ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇÖKTÜRME YÖNTEMİNİN KULLANILDIĞI BOYA ATIKSU ARITMA SİSTEMİNİN GENELLEŞTİRİLMİŞ TAHMİN EDİCİ KONTROL (GPC) İLE pH KONTROLÜ

Lütfiye Canan PEKEL

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2009

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇÖKTÜRME YÖNTEMİNİN KULLANILDIĞI BOYA ATIKSU ARITMA SİSTEMİNİN GENELLEŞTİRİLMİŞ TAHMİN EDİCİ KONTROL (GPC) İLE pH KONTROLÜ

Lütfiye Canan PEKEL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ

Endüstriyel atıksular çok çeşitli sektörler tarafından oluşturulduğu için bunların arıtılmasında kullanılacak teknoloji ve metotlar da farklılık göstermektedir. Bu sektörler arasında bulunan boya ve boyarmadde üretimi yapan veya atıksularında boyarmadde içeren tekstil endüstrisinin atıksularının arıtımında fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılabilmektedir. Bu arıtım yöntemlerinin arasında kimyasal çöktürme ve floklaştırma önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle tekstil atıksuyunun arıtılması için kullanılan kimyasal çöktürme ve floklaştırma yöntemi için $MgCl_2$, $FeCl_3$ ve $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüleri kullanılmıştır. Bu çöktürücüler ayrı ayrı su arıtılması için tekstil atıksuyuna ilave edilmiş, farklı derişimleri için farklı pH değerlerinde çalışılmıştır. Su kalitesi testleri ışık geçirgenliği özelliğinden yararlanılarak yapılmıştır. Bu testler için spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. Çeşitli analizler sonucunda optimum çöktürücü ve pH değerleri bulunmuştur.

Optimum çöktürücü ve pH değerlerinde suyun istenilen değerlerde arıtılması için pH kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için on-line computer kontrol sistemi kullanılmıştır. Çeşitli kontrol parametreleri denenerek en uygun kontrol parametreleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada GPC'nin kontrol sisteminde pH kontrolü için uygun bir kontrol sistemi olduğu anlaşılmıştır. Kontrol çalışmalarından sonra elde edilen arıtılmış suyun spektrofotometrik değerlerine bakılmıştır.

Temmuz 2009, 97 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tekstil Endüstrisi Arıtılabilirlik, Koagülasyon ve Flokasyon, Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol

ABSTRACT

Master Thesis

GENERALIZED PREDICTIVE CONTROL (GPC) OF pH IN DYE WASTEWATER TREATMENT BY USING COAGULATION METHOD

Lütfiye Canan PEKEL

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

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ

For the wastewater industry which has been found from different industrial sectors, there are different methods to be used for the purification of wastewater. In the sectors which produce dye and dye materials or the wastewater which contains dye taken from textile industry for the purification of such a wastewater physical, chemical and biological methods have been used. In these purification methods chemical coagulation and flocculation are considered as a very important method.

In this work primarily magnesium chloride, ferro chloride and aluminium chloride have been used as a coagulant for chemical coagulation and flocculation method which is used for the purification of textile wastewater and for different concentrations for them, different pH values were observed. The quality of water has been tested with specification of light absorbans. For these tests spectrofotometer has been used. At the end of different experimental analysis work, the values of optimal coagulation values have been found.

The pH control experiment has been realised at the optimal coagulant and pH values to obtain the purified values for obtaining the desired values. For this reason on-line computer system has been used. The different control parameters have been tried and then suitable control parameters have been calculated. In this work GPC control system has been found that it is very suitable for controlling the desired pH values. After all control experimental work the purified water has been tested with spectrofotometer.

July 2009, 97 pages

Keywords: Textile Industry, Coagulation and Flocation, Generalized Predictive Control

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İki yıl süren yüksek lisans çalışmalarıma yön veren, yaptığım araştırmaların her aşamasında bilgi, öneri ve her türlü yardımı esirgemeden, fikirleriyle gelişmeme büyük katkısı olan danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince karşılaştığım zorluklarda ve başarılarda bilgi ve desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Hale HAPOĞLU ve Doç. Dr. Zehra ZEYBEK'e ve tüm proses kontrol gurubuna teşekkür ederim.

Araştırmalarım esnasında bana yol gösteren değerli hocalarım Prof. Dr. Ali BİLGESU, Doç. Dr. Süleyman KARACAN ve Doç. Dr. Meral Şahin KARAKIŞLA'ya, çalışmalarımda en zor anlarımda bana vakit ayırıp yardıma koşan sevgili Araş. Gör. Suna ERTUNÇ ve Havva BOYACIOĞLU'na deneylerim için gerekli atıksuları bana temin eden hayat dolu arkadaşım Ayşe AKPINAR'a sonsuz teşekkür ederim.

Deneylerim süresince atıksu laboratuvarlarında çalıştığım ve her soruma büyük bir güler yüzlülükle cevap aldığım ASKİ personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana başarı bursu ile maddi olarak destek veren TÜBİTAK'a katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bir an olsun yanımdan hiç ayrılmayan sevgili dostum Araş. Gör. Şule CAMCIOĞLU'na ve maddi-manevi desteklerinin yanı sıra bütün sıkıntılarıma katlanan, bana sevgilerini her zaman hissettiren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Lütfiye Canan PEKEL
Ankara, Temmuz 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT ii

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii

İÇİNDEKİLER iv

SİMGELER DİZİNİ vi

ŞEKİLLER DİZİNİ vii

ÇİZELGELER DİZİNİ x

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 3

3. KURAMSAL TEMELLER 9

3.1 Tekstil Endüstrisinin Genel Özellikleri 9

3.2 Tekstil Endüstrisi Genel Prosesleri 10

3.2.1 Haşıllama 10

3.2.2 Yıkama ve haşıl giderme 11

3.2.3 Ağartma 11

3.2.4 Merserizasyon 12

3.2.5 Boyama 12

3.2.6 Apreleme 12

3.3 Pamuklu Tekstil Endüstrisi 13

3.4 Tekstil Boyalarının Karakteristikleri ve Boyarmaddelerin Sınıflandırılması 16

3.4.1 Boyarmaddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması 18

3.4.1.1 Suda çözünen boyarmaddeler 18

3.4.1.2 Suda çözünmeyen boyarmaddeler 19

3.4.2 Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması 20

3.4.3 Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması 22

3.5 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Kaynak, Miktar ve Özellikleri 23

3.6 Tekstil Endüstrisi İçin Seçilen Kirletici Parametrelerin Özellikleri 26

3.6.1 Biyokimyasal oksijen ihtiyacı 26

3.6.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı **27**
3.6.3 Toplam askıda katı madde **27**
3.6.4 Yağ ve gres **27**
3.6.5 Sülfür **28**
3.6.6 Fenolik bileşikler **28**
3.6.7 Krom **28**
3.6.8 pH **29**
3.6.9 Deşarj standartları **29**
3.7 Tekstil Atıksularından KOİ ve Renk Giderimi İçin Kullanılan Metotlar **32**
3.7.1 Kimyasal arıtma prosesleri **32**
3.8 Türkiye'de Bulunan Herhangi Bir Tekstil Fabrikası **34**
3.8.1 Arıtma ünitesini oluşturan ekipmanlar **35**
3.9 Arıtımda Uygulanacak pH Kontrol Yöntemi **38**
3.9.1 Ardışık sistem modelleri **38**
3.9.1.1 Sistem modelleri **38**
3.9.1.2 Yük modelleri **39**
3.9.1.3 Toplam sinyal modeli **41**
3.9.2 Bir prosesin doğrusal model parametrelerinin belirlenmesi **43**
3.9.2.1 Pseudo random binary sequence etkileri (PRBS) **43**
3.9.3 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol (GPC) **46**
3.9.3.1 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol yöntemi **47**
4. MATERYAL VE YÖNTEM **54**
4.1 Deney Sistemi **54**
4.2 Optimum Koagülant ve pH Seçimi İçin Jar Testi Yöntemi **54**
4.3 Kontrol Deney Yöntemi **55**
5. ARAŞTIRMA BULGULARI **56**
5.1 Koagülant Seçimi İçin Gerçekleştirilen Ön Denemeler **56**
5.2 Jar Testi İle En İyi Koagülant'ın Belirlenmesi **58**
5.2.1 $MgCl_2$ ile ilgili jar testleri **59**
5.2.2 $FeCl_3$ ile ilgili jar testleri **66**
5.2.3 $Al_2(SO_4)_3$ ile ilgili jar testleri **74**
5.2.4 $MgCl_2$ için farklı atıksuda jar testi **81**

5.3 Kontrol Deneyleri.....86
5.3.1 Fabrika tekstil atıksuyu üzerinde yapılan kontrol ön denemeleri.....88
5.3.2 GPC kontrol sonuçları.....90
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....92
KAYNAKLAR. 93
ÖZGEÇMİŞ.....109

SİMGELER DİZİNİ

AOX	Adsorblanan organik halojen tuzu
ARMA	Auto Regressive Moving Average
ARMAX	Auto Regressive Moving Average eXogenous
ARIMAX	Auto Regressive Integral Moving Average eXogenous
A/D	Anolog-sayısal çeviricisi
BOİ	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
EN	European Norms
GPC	Generalized Predictive Kontrol
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
NARIMAX	Nonlinear Auto Regressive Integral Moving Average eXogenous
PAC	Polialümiyum klorür
PID	Proportional Integral Derivative controller
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SM	Standart methods
TAKM	Toplam askıda katı madde
TÇK	Toplam çözünmüş katı
TOK	Toplam organik karbon
TS	Türk Standartları
ISO	International Organization for Standardization
λ	Kontrol ağırlık faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Pamuklu tekstil proses akım şeması ve oluşacak atıklar 14
Şekil 3.2 Tekstil Fabrikası Arıtma Tesisi Akış Diyagramı 35
Şekil 3.3 PRBS sinyalinin gösterimi 43
Şekil 3.4 GPC kontrol sisteminde set noktası, kontrol edilen ve ayarlanabilen değişkenler 48
Şekil 3.5 Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol algoritması 53
Şekil 4.1 Deney sistemi 54
Şekil 5.1 $MgCl_2$'nin farklı derişimlerinde ve atıksuyun farklı pH değerlerinde absorbans değişimi 56
Şekil 5.2 $FeCl_3$'ün farklı derişimlerinde ve atıksuyun farklı pH değerlerinde absorbans değişimi 57
Şekil 5.3 $Al_2(SO_4)_3$'ün farklı derişimlerinde ve atıksuyun farklı pH değerlerinde absorbans değişimi 58
Şekil 5.4 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 60
Şekil 5.5 Çöktürücü olarak 1 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri..…...60
Şekil 5.6 Çöktürücü olarak 2 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 61
Şekil 5.7 Çöktürücü olarak 3 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 61
Şekil 5.8 Çöktürücü olarak 5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 61
Şekil 5.9 Çöktürücü olarak 7 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 62
Şekil 5.10 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4) 62
Şekil 5.11 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 64
Şekil 5.12 Çöktürücü olarak 1 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 64

Şekil 5.13 Çöktürücü olarak 2 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 64
Şekil 5.14 Çöktürücü olarak 3 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 65
Şekil 5.15 Çöktürücü olarak 5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 65
Şekil 5.16 Çöktürücü olarak 7 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 65
Şekil 5.17 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4) 66
Şekil 5.18 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 68
Şekil 5.19 Çöktürücü olarak 1 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 68
Şekil 5.20 Çöktürücü olarak 2 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 68
Şekil 5.21 Çöktürücü olarak 3 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 69
Şekil 5.22 Çöktürücü olarak 5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 69
Şekil 5.23 Çöktürücü olarak 7 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 69
Şekil 5.24 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4) 70
Şekil 5.25 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 71
Şekil 5.26 Çöktürücü olarak 1g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 72
Şekil 5.27 Çöktürücü olarak 2 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 72
Şekil 5.28 Çöktürücü olarak 3 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 72
Şekil 5.29 Çöktürücü olarak 5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 73

Şekil 5.30 Çöktürücü olarak 7 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 73
Şekil 5.31 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4) 74
Şekil 5.32 Çöktürücü olarak 0.5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 75
Şekil 5.33 Çöktürücü olarak 1 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 76
Şekil 5.34 Çöktürücü olarak 2 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 76
Şekil 5.35 Çöktürücü olarak 3 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 76
Şekil 5.36 Çöktürücü olarak 5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 77
Şekil 5.37 Çöktürücü olarak 7 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 77
Şekil 5.38 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4) 78
Şekil 5.39 Çöktürücü olarak 0.5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 79
Şekil 5.40 Çöktürücü olarak 1 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 79
Şekil 5.41 Çöktürücü olarak 2 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 80
Şekil 5.42 Çöktürücü olarak 3 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 80
Şekil 5.43 Çöktürücü olarak 5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 80
Şekil 5.44 Çöktürücü olarak 7 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 81
Şekil 5.45 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ile pH ayarı) 81
Şekil 5.46 Çöktürücü olarak 4g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 83

Şekil 5.47 Çöktürücü olarak 5g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri.....83
Şekil 5.48 Çöktürücü olarak 6g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri.....84
Şekil 5.49 Çöktürücü olarak 6g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri.....84
Şekil 5.50 Tekstil atıksuyuna farklı çöktürücü derişimleri kullanıldığında farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri 85
Şekil 5.51 Pseudo Random etkisi ve bu etki altındaki pH'ın zamanla değişimi a) PRBS sinyalleri b) kontrol çıktıları...……..….....87
Şekil 5.52 Tekstil fabrikasının atık tesislerinden çıkan atıksuyun GPC kontrolü a) pH'la zaman değişimi b) ayarlanabilen değişkenin zamanla değişimi...……..…..…..89
Şekil 5.53 Tekstil fabrikasından alınan atıksuyun GPC kontrolü a) pH'la zaman değişimi b) ayarlanabilen değişkenin zamanla değişimi…...……...…..…91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge.3.1 Çeşitli tipteki boyarmaddeler kullanıldığında atıksuya geçen bileşenler 15

Çizelge 3.2 Pamuklu tekstil işletmelerinden gelen proses atıksularının karakteristiği ve NEQS standartları..... 15

Çizelge 3.3 Pamuklu tekstil terbiyesi atıksularına ait atıksu karakterizasyonu 16

Çizelge 3.4 Pamuklu tekstil endüstrisinde oluşan yüzde olarak atıksu debileri ve kirlilikleri 16

Çizelge 3.5 Tekstil boyarmaddelerinin uygulama alanlanna göre sınıflandırılması 17

Çizelge 3.6 Boyarmadde fiske oranları ve atıksu karakteristiği 24

Çizelge 3.7 Sektör: Tekstil sanayi (Açık elyaf, iplik üretimi ve terbiye) 29

Çizelge 3.8 Sektör: Tekstil sanayi (Sentetik tekstil terbiyesi ve benzerleri)..... 29

Çizelge 3.9 Sektör: Tekstil sanayi (Dokunmuş kumaş terbiyesi ve benzerleri) 30

Çizelge 3.10 Sektör: Tekstil sanayi (Pamuklu tekstil ve benzerleri) 30

Çizelge 3.11 Sektör: Tekstil sanayi (Yün yıkama, terbiye, dokuma ve benzerleri)..... 31

Çizelge 3.12 Sektör: Tekstil sanayi (Örgü kumaş terbiyesi ve benzerleri)..... 31

Çizelge 3.13 Sektör: Tekstil sanayi (Halı terbiyesi ve benzerleri)..... 29

Çizelge 3.14 Farklı koagülantların avantaj ve dezavantajları 33

Çizelge 5.1 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4) 59

Çizelge 5.2 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)..... 63

Çizelge 5.3 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4)..... 67

Çizelge 5.4 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)..... 71

Çizelge 5.5 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4) 75

Çizelge 5.6 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)..... 78

Çizelge 5.7 Farklı pH ve farklı çöktürücü ($MgCl_2$) derişimleri kullanıldığında arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans değerleri..... 82

Çizelge 5.8 Tekstil atıksuyu ağır metal analiz sonuçları..... 85

Çizelge 5.9 İki ayrı işleme tabi tutulmuş atıksu absorbans değerleri……..89

1. GİRİŞ

İnsanlar geçmişten günümüze kadar, renkleri yaşamın bir parçası yapmışlardır. Önce renkli topraklarda bulunan pigmentler, sonra bitkisel ve hayvansal boyarmaddeler kullanılmıştır. Günümüzde ise boyarmadde sanayi, modern kimyanın önemli bir kesimini oluşturmaktadır. Boya ve boyarmaddeler, tekstil, inşaat, otomotiv, plastik ve benzeri alanlarda kullanılmaktadır. Tekstil sanayi boyarmaddelerin kullanıldığı başlıca sektörlerden biridir. Tekstil endüstrisi, kullandığı sentetik boyanın kayda değer bir kısmını içeren, çevre kirlenmesinde önemli yer teşkil eden atıksuları doğaya bırakmaktadır. Bu atıksular ya hiç arıtılmamakta ya da yapılan arıtım yeterli olmamaktadır. Tekstil endüstrisinden deşarj edilen boyalı atıksular yeterli oranda bertaraf edilmediğinde çevre için tehlikeli olmaktadır. Oldukça renkli olan bu sular alıcı su ortamlarına deşarj edildikleri zaman alıcı ortamın reoksijenasyon kapasitesini düşürmekte, güneş ışığının geçişini keserek su içerisindeki biyolojik yaşamın durmasına sebep olmaktadır. Atıksu içerisindeki boyalardan kaynaklanan renkler çıplak gözle rahatlıkla görülebildiğinden estetik açıdan da problem yaratmaktadır. Suların renk içermesi estetik açıdan olduğu kadar güneş ışınlarının sudaki penetrasyonun engellemesi ve dolayısı ile ekosistem içindeki biyolojik mekanizmaları etkilemesi nedeniyle oldukça önemlidir.

