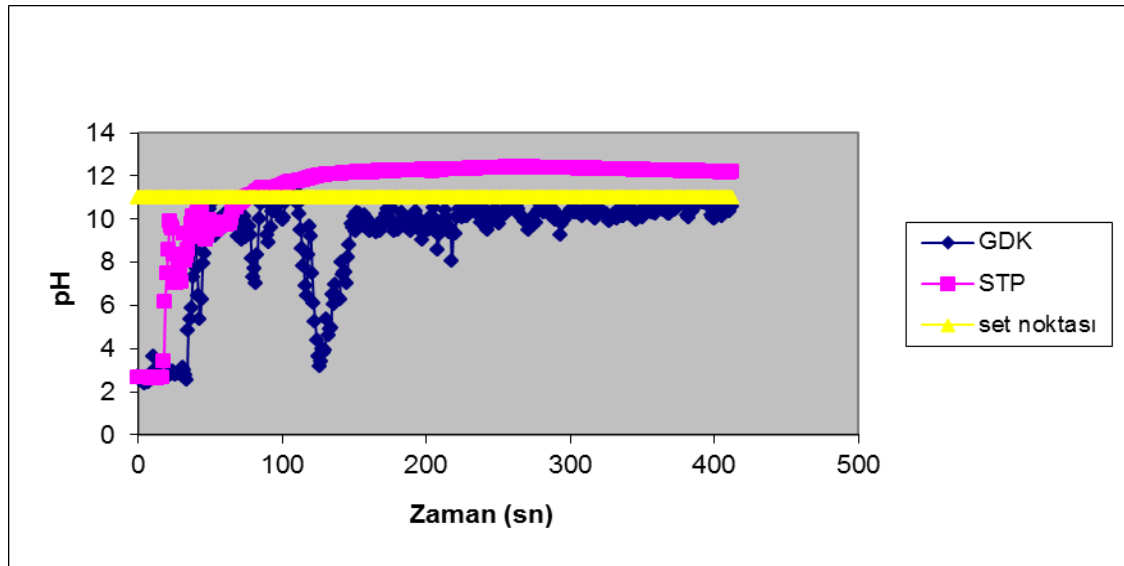


Şekil 5.27 Set noktası 12 belirlenerek demir sülfat heptahidrat ile yapılan deneydeki on-line pompa sinyal değişimine karşı zaman grafiği

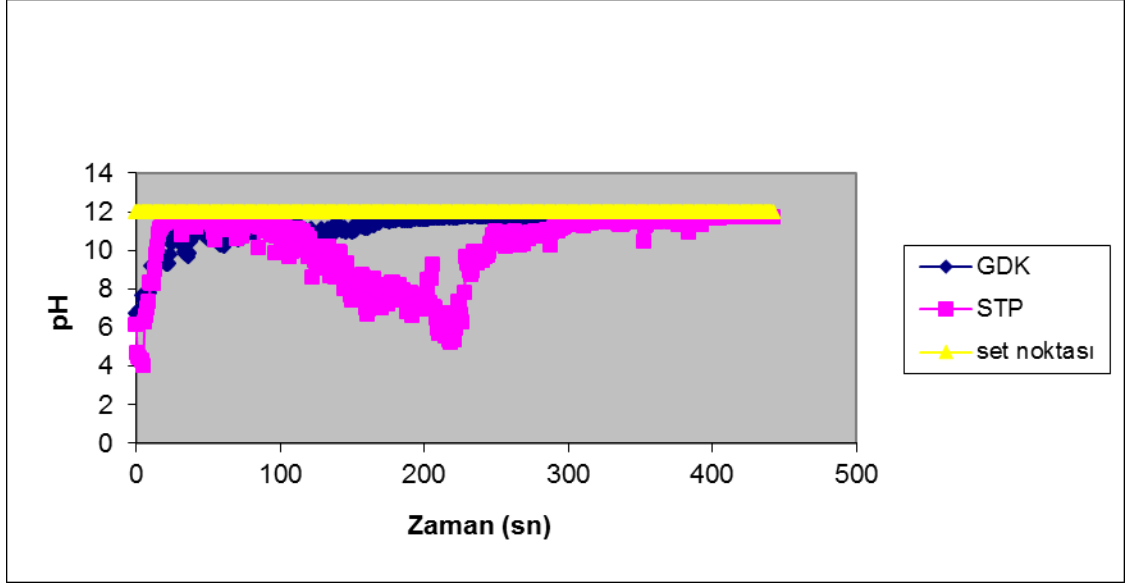
Tüm bu grafikler incelendiğinde GDK ile yapılan kontrol deneylerinin STP ile yapılan kontrol deneylerinden daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Karşılaştırmanın daha iyi yapılması için her bir koagülant için GDK ve STP kontrol deneyleri bir grafikte gösterilmektedir. STP kontrol deneyleri sadece karşılaştırma amaçlı yapılmıştır.



Şekil 5.28 Alüminyum ile yapılan GDK ve STP deney sonuçlarının pH –zaman karşılaştırması grafiği



Şekil 5.29 Demir klorür ile yapılan GDK ve STP deney sonuçlarının pH –zaman karşılaştırması grafiği



Şekil 5.30 Demir sülfat hepta hidrat ile yapılan GDK ve STP deney sonuçlarının pH – zaman karşılaştırması grafiği

Her bir grafik incelendiğinde GDK deney sonuçlarının STP deney sonuçlarına göre daha iyi netice verdiği görülmektedir.