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular yüksek konsantrasyonda organik ve inorganik kimyasallar içerirler ayrıca oldukça kuvvetli renk ve kalıntı KOİ ile karakterize edilirler. Bunların çöktürerek giderilmesi ekonomik olması ve işletiminin kolay olması bakımından tercih edilir.

Bu amaçla bu seminerde tekstil endüstrisinin atıksu oluşturmasındaki adımları ve değişik boya kökenli atıksuların arıtımında kullanılan kimyasallar, atıksu arıtım yöntemleri ve kaynak bilgisi verilecektir. Ayrıca endüstriyel tekstil boyası için arıtım yöntemi ve uygulanacak kontrol yöntemi (Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol) tanıtılacaktır.

Bu çalışmada öncelikle tekstil atıksuyunun arıtılması için kullanılan kimyasal çöktürme ve floklaştırma yöntemi için $MgCl_2$, $FeCl_3$ ve $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüleri kullanılmıştır. Bu

çöktürücüler ayrı ayrı su arıtılması için tekstil atıksuyuna ilave edilmiş, farklı derişimleri için farklı pH değerlerinde çalışılmıştır. Çeşitli analizler sonucunda optimal çöktürücü ve pH değerleri bulunmuştur. Arıtılmış suyun spektrofotometrik değerlerine bakılmıştır. Son olarak da suyun istenilen değerlerde arıtılması için pH kontrol deneyleri on-line computer kontrol sistemi (GPC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tekstil boya atıksularının özellikleri ve arıtılması ile ilgili araştırmalar verilmiştir. Ayrıca GPC ile ilgili son yıllarda yapılan çok kullanılan çalışmalar önerilmiştir.

Clarke *et al.* (1987), genelleştirilmiş tahmin edici kontrol (GPC) yöntemini geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarını iki ayrı makalede toplamışlardır. Bu makalelerde kontrol yöntemi tasarımı için ARIMAX (Auto Regressive Integrated Moving Average with Exogenous) modelini kullanmışlardır. Bu kontrol yönteminde gelecekteki proses çıkış değişkeni tahmin edilmektedir. Yaptıkları çalışmada proseste bulunan ölü zaman değişimlerinin GPC kontrol algoritması tarafından bertaraf edildiğini göstermişlerdir. Endüstride kullanılan birçok prosesin kontrolü amacıyla GPC yönteminin kullanılmasını önermişlerdir.

Papik *et al.* (2000), yaptıkları çalışmada reaktif tekstil boya atığında koagülasyon / floklaştırma metodu ile çalışmışlardır. Bu proses % 99.5'ten daha fazla renk giderimi ile çok etkili bulunmuştur. Optimum pH aralığını ve koagülant miktarlarını bulmak için jar testleri yapılmıştır. Farklı derişimlerde tekstil boya atıkları hazırlanmıştır (1.5, 3.0 ve 6.0 kg/m^3). CI Reaktif Kırmızı 45 ve CI Reaktif Yeşil 8 tekstil boyaları seçilmiştir. $FeCl_3.8H_2O$ koagülant olarak kullanılmıştır. En iyi renk giderimi boya derişimi 1.5 kg/m^3 olduğunda CI Reaktif Kırmızı 45 için pH 2.55'te % 99.68, CI Reaktif Yeşil 8 için pH 2.70'te % 99.56 olarak gözlenmiştir. CI Reaktif Yeşil 8 boyası için gerekli olan çöktürücü tüketiminin, CI Reaktif Kırmızı 45 için gerekli olandan daha az olduğu görülmüştür. Boya derişimi 1.5 kg/m^3 olduğunda maksimum giderim için CI Reaktif Kırmızı 45'te gerekli olan çöktürücü miktarı 6 kg/m^3 iken, CI Reaktif Yeşil 8 için 3 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

Tan *et al.* (2000), yaptıkları araştırmada endüstriyel kumaş boyası atıksuyunda renk giderimi için 4g $MgCl_2$/L kullanmışlardır. Kimyasal çöktürme tekniklerinde reaktif boyanın uzaklaştırılma veriminin boya çözeltisinin pH değerine bağlı olduğu görülmüştür. $MgCl_2$ için optimum pH değeri 10.5-11 arasında bulunmuştur. Bu değerlerin dışında renk giderim

veriminin önemli ölçüde düştüğü görülmüştür. Uzaklaştırma değerleri % 97.9 renk maddesi, % 88.4 KOİ, % 95.5 askıda katı madde olarak gözlenmiştir.

Karacan *et al.* (2001), çalışmada dolgulu damıtma kulesi için optimal işletme koşulları ve optimal uyarlamalı GPC incelenmiştir. Dolgulu damıtma kulesinin kontrolü için iki tip kontrol algoritması kullanılmıştır (PID ve GPC). ARIMAX kesikli zaman modeli sistemi belirlemek için kullanılmıştır. Bu modelde A ve B polinomlarının sabitleri parametre tahmin tekniği ile belirlenmiştir. PRBS sinyalleri kazan ısısına verilmiş ve yüksek sıcaklık gözlenmiştir. Girdi ve çıktı değerleri kullanılarak sistemin ARIMAX tipi model parametreleri Bierman algoritmasından hesaplanmıştır. Bilinen katsayılarıyla A ve B sistem model parametreleri GPC algoritmasında kullanılmıştır. GPC algoritması ile teorik ve deneysel veriler birbiriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Genelde GPC performansının PID performansından daha iyi olduğu görülmüştür.

Kim *et al.* (2004), yaptıkları çalışmada yaygın olarak kullanılan dispers ve reaktif boyarmadde atıksularında kimyasal koagülasyon ve fenton oksidasyonu birleşimiyle renk giderimini incelemişlerdir. Optimum pH ve $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ miktarı jar testi ile belirlenmiştir. H_2SO_4 ve NaOH'in seyreltik çözeltileri pH'ı istenilen değere ayarlamak için eklenmiştir. Optimum pH ve koagülant miktarı boyarmadde giderim verimi esas alınarak belirlenmiştir. (dispers mavi 106 için pH 5, dispers sarı 54 için pH 6, reaktif sarı 54 için pH 6, reaktif mavi 49 için pH 7) optimum pH'lar ayarlandıktan sonra bu pH'larda farklı çöktürücü dozlarına bakılmış ve % KOİ ve renk giderimlerine göre uygun koagülant dozları belirlenmiştir. Dispers boyalarda KOİ ve boya giderim verimlerinin reaktif boyalara nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Maksimum giderime ulaşmak için gerekli olan koagülant derişimi, reaktif boyalara nazaran dispers boyalarda daha düşük bulunmuştur.

Papik *et al.* (2004), yaptıkları çalışmada CI Reaktif Kırmızı 45 ve CI Reaktif Yeşil 8 tekstil boyalarının atıksudan uzaklaştırılması için iki basamak kullanmışlardır (koagülasyon / aktif karbon adsorpsiyon metodu). Koagülant olarak $AlCl_3.6H_2O$ kullanılmıştır. Sadece koagülasyon işleminde ekolojik parametrelerde (TOK, KOİ, AOX) % 90 azalma görülürken, PAC bitirme işleminden sonra bu azalma daha da iyileştirilmiştir. İyi bir boya giderimine

(> % 90) pH 3.5 ile 5.0 arasında ve koagülant miktarı 0.4 g/L'den büyük olduğunda ulaşılmıştır. Neredeyse tamamen boya giderimine 1.5 g/L koagülant miktarıyla, pH ise 4.5-5.0 arasındayken ulaşılmıştır (% 99.8 RK 45 ve % 99.9 RY 8).

Golob *et al.* (2005), yaptıkları çalışmada koagülasyon / floklaştırma metodunu kullanmışlardır. Koagülant olarak $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, $FeSO_4.7H_2O$ ve $FeCl_3.6H_2O$, ticari floklaştırıcı olarak Col-floc RD-Ciba'yı kullanmışlardır. Koagülantların derişimleri 0.01-0.4 g/L, floklaştırıcı derişimi 1-5 g/L, pH 6-9 aralıklarında çalışılmıştır. En iyi sonuca $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile birlikte pH yaklaşık nötr tutularak ulaşılmıştır.

Kestioğlu *vd.* (2006), yaptıkları çalışmada tekstil atıksuyu kimyasal çökeltim ve adsorpsiyon yöntemleriyle arıtılmış ve bu proseslere bağlı olarak KOİ giderim verimleri belirlenmiştir. Atıksuyun debisi düşük olduğundan ve atıksu biyolojik olarak parçalanamayan organik maddeler içerdiğinden bu atıksuyun arıtımına yönelik olarak kireçle pH ayarlandıktan sonra PAC (1000mg/L) kullanılarak kimyasal floklar oluşturulmuş daha sonra bu floklar kimyasal çökeltim tanklarında çöktürülmüş ve süpernatant çıkışı atıksular 0.5-1 mm boyutundaki Jakobi marka GAC adsorpsiyon kolonlarından geçirilmiş ve deşarj kriterleri sağlanmıştır. Alum (1250 mg/L), alum (8000mg/L) + non iyonik PE (4mg/L) ve PAC (2500mg/L) ile yapılan kimyasal çökeltim sonunda sırasıyla; % 54, % 56 ve % 60 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir.

Özkan *et al.* (2006), tam karışmalı tankın sıcaklık kontrolünü "doğrusal olmayan genelleştirilmiş tahmin edici kontrol" ile set noktası değişimi altında yapmışlardır. Soğutma suyu akış hızına verilen etkiler ile prosesin dinamik davranışı araştırılmıştır. Doğrusal olmayan kontrol için sıcaklık ve ısı ile ilişkili olan NARIMAX tipi polinom şeklindeki bir model kullanılmıştır. Aynı zamanda doğrusal olmayan GPC ile doğrusal GPC karşılaştırılması yapılmıştır. Doğrusal olmayan GPC, doğrusal GPC'ye nazaran set noktasına daha yakın bir tepki vermiştir.

Zeybek *et al.* (2006), kesikli soğutma ceketli bir polimerizasyon reaktörünün sıcaklık profilinin kontrolünde genelleştirilmiş delta kuralı (GDR) algoritması ile birleştirilen GPC algoritması kullanmıştır. Set noktası için seçilen sıcaklık profili optimizasyon yöntemi ile bulunmuştur. Reaktör sıcaklığı ile ilişkili olan model, yapay sinir ağı tekniği ile bulunmuştur. Önerilen kontrol sisteminin iyi performans gösterdiği deneysel sonuçlardan elde edilmiştir.

Altınten (2007), çalışmasında (GPC) pH nötralizasyonunu sürekli akış boru tipi reaktörüne uygulamıştır. Kontrolde, besleme akış hızında değişikliklerle karşı karşıya kalındığında pH değerini verilen set noktası değerinde tutulması amaçlanmıştır. ARIMAX modeli GPC algoritması için sistem modeli olarak kullanılmıştır. Polinom ARIMAX modelinin kullanımı pH ile bağlantılıdır ve esas olarak akış hızı vurgulanmıştır. λ (kontrol ağırlık faktörü)'nın göreceli küçük değerleri seçildiğinde, pH değeri kontrol değişkeni olarak set noktasına erişmiş fakat çıktı tepkisi salınımlı davranış sergilemiştir. Uygun λ değeri genetik algoritmaları (GA) kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarla, GA'dan ölçülen değere yakın λ değeri çalışılan her durumda GPC algoritması için oldukça uygun olduğu görülmüştür.

Birgül *vd.* (2007), yaptıkları çalışmada atıksu arıtma tesisi dengeleme tankından aldıkları numuneleri çöktürme deneylerine tabi tutmuşlardır. Koagülasyon deneylerinde farklı pH değerlerinde ve farklı dozlarda $FeSO_4$, $FeCl_3$ ve alum kullanılmıştır. Optimum pH değeri belirlenirken $FeSO_4$, $FeCl_3$ ve alum 400 mg/L dozunda sabit tutularak pH değeri 7-12 arasında değiştirilmiştir. Optimum pH değeri 9 olarak belirlendikten sonra 200-1200 mg/L arasında değişen dozlarda çöktürücüler atıksuya uygulanmıştır. KOİ ve renk gideriminde en iyi verimler elde edildiğinde optimum koagülant dozlarının $FeSO_4$, $FeCl_3$ ve alum için sırasıyla 800 mg/L, 800 mg/L, 1000 mg/L olduğu görülmüştür. $FeSO_4$, $FeCl_3$ ve aluma nazaran daha iyi giderim verimi vermiştir.

Gao *et al.* (2007), yaptıkları çalışmada sentetik tekstil atıksuyunda $MgCl_2$ ile renk giderimini çalışmışlardır. $MgCl_2/Ca(OH)_2$'in renk giderim verimi $Al_2(SO_4)_3$, Polialüminyum klorür (PAC) ve $FeSO_4/Ca(OH)_2$ ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları renk gideriminin tekstil boyasının tipine, atığın pH'ına ve kullanılan koagülant miktarına bağlı olduğunu göstermiştir.

$MgCl_2/Ca(OH)_2$'in renk gideriminde $MgCl_2/NaOH$, $Al_2(SO_4)_3$, PAC ve $FeSO_4/Ca(OH)_2$'den daha üstün olduğu gösterilmiştir. 400mg/L $MgCl_2$, 400mg/L $Ca(OH)_2$ ile birlikte kullanıldığında; kırmızı K-2BP tekstil boya atığından % 98, sarı K-4G tekstil boya atığından % 91 renk giderilmiştir. Aynı $Ca(OH)_2$ miktarı yalnız başına kullanıldığında; kırmızı K-2BP tekstil boya atığından % 35, sarı K-4G tekstil boya atığından % 25 renk giderilmiştir. Aynı miktarda $MgCl_2$ ve NaOH ile birlikte kullanıldığında; kırmızı K-2BP tekstil boya atığından % 76, sarı K-4G tekstil boya atığından % 58 renk giderilmiştir. $MgCl_2$'in renk giderim veriminin pH'ın 7.5'ten 13.0'a artmasıyla arttığı görülmüştür. Optimum giderim verimine reaktif ve dispers boyarmaddeler için pH 12'nin üzerindeyken ulaşılmıştır.

Sato *et al.* (2007), yaptıkları çalışmada kesikli zamanlı bir kontrol edici kullanarak, kontrolü yapılan sürekli bir sistemde örnekleme verisi için bir GPC tasarımını amaçlamışlardır. Amaçlanan tasarım metodunda tek girdili-tek çıktılı sürekli zamanlı bir sistem için bir sıfırıncı dereceden tutma elemanı ile bir kesikli zaman kontrol edicisi, sürekli zaman maliyet fonksiyonunu minimize ederek tasarlamıştır. Bunun sonunda, sıfırıncı dereceden tutma elemanı ile birleşmiş sürekli zaman maliyet fonksiyonuna eşdeğer kesikli zaman maliyet fonksiyonu türetilmiştir. Sürekli zaman maliyet fonksiyonunu minimize eden değiştirilmiş GPC ara örnek tepkisini tayin ettiği için, GPC'nin ara örnek tepkisinin geliştirilmesi beklenmiştir.

Zhao *et al.* (2008), yaptıkları çalışmada ağ yapısındaki bir genelleştirilmiş kontrol sistemi Hammerstein model temelinde geliştirilmiştir. Bu metotta zaman gecikimli iki basamaklı GPC öngörmeli kontrol şeması kullanılmıştır. İki kısımdan oluşur; birincisi Hammerstein modelin doğrusal olmayan girdisini içerir, diğeri ise ağ yapısındaki kontrol sisteminde indirgenmiş gecikmeyi giderir. Popov kriterinin kullanıldığı teorik bir sonuç, sabit gecikmeli bir sistemin kapalı döngü kararlılığı için verilmiştir. Benzetim örnekleriyle bu yaklaşımın geçerliliği gösterilmiştir.

Yukarıda verilen kaynakların ışığı altında yapılan çalışmanın kısa bir özeti ve amacı gösterilmiştir. Optimum değerlerin belirlenmesi çalışmalarında tekstil atıksularının

çöktürme işlemleri için kullanılacak koagülantlar kaynak araştırması sonucunda belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada $MgCl_2$, $FeCl_3$ ve $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüleri ile farklı derişimlerde ve farklı pH değerlerinde çalışılmıştır. Bunların içinden optimum değerler belirlenerek atıksuyun absorbsiyon değerlerine bakılmıştır. Atıksuyun pH kontrolü için GPC kontrol sistemi kullanılmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde öncelikle tekstil endüstrisi için genel özellikler ve işletim şartları anlatılacaktır. Daha sonra tekstil fabrikaları atıksularının özellikleri ve bileşikleri çizelgeler halinde verilecektir. Sonra tekstil atıksularında kirliliğe neden olan boyarmadde karakteristikleri ve sınıflandırılmaları gösterilecektir. Daha sonra tekstil atıksularının arıtılmasında etkin arıtılmanın gerçekleşmesi için deşarj standartları gösterilecek ve bu atıksuyun deşarj standartlarına ulaşabilmesi için gereken yöntemler gösterilecektir. Son olarak da pH kontrolü için GPC kontrol sistemi ve sistem modelleri tanıtılacaktır.

3.1 Tekstil Endüstrisinin Genel Özellikleri

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, yatak örtüsünden, perdeye, havludan, işe giderken giydiğimiz elbiselere kadar tekstil yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu çeşitlilik tekstil endüstrisi içinde çok çeşitli proseslerin oluşmasına neden olmuştur. Tekstil endüstrisinde yaygın olan bu proseslerin pek çoğu çevresel konuları içermektedir.

Tekstil endüstrisinde üretimde yer alan proses ve işlemler endüstri bazında ele alındığında işlenen elyafa bağlı olmaksızın tanım olarak birbirine benzerdirler. Ancak kullanılan elyafın özelliğine bağlı olarak bazı farklı üretim proseslerine de rastlanmaktadır (Birgül 2006).

3.2 Tekstil Endüstrisi Genel Prosesleri

Tekstil endüstrisinde işlenen genel elyaf çeşitleri pamuklu, yünlü ve sentetik elyaflardır. Kullanılan elyafın özelliğine bağlı olarak bazı farklı üretim işlemlerine de rastlanmaktadır; örneğin, yünlü ürünlere uygulanan karbonizasyon işlemi pamuklu ürünlerde merserizasyon adını alır ya da pamuk ve sentetik elyaflarda başlangıçta yıkamayı gerektirecek bir kirlilik bulunmamasına karşılık, yün elyafların çok kirli olmasından dolayı elyafın iplik haline getirilebilmesi için önceden yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Yünlü dokuma endüstrisini kirleticilik bakımından diğer tekstil gruplarından ayıran en önemli fark bu yıkama işlemidir.

Tekstil endüstrisinde üretimde yer alan proses ve işlemler, işlenen elyafa bağlı olmaksızın tanım olarak birbirine benzerler. Endüstride uygulanan ana işlemler; haşıllama, haşıl sökme, ağartma, merserizasyon, boyama, apreleme olmak üzere sınıflandırılabilirler (Kırdar 1995).

3.2.1 Haşıllama

İnce kumaşların dokunması sırasında çok ince iplik kullanılır. Fakat bu incelikteki iplik, dokuma sırasında maruz kalacağı gerilimlerin etkisi ile kopar. Bu tür durumlarda, nişasta ve dekstrin gibi maddeler kullanılarak kumaş geçici olarak sağlamlaştırılır. Bu işleme haşıllama denir.

Haşıl maddesi dokuma sırasında meydana gelebilecek aşınma ve kopmaları önlemek için çözgü ipliklerine uygulanır. Böylece çeşitli mekanik zorlamalara karşı karşıya kalan lifler birbirine daha iyi yapışarak, daha kapalı, daha sağlam bir hale gelir ve kayganlıklarının artması sağlanarak dokumada performans arttırılır.

Haşıl maddeleri çoğunlukla doğal nişastalar, modifiye selülozlar ve sentetiklerdir. Sentetik ipliklerde haşıl maddesi olarak nişasta bileşikleri yerine polivinil alkol (PVA), karboksi metil

selüloz ve poliakrilik asit gibi maddelerin kullanımı da yaygındır. Biyolojik oksijen ihtiyacını arttıran en büyük etkenler arasına haşıl maddeleri girmektedir (Kestioğlu 1992).

3.2.2 Yıkama ve haşıl giderme

Boyama ve apreleme kumaş hazırlamak için, haşıllama operasyonundan gelen haşıl maddelerinin giderilmesi gerekir. Bu işlem, tekstil atıksularında toplam kirlilik yükünün yaklaşık % 50'sini oluşturur. Boyama ve apreleme için temiz kumaş hazırlamak amacıyla sodyum hidroksit, klor, silikatlar, sodyum bisülfit ve deterjanlar, nişastanın hidrolizi için asitler ve enzimler kullanılır. Uygulanan elyafın özelliğine göre; kullanılacak kimyasal, suyun sıcaklığı ve temas süreleri değişir. Boyama proseslerinden önce haşıl maddelerinin giderilmesi önemlidir. Aksi halde haşıl maddeleri boyanın elyafa nüfuz etmesini engeller veya boyanın rengini değiştirir (Kırdar 1995).

3.2.3 Ağartma

Bu proseste kullanılan kimyasallar, ipliklerin ağartılması amacıyla kullanılır. Başlıca kullanılan ağartma maddeleri; güçlü oksitleyici maddeler olan sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksittir. Bu maddeler, aşırı şekilde bu proseste giderilen pisliklerle birlikte çıktı olarak deşarj edilir. Bu ağartıcı maddelerden özellikle hidrojen peroksit pamuklu kumaşların ağartılmasında kullanılır. Peroksit su ve oksijene bozunur ve çözünmemiş katı parçalar ya da gözlenebilen artıklar bırakır. Peroksit ilavesi ile atık akımında oksijen miktarını arttırır.

Ağartma prosesleri üç adımda gerçekleştirilir;

1. Kumaş, ağartıcı maddeler, aktifleştirici katkı maddeleri, stabilizator ve diğer gerekli kimyasallarla doyurulur.
2. Kumaşın yeterli sıcaklıkta yeterli süre ağartıcı ile teması sağlanır.
3. Kumaş yıkanır ve kurutulur (Kırdar 1995).

Tekstil atıksularında toplam BOİ'nin yaklaşık %5'i ağartma prosesinden gelmektedir.

3.2.4 Merserizasyon

Malzeme özelliklerinin geliştirilmesi için pamuklu iplik veya kumaşların işlenmesi işlemidir. Pamuklu iplik düşük sıcaklıkta (15 ^{0}C) sodyum hidroksit çözeltisine daldırılır ve daha sonra alkalinitesinin giderilmesi için çalkalanır. Kumaş ise bu proseste yıkanır ve sülfürik veya hidroklorik asit kullanımı ile nötralize edilir (Birgül 2006).

3.2.5 Boyama

Kumaş ve ipliğe gerekli renklerin verilmesi için bu proses kullanılır. Boyama işlemi birçok yolla ve yeni boyalar, yardımcı kimyasallar eklenerek yapılır. Boyama genelde sıcak boya çözeltilerinde uygulanır. Boyamayı izleyen proseslerde daima bazı boya maddeleri boya eriyiğinde kalacak ve bunlar çıkış suyunda yer alacaktır. Bu proseste kullanılan ve ürüne karışmamış boyanın oranı % 40 seviyelerinde olacak kadar yüksek olabilir. Fakat bu oran proseste gerçekleştirilecek denemeler ve dikkatli uygulamalar ile % 5 seviyelerine çekilebilir. Böylece hem maliyetten tasarruf sağlanır hem de çevresel etki azaltılabilir (Birgül 2006).

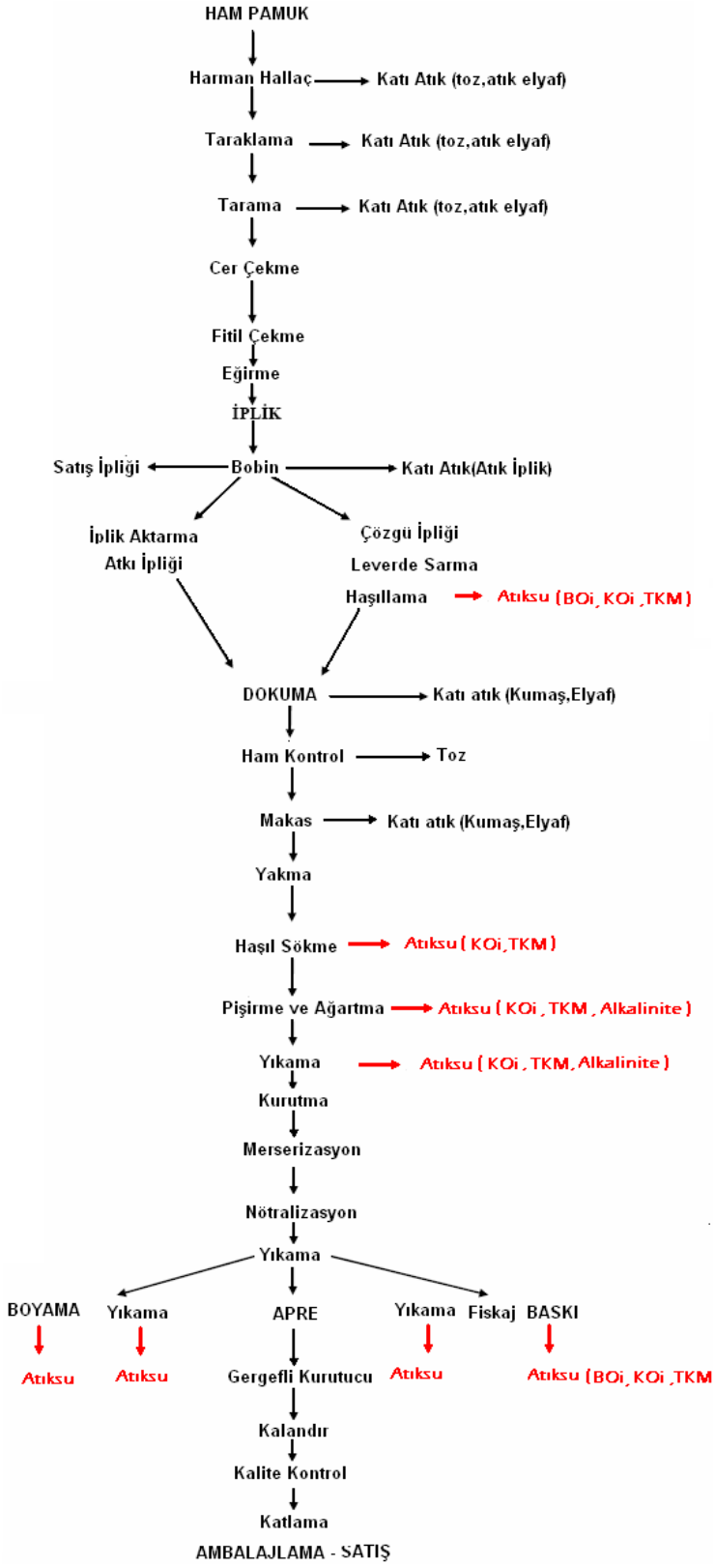
3.2.6 Apreleme

Fiziksel ve kimyasal özellikleri değişen kumaşın işlenmesi apreleme olarak adlandırılır. Apreleme işlemi ile görünüş, yumuşaklık, sağlamlık, pürüzsüzlük ve parlaklık gibi özelliklerin daha iyi olması sağlanır. Kullanılan maddeler; nişasta (kola) ve dekstrin kolası, doğal ve sentetik balmumu, sentetik reçineler, amonyum ve çinko klorit, yumuşatıcı maddeler ve çeşitli özel kimyasallar içerir. Bu kimyasalların kullanımı ile aşınma kalitesi düzelir, su geçirmeme, yanmama ve küflenmeme gibi özellikler sağlanır (Kırdar 1995).

3.3 Pamuklu Tekstil Endüstrisi

Pamuk lifleri çırçır makinelerinde liflerinden ayrıldıktan sonra balyalar halinde iplik fabrikalarına gönderilir. Burada iplik haline getirildikten sonra dokuma ve örme işlemlerine yollanır. Her pamuklu kumaş, dokuma veya örme işlemlerinden sonra tüketiciye sunulmadan önce, terbiye işlemlerinden geçer. Bu işlemlerle kumaşın kusurları düzeltilir, kullanışlı hale getirilir, boyama ve baskı işlemleri ile renklendirme yapılır ve aprelenir. Pamuklu kumaşlarda terbiye işlemleri sırasıyla; yakma, haşıl sökme, pişirme, ağartma, merserizasyon, boyama ve baskı işlemi, apre (bitirme) işlemleri şeklindedir (Birgül 2006).

Pamuklu tekstil proses akım şeması ve oluşacak atıklar Şekil 3.1 ‘de görüldüğü gibidir.



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

Çizelge 3.1 Çeşitli tipteki boyarmaddeler kullanıldığında atıksuya geçen bileşenler (Birgül 2006)

Boya Tipi	Atıksu İçerisindeki Bileşenler
Direkt Boya	Boya, mirabilite, tuz, sodyum karbonat, yüzey aktif madde
Reaktif Boya	Boya, sodyum hidroksit, sodyum fosfat, sodyum hidrokarbonat, mirabilite, üre, yüzey aktif madde
Asidik Boya	Boya, mirabilite, amonyum sülfat, asetik asit, sülfürük asit, yüzey aktif madde
Asidik Mordan Boya	Boya, asetik asit, mirabilite, sodyum bikromat, yüzey aktif madde
Metal Kompleks Tuz Boya	Boya, sülfürik asit, sodyum asetat, amonyum sülfat, mirabilite, yüzey aktif madde
Katyonik Boya	Boya, sodyum asetat, sodyum karbonat, amonyum asetat, yüzey aktif madde
Sülfür Boyaları	Boya, sodyum sülfit, sodyum asetat, mirabilite
Vat Boya	Boya, sodyum hidroksit, sodyum hidrosülfit, mirabilite, turkey kırmızı yağı
Naphtol Boya	Boya, sodyum hidroksit, hidroklorik asit, sodyum nitrit, sodyum asetat, yüzey aktif madde
Dispers Boya	Boya, taşıyıcı (çeşitli), hidrosülfit, yüzey aktif madde
Pigment	Pigment, amonyum, sodyum alginat, reçine, mineral yağlar

Pamuklu tekstil işletmelerinden gelen proses atıksularının karakteristiği pamuklu tekstil terbiyesi atıksularına ait atıksu karakterizasyonu ve pamuklu tekstil endüstrisinde oluşan yüzde olarak atıksu debileri ve kirlilikleri sırasıyla Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.2 Pamuklu tekstil işletmelerinden gelen proses atıksularının karakteristiği ve NEQS standartları (Birgül 2006)

Parametre	Geçerli ağırlık (mg/L)	*NEQS (ppm)
pH	8 – 11	6 – 10
$BOİ_5$	120 – 440	80
KOİ	300 – 1100	150
TÇK	200 – 5000	3500
TAKM	50 – 120	150
Yağ-Gres	11 – 45	10
Krom	0.5 - 2.5	0.1

*NEQS: Ulusal çevre kalite standartları

Çizelge 3.3 Pamuklu tekstil terbiyesi atıksularına ait atıksu karakterizasyonu (Birgül 2006)

Proses	pH	BOİ (mg/L)	Toplam katı madde (mg/L)
Haşıl sökme	4 – 8	1700 – 5200	16000 – 32000
Kaynatma	10 – 13	680 – 2900	7600 – 17400
Pişirme	11 – 13	50 – 110	-
Ağartma	9 – 11	90 – 1700	2300 – 14400
Merserizasyon	9 – 12	45 – 100	600 – 1900
Boyama	6 – 12	80 – 500	2000 – 20000
Baskı	6 – 11	100 – 600	500 - 1000

Çizelge 3.4 Pamuklu tekstil endüstrisinde oluşan yüzde olarak atıksu debileri ve kirlilikleri (Birgül 2006)

Proses	Su ihtiyacı (% olarak toplam)	BOİ (%)	Kirletme (%)
Haşıl sökme	5	22	> 20
Hidrofilleştirme	1	54	10 – 25
Ağartma	46	-	3
Merserizasyon	2	5	< 4
Boyama	8	5	10 – 20
Baskı	7	6	10 – 20
Yıkama	30	1	5
Bitim	1	7	15

3.4 Tekstil Boyalarının Karakteristikleri ve Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Boyalar birinci bileşen olarak boyarmaddeleri ikinci bileşen olarak bağlayıcıları içerirler. Boyarmadde pigmentleri dekoratif ve koruyucu özelliklere sahiptirler, buna karşılık bağlayıcılar (reçine veya polimerler) pigment taneciklerini birlikte tutmaya ve bunları yüzeye bağlamaya yararlar.