#### 5.4 Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Işık Geçirgenliği Analiz Sonuçları

Genelleştirilmiş Delta Kuralı(GDK) algoritması ile yapılan kontrol deneylerinin sonuçları bulunmaktadır. Her bir çöktürücü ile yapılan GDK pH kontrol deneyleri ardından alınan numunelerin KOİ, renk ve türbidite analizleri yapılmıştır. Arıtma yapılmamış atık su numunesinin kimyasal oksijen ihtiyacı 989 mg/L, türbidite sonucu %49,4 ve renk analiz sonucu ise %37'dir. Her bir koagülant madde ile yapılan pH kontrollü arıtma işlemlerinin ardından elde edilen numunelerin KOİ, renk ve türbidite değerleri çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Genelleştirilmiş delta kuralı kontrol deney sonuçları

| <i>Koagülant madde</i>                          | <i>pH</i> | <i>KOİ (mg/L)</i> | <i>Türbidite</i> | <i>Renk</i> | <i>IAE</i> | <i>ISE</i> | <i>ITAE</i> |
|---|-----------|-------------------|------------------|-------------|------------|------------|-------------|
| Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 10        | 220               | %95              | %91.6       | 363.3      | 678.5      | 55523.6     |
| FeCl <sub>3</sub>                               | 11        | 205               | %94              | %91.7       | 320.7      | 585.9      | 47385.2     |
| FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O            | 12        | 238               | %92              | %95         | 399.1      | 782.5      | 64039.8     |

Bu çizelgeye göre en düşük IAE, ISE ve ITAE değerleri demir klorür çöktürücüsü ile elde edilmiştir. En iyi arıtım da 205 mg/L'lik KOİ değeriyle bu çöktürücüde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.7'de STP analiz sonuçları da incelendiğinde en iyi arıtım yine bu çöktürücü için sağlanmıştır.

Çizelge 5.7 Kendinden ayarlamalı PID kontrol deney sonuçları

| <i>Koagülant madde</i>                          | <i>pH</i> | <i>KOİ (mg/L)</i> | <i>Türbidite</i> | <i>Renk</i> | <i>IAE</i> | <i>ISE</i> | <i>ITAE</i> |
|---|-----------|-------------------|------------------|-------------|------------|------------|-------------|
| Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 10        | 385               | %89              | %84         | 698.6      | 1920.6     | 114457.6    |
| FeCl <sub>3</sub>                               | 11        | 379               | %86              | %88         | 622.6      | 1734.8     | 101116.8    |
| FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O            | 12        | 410               | %83              | %86         | 723.4      | 2345.6     | 198987.4    |

Çizelge 5.8 Alum için geliştirilmiş delta kuralı ve kendinden ayarlamalı PID kontrol deney sonuçları

|     | <i>KOI(mg/L)</i> | <i>Türbidite</i> | <i>Renk</i> | <i>IAE</i> | <i>ISE</i> | <i>ITAE</i> |
|-----|------------------|------------------|-------------|------------|------------|-------------|
| GDK | 220              | %95              | %91.6       | 363.3      | 678.5      | 55523.6     |
| STP | 385              | %89              | %84         | 698.6      | 1920.6     | 114457.6    |

Çizelge 5.9 Demir klorür için geliştirilmiş delta kuralı ve kendinden ayarlamalı PID kontrol deney sonuçları

|     | <i>KOI(mg/L)</i> | <i>Türbidite</i> | <i>Renk</i> | <i>IAE</i> | <i>ISE</i> | <i>ITAE</i> |
|-----|------------------|------------------|-------------|------------|------------|-------------|
| GDK | 205              | %94              | %91.7       | 320.7      | 585.9      | 47385.2     |
| STP | 379              | %86              | %88         | 622.6      | 1734.8     | 101116.8    |

Çizelge 5.10 Demir sülfat heptahidrat için geliştirilmiş delta kuralı ve kendinden ayarlamalı PID kontrol deney sonuçları

|     | <i>KOI(mg/L)</i> | <i>Türbidite</i> | <i>Renk</i> | <i>IAE</i> | <i>ISE</i> | <i>ITAE</i> |
|-----|------------------|------------------|-------------|------------|------------|-------------|
| GDK | 238              | %92              | %95         | 399.1      | 782.5      | 64039.8     |
| STP | 410              | %83              | %86         | 723.4      | 2345.6     | 198987.4    |

Toplu sonuçlara bakıldığında tüm çöktürücüler için GDK STP'den daha başarılı sonuç vermiştir.

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışma, tekstil endüstrisi atık suyunun çöktürme ile arıtılmasını ve arıtma esnasında atık suyun çevre standartlarına uygun pH değerlerine getirilmesi için gerçekleştirilen deneysel bir çalışmadır. Çöktürme için uygun koagülantlar belirlenmiş, seçilen derişim ve pH aralıklarında bu koagülantlar ile en iyi arıtmanın yapılacağı uygun derişim ve pH değerleri belirlenmiştir. Literatür çalışması sonucunda arıtım için kullanılacak olan koagülant maddeler; demir sülfat heptahidrat, demir klorür ve alüminyum sülfattır. Seçilen koagülant maddelerin çöktürme işleminde kullanılacak olan uygun derişim ve pH değerlerinin belirlenmesi için yapılan ön deneylerde; çalışma derişim aralığı 2.5- 4 g/L ve pH çalışma aralığı 10-12 arasında değişmektedir. Hiç arıtılmamış suyun ışık geçirgenliği %49.4 olarak ölçülmüştür. Arıtım sonrası alüminyum sülfat için %95; demir klorür için %94 ve demir sülfat heptahidrat için de %92 sonuçları elde edilmiştir. Yüzde giderim olarak sonuçlar ise her bir çöktürücü için sırasıyla %52, %52.55 ve % 53.6'dır.