Tekstil boyarmaddeleri pamuklu, keten, yün, ipek gibi doğal kumaşların ve viskon, rayon, poliamid, poliakrilik elyafların renklendirilmesinde kullanılır. Tekstil boyarmaddelerinin seçiminde afinite, haslıklar, kullanım yeri, boyama yöntemi, renk, işlem kolaylığı gibi faktörler önem kazanır (Akın 2006).

Çizelge 3.5 Tekstil boyarmaddelerinin uygulama alanlarına göre sınıflandırılması (Turhan 2006)

Sınıf	Uygulandığı elyaf sınıfı	Uygulama metodu ve özellikleri	Kimyasal sınıfı
Bazik	Modifiye naylon, polyester	- renkli kısmı katyon olarak bulunduğu için katyonik boyarmadde olarak da adlandırılır. - elyafın anyonik gruplarına iyonik bağlarla bağlanarak tuz oluşturur.	siyanin, azo, azin ksanten, oksazin, antrokinon
Asit	naylon, yün, ipek, modifiye akrilik	- organik asitlerin tuzlarıdır. - boyama, asidik banyolarda boyarmadde ile elyafın iyonik bağ oluşturmasıyla gerçekleşjr.	azo, antrokinon, ksanten, nitro
Direkt	pamuk, viskon, rayon, suni ipek, yün, naylon	- süllfonik ve karboksilik asitlerin sodyum tuzlarıdır - on işlem yapılmaksızın boyarmadde çözeltisinden elyafa direkt çekilirler.	azo, fitalosiyanin, oksazin
Kükürt	pamuk, naylon, suni ipek	- sülfür içeren kompleks yapılı organik bileşiklerden oluşur. - çözünür hale geldikten sonra soydum sülfür çözeltisiyle birlikte elyafa aktarılır ve daha sonra tekrar oksidasyon işlemiyle suda cözünmeyen forma dönüşür.	bir çok yapı
Naftol	pamuk, suni ipek, selüloz asetat, polyester, keten	- elyafa karşı afinitesi olan bileşen önce elyafa emdirilir ve daha sonra ikinci bileşenle tepkimeye sokularak suda çözünmeyen boyarmaddeye dönüştürülür.	azo
Dispers	polyester, poliamit, naylon asetat, akrilik	- suda cok az çözünebildiği için dispersiyon şeklinde uygulanır. - boyama dispersiyon ortamından boyarmaddenin elyaf üzerine difuzyon yoluyla çekilmesi ve elyaf içinde cozünmesi ile gerçekleşir.	azo, antrokinon, nitro
Reaktif	pamuk, yün, ipek, naylon	- boyama sıcaklık ve pH (alkali) etkisi altında boyarmaddedeki reaktif grubun elyaftaki fonksiyonel grupla kovalent bağ oluşturması ile gercekleşir.	azo, antrokinon, fitalosiyanin, oksazin
Pigment	tüm elyaf çeşitleri	- boyarmadde kimyasal bağ olmaksızın bağlayıcı madde ile elyaf yüzeyine bağlanır.	azo, dioksazin, antrokinon
Vat	pamuk, suni ipek, yün	- suda çözünmeyen fakat sodyum hidrojen sülfat ile indirgenerek çözdürülen boyarmaddelerdir - daha sonra elyaf üzerine çektirilir ve tekrar oksitlenirler.	antrokinon, indigo

Boyarmaddelerin sınıflandırılması; çözünürlük, kimyasal yapı, boyama özellikleri ve kullanılış yerleri gibi çeşitli karakteristikleri göz önüne alınarak yapılır (Birgül 2006).

3.4.1 Boyarmaddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması

3.4.1.1 Suda çözünen boyarmaddeler

Boyarmadde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşır. Boyarmaddenin sentezi sırasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözündürücü grup içermiyorsa, bu grubu boyarmadde molekülüne sonradan eklemek suretiyle de çözünürlük sağlanabilir. Ancak tercih edilen yöntem, boyarmadde sentezinde başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesidir. Suda çözünebilen boyarmaddeler tuz teşkil edebilen grubun karakterine göre üçe ayrılır;

- Suda Çözünen Anyonik Boyarmaddeler: Suda çözünen grup olarak en çok sülfonik ($-SO_3^-$) kısmen de karboksilik ($-COO^-$) asitlerin sodyum tuzlarını içerirler ($-SO_3Na$) ve (-COONa). Renk anyonun mezomerisinden ileri gelir. Boyama özelliklerine göre asit ve direkt boyarmaddeler bu grubun örnekleridir.

- Suda Çözünen Katyonik Boyarmaddeler: Molekülün çözünürlüğünü sağlayan grup olarak bir bazik grup (örneğin $-NH_2$), asitler ile tuz teşkil etmiş halde bulunur. Asit olarak genellikle kuvvetli anorganik asitler kullanılır.

- Zwitter İyon Karakterli Boyarmaddeler: Bunların moleküllerinde hem asidik hem de bazik gruplar bulunur. Bunlar bir iç tuz oluştururlar. Boyama sırasında bazik veya nötral ortamda anyonik boyarmadde gibi davranış gösterirler (Koca 2006).

3.4.1.2 Suda çözünmeyen boyarmaddeler

Tekstilde ve diğer alanlarda kullanılan ve suda çözünmeyen boyarmaddeleri çeşitli gruplara ayırmak mümkündür.

- Subsratta çözünen boyarmaddeler: Suda çok ince süspansiyonları halinde dağıtılarak, özellikle sentetik elyaf üzerine uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bu sınıfa girer.

- Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler: Bu sınıfta olan boyarmaddeler her çeşit organik çözücüde çözünürler. Solvent boyarmaddeleri de denilen bu boyarmaddeler spray veya lak halinde uygulanabilirler. Matbaa mürekkebi, vaks ve petrol ürünlerinin renklendirilmesinde kullanılırlar.

- Geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler: Çeşitli indirgenme maddeleri ile suda çözünebilir hale getirildikten sonra elyafa uygulanabilirler. Daha sonra elyaf içinde iken yeniden yükseltgenerek suda çözünmez hale getirilirler. Küpe ve kükürt boyarmaddeleri bu prensibe göre uygulanırlar.

- Polikondensasyon boyarmaddeleri: Son yıllarda geliştirilen ve elyaf üzerine uygulanırken veya uygulandıktan sonra birbiri ile veya başka moleküllerle kondanse olarak büyük moleküller oluşturan boyarmaddelerdir. Bunlarda Inthion boyarmaddeleri elyaf üzerinde sodyum sülfür ile polimer yapıda disülfürleri oluştururlar.

- Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler: İki ayrı bileşenden elyaf içinde kimyasal bir reaksiyonla oluşturulan boyarmaddeler bu sınıfa girer. Bunlar suda çözünmeyen pigmentlerdir. Azoik boyarmaddeler ve ftalosiyaninler bu sınıfa girer.

- Pigmentler: Elyafa ve diğer substratlara karşı afinitesi olmayan, boyarmaddelerden farklı yapıda bileşiklerdir. Pigmentler süspansiyonları halinde kuruyan yağlar ve reçineler içinde uygulanırlar (Koca 2006).

3.4.2 Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması

Bu sınıflandırmada, boyama teknolojisinde boyarmaddenin kimyasal yapısı ile değil onun hangi yöntemle elyafı boyadığına bakılır ve boyarmaddenin sınıflandırılması boyama özelliklerine göre yapılır.

- Bazik (katyonik) boyarmaddeler: Bunlar organik bazların hidroklorürleri şeklinde veya asetat tuzları şeklindedir. Yani renkli kısım katyondur. Pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler. Bazik olarak etki ettiklerinden sulu çözeltide boyarmadde katyonu, elyafın anyonik gruplarıyla; elyaf-boyarmadde tuzunu meydana getirir.

Bazik boyarmaddelerin en karakteristik özellikleri parlaklıkları ve renk şiddetleridir. Genellikle asetik asit ve tannik asit yardımıyla boyama yapılır. 80-90^{0}C'de poliakrilik elyafını hızlı bir şekilde boyarlar ve kumaştan ayrılmazlar.

- Asit boyarmaddeler: Molekülde bir ya da birden çok sülfonil grubu veya karbonil asit grubu içerirler. Renkli bileşen boyarmadde anyonudur ve anyonik sınıfa girerler. Başlıca protein ve poliamid elyafin boyanmasına yararlar.

- Direkt boyarmaddeler: Bunlar genellikle sülfonik asitlerin, bazen de karboksilli asitlerin sodyum tuzlarıdır. Yani renkli kısmı oluşturan iyon anyon şeklindedir. Pek çoğu yapı bakımından azo-boyarmaddeleri grubuna girer.

Direkt boyarmaddelerin ucuz olmaları, boyama işlemlerinin çok basit oluşu ve boyama esnasında elyafin yıpranmaması gibi özelliklerden dolayı tercih edilirler. Genellikle selülozik elyafin boyanmasında kullanılırlar. Bazıları ise kağıt, deri, ipek ve naylon boyamada kullanılırlar.

- Mordan boyarmaddeler: Mordan boyarmaddeler asidik veya bazik fonksiyonel gruplar içerirler. Bitkisel ve hayvansal elyaf ile kararsız bileşikler oluştururlar. Boyamadan önce

mordanlama yapılır ve mordan olarak Al, Sn, Fe, Cr tuzları kullanılır. Daha sonra krom bileşikleri katıldıktan sonra boyama gerçekleştirilir.

- Reaktif boyarmaddeler: Elyaf üzerine kimyasal kovalent bağ ile bağlanan bu boyarmaddeler selülozik elyaf, yün, ipek, poliamid boyamada kullanılırlar. Boyama sürekli, yarı sürekli yapılabilir.

- Küpe boyarmaddeler: Küpe boyarmaddeler moleküllerinde en az iki oksijen atomu ihtiva eden bileşiklerdir, iri, ince ve çok ince toz halinde bulunabilirler. Bunlar suda çözünmezler; fakat sodyum hidroksit ve sodyum hidrosülfit gibi bir indirgenin etkisiyle suda çözünebilen leuko bileşiklerine dönüşürler. Daha çok selülozik kısmen de protein elyafının boyanmasında kullanılır. Işığa, yıkamaya, sürtünmeye karşı mukavemetleri oldukça yüksektir.

- Dispers boyarmaddeler: Amino ve hidroksil grupları ihtiva eden düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Dengede iken elyaf üzerine çekilmesi gayet iyidir. Fakat içine difüzyon oldukça yavaştır. Dolayısıyla boyama uzun sürede gerçekleştiğinden pratik değildir.

- Sülfür boyarmaddeler: Sülfür boyalar nitro ve amino grupları içeren amino bileşiklerin sülfür veya sodyum sülfit ile yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonucu elde edilir. Genellikle koyu mavi, siyah, kahverengi gibi koyu renkleri kullanılır.

- Geliştirilmiş boyarmaddeler: Bu boyalar pamuk ve poliamid elyaflarının boyanmasında kullanılır. Her ne kadar ışığa karşı mukavemetleri az ise de boyanan elyafın çabuk yıkanmasından dolayı tercih edilirler.

- Anilin siyahı: Oksitleyici bir boyadır, çözülmez bir pigmenttir ve anilinin oksitlenmesiyle elde edilir. Pamuk ve poliamid elyafın boyanmasında kullanılır. Mükemmel parlaklık şiddetinden ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilir (Birgül 2006).

3.4.3 Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

Bu sınıflandırmada molekülün temel yapısı esas alınabildiği gibi molekülün kromojen ve renk verici özellikteki kısım da esas kabul edilebilir. Aşağıda boyarmaddelerin sentez ve pratik uygulamalarının göz önüne alındığı bir kimyasal sınıflandırma verilmiştir.

- Azo boyarmaddeleri
- Nitro ve nitrozo boyarmaddeleri
- Polimetin boyarmaddeleri
- Arilmetin boyarmaddeleri
- Azo (18) annulen boyarmaddeleri
- Karbonil boyarmaddeleri
- Kükürt boyarmaddeleri (Başer ve İnanıcı 1990)

3.5 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Kaynak, Miktar ve Özellikleri

Tekstil endüstrisinde, haşıl sökme, pişirme, ağartma, nötralizasyon, boyama, basma ve yıkama işlemleri sırasında oldukça fazla miktarda su kullanılmakta, bu nedenle oluşan atık suyun debisi de çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Tekstil endüstrisi atıksuları içerdikleri çok çeşitli kimyasallardan ve özellikle boyarmaddelerden dolayı arıtılması zor olan endüstriyel atıksulardır. Değişik organik madde, ağır metal, çözünmüş tuzlar, renk, bulanıklık içeren, yüksek pH'larda ve 60-70 ^{0}C'a varan sıcaklıklarda dış ortama verilen bu sular birinci derecede arıtma ihtiyacı duyulan atıksulardır. Boyarmadde ve kumaşın türüne ve özelliklerine göre boyama esnasında çeşitli yardımcı maddelerin ilave edilmesi bu atıksuların arıtma işlemlerini daha da güçleştirmektedir. Çok çeşitli türde olan bu maddeler genelde uzun, birden fazla aromatik halka, birden fazla çift bağ ve 21 değişik fonksiyon grupları taşımaları nedeniyle biyolojik ayrışabilirlikleri az olan, dayanıklı ve kalıcı çoğu zehirli kimyasal maddelerdir (Akın 2006).

Tekstil endüstrisi atıksularında yer alan boyarmaddeler renk kirliliğinin yanı sıra ışık penetrasyonuna neden olarak sudaki yasamın fotosentetik aktivitesini engellerler. Bu boyarmaddelerin bir kısmı toksik olup bir kısmı da sadece suyun renginin değişmesine, tadının ve kokusunun bozulmasına neden olur. Ayrıca bazıları çeşitli ağır metal iyonlarını içermeleri nedeniyle sudaki canlı yaşamını olumsuz etkiler. Ülkemizde Su Kirliliği Yönetmeliğinde, deşarj standartlarında renkle ilgili parametre olmamasından dolayı, bu atıksuların arıtımında daha çok KOİ, BOİ ve AKM giderimi amaçlanmaktadır. Buna karşın ABD ve Avrupa Birliği ülkelerinde renkle ilgili kesin deşarj sınırlamaları getirilmesinden dolayı son yıllarda tekstil atıksularının arıtılmasında kullanılan bütün arıtma teknolojileri renk giderimi üzerine yoğunlaşmıştır.

Tekstil atıksularında kirliliğe sebep olan prosesleri 4 ana gruba ayırabiliriz (Birgül 2006).

- Ham materyalde bulunan safsızlıkları gidermek için yapılan prosesler
- Renklendirme prosesleri
- Buruşmazlık, yanmazlık gibi özellikleri kazandırmak için uygulanan prosesler
- Kimyasal veya fiziksel özelliklerin değiştirilmesi prosesleri

Tekstil boyahane atıksuları genellikle alkali özellikte, işlenen boyanın hakim renginde ve debisi yüksek atıksulardır. Pamuklu, yünlü ve sentetik endüstrilerinde proses, kimyasal madde ve bitim işlemlerinin farklı oluşu, atıksuların karakterlerinin de bir tekstil tesisinden diğerine çok değişmesine neden olmaktadır.

Her bir tekstil prosesinden çıkan atık yükü, her biri ayrı özelliğe sahip elyafların çok sayıda olmasından dolayı geniş bir değişim aralığı gösterir. Bundan başka üretim yöntemlerindeki teknolojik farklılıklar ve mevcut olabilecek diğer birçok değişkenler göz önüne alındığında, aynı elyafı işleyen farklı tesisler arasında da değişimler vardır. Her ne kadar, miktarlar değişebilirse de, atıksu özellikleri aynı elyafı işleyen bütün tekstil fabrikaları için genellikle benzerdir.

Çizelge 3.6 ‘da bazı boyarmaddelerin boyama sonrasında lifte ve atıksuda bulunma yüzdeleri ve atıksu karakteristikleri verilmiştir.