Çalışmanın devamında pH değerleri belirlenen koagülant maddeler ile on-line kontrolü yapılan reaktör sisteminde atık suyun pH kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sistemin set noktasının istenilen pH değerine kısa zamanda ulaşması ve bu değerde uzun süre kalması amaçlanmıştır. Set noktasına kısa zamanda ulaşmak ve set noktasında küçük hata ile takip etmek arıtım kalitesini artırmıştır. Sistemdeki gürültüden kaynaklı salınımlara rağmen GDK ile yapılan arıtımda IAE alüminyum sülfat için 363.3, demir klorür için 320.7 ve demir sülfat hepta hidrat için 399.1 olarak elde edilmiştir. Aynı koşullarda STP ile yapılan deneylerde ise alüminyum sülfat için 698.6, demir klorür için 622.6 ve demir sülfat hepta hidrat için 723.4 olarak elde edilmiştir. GDK algoritması ile yapılan kontrol deneylerinin ardından arıtımın etkinliğini araştırmak için reaktörden alınan örneklere KOİ, ışık geçirgenliği ve renk analizi yapılmıştır. Arıtılmamış atık suyun başlangıç KOİ değeri 989 mg/L, ışık geçirgenliği %49.4 ve renk analiz sonucu ise % 37'dir. Alum için KOİ 220 mg/L ,ışık geçirgenliği % 95 ve renk analiz sonucu %91.6'dır. Demir klorür için KOİ değeri 205 mg/L , ışık geçirgenliği %94 ve renk analiz sonucu %91.7'dir. Demir sülfat heptahidrat için KOİ değeri 238 mg/L ,ışık geçirgenliği % 92 ve renk analiz sonucu ise %95'tir. IAE nin küçük olduğu

yerde KOİ değerlerinin de küçük olduğu görülmektedir. STP için KOİ değerleri ise alum için 385 mg/L, demir klorür için değeri 379 mg/L ve demir sülfat hepta hidrat için ise 410 mg/L olarak elde edilmiştir. GDK algoritması ile yapılan kontrol deneylerinin ardından tüm çöktürücüler için ışık geçirgenliği % 90'nın üzerindedir. Arıtılmamış suyun değeri olan 989 mg/L'den 200'lü seviyelere indirilmesi başarılmıştır. Bu da çevre mevzuatlarına göre deşarj sınırı olan 500 mg/L'nin altındadır. Böylece arıtım yapılırken pH kontrolü algoritmasının seçiminde ileri yöntemlerden olan GDK'lı yapay sinir ağı modelli yöntemin doğrusal algoritmalarından olan kendinden ayarlamalı PID kontrol karşısında daha iyi netice verdiği görülmektedir.

Aynı zamanda yapılan bu çalışmada YSA'lı kontrol algoritmalarından GDK'nın online uygulanması başarılmıştır. Ağırlıklar için de hangi set noktası aralığında çalışılacak ise ona göre ağı eğitilip ağırlıklar belirlenmiştir. Eğer ağı eğitimi geniş pH aralıklarında PRBS sinyalleri verilerek yapılırsa pH'ın 6-14 arasındaki herhangi değerde kontrol başarıyla gerçekleşecektir. KOİ değerlerin daha da aza indirilmesi amaçlanırsa ortama oksijen gönderilerek organiklerin oksijene bağlanıp çökmesi sağlanabilecektir.

Design Expert paket programında Merkezi Kompozit Tasarım ile gerçekleştirilen optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen optimum derişim ve pH değerleri de elde edilen değerlere çok yakındır. Yalnızca demir sülfat hepta hidrat için daha az koagülant ile de iyi sonuç elde edilebileceği sonucuna ulaşılmaktadır. 2.5 g/L'den daha az koagülant ile de iyi bir türbidite ve ışık geçirgenliği elde edinilebilmektedir.

Tüm bu veriler iyi birer arıtım yapıldığını göstermektedir. Yüksek ışık geçirgenliği değerleri atık suyun ne kadar berraklaştığının göstergesidir. Literatürle karşılaştırıldığında oldukça yüksek kirliliğe sahip su başarılı bir arıtımla istenilen berraklığa, KOİ değerine ulaştırılmıştır.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde en iyi sonuçlar demir klorür çöktürücüsüyle sağlanmıştır. Ancak mali olarak incelendiğinde demir klorürün birim fiyatı diğer kullanılan çöktürücülere kıyasla daha pahalıdır. Ancak KOİ, renk ve türbidite analiz

sonuçları ve yüzde giderim sonuçları irdelendiğinde demir klorür uygun çöktürücü olarak belirlinmiştir.