Çizelge 3.6 Boyarmadde fiske oranları ve atıksu karakteristiği (Birgül 2006)

Boyarmadde grubu	Elyafta kalan boyarmadde oranı (%)	Atıksuya geçen boyarmadde oranı (%)	Atıksu karakteristiği
Katyonik	98	2	Zayıf asidik
Asit	95 – 98	2 – 5	Asidik, ağır metal tuzları olabilir
Metal kompleks	95 – 98	2 – 5	Asidik karakterli, metal tuzları
Direkt	80	20	Nötral, yüksek tuz derişimi, ağır metal tuzları veya formaldehit olabilir
Dispers	90	10	Nötral, çevre için zararlı taşıyıcı kimyasallar
Vat	95	5	Alkali, oksidasyon kimyasalları olabilir
Sülfür	60	40	Alkali, yüksek tuz derişimi, sülfür bileşikleri
Reaktif	50 – 95	5 – 50	Alkali, yüksek tuz derişimi

Pamuk ve sentetik elyaflar, herhangi bir terbiye işlemine alınmadan önce kumaş halinde dokunur. Yün ise, kumaş halinde dokunmadan önce genellikle yıkanır ve boyanır. Her iki durumda da dokuma prosesleri, haşıllar ve antistatik yağlayıcı maddelerle indirekt olarak atık yüküne etki ederler.

Yün endüstrisi atıksuları yüksek katı madde konsantrasyonu ve yüksek yağ içeriği ile karakterize edilirler. Bundan dolayı da yüksek BOİ’ye sahiptirler. Boyama atıksuları, bilinen atıksu arıtma metotları ile giderilmesi son derece zor olan renkleri içerir. Yün yağı, tesis çıkış suyunun verimli bir biyolojik arıtıma tabi tutulabilmesi için ön arıtma gerektirdiğinden ayrı bir problem kaynağını teşkil eder. Pamuklu tekstil ürünlerinin terbiye işlemlerinden ortaya çıkan atıklar, yağ içermemesi ve nispeten düşük katı madde konsantrasyonu ile yünlü tekstil atıksularından daha az kirleticilik özelliği gösterirler. Bunun yanı sıra, pamuklu tekstil endüstrisini karakterize eden diğer atıksu özellikleri, yüksek BOİ ve aşırı renk içermeleridir. Sentetik ürünlerin terbiye prosesi atıksuları, kirletici madde miktarları ve özellikleri bakımından pamuklu tekstil terbiyesi atıksularından genellikle daha düşüktür. Sentetik

atıksularını diğerlerinden ayıran bir özellik, boyamada metalik iyon içeren boyalar kullanıldığı zaman bu suların toksik olabilmesidir. Bitmiş kumaşın birim miktarı başına ortaya çıkan kirletici miktarları kullanılan elyaf tipine göre değişir. Sentetik tekstil boyama atıksularındaki toksik madde konsantrasyonları önemli ölçüde olduğu zaman, biyolojik arıtımı geciktirebilir veya durdurabilir. Böyle durumlarda, biyolojik arıtmadan evvel veya belediye kanallarına deşarj etmeden önce kimyasal ön arıtma gerekli olacaktır.

Tekstil endüstrisi atıksuları, sodyum hidrosülfit, sodyum klorür, asetik asit, sodyum bikromat ve benzerleri gibi boyamada kullanılan kimyasal maddeler ile birlikte sülfür, küp, reaktif, dispers ve diğer boya tiplerinin tüm renk aralıklarını içine alan boyarmaddeleri ihtiva eder. Ayrıca bu tür atıksular ıslatma ve yıkama maddeleri olarak kullanılan noniyonik, anyonik ve katyonik yüzey aktif materyalleri ihtiva edebilir. Bunun yanı sıra, tekstil mamullerinin terbiyesinde kullanılan çeşitli kimyasal maddeleri de bulundurabilirler.

Atıksularda bulunan kimyasal maddeler; polivinil asetat, polivinil alkol, nişasta, üre - formaldehit reçineleri, melamin - formaldehit reçineleri, triazone - formaldehit reçineleri, uron reçineleri, etilen üre - formaldehit reçineleri, düzeltilmiş etilen - üre - formaldehit reçineleri ve azot içeren materyallerin formaldehit kondensatları. Ayrıca, terbiye işlemlerinden atık olarak, akrilik polimerlerin sulu çözeltileri veya dispersiyonları ile katyonik ve elyaf reaktif tiplerinde olan polietilen tipi yumuşatıcılar gelmektedir. Bu terbiye atıkları ayrıca, genellikle magnezyum klorür, çinko nitrat, çinko klorür, çinko fluoborat ve diğer organik tuzlar şeklinde katalizörler ihtiva eder. Ayrıca, tekstil endüstrisi atıksularında karboksimetilselüloz, tabii mumlar, pektinler ve diğer haşıllama materyalleri gibi büyük miktarda haşıl maddeleri vardır. Birçok pamuklu tekstil işlemlerinde kullanıldığından atıksularda sodyum hidroksit de bulunur.

Tekstil endüstrisi atıklarındaki kirleticiler ya çözünmüş ya da süspansiyon halindedir. Biyolojik oksijen ihtiyaçları oldukça yüksek ve sodyum hidroksit ihtiva ettiği için pH değeri 7'nin yukarısındadır (Birgül 2006).

3.6 Tekstil Endüstrisi İçin Seçilen Kirletici Parametrelerin Özellikleri

Tekstil endüstrisinde kontrole esas oluşturmak üzere seçilen parametrelerin özellik ve etkileri aşağıda özetlenmiştir.

3.6.1 Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

Bir suyun kirlilik derecesini en iyi belirten kriter biyokimyasal oksijen ihtiyacı değeridir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), su içinde bulunan organik bileşiklerin biyokimyasal olarak parçalanabilmesi için gerekli olan oksijen miktarıdır. Bu deney uygulamada aşağıdaki amaçlar için yapılır.

1. Suyun kirlilik yükünün (kirlenme derecesinin) belirlenmesi
2. Arıtma tesislerinde suyun temizlenme derecesinin belirlenmesi
3. Arıtılmış suyun çevre kaynaklara deşarjı halinde yönetmeliklerde verilen limit değerlere uygun olup olmadığının belirlenmesi (Yalçın ve Gürü 2002).

3.6.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) sudaki yükseltgenebilir maddelerin kimyasal yolla oksitlenmeleri için gerekli olan oksijen miktarıdır. Atıksu numunesi H_2SO_4 ve standardize edilmiş $K_2Cr_2O_7$'in fazlası ile geri döngülü olarak 2-3 saat kaynatılır. Atıksuda bulunan çoğu organik maddeler $K_2Cr_2O_7$ ile aşağıdaki reaksiyona girerler.

Organik madde + $K_2Cr_2O_7$ $\rightarrow$ $CO_2 + H_2O + K_2Cr_2O_4$

Bu esnada stokiyometrik olarak numune içinde yükseltgenebilir maddeye eşdeğer miktarda $K_2Cr_2O_7$ kullanılır ve geriye kalan $K_2Cr_2O_7$ standart demir-2-amonyum sülfat ile titre edilerek bulunur. Kullanılan $K_2Cr_2O_7$ oksitlenen organik madde miktarını gösterir (Tanyolaç 1992).

3.6.3 Toplam askıda katı madde

Toplam askıda katı madde suda çözünmüş halde bulunmayan maddeleri kapsar. Askıda katı maddeler çevre sularında dipte birikmelere ve bulanıklığa yol açarlar. Ayrıca balıkların solunum yollarını da tahriş ederler. Bu etki askı haldeki maddelerin türüne ve dane büyüklüğüne bağlıdır. Özellikle metalik yapıdaki askıda maddelerin balıklara zararlı etki yaptığı, bazı hallerde ise öldürücü olduğu belirlenmiştir (Birgül 2006).

3.6.4 Yağ ve gres

Yağ ve gres parametresi yağ ve gres sınıfına girebilen serbest ve emilsiyon halinde bulunabilen çok çeşitli maddeleri içerir. Genelde yağ ve gresler su yaşamına, kanalizasyon sistemine ve alıcı ortama zararlı maddelerdir. Yüzücü yağ ve gres su üstünde bir film oluşturur. Ayrıca özellikle petrol orijinli olan yağlar çok düşük konsantrasyonda koku da oluşturabilmektedir. Yüzücü yağ ve gres ışık ve oksijen transferine etki eder. Emülsiyon haldeki yağlar balıklara zehir etkisi yapar. Yağ ve gres dibe çökerse dipteki canlı hayatını özellikle balık yumurtalarını tahrip eder (Birgül 2006).

3.6.5 Sülfür

Çözünmüş sülfür tuzları, suyun pH'ını düşürürler, demir veya demir metallerle reaksiyona girerek siyah bir çökeleğe, koku problemine sebep olurlar ve sudaki yaşama toksik etki yaparlar. Sülfürlü çözeltilerin balıklara olan toksisite etkisi, pH değeri düştükçe artar. Sülfürler

suda bulunan çözünmüş oksijen ile kimyasal olarak reaksiyona girerek suyun çözünmüş oksijen seviyesine düşürürler (Birgül 2006).

3.6.6 Fenolik bileşikler

Fenolik bileşikler fenol ve benzenin hidroksi türevlerini taşıyan diğer bileşikleri içerir. Suda bulunan fenol iki probleme sebep olur:

1. Yüksek konsantrasyonda, fenol bakterizid olarak rol oynar.
2. Çok düşük konsantrasyonda, klor ile birlikte kloro fenolleri oluşturarak koku ve tat problemi yaratırlar.

Fenol ve fenollü bileşikler balıkların ve suda yaşayan diğer canlıların üzerine akut ve kronik zehirlilik etkisi gösterirler. Klorofenoller de balığın tadını bozarak, bunların ticari değerini düşürürler (Birgül 2006).

3.6.7 Krom

Krom doğada yaygın şekilde bulunan bir element olmasına karşın doğal sularda çok nadiren bulunabilir. Bulunan konsantrasyonlar 1 mg/L'nin altında olmaktadır. Krom, tuzlarında çeşitli değerlikte bulunabilir. Bunlardan en çok rastlanılanları Cr^{+3} ve Cr^{+6} tuzlarıdır. Krom su yaşamına zararlıdır. Krom tuzlarının zehirli etkisi, pH ve kromun değerliği ile değişmektedir. Kromun zehirliliğinin çözünmüş oksijen ve ortamdaki organik madde konsantrasyonu ile de ilgili olduğu öne sürülmektedir. Kromun fotosentez üzerine etkili olduğu ve fito planktonlar ile su bitkilerine zararlı etki yaptığı bilinmektedir. Diğer su canlılarına da, besin zincirinde birikim yoluyla ve doğrudan etkili olduğu saptanmıştır. Krom için verilen kalite kriterleri su yaşamı için 0.1 mg/L, içme suyu için 0.05 mg/L'dir (Birgül 2006).

3.6.8 pH

pH sudaki asitliğin veya bazikliğin bir ölçüsüdür. Özellikle düşük pH'a sahip sular korozyona sebep olur. Su hayatında da pH önemli bir parametredir. pH'ın 5-9.5 arasında öldürücü etkisi olmasına karşın organizmaların üretkenlikleri üzerine etkili olduğu saptanmıştır. Ayrıca ani pH değişimleri zararlı etkilere ve balık ölümlerine yol açabilir. pH bunun yanında, birçok maddenin de zehirlilik derecesini etkilemektedir (Birgül 2006).

3.6.9 Deşarj standartları

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre tekstil endüstrisi atıksuları alıcı ortam deşarj aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 3.7 Sektör: Tekstil sanayi (Açık elyaf, iplik üretimi ve terbiye)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/L)	350	240
Amonyum azotu (NH_4-N)	(mg/L)	5	
Serbest Klor	(mg/L)	0.3	
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0.1	-
Sülfit	(mg/L)	1	-
Yağ ve Gres	(mg/L)	10	-
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.8 Sektör: Tekstil sanayi (Sentetik tekstil terbiyesi ve benzerleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/L)	400	300
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0.1	-
Fenol	(mg/L)	1	0.5
Çinko (Zn)	(mg/L)	12	10
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	3	2
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.9 Sektör: Tekstil sanayi (Dokunmuş kumaş terbiyesi ve benzerleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/L)	400	300
Askıda katı madde (AKM)	(mg/L)	140	100
Amonyum azotu (NH_4-N)	(mg/L)	5	-
Serbest Klor	(mg/L)	0.3	-
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0.1	-
Sülfit	(mg/L)	1	-
Yağ ve Gres	(mg/L)	1	0.5
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.10 Sektör: Tekstil sanayi (Pamuklu tekstil ve benzerleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/L)	250	200
Askıda katı madde (AKM)	(mg/L)	160	120
Amonyum azotu (NH_4-N)	(mg/L)	5	-
Serbest Klor	(mg/L)	0.3	-
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0.1	-
Sülfit	(mg/L)	1	-
Yağ ve Gres	(mg/L)	10	-
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.11 Sektör: Tekstil sanayi (Yün yıkama, terbiye, dokuma ve benzerleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/L)	400	300
Askıda katı madde (AKM)	(mg/L)	400	300
Amonyum azotu (NH_4-N)	(mg/L)	5	-
Serbest Klor	(mg/L)	0.3	-
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0.1	-
Sülfit	(mg/L)	1	-
Yağ ve Gres	(mg/L)	200	100
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.12 Sektör: Tekstil sanayi (Örgü kumaş terbiyesi ve benzerleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/L)	300	200
Askıda katı madde (AKM)	(mg/L)	5	-
Amonyum azotu (NH_4-N)	(mg/L)	0.3	-
Serbest Klor	(mg/L)	10	-
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0.1	-
Sülfit	(mg/L)	1	-
Fenol	(mg/L)	1	0.5
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.13 Sektör: Tekstil sanayi (Halı terbiyesi ve benzerleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 24 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	(mg/L)	300	200
Askıda katı madde (AKM)	(mg/L)	160	120
Amonyum azotu (NH_4-N)	(mg/L)	5	-
Serbest Klor	(mg/L)	0.3	-
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0.1	-
Sülfit	(mg/L)	1	-
Fenol	(mg/L)	1	0.5
Yağ ve Gres	(mg/L)	10	-
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9

3.7 Tekstil Atıksularından KOİ ve Renk Giderimi İçin Kullanılan Metotlar

Tekstil ve boya endüstrisinden kaynaklanan atıksular oldukça kirli olup içerisinde yüksek oranda askıda katı madde, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), sıcaklık, asitlik, baziklik ve diğer çözünmüş maddeleri ihtiva ederler. Kirleticilerin çoğu, fiziksel, kimyasal ya da biyolojik yöntemlerle arıtılabilirler. Tekstil atıksularında boyama prosesi sırasında kalıntı boyaların oluşturduğu renkli atıksularının arıtılması çok fazla çaba ve çalışma gerektirmektedir.

Renk giderim metotlarında bilinmesi greken en önemli konu herşeyin göz önünde bulundurulması gerektiğidir. Güncel renk giderim yöntemlerinin ötesinde ikincil faktörlerin de göz önünde bulundurulmasının kaçınılmaz olduğudur. Bu faktörler şunları içermektedir:

- Çamur oluşumu ve bertaraf maliyetleri
- İşletmedeki ustalık seviyesi
- İşletme ve bakım ihtiyacı
- Uzun süreli sistem güvenirliliği
- Toplam sistem maliyeti (Birgül 2006)

3.7.1 Kimyasal arıtma prosesleri

Koagülasyon atıksu arıtımında eskiden beri uygulanan yaygın bir metottur. Ayrıca, bu koagülant uygulaması bilimin diğer dallarında da uygulanmaktadır. Bu da renk gideriminde çeşitli derecelerde başarı elde edilmesinin bir nedenidir.

Koagülasyon-floklaştırma arıtma metotları genellikle organik maddeleri elimine etmek için kullanılmaktadır. Koagülant maddeler genellikle çözünmeyen boyarmaddeler üzerinde etkili olmaktadır. Çözünen boyarmaddeler üzerinde fazla bir etki göstermemektedir. Sisteminde oluşan çamurun fazlalığı ve bu çamurun bertaraf maliyetleri sistemin dezavantajlarıdır.

Koagülasyon ve floklaştırma prosesleri endüstriyel atıksu arıtımında kullanılan çok yönlü prosesler olup askıda katı madde ve organik madde gideriminde kullanılmaktadır. Genellikle alum ve demir tuzları koagülant madde olarak kullanılmakta bunlarla birlikte floklaştırmaya yardımcı olması bakımıdan düşük dozlarda polimer ilave edilmektedir. $FeSO_4$ kireç ile birlikte kullanıldığında (pH > 9.5) % 80'den fazla renk giderimi sağlamaktadır.