Pamuklu tekstil işletmelerinden gelen proses atıksularının karakteristiği ve NEQS standartları da incelenmiş ve demir klorürün istenen standartarda uygun olduğu görölmüştür. Birgül (2006) alışması ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonuçları;

- Seçilen koagölant maddeler ve belirlenen optimum derişim ve pH değerleri bu tür bi arıtım için uygundur.
- GDK kontrol algoritması ile pH kontrolü başarılı bir şekilde STP'den daha iyi gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen KOİ, ışık geçirgenliği ve renk analiz sonuçları bu tür bi atık suda çöktürme ile arıtımın başarılı teknik olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Anonim. 1971. Su Ürünleri Kanunu. No: 1380, Sayı:13799.
- Anonim.1983. Çevre Kanunu.No:2872, Sayı:18132.
- Anonim.1988. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Sayı:19919.
- Anonim.1989. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Suda Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliği. Sayı:20106.
- Anonim. 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Sayı: 25687.
- Alley, E.R. 2000. Water Quality Control Handbook. McGraw Hill, 1008 p., ABD.
- Alpbaz, M., Hapoğlu, H., Özkan, G. and Altuntaş, S. 2006. Application of Self-Tuning PID Control to a Reactor of Limestone Slurry Titrated with Sulfuric Acid, Chemical Engineering Journal, 116, 19-24.
- Abilov, A.G., Zeybek, Z., Tuzunalp, O. and Telatar,Z. 2002. Fuzzy temperature Control of industrial refineries furnaces through combined feedforward/feedback multivariable cascade system. Chemical Engineering and Processing, Vol.41; pp. 87-98.
- Austin, G.T. 1984. Shreve's Chemical Process Industries. McGraw Hill, 860 p., ABD
- Bequette, B.W. 2003. Process Control: Modelling, Design and Simulation. Printice Hall, 769 p., New Jersey
- Broniewicz, E. 2011. Environmental Management in Practice. Intech Open, 448 p.,Hrvatistan
- Coughanowr , D.R. 1991. Process Systems Analysis and Control . McGraw Hill, 561 p., ABD
- Eckenfelder , W.W. 2000. Industrial Water Pollution Control. McGraw Hill, 579 p., ABD
- Karapınar, T. 2003. Boya Endüstrisi Atık Sularının Kimyasal Yolla Arıtılması ve pH Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, 74s., Ankara
- Kaykıoğlu, G. and Debik, E. 2006. Anaerobik Arıtım Prosesleri ile Tekstil Atık sularından Renk Giderimi. Sigma Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi, 4, 59-68.
- Kocaer, F.O. ve Alkan, U. 2002. Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt :7 Sayı :1.
- Luyben, W.L. 1999. Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers. McGraw Hill, 721p., ABD.
- Meral, B. 2012. Kağıt Endüstrisi Atık Suyunun Çöktürme ile İyileştirilmesi ve Adaptif Keşifsel pH Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, 79 s., Ankara

- Pekel, C. 2009. Çöktürme Yönteminin Kullanıldığı Boya Atık Su Arıtma Sisteminin Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol ile pH Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, 97 s., Ankara
- Tosunoğlu, N.G., M. Tolon, “Tüketici Tatmini Verilerinin Analizi Regresyon Yapay Sinir Ağları Karşılaştırması”, Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, Cilt: 10, Sayı: 2, 2008, (247-259).
- Yalçın, H. ve Gürü, M. 2010. Su Teknolojisi. Palme Yayıncılık , 630 s., Ankara
- Zeybek, Z., Çetinkaya Yüce, S., Alioğlu, F. and Alpbaz, M. 2007. Determination of optimum operating conditions for industrial dye wastewater treatment using adaptive heuristic criticm pH control . Journal of Environmental Management, Vol. 85; pp. 404-414.
- Zeybek, Z., Aulia, F., Hapoğlu, H. and Alpbaz, M., 2014. Self tunig PID control of pH in dye wastewater treatment using a coagulation method May 2014 , Politecnica di Milano,Italy

## **EKLER**

EK 1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analiz Prosedürü

EK 2 Design Expert ANOVA Sonuçları

EK 3 Yapay Sinir Ağlarının Tekstil Atık Su Arıtma Tesisi İşletimine Uygulanması  
Örneği

EK 4 Hata Analizleri

## EK 1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analiz Prosedürü

1. KOİ ısıtıcı bloğu 150 °C'ye kadar ısıtılır.
2. KOİ twist-cap (analiz için gereken çözeltinin içinde bulunduğu şişe) şişenin kapağı çıkarılır.
3. Dikkatli bir şekilde 2.5 ml'lik numune,küçük şişenin dibindeki reaktif üzerinde bir tabaka oluşturacak şekilde dökülür.
4. Twist-cap kapatılır.
5. Şişedeki içerik sallanarak karıştırılır.
6. İşlem standartları ve kör çözeltiler de tam olarak numuneler gibidir.
7. Twist-cap şişe KOİ ısıtma bloğunda 2 saat süre ile ısıtılır.
8. Şişe 2 saat süre sonunda ısıtıcıdan alınır ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.
9. Şişe içinde asılı duran çökeltilerin aşağıya inmesi beklenir.
10. Spektrofotometrenin dalga boyu 600 nm'ye ayarlanır,bir kör çözelti ile sıfır absorbans okuması elde edilir.
11. Spektrofotometrede her bir standart ve numunenin okuması yapılır.

## EK 2 Design Expert ANOVA Sonuçları

- *Alum*

| Response 1 R1  |                |    |             |        |                        |
|--|----------------|----|-------------|--------|------------------------|
| ANOVA for Response Surface Quadratic Model                     |                |    |             |        |                        |
| Analysis of variance table (Partial sum of squares - Type III) |                |    |             |        |                        |
| Source   | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | p-value Prob > F       |
| Model  | 1034.78        | 5  | 206.96      | 95.18  | < 0.0001 significant   |
| <i>A-koagülant</i>   | 0.17           | 1  | 0.17        | 0.077  | 0.7899                 |
| <i>B-pH</i>  | 486.00         | 1  | 486.00      | 223.50 | < 0.0001               |
| <i>AB</i>  | 2.25           | 1  | 2.25        | 1.03   | 0.3429                 |
| <i>A2</i>  | 0.36           | 1  | 0.36        | 0.17   | 0.6954                 |
| <i>B2</i>  | 456.91         | 1  | 456.91      | 210.12 | < 0.0001               |
| Residual   | 15.22          | 7  | 2.17        |        |                        |
| <i>Lack of Fit</i>   | 3.22           | 3  | 1.07        | 0.36   | 0.7875 not significant |
| <i>Pure Error</i>  | 12.00          | 4  | 3.00        |        |                        |
| Cor Total  | 1050.00        | 12 |             |        |                        |

The Model F-value of 95.18 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case B, B2 are significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The "Lack of Fit F-value" of 0.36 implies the Lack of Fit is not significant relative to the pure

error. There is a 78.75% chance that a "Lack of Fit F-value" this large could occur due

to noise. Non-significant lack of fit is good -- we want the model to fit.

|           |       |                |        |
|-----------|-------|----------------|--------|
| Std. Dev. | 1.47  | R-Squared      | 0.9855 |
| Mean      | 87.00 | Adj R-Squared  | 0.9751 |
| C.V. %    | 1.69  | Pred R-Squared | 0.9533 |
| PRESS     | 49.01 | Adeq Precision | 23.099 |

The "Pred R-Squared" of 0.9533 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.9751.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 23.099 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

|               | <b>Coefficient</b> |           | <b>Standard</b> | <b>95% CI</b> | <b>95% CI</b> |            |
|---------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------|---------------|------------|
| <b>Factor</b> | <b>Estimate</b>    | <b>df</b> | <b>Error</b>    | <b>Low</b>    | <b>High</b>   | <b>VIF</b> |
| Intercept     | 93.10              | 1         | 0.61            | 91.66         | 94.55         |            |
| A-koagulant   | -0.17              | 1         | 0.60            | -1.59         | 1.26          | 1.00       |
| B-pH          | 9.00               | 1         | 0.60            | 7.58          | 10.42         | 1.00       |
| AB            | 0.75               | 1         | 0.74            | -0.99         | 2.49          | 1.00       |
| A2            | -0.36              | 1         | 0.89            | -2.46         | 1.74          | 1.17       |
| B2            | -12.86             | 1         | 0.89            | -14.96        | -10.76        | 1.17       |

**Final Equation in Terms of Coded Factors:**

$$\begin{aligned}
 R1 &= \\
 &+93.10 \\
 &-0.17 * A \\
 &+9.00 * B \\
 &+0.75 * A * B \\
 &-0.36 * A2 \\
 &-12.86 * B2
 \end{aligned}$$

**Final Equation in Terms of Actual Factors:**

$$\begin{aligned}
 R1 &= \\
 &+93.10345
 \end{aligned}$$

|           |                  |
|-----------|------------------|
| -0.16667  | * koagulant      |
| +9.00000  | * pH             |
| +0.75000  | * koagulant * pH |
| -0.36207  | * koagulant2     |
| -12.86207 | * pH2            |

The Diagnostics Case Statistics Report has been moved to the Diagnostics Node.

In the Diagnostics Node, Select Case Statistics from the View Menu.

Proceed to Diagnostic Plots (the next icon in progression). Be sure to look at the:

- 1) Normal probability plot of the studentized residuals to check for normality of residuals.
- 2) Studentized residuals versus predicted values to check for constant error.
- 3) Externally Studentized Residuals to look for outliers, i.e., influential values.
- 4) Box-Cox plot for power transformations.

If all the model statistics and diagnostic plots are OK, finish up with the Model Graphs icon.

- *Demir klorür*

**Response 1 R1**  
**ANOVA for Response Surface Quadratic Model**  
**Analysis of variance table (Partial sum of squares - Type III)**

|                    | Sum of Squares | df | Mean Square | F     | p-value  | Prob > F        |
|--------------------|----------------|----|-------------|-------|----------|-----------------|
| Model              | 692.53         | 5  | 138.51      | 24.76 | 0.0003   | significant     |
| <i>A-koagülant</i> | 1.50           | 1  | 1.50        | 0.27  | 0.6206   |                 |
| <i>B-pH</i>        | 170.67         | 1  | 170.67      | 30.51 | 0.0009   |                 |
| <i>AB</i>          | 1.00           | 1  | 1.00        | 0.18  | 0.6851   |                 |
| <i>A2</i>          | 1.01           | 1  | 1.01        | 0.18  | 0.6843   |                 |
| <i>B2</i>          | 459.36         | 1  | 459.36      | 82.11 | < 0.0001 |                 |
| Residual           | 39.16          | 7  | 5.59        |       |          |                 |
| <i>Lack of Fit</i> | 9.96           | 3  | 3.32        | 0.45  | 0.7282   | not significant |
| <i>Pure Error</i>  | 29.20          | 4  | 7.30        |       |          |                 |
| Cor Total          | 731.69         | 12 |             |       |          |                 |