Koagülasyon organik koagülantlarla ya da organik polimerlerle renk gideriminde başarılı sonuçlar elde etmiştir. Organik polimerler pahalı olmalarına rağmen daha çok tercih edilmektedir çünkü çamur oluşumu daha azdır (Birgül 2006).

Çizelge 3.14 Farklı koagülantların avantaj ve dezavantajları (Birgül 2006)

Adı	Avantaj	Dezavantaj
Alüminyum Sülfat (Alum) $Al_2(SO_4)_3.18\ H_2O$	Temini ve uygulaması kolay, en çok kullanılan koagülant, kireçten daha az çamur üretir, etkili olduğu pH aralığı 6.5-7.5	Suya ilave çözünmüş katı bırakır, belli pH değerinde etkilidir.
Sodyum Alüminant $Na_2Al_2O_4$	Sert sular için oldukça etkilidir. Genellikle düşük miktarlarda kullanılır.	Genellikle alumla birlikte kullanılır. Yüksek maliyet, yumuşak sular için uygun değildir.
Polialümiyum Klorür (PAC) $Al_{13}(OH)_{20}(SO_4)_2Cl_{15}$	Bazı uygulamalarda flok yoğunluğu aluma nazaran daha yoğundur ve aluma nazaran çabuk çöker.	Sık kullanılmaz ve kullanımı ile ilgili geniş bilgi yoktur.
Demir(III) Sülfat $Fe_2(SO_4)_3$	pH 4-6 ve 8.8–9.2 arasında etkilidir.	İlave alkalinite ve çözünmüş katı madde bırakır.
Demir Klorür $FeCl_3.6H_2O$	pH 4-11 arasında etkilidir.	Alumun iki katı alkalinite oluşturur, ilave çözünmüş katı bırakır.
Demir (II) Sülfat $FeSO_4.7H_2O$	Kireç kadar pH'a hassas değildir.	Alkalinite ve çözünmüş katı bırakır.
Kireç $Ca(OH)_2$	En çok kullanılan koagülanttır. İlave tuz oluşturmaz.	Çok miktarda çamur oluşur, düşük kaliteli su elde edilir.

3.8 Türkiye'de Bulunan Herhangi Bir Tekstil Fabrikası

Bu kısımda tekstil fabrikasının atıksuyun arıtılmasında biyolojik ve çöktürme yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir tesis tanıtılacaktır. Bu tesiste çöktürmenin biyolojik arıtımın yanında da çok önemli olduğu görülmektedir. Bu tesisin boya tekstil arıtma sistemi kısaca anlatılacaktır.

Atıksu arıtma tesisi, fabrikadan çıkan ve endüstriyel ve evsel atıksuları arıtacak fiziksel ve biyolojik arıtma sistemlerinden (Uzun havalandırmalı Aktif çamur sistemi) oluşmaktadır.

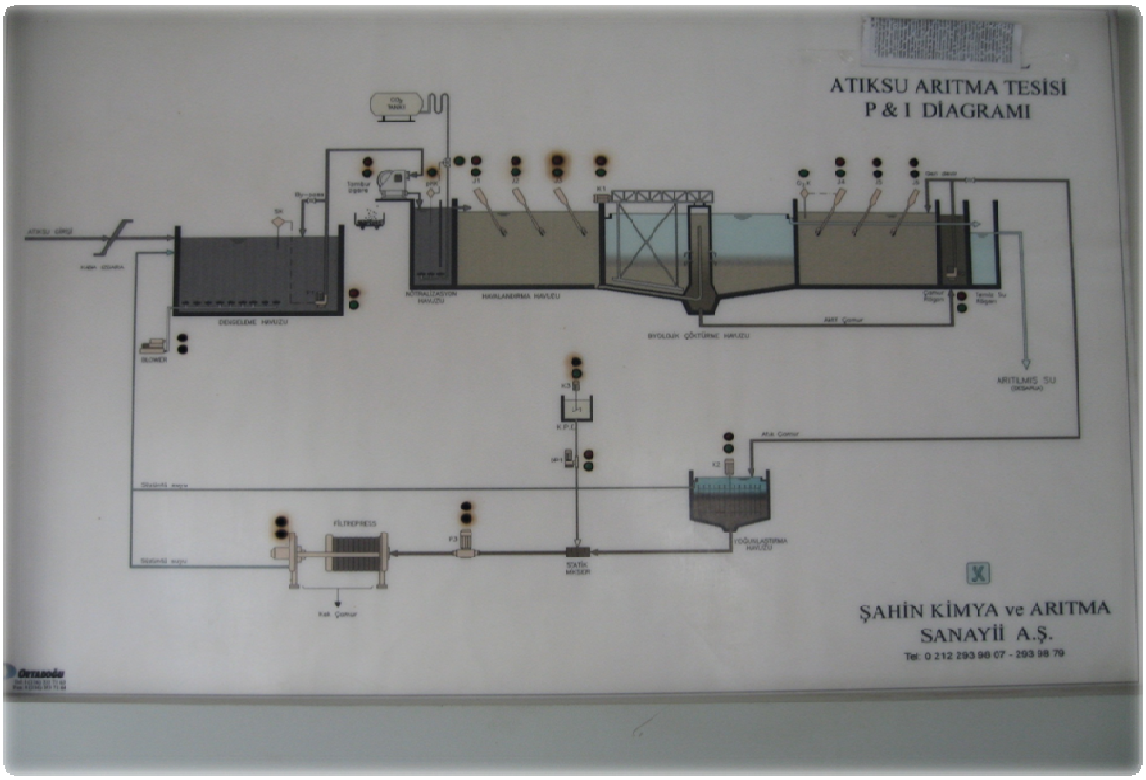
Fabrikadan gelecek evsel ve endüstriyel atıksular (toplam 2000 m^3/gün) elle temizlemeli kaba ızgaradan geçtikten sonra dengeleme havuzunda toplanmaktadır. Böylece çeşitli kaba parçaların sisteme girmesi ve ekipmanlara zarar vermesi önlenecektir. Dengeleme havuzu sayesinde biyolojik sisteme sürekli aynı debi ve konsantrasyonda atıksu beslenmesi sağlanmış olacaktır.

Dengelenmiş atıksular, seviye kontrol sistemi sayesinde Terfi pompası vasıtasıyla Tambur ızgaraya basılacak ve 1 mm den büyük katı madde parçalarının tutulması sağlanacaktır. Tambur ızgaradan çıkan atıksular Nötralizasyon havuzuna verilecektir. Nötralizasyon havuzunda bulunan pH kontrol sisteminden gelen sinyale göre atıksuya CO_2 / asit eklenerek atıksuyun pH'ı 7-7.5'e otomatik olarak ayarlanacaktır.

Havalandırma havuzuna giren atıksularda kirliliği oluşturan organik maddeler, aktif çamur tarafından biyolojik olarak giderilecektir.

Biyolojik olarak arıtılan atıksu, aktif çamurdan ayrılmak üzere çöktürme havuzuna geçecektir. Çöktürme havuzunda toplanan çamurun bir kısmı geri devrettirilirken, geri kalan kısmı (fazla çamur) ise yoğunlaştırma havuzuna basılacaktır. Arıtılmış atıksu ise havuz savaklarından savaklanıp sistemi terk edecektir.

Atıksuların arıtımı sırasında oluşan çamur yoğunlaştırma havuzunda toplanacak buradan da filtreprese basılacaktır. Çamur yoğunlaştırma havuzu ve filtrepresten çıkan süzüntü suları tekrar dengeleme havuzuna verilecektir.



Şekil 3.2 Tekstil Fabrikası Arıtma Tesisi Akış Diyagramı

3.8.1 Arıtma ünitesini oluşturan ekipmanlar

Kaba Izgara: Hem atıksu ile hem de çevredeki faaliyetlerle atıksuya karışan kaba maddeleri ayırmak için atıksular önce elle temizlenmeli kaba ızgaradan geçirilmelidir. Böylece atıksularla gelen kaba katı maddeler burada tutularak ekipmanların zarar görmesi önlenecektir.

Dengeleme Havuzu: Dengeleme havuzu, sisteme verilen atıksuların konsantrasyon ve debi açısından homojen olmasını sağlamaktadır. Böylece, fabrikadan aşırı debi konsantre atıksularının gelmesi durumunda, dengeleme havuzunda dengelenmiş olacaktır. Böylece havalandırma havuzuna mümkün olduğunca sürekli aynı debi ve konsantrasyonda atıksuyun beslenmesi sağlanmış olacaktır.

Dengeleme havuzu, katı maddelerin çökelmesini önlemek ve ön havalandırma yapmak amacıyla Blower-Difüzör Sistemi ile karıştırılarak havalandırılmıştır.

Dengeleme havuzunda bulunan atıksular terfi pompası ile tambur ızgaraya basılacaktır. Tambur ızgaradan geçen atıksular nötralizasyon havuzuna daha sonra da havalandırma havuzuna geçeceklerdir.

Tambur Izgara: Dengeleme havuzundan terfi pompası ile basılan atıksu içerisindeki 1 mm den büyük parçacıklar tambur ızgara tarafından tutulur.

Nötralizyon Havuzu: Tambur ızgaradan çıkan atıksu cazibe ile nötralizasyon havuzuna geçmektedir. Nötralizasyon havuzunda, yüksek pH'lı atıksuların pH'ının 7-7.5 civarında olması sağlanacaktır. Atıksuya bu amaçla karbondioksit tankından karbondioksit verilir.

pH meter, nötralizasyon havuzunda bulunan probu sayesinde atıksuyun pH'ını tespit edecek ve gerekli durumlarda karbondioksit vanası kapatılacaktır.

Havalandırma Havuzu: Atıksularda bulunan organik kirleticilerin, burada üretilen aktif çamur (biyokütle/mikroorganizmalar) tarafından biyolojik olarak parçalanması sağlanacaktır.

Aktif çamur sistemi konsantrasyonları ayarlanmış bakterilerin, türbülans ile askıda tutulmasına ve oksijenle beslenmesine dayanmaktadır. Biyokimyasal oksitlenmede organik maddelerin bir kısmı bakteri hücreleri haline geçmekte diğer bir kısmı ise karbondioksit ve su halini almaktadır. Bakteri hücreleri sistemden çamur halinde ayrılmaktadır. Ayrıca mikroorganizmaların çoğalması için gerekli olan besi maddeleri de (Azot ve Fosfor) havalandırma havuzuna ilave edilecektir.

Çöktürme Havuzu: Havalandırma havuzundan gelen aktif çamur, burada çökelecek ve havuz tabanındaki sıyırıcı ile konik çukurda toplanıp çamur rogarına cazibe ile geçecektir. Çamur rogarında bulunan geri devir pompası vasıtasıyla çamurun bir kısmı geri devir ettirilirken bir kısmı da yoğunlaştırma havuzuna verilecektir. Üstte kalan duru su ise savaklanarak sistemi terk edecektir.

Çöktürme Havuzu Çamur Rogarı: Burada bulunan dalgış pompa vasıtasıyla, çöktürme havuzu tabanında bulunan döner sıyırıcı yardımıyla tabana çöken çamur tabandan bir boruyla çamur rögarına geçecek söz konusu rögarda toplanan çamur geri devir pompasıyla havalandırma havuzuna geri devir ettirilecek; sistemde oluşan fazla çamur ise aynı pompa hattı üzerinde bulunan vana vasıtasıyla yoğunlaştırma havuzuna gönderilecektir.

Çamur Yoğunlaştırma Havuzu: Burada, sistemde oluşan çamurun havuz dibine çökerek daha yoğun hale gelmesi sağlanacaktır. Çamurdan ayrılan üst faz dengeleme havuzuna gönderilirken, tabanda kalan çamur sıyırıcı vasıtasıyla konik kısımda toplanır. Buradan da filtrepress pompası ile çekilerek filtreprese basılır.

Filtrepress: Arıtma tesisinden çıkacak çamuru uzaklaştırmak amacıyla filtrepress kullanılır. Yoğunlaştırma havuzunun dibinde toplanan çamur, pompayla filtrepresse basılarak ve filtrepress plakaları arsında sıkıştırılarak kek haline getirilecektir. Çamur suyunu daha hızlı bırakması için katyonik polielektrolit çamur hattında bulunan mixerden önce dozajlanacaktır. Söz konusu dozaj pompası sadece filtrepress çalıştığında çalıştırılacaktır. Bu arada oluşan süzüntü suları, süzüntü suyu rogarından pompa vasıtasıyla havalandırma veya dengeleme havuzuna basılacaktır. Kek haline gelmiş çamur ise, katı atık olarak sistemden uzaklaştırılacaktır.

3.9 Arıtımda Uygulanacak pH Kontrol Yöntemi

Kontrol sisteminin seçimi için çeşitli self-tuning kontrol algoritmalarından bir tanesi üzerinde durulur. Bunun için çeşitli kriterler kullanılır. Bu çalışmada GPC kontrol algoritması kullanılmıştır. Self-tuning kontrol sistemi ile ilgili genel yapı aşağıda gösterilmiştir.

3.9.1 Ardışık sistem modelleri

3.9.1.1 Sistem modelleri

Sistem modeli kesikli bir zaman algoritmasıyla gösterilmiştir. Sistem girdisi u(t) ve sistem çıktısı x(t) kesikli zaman yapısındadır. u(t) ve gürültü olmaksızın sistem yanıtımı x(t) doğrusal bir fark eşitliği şeklinde aşağıdaki gibi tarif edilir.

$$x(t) + a_1 x(t-1) + ... + a_{n_a} x(t-n_a) = b_0 u(t) + b_1 u(t-1) + ... + b_{n_b} u(t-n_b) \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklem z^{-i} gecikme operatörü ile gösterilebilir.

$$z^{-i} x(t) = x(t-i) \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.1) kesikli zaman için iletim fonksiyonu ile ifade edilirse;

$$x(t) = \frac{B}{A} u(t) \quad (3.3)$$

Burada A ve B z^{-i} terimlerinin polinomları şeklinde verilmektedir.

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + ... + a_{n_a} z^{-na} \quad (3.4)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + ... + b_{n_b} z^{-nb} \quad (3.5)$$

A ve B polinomu sistemin kökleri ve sıfırlarıdır. A polinomunun köklerinden biri, birim çemberin dışında kalırsa sistem kararlı değildir. B polinomunun köklerinden biri, birim çemberin dışında kalırsa sistem minimum olmayan faz sistemi olur (Karacan 1997).

3.9.1.2 Yük modelleri

Yükler birkaç yoldan sistemde oluşur. Yük değişkeni olan s(t) sistemin doğasından veya yapısından gelen gelişigüzel kaynaklı bir özellikte olup, prosesin kontrol edilen değişkeni üzerinde etkilidir. Bu nedenle proses kontrolde önemli bir faktör olarak ortaya çıktığından ilgili çıkış değişkenine eklenir. Model özelliğine göre yükler ikiye ayrılmaktadır.

I. Doğasından kaynaklanan yükler

Matematiksel bağıntı ile tekrarlanabilen ve tekrarlandığı zaman aynı sonuçları veren tanımlara doğasından kaynaklanan sinyal denir. Çeşitli tiplerde olabilir.

a) sabit offset

$$s(t) = d \quad (3.6)$$

Burada d offset sabitidir.

b) Zamanla değişen bir offset

Bu durumda s(t);

$$s(t) = D(t) = d_0 + d_1 t + ... + d_{n_d} t^{n_d} \quad (3.7)$$

D(t)'yi A'ya bölerek, ilgili terim işlemi gerçekleştirilir.

$$s(t) = \frac{D(t)}{A} \tag{3.8}$$

c) Ölçülebilen kaynaktan gelen etkiler

$$s(t) = \frac{D}{A} v(t) \tag{3.9}$$

II. Random (gelişigüzel) yükler

Genelde, durgun gelişigüzel sinyal kaynağı kararlı transfer fonksiyonu modeliyle gösterilir.

$$s(t) = \frac{C}{A} e(t) \tag{3.10}$$

Burada,

$$C = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \ldots + c_{n_c} z^{n_c} \tag{3.11}$$

Gelişigüzel yük modelleri için aşağıda iki tane örnek gösterilmiştir.

a) ARMA (Auto Regressive Moving Average):

Bu model aynı zamanda durgun farklar modeli olarak da bilinmektedir.

$$s(t) = \frac{C}{A} e(t) \tag{3.12}$$

b) ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average)

Yukarıda gösterilen durgun farklar modeli bazı sistemleri ifade edemez. Bu nedenle ilgili modele integral terimi ilave edilerek yük modeli uygun hale getirilir.

$$s(t) = s(t-1) + \frac{C}{A}e(t) \tag{3.13}$$

$$s(t) = \frac{C}{\Delta A e(t)} \tag{3.14}$$

$$\Delta = 1 - z^{-1}$$

$$\Delta s(t) = \frac{C}{A}e(t) \tag{3.15}$$

Karmaşık olmayan çözümler için C = 1 = A alınır ve bu durumda e(t)'ye beyaz gürültü denir. Böylece (e(t) / ΔA) terimi 'Brownian motion' veya 'Random walk' olarak isimlendirilir. Ayrıca ilgili terim beyaz gürültünün integrali olarak da bilinir (Karacan 1997).