The Model F-value of 24.76 implies the model is significant. There is only a 0.03% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case B, B2 are significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The "Lack of Fit F-value" of 0.45 implies the Lack of Fit is not significant relative to the pure error. There is a 72.82% chance that a "Lack of Fit F-value" this large could occur due to noise. Non-significant lack of fit is good -- we want the model to fit.

|           |        |                |        |
|-----------|--------|----------------|--------|
| Std. Dev. | 2.37   | R-Squared      | 0.9465 |
| Mean      | 88.15  | Adj R-Squared  | 0.9082 |
| C.V. %    | 2.68   | Pred R-Squared | 0.8336 |
| PRESS     | 121.75 | Adeq Precision | 12.032 |

The "Pred R-Squared" of 0.8336 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.9082.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your

ratio of 12.032 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

|               | <b>Coefficient</b> |           | <b>Standard</b> | <b>95% CI</b> | <b>95% CI</b> |            |
|---------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------|---------------|------------|
| <b>Factor</b> | <b>Estimate</b>    | <b>df</b> | <b>Error</b>    | <b>Low</b>    | <b>High</b>   | <b>VIF</b> |
| Intercept     | 93.83              | 1         | 0.98            | 91.51         | 96.15         |            |
| A-koagülant   | 0.50               | 1         | 0.97            | -1.78         | 2.78          | 1.00       |
| B-pH          | 5.33               | 1         | 0.97            | 3.05          | 7.62          | 1.00       |
| AB            | 0.50               | 1         | 1.18            | -2.30         | 3.30          | 1.00       |
| A2            | 0.60               | 1         | 1.42            | -2.76         | 3.97          | 1.17       |
| B2            | -12.90             | 1         | 1.42            | -16.26        | -9.53         | 1.17       |

**Final Equation in Terms of Coded Factors:**

$$\begin{aligned}
 R1 &= \\
 &+93.83 \\
 &+0.50 * A \\
 &+5.33 * B \\
 &+0.50 * A * B \\
 &+0.60 * A2 \\
 &-12.90 * B2
 \end{aligned}$$

**Final Equation in Terms of Actual Factors:**

$$\begin{aligned}
 R1 &= \\
 &+93.82759 \\
 &+0.50000 * \text{koagülant} \\
 &+5.33333 * \text{pH}
 \end{aligned}$$

|           |                  |
|-----------|------------------|
| +0.50000  | * koagulant * pH |
| +0.60345  | * koagulant2     |
| -12.89655 | * pH2            |

The Diagnostics Case Statistics Report has been moved to the Diagnostics Node.

In the Diagnostics Node, Select Case Statistics from the View Menu.

Proceed to Diagnostic Plots (the next icon in progression). Be sure to look at the:

- 1) Normal probability plot of the studentized residuals to check for normality of residuals.
- 2) Studentized residuals versus predicted values to check for constant error.
- 3) Externally Studentized Residuals to look for outliers, i.e., influential values.
- 4) Box-Cox plot for power transformations.

If all the model statistics and diagnostic plots are OK, finish up with the Model Graphs icon.

- *Demir sülfat heptahidrat*

| Response 1 R1  |                |        |             |          |                        |
|--|----------------|--------|-------------|----------|------------------------|
| ANOVA for Response Surface Quadratic Model                     |                |        |             |          |                        |
| Analysis of variance table (Partial sum of squares - Type III) |                |        |             |          |                        |
| Source   | Sum of Squares | df     | Mean Square | F        | p-value<br>Prob > F    |
| Model  | 756.875        | 151.37 | 86.78       | < 0.0001 | significant            |
| <i>A-koagülant</i>   | 2.67           | 1      | 2.67        | 1.53     | 0.2562                 |
| <i>B-pH</i>  | 748.171        | 748.17 | 428.93      | < 0.0001 |                        |
| <i>AB</i>  | 2.25           | 1      | 2.25        | 1.29     | 0.2934                 |
| <i>A2</i>  | 0.40           | 1      | 0.40        | 0.23     | 0.6477                 |
| <i>B2</i>  | 2.14           | 1      | 2.14        | 1.22     | 0.3051                 |
| Residual   | 12.21          | 7      | 1.74        |          |                        |
| <i>Lack of Fit</i>   | 4.21           | 3      | 1.40        | 0.70     | 0.5986 not significant |
| <i>Pure Error</i>  | 8.00           | 4      | 2.00        |          |                        |
| Cor Total  | 769.0812       |        |             |          |                        |

The Model F-value of 86.78 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case B are significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The "Lack of Fit F-value" of 0.70 implies the Lack of Fit is not significant relative to the pure

error. There is a 59.86% chance that a "Lack of Fit F-value" this large could occur due

to noise. Non-significant lack of fit is good -- we want the model to fit.

|           |       |                |        |
|-----------|-------|----------------|--------|
| Std. Dev. | 1.32  | R-Squared      | 0.9841 |
| Mean      | 83.62 | Adj R-Squared  | 0.9728 |
| C.V. %    | 1.58  | Pred R-Squared | 0.9293 |

PRESS54.40

Adeq Precision

26.563

The "Pred R-Squared" of 0.9293 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.9728.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your

ratio of 26.563 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

|               | <b>Coefficient</b> |           | <b>Standard</b> | <b>95% CI</b> | <b>95% CI</b> |            |
|---------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------|---------------|------------|
| <b>Factor</b> | <b>Estimate</b>    | <b>df</b> | <b>Error</b>    | <b>Low</b>    | <b>High</b>   | <b>VIF</b> |
| Intercept     | 83.03              | 1         | 0.55            | 81.74         | 84.33         |            |
| A-koagulant   | -0.67              | 1         | 0.54            | -1.94         | 0.61          | 1.00       |
| B-pH          | 11.17              | 1         | 0.54            | 9.89          | 12.44         | 1.00       |
| AB            | 0.75               | 1         | 0.66            | -0.81         | 2.31          | 1.00       |
| A2            | 0.38               | 1         | 0.79            | -1.50         | 2.26          | 1.17       |
| B2            | 0.88               | 1         | 0.79            | -1.00         | 2.76          | 1.17       |

#### **Final Equation in Terms of Coded Factors:**

$$\begin{aligned} R1 &= \\ &+83.03 \\ &-0.67 * A \\ &+11.17 * B \\ &+0.75 * A * B \\ &+0.38 * A^2 \\ &+0.88 * B^2 \end{aligned}$$

### Final Equation in Terms of Actual Factors:

$$\begin{aligned} R1 &= \\ &+83.03448 \\ &-0.66667 \quad * \text{koag\u00fclant} \\ &+11.16667 \quad * \text{pH} \\ &+0.75000 \quad * \text{koag\u00fclant} * \text{pH} \\ &+0.37931 \quad * \text{koag\u00fclant}^2 \\ &+0.87931 \quad * \text{pH}^2 \end{aligned}$$

The Diagnostics Case Statistics Report has been moved to the Diagnostics Node.

In the Diagnostics Node, Select Case Statistics from the View Menu.

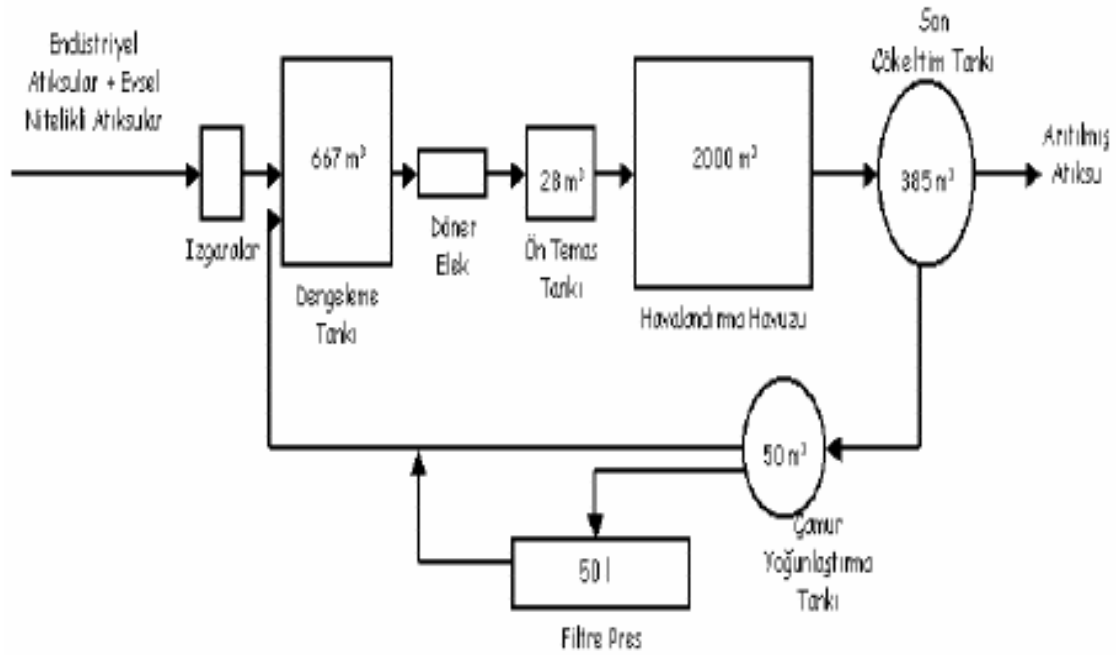
Proceed to Diagnostic Plots (the next icon in progression). Be sure to look at the:

- 1) Normal probability plot of the studentized residuals to check for normality of residuals.
- 2) Studentized residuals versus predicted values to check for constant error.
- 3) Externally Studentized Residuals to look for outliers, i.e., influential values.
- 4) Box-Cox plot for power transformations.

If all the model statistics and diagnostic plots are OK, finish up with the Model Graphs icon.