3.9.1.3 Toplam sinyal modeli

Eğer bir sistemde yukarıdaki yüklerin hepsi varsa genel bir model oluşturulabilir.

$$s(t) = \frac{D(t)}{A} + \frac{D}{A}v(t) + \frac{C}{A}e(t) \tag{3.16}$$

Sistem modeli (ARMAX)

Yukarıdaki gösterilen tanımlardan sonra tüm yük elemanlarının sistemin genel çıktı ve girdi değişkenlerini içeren modele ilavesi ile belirlenen yeni modele ARMAX denir. Böylece toplam ARMAX modeli aşağıda gösterilmiştir.

$$y(t) = x(t) + s(t)$$

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{D(t)}{A} + \frac{D}{A}v(t) + \frac{C}{A}e(t) \tag{3.17}$$

Yukarıda gösterilen tüm yük ifadeleri aşağıda özetlenirse;

i) Sabit offset oluşumu prosesin doğasından veya algılayıcısı olan cihazlardan kaynaklanabilir.

ii) v(t) ölçülebilen fakat ileri beslemeli kontrol sistemi ile kontrol edilemeyen bir sinyal olabilir.

iii) e(t) sistemin ölçülebilen çıktısını etkileyen bir gelişigüzel yüktür.

Sadece (iii) göz önüne alınırsa,

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{A}e(t) \tag{3.18}$$

Bu modele CARMA veya ARMAX modeli denir. Eğer offset eklenirse;

$$Ay(t) = Bu(t-1) + Ce(t) + d \tag{3.19}$$

Bu modele ise genelleştirilmiş ARMAX veya CARMA denir. Bazı durumlarda integral koymakla ARIMAX ya da CARIMA elde edilir (Karacan 1997).

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{\Delta A}e(t) \tag{3.20}$$

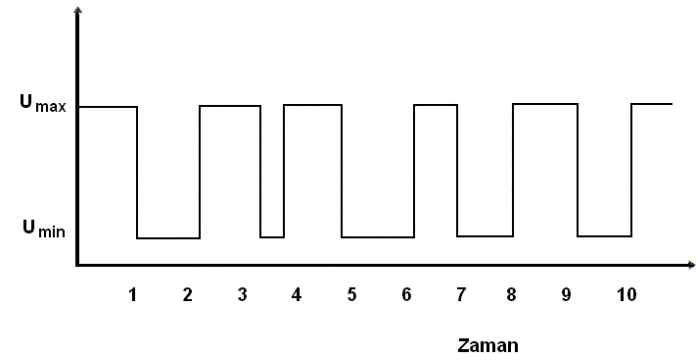
3.9.2 Bir prosesin doğrusal model parametrelerinin belirlenmesi

Kesikli doğrusal süzme problemi, katsayı matrisi $P = UDU^T$ olarak çarpanlara ayrılması ile ele alınır. Verimli ve kararlı güncelleştirme işlemi birim üst üçgensel çarpan U ve diyagonal çarpanı D için geliştirilmiştir. Bu agoritmanın hesaplama süresi kısa, kararlı ve boyut esnekliğine sahiptir.

Bu işleme UDU^T veya ekonomik bilgisayar zamanlı parametre hesaplama algoritması denir. İlgili algoritma için ilk önce prosesin girdi ve çıktı ölçümlerinin yapılması gerekir. Sistem açık-hat halinde iken sistemin giriş veya ayarlanabilir değişkenine bir Pseudo Random Binary Sequence (PRBS)'lik etki verilir ve çıkış değişkenlerinin değerleri kaydedilir (Karacan 1997).

3.9.2.1 Pseudo random binary sequence etkileri (PRBS)

Parametre tahmini için test sinyali olarak kullanılır. Bu konu genel olarak rastgele proses etkileri için deneysel tasarım olarak bilinmektedir. Rastgele proses etkileri sıklık temelinde, iletim fonksiyonları için yapılan çözümleri basitleştirmek için seçilir.



Şekil 3.1 PRBS sinyalinin gösterimi (Karacan 1997)

PRBS sinyallerinin prosese verdiği değişimler genelde, proses işletim şartları içerisinde olmalıdır. PRBS sinyalleri ile parametre tahmini için genelde Bierman algoritması kullanılır. Bunun için her PRBS sinyali değiştiğinde Bierman algoritması bir set parametre hesaplar. Bu

parametre setleri PRBS sinyalleri değiştikçe farklı değerler alır. PRBS sinyalleri, prosesi belli işletim şartlarında taradığından bulunan parametreler de tüm işletim şartları için geçerlidir. Bu nedenle kontrol amacıyla parametre tahmininde en uygun değerlerin seçimi sağlanır.

Birbirini takip eden parametre tahmini yapmak için (3.19) model eşitliğinden yaralanılır. Bu eşitlik aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$y(t) = x^T(t)\theta + e(t) \tag{3.21}$$

Burada θ bilinmeyen parametrelerin bir vektörünü gösterir.

$$\theta^T = \left[-a_1,...,a_{n_a},b_0,...,b_{n_b},d_0,c_1,...,c_{n_c}\right] \tag{3.22}$$

X(t) veri vektörü olup sistemin girdi/çıktı değişkenlerini içerir.

$$X^T = \left[y(t-1)...,y(t-n_a),u(t-1),...,u(t-n_b-1),1,e(t-1),...,e(t-n_c)\right] \tag{3.23}$$

Bilinmeyen parametrelerin hesaplanması için Bierman (1976) U-D algoritması kullanılır. Algoritma aşağıda açıklanmıştır.

1.Basamak : f ve g vektörleri hesaplanır.

$$f = U^T(t-1)X(t) \tag{3.24}$$

$$g = D(t-1)f \tag{3.25}$$

U(t) üst üçgen matris formundadır.

$$U(t) = \begin{bmatrix} 1 & u_{12}(t) & . & . & . & u_{1m}(t) \\ 0 & 1 & u_{23}(t) & . & . & u_{2m}(t) \\ . & 0 & 1 & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & . & . & u_{m-1,m}(t) \end{bmatrix} \tag{3.26}$$

D(t) bir diyagonal matris formundadır.

$$D(t) = \begin{bmatrix} d_1(t) & 0 & 0 & . & . & . & 0 \\ & d_2(t) & & & & & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & 0 & & d_m(t) \end{bmatrix} \tag{3.27}$$

P katsayı matrisi şu şekilde tanımlanır.

$$P(t) = U(t)D(t)U^T(t) \tag{3.28}$$

Başlangıçta P(0) birim matris olarak alınıp α ile çarpılırsa,

$$P(t) = \alpha I \tag{3.29}$$

2.Basamak:: $\zeta(t)$ belirlenir.

$$\zeta(t) = y(t) - X^T(t)\theta(t-1) \tag{3.30}$$

3.Basamak:

J = 1, m kadar (a) ve (b) tekrar edilir.

(a) $$\beta_j = \beta_{j-1} + f_i g_i \tag{3.31}$$

$$d_j(t) = \beta_{j-1} d_j(t-1) / \beta_j \lambda \tag{3.32}$$

$$v_j(t) = g_f \tag{3.33}$$

hesaplanır.

(b) i = 1, j - 1'e kadar (j >1) için

$$u_{ij}(t) = u_{ij}(t-1) - v_i f_j / \beta_{j-1} \tag{3.34}$$

$$v_i = v_i + u_{ij}(t-1)v_j \tag{3.35}$$

4.Basamak: Bu basamakta v'nin değerleri L'nin elemanlanı olarak atanır.

$$L^T(t) = [v_1, ..., v_m] \tag{3.36}$$

5.Basamak: Bu basamakta parametreler güncelleştirilir.

$$\theta(t) = \theta(t-1) + L(t)/\beta_m \tag{3.37}$$

6.Basamak: t = t + 1 yazılıp 1. basamağa dönülür.

Model parametrelerinin başlangıç değerleri sıfir alınır (Karacan 1997).

3.9.3 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol (GPC)

Son yıllarda genelleştirilmiş tahmin edici kontrol üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Bu kontrolün STPID ve GMV'den daha iyi bir kontrol sağladığı söylenmektedir. GPC sistem çıktısını birkaç örnek alma zamanını göz önüne alarak tahmin eder. Bunun için de gelecek kontrol değerlerini kullanır.

Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol aşağıdaki güçlüklerin önüne geçebilmektedir.

- Minimum olmayan faz gösteren sistemleri
- Açık-hat kararsız sistemleri
- Değişken veya bilinmeyen ölü zamana sahip sistemleri
- Bilinmeyen dereceden sistemleri de kontrol edebilmektedir.

GPC ile değişen parametre içeren prosesler kararlı olarak kontrol edilir. Model derecesi belli aralıklarda değişen sistemler için GPC kontrol sisteminin iyi çalışabilmesi için ilgili aralığın girdi ve çıktı verilerini alarak sistemi tanımlamaya yetecek kadar büyük olması gerekir. Bu kontrol açık-hat kararsız, minimum olmayan faz ve fazla parametreli model için de etkilidir. Implicit (doğrudan) GMV kendinden ayarlamalı kontrol sistemi model derecesinin değişmesine karşın kontrolü gerçekleştirebilir, ancak değişken ölü zamanlı sistemleri kontrol edemez. Explicit (dolaylı) kök yerleştirme metodu STPID, değişen ölü zamanlı sistemleri kontrol etmesine rağmen model derecesi fazla olanlar için başarılı olamaz (Karacan 1997).

3.9.3.1 Genelleştirilmiş tahmin edici kontrol yöntemi

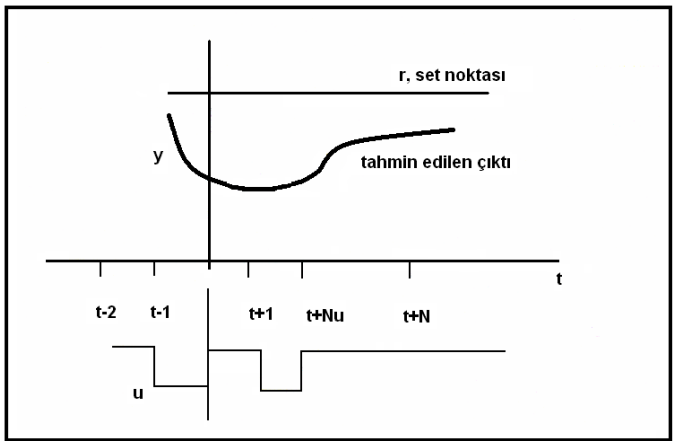
Bu kısımda GPC kontrol yöntemi ile ilgili açıklamalar verilecektir. Bu amaçla çalışmanın başında set noktaları vektörel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$[r(t+1), r(t+2), ..., r(t+1)]; \quad i = 1, ...j \tag{3.38}$$

Çoğu durumda r(t+j) sabit olan r(t)'ye eşit alınır. Bazı durumlarda ise r(t+j)'deki gelecek değişimler bilinir. t anındaki y(t) çıktısında r için doğrusal bir yaklaşım göz önünde bulundurulur. Bu ilişki basit bir birinci mertebeden modelle gösterilirse,

$r(t) = y(t)$

$r(t+j) = \alpha\, r(t+j-1) + (1-\alpha)r \quad , j= 1, 2, \ldots$ (3.39)



Şekil 3.4 GPC kontrol sisteminde set noktası, kontrol edilen ve ayarlanabilen değişkenler (Karacan 1997).

Eğer $\alpha \cong 1$ alınırsa gelecekteki set noktaları gerçek set noktasına eşit alınır. Ayrıca GPC gelecekteki set noktası değişimleri için de uygulanabilir.

GPC kontrol yönteminin amacı, gelecekteki sistem çıktıları olan y(t+j)'leri aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi r(t+j)'lere yaklaştırmaktır. Kontrol etkinliği bunu gerçekleştirmeyi gerektirir. GPC kontrol tasarımını yapabilmek için öncelikle maliyet fonksiyonu minimize edilir.

$$J(u,t) = E\left\{ \sum_{j=N_1}^{N_2} (y(t+j) - r(t+j))^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} (\Delta u(t+j-1))^2 \right\} \tag{3.40}$$

$$\Delta u(t+j) = 0 \qquad ve \quad J = N_u, ..., N_2$$

N_1: Minimum maliyet ufku, N_2: Maksimum maliyet ufku, r(t): set noktasıdır. Set noktası sistem çıktısının izlemesi gereken yol olarak seçilir. Pozitif sabit bir değişken olan λ (kontrol ağırlık faktörü) kontrolde hatayı azaltmak için bir ağırlık etkisi yapar. Gerekli kontrol ayarını yapar.

Optimizasyon işleminde, N_2-N_1+l gelecekteki sistem çıktısını ve N_u kadar geleceğe yönelik ayar değişkenini dikkate alarak gerçekleştirir. Bu algoritmanın önemli varsayımlarından biri

gerçek sistem gecikmesinin N_1 ile N_2 arasında bir değer almasıdır. GPC ayar parametrelerinin seçimi asağıda gösterilen koşullara göre yapılır.

a) Minimum Çıktı Ufku N_1: Eğer prosesin ölü zamanı tam olarak biliniyorsa, N_i k'ya eşit olarak alınmalıdır. Eger N_i k'dan küçük alınırsa gereksiz yere hesaplamalar yapılmış olur. Eğer k bilinmiyorsa veya değişkense $N_1 = 1$ alınır ve $B(z^{-1})$ 'in derecesi bütün k değerlerini içerecek şekilde genelleştirilir. Bu nedenle N_1 değeri genelde bir tasarım parametresi olarak kullanılmaz.

b) Maksimum Çıktı Ufku N_2: Eğer sistem minimum olmayan faz ise başlangıçta negatif bir değer üretir. N_2 daha sonra pozitif bir çıktı üretecek şekilde seçilir. Bu, kesikli zaman sisteminde N_2'nin $B(z^{-1})$ polinom derecesinden daha büyük seçilmesi demektir. Pratikte, N_2'nin genelde büyük değerleri kullanılır ve proses yükselme zamanına yakın bir değer seçilir.

c) Kontrol Maliyel Ufku N_u: Genelde N_u=1 koymak, kabul edilebilir bir kontrol sağlar. Nu'nun arttırılması kontrolün daha aktif olmasına neden olur. Bu aktiflik bir noktaya kadardır. Bundan sonraki N_u değerinin arttırılması kompleks sistemler için uygundur. N_u en azından kararlı olmayan veya sönümlü köklerin sayısına eşit alındığında iyi kontrol gerçekleştirilir.

d) Kontrol Ağırlığı λ : Pratikte $\lambda = 0$ alınır, Eğer $\lambda = \delta$ ise (δ küçük bir değer), ilgili değer ile sayısal kontrol edilebilirliği gerçekleşir. λ iyi bir kontrol ayarı olarak değerlendirilir. N_u ise kontrol için kaba ayarlayıcı olarak belirlenebilir.

GPC kriteri J(u,t) 'yi optimize edecek şekilde seçilir. Bu uygulama Diophantine eşitliğini de içine alır. Sistem modeli olarak ARIMAX modeli kullanılır. J basamak ileriye yönelik çıktı değişkenlerinin tahmini için Diophantine eşitliğinin çözülmesi gerekir (Karacan 1997).