### EK 3 Yapay Sinir Ağlarının Tekstil Atık Su Arıtma Tesisi İşletimine Uygulanması

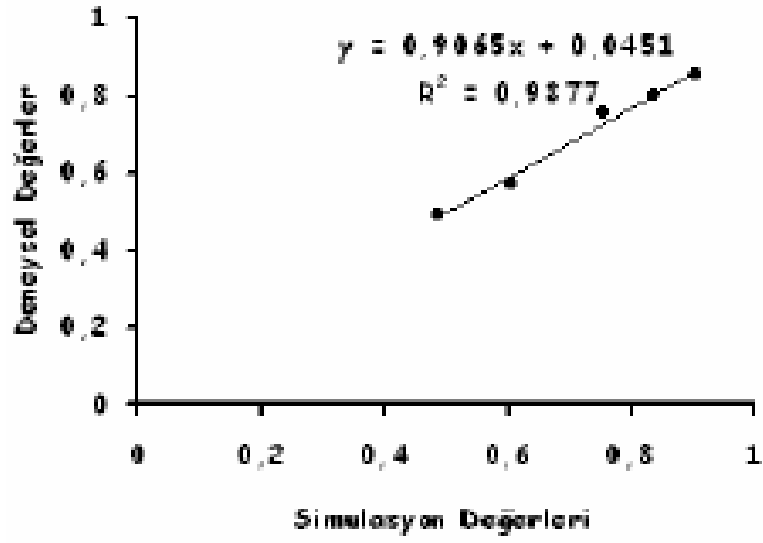
Endüstriyel atık sular içinde tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık sular çevre kirliliği açısından alıcı ortamlara yüksek organik yükler vermektedir. Organik kirlenmeyi ölçen parametrelerin başında BOİ ve KOİ gelmektedir. Organik kirleticilerin uzaklaştırılması için en etkin yöntem biyolojik arıtma yöntemidir. Aktif çamur prosesi yaşayan bir biyolojik arıtma yöntemidir. Aktif çamur, karışık kültür olarak isimlendirilen birçok farklı türdeki mikroorganizmalardan oluşur. Bu çalışmanın amacı tekstil endüstrisine ait atık sularda BOİ, KOİ ve AKM parametrelerinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesidir.



Şekil 1 İşletmenin atık su arıtım akım şeması

Bu çalışmada endüstriyel atık sularında bulunan organik kirliliğin bir göstergesi olarak bilinen BOİ-KOİ-AKM parametrelerinin arıtma tesisine giriş ( her bir parametre için 15 değer) değerlerine bağlı olarak arıtma tesisinin verimi modellenmiştir. Her bir parametreye ait test verileri (5 adet) ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Arıtma tesisi giriş ve çıkışından numuneler haftada bir defa alınmıştır. Alınan numunelerde sırasıyla BOİ, KOİ ve AKM tayinleri yapılmıştır. KOİ ve AKM parametreleri 2 saatlik laboratuvar çalışması sonucunda cevap verirken BOİ parametresi için durum farklı olup 5 gün beklenmesi gerekmektedir. Bunun sonucu olarak haftada bir numune alınıp analiz yapma durumu söz konusu olmuştur. Yapay sinir ağlarını eğitmek için geriye yayılma algoritması ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Uygulamada bir girdi ve bir çıktı olduğundan bir nöron kullanılmıştır.

Yapay sinir ağları modelinde kullanılan değerler deneysel olarak ölçülen değerlerdir. Burada amaç, sözü edilen bu üç parametrenin arıtma tesisine giriş kısmından numune alınarak ölçüm yapıldığında bu model kullanılarak arıtma tesisi çıkışında deney yapmaksızın üç ayrı parametrenin de büyük bir yaklaşımla tespit edilebilir olmasıdır. Ya da farklı bir düşünce tarzı ile yine sözü edilen bu üç parametrenin arıtma tesisinin çıkış kısmından numune alınarak ölçüm yapıldığında yine aynı bu model kullanılarak arıtma tesisi girişinden numune alındığında deney yapmaksızın üç ayrı parametrenin de büyük bir yaklaşımla tespit edilebilir olmasıdır. BOİ parametresi için gerçek(deneysel) değerler ile yapay sinir ağları kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişki şekilde görülmekte olup regresyon değeri %98.77 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2 BOİ için gerçek değerler ile yapay sinir ağılar metodu kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişki

Bu değer KOİ için %97.87 ve AKM için %94.56 bulunmuştur. Arıtma tesisinin girişinden numune alınıp analiz edildiğinde elde edilen parametre değerleri bu model sayesinde arıtma tesisinin çıkışındaki parametre değerleri analiz yapmaya gerek olmadan elde edilmiş olmaktadır. Bu sayede hem parametre analizi için ayrıca maliyete gerek duyulmayacak hem de bu analizlerin yapılması için gereken zaman ve eleman ihtiyacı yarı yarıya azaltılmış olacaktır. Bu amaç doğrultusunda yapay sinir ağılar yönteminin kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

#### EK 4 Hata Analizleri

Dinamik performans kriterleri  $t=0$  anından yatışkın koşula gelene kadar aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanır.

- Tümlenik Mutlak Hata Ölçütü (IAE, Integral Absolute Error)

$$\sum_{t=0}^{t1} |y(t) - ysp(t)|$$

- Tümlenik Karesel Hata Ölçütü (ISE, Integral Square Error)

$$\sum_{t=0}^{t1} (y(t) - ysp(t))^2$$

- Tümlenik Zaman Hata Ölçütü (ITAE, Integral Time Absolute Error)

$$\sum_{t=0}^{t1} t|y(t) - ysp(t)|$$

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hilal AYYILDIZ

Doğum Yeri : Yusufeli

Doğum Tarihi : 14.08.1988

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Anadolu Erkek Lisesi (2006)

Lisans : Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Kimya Mühendisliği Bölümü (2010)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği  
Anabilim Dalı (Şubat 2011-Şubat 2015)