ARIMAX modeli,

$$Ay(t) = Bu(t-1) + \frac{C}{\Delta}e(t) \tag{3.41}$$

Diophantine eşitliği ise şu şekildedir;

$$C = EA\Delta + z^{-j}F \tag{3.42}$$

(3.42) eşitliğini (3.41)'de yerine koyup t = t + j yazılırsa;

$$y(t+j) = \frac{B}{A}u(t+j-1) + Ee(t+j) + \frac{F}{A\Delta}e(t) \tag{3.43}$$

Burada $Ee(t+j)$ gelecekteki verileri temsil eder ve $(F/A\Delta)e(t)$ geçmiş ve şimdiki verileri göslerir. E değeri bütün bilinmeyen verileri t zamanda kapsar.

$$E = 1 + e_1 z^{-1} + ... + ej_{-1} z^{-j+1} \tag{3.44}$$

Eşitlik (3.41) 'den c(t) çekilip (3.43)'de yerine konulursa;

$$y(t+j) = \frac{B}{A}u(t+j-1) + Ee(t+j) + \frac{F}{C}y(t) - \frac{FB}{AC}u(t-1) \tag{3.45}$$

ve

$$y_{t+j} = \frac{F}{C}y(t) + \frac{EB}{C}\Delta u_{t+j-1} + Ee_{t+j} \tag{3.46}$$

Bu eşitlikteki son terim t. zamandaki ölçüm sinyallerinden bağımsız olan veriyi içerir. (3.46)'dan (3.47) elde edilir.

$$y_{t+j} = \frac{F}{C}y_t + \frac{EB}{C}\Delta u_{t+j-1} \tag{3.47}$$

Burada y_{t+j} t. zamandaki bilinen sinyal değerinin ve gelecek kontrol çıktısının bir fonksiyonudur. İkinci bir tanım eşitliği burada geçmiş ve gelecek kontrol değerlerini ayırmak için yapılır. Onun için tanım eşitliği uygulanarak (3.48) elde edilir.

$$\frac{EB}{C}\Delta u_{t+j-1} = G\Delta u_{t+j-1} + \frac{\Gamma}{C}\Delta u_{t-1} \tag{3.48}$$

$$G = 1 + g_1 z^{-1} + ... + g_{j-1} z^{-j+1} \tag{3.49}$$

$G\Delta u_{t+j-1}$ gelecek, $(\Gamma / C)\Delta u_{t-1}$ geçmiş ve bu zamandaki verileri kullanırlar. t. zamanda bütün bilinmeyen veriler G'de şekillenir. Böylece istenilen tanımlama;

$$\frac{EB}{C} = G + z^{-j}\frac{\Gamma}{C} \tag{3.50}$$

(3.47) eşitliği ile (3.50) eşitliği birleştirilirse,

$$\bar{y}_{t+j} = G\Delta u_{t+j-1} + \frac{\Gamma\Delta u_{t-1}}{C} + \frac{F}{C}y_t \tag{3.51}$$

$$\bar{y}t + j\big|_t = \frac{\Gamma\Delta u_{t-1}}{C} + \frac{F}{C}y_t \tag{3.52}$$

Burada $\bar{y}_{t+j|t}$ 'serbest yanıtımı' gösterir ve serbest yanıtım tahminlerini f vektörüyle belirtir.

$$f = \left[\bar{y}_{t+1|t}, \bar{y}_{t+2|t} \quad ,.... \quad \bar{y}_{t+N_{2|t}}\right] \tag{3.53}$$

Gelecek kontrol artışları olan ayarlanabilen değişken $\bar{u}$ vektörü aşağıdaki gibidir.

$$\bar{u} = \left[\Delta u_t, \Delta u_{t-1}, ..., \Delta u_{t+N_u-1}\right]^T \tag{3.54}$$

Tahmin edilen ve kontrol edilen sistem çıktıları vektörü;

$$\bar{y} = \left[\bar{y}_{t+1}, \bar{y}_{t+2}, ..., \bar{y}_{t+N_2}\right]^T \tag{3.55}$$

G matrisi g_i parametrelerinden oluşur. $g_i = \dfrac{B}{A\Delta}$ tanımından;

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & 0 & . & . & . & 0 & \\ g_1 & g_0 & . & . & . & 0 & \\ . & . & . & . & . & . & \\ gN_U - 1 & gN_U - 2 & . & . & . & . & g_0 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ gN_2 - 1 & gN_2 - 2 & . & . & . & . & gN_2 - N_U \end{bmatrix} \tag{3.56}$$

Bu durum için $N_1 = 1$ alınır. Eşitlik (3.40)'ın minimize edilmesiyle aşağıdaki eşitlik türetilir.

$$J = (\bar{y} - r)^T (\bar{y} - r) + \lambda (\bar{u})^T \bar{u} \tag{3.57}$$

Gelecek için kontrol değerlerini içeren $\bar{u}$ vektörü aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\bar{u} = (G^T G + \lambda I)^{-1} (r - f) \tag{3.58}$$

Buradaki r set noktası vektörü veya referans sinyali tarif edilirse,

$$r = \left[r_{t+1}, r_{t+2}, ..., r_{t+N2}\right]^T \tag{3.59}$$

Eşitlik (3.58) gelecek için kontrol değerlerini t zamanı için verir. GPC'nin uygulanması ile elde edilen $\bar{u}$ vektörünün kontrol amacı ile ilk elemanı, Δu_t kullanılır. Optimum kontrolün bu çözümünden sonra t+1 zamanı için elde edilen veriler kullanılarak gelecek basamak için hesap yeniden tekrarlanır. Eşitlik (3.58)'deki kontrol kazancı sabit kalır ve sadece f ve r vektörleri her örnek alma zamanı için yeniden bulunur (Karacan 1997).

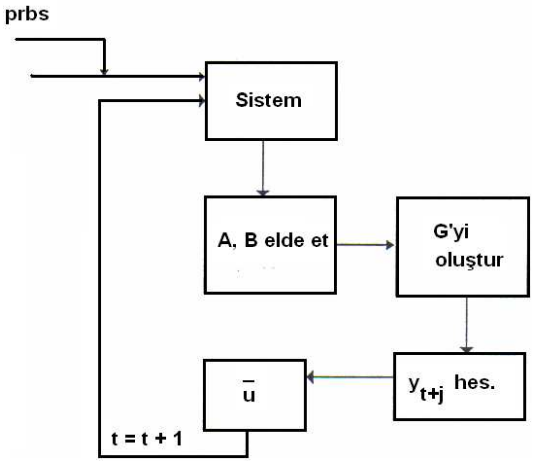
GPC algoritması aşağıdaki sırayla verilmiş olup, şekil 3.5'te de gösterilmiştir.

a) Sisteme PRBS sinyallerini uygulayarak sistem çıktıları elde edilir.

b) Bierman algoritması kullanılarak A ve B polinomunun katsayıları tahmin edilir.

c) Bu bölümdeki denklem setleri kullanılarak GPC kontrol çıktısı hesaplanır.

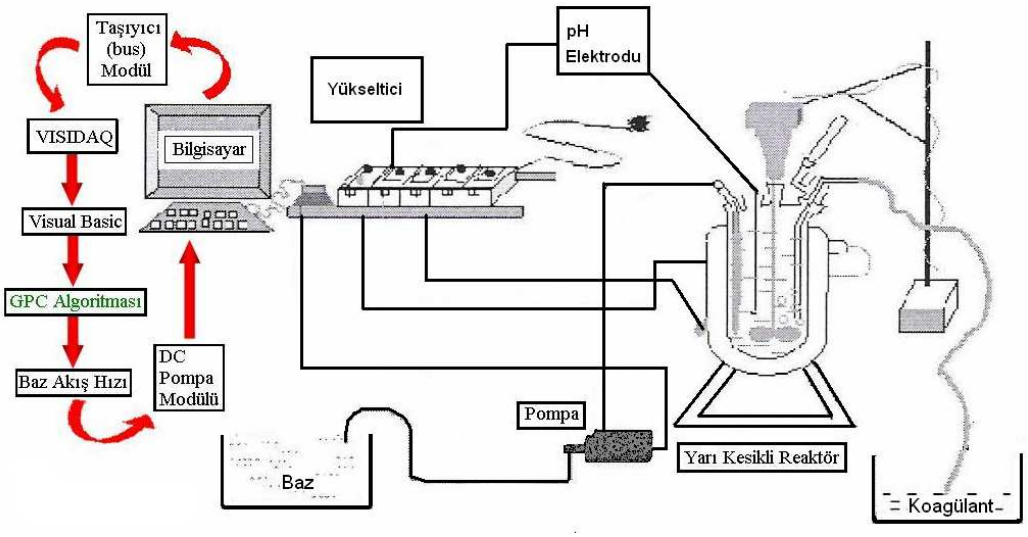
d) Zaman artırımı yapılarak tekrar (a)'ya dönülür.



Şekil 3.5 Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol algoritması (Karacan 1997)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Deney Sistemi



Şekil 4.1 Deney sistemi

Tekstil boya atıksuyunun arıtılması için 2 L'lik yarı kesikli reaktör kullanılacaktır. Sistemde iki pompa, kontrol vanası, akış ölçerler, pH elektrot, A/D çeviriciler ve bir de bilgisayar bulunmaktadır.

4.2 Optimum Koagülant ve pH Seçimi İçin Jar Testi Yöntemi

Optimum değerlerin belirlenmesi çalışmalarında tekstil atıksularının çöktürme işlemleri için kullanılacak koagülantlar literatür çalışması sonucunda belirlenir. Her bir koagülant için 5 farklı derişimlerde (0.5, 1, 3, 5, 7 g/L) çözeltiler hazırlanır. Karıştırma işlemi gerçekleşirken 500 ml atıksuya yavaş yavaş hazırlanan çözeltiler eş zamanlı eklenir. 2 dk hızlı karıştırma 20 dk yavaş karıştırma yapılır. Karıştırma bittikten sonra numune 2'ye ayrılır. İlk kısmında numunelerin pH'ı $Ca(OH)_2$ ile ikinci kısımda ise numunelerin pH'ı NaOH ile ayarlanır. pH'ı ayarlanmış numuneler 1 gün bekletilerek çökmeleri

sağlanır. Üstte kalan berrak sıvı kısım küvetlere koyularak teker teker UV spektrofotometresinde ışık geçirgenliklerine bakılır. Işık geçirgenliklerini tayin edebilmek için ilk önce kullanılan atıksuyun dalga boyu belirlenir. Hangi dalga boyunda spektrumunun alınması gerektiği belirlendikten sonra bu belirlenen dalga boyunda numunelerin absorbansları ölçülür.

4.3 Kontrol Deney Yöntemi

2 L'lik reaktöre 1 L atıksu beslenir, daha sonra karıştırma hızı optimum değere ayarlandıktan sonra bilgisayarla on-line bağlı sistem açılır. Bilgisayardaki GPC kontrol algoritması sistem değişkenlerine bağlı olarak algoritması çalıştırılır. Bu çalışmada sisteme eş zamanda beslenen kimyasal çöktürücü sisteme bozan etken verirken kontrol algoritması, çökelme için uygun pH'a getirmek için hesapladığı baz miktarını sisteme ayarlanabilen değişken olarak gönderir. Uygun pH'a ulaşıldıktan sonra bir süre daha işletilip reaksiyon durdurulur. Daha sonra karıştırıcı hızını yavaş konuma getirerek ortama polielektrolit eklenir. Topaklaşma sağlandıktan sonra arıtılan suyun ışık geçirgenliğine bakılır.

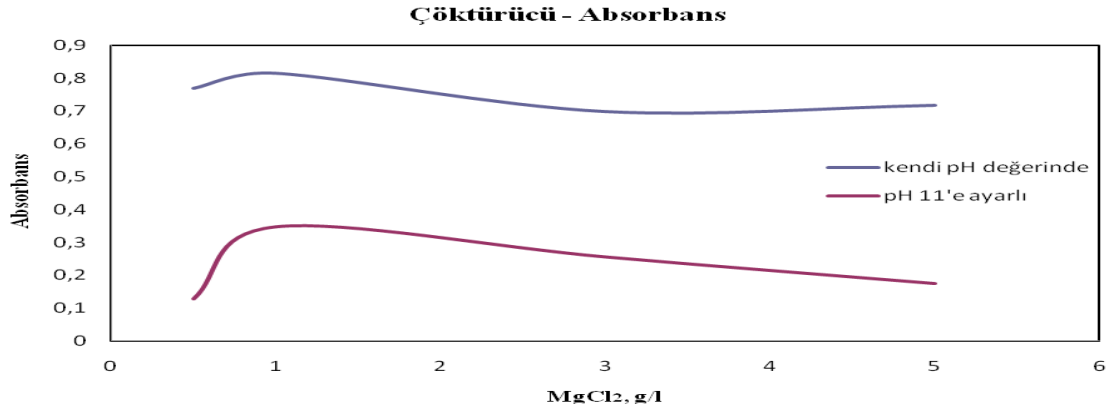
5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Koagülant Seçimi İçin Gerçekleştirilen Ön Denemeler

Yapılan çalışmada koagülant olarak $MgCl_2$, $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$ kullanılmıştır. Her bir koagülant için çöktürme işlemi gerçekleştirildikten sonra hangi koagülantın daha iyi sonuç verdiği atıksuyun ışık geçirgenliğine bakılarak belirlenmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre de optimum koagülant ve pH değerleri bulunmuştur.

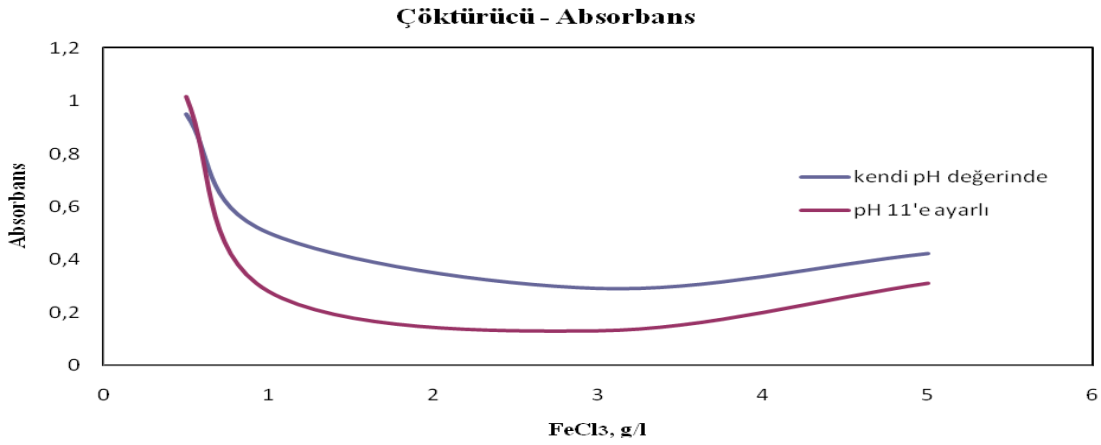
Ön çalışmalarda pH değerinin ön seçimi için Tan ve Teng (2000)'in araştırması temel alınmıştır. Bu araştırmanın ışığında pH değeri 11 seçilmiş ve çöktürme deneyleri bu pH değerinde gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma ile ilgili olarak tekstil atıksuyunun arıtılması için kullanılan çöktürücülerin farklı derişimlerde çözeltileri tekstil atıksuyuna ilave edilerek pH değerleri ölçülmüş sonra da eldeki çözeltiye NaOH çözeltisi ilavesi ile pH 11'e ayarlanarak absorbans deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda üç farklı çöktürücü için absorbans değerlerine karşı pH ve çöktürücü derişim miktarları çizilmiştir. Bunlar $MgCl_2$ için Şekil 5.1'de, $FeCl_3$ için Şekil 5.2'de, $Al_2(SO_4)_3$ için Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



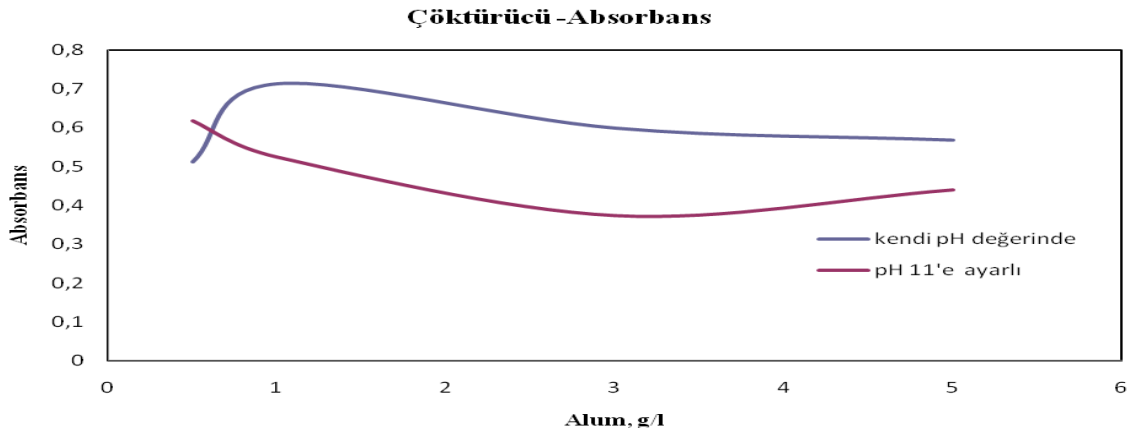
Şekil 5.1 $MgCl_2$'nin farklı derişimlerinde ve atıksuyun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerinde absorbans değişimi

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi $MgCl_2$ derişimlerine karşı çizilen iki ayrı grafik bulunmaktadır. Bunlardan kendi pH değeri adı ile gösterilen üstteki grafik atıksuyun farklı $MgCl_2$ derişimlerinde oluşan farklı pH'lar ile elde edilen su numunesinin absorbans değeridir. pH 11'e ayarlı adı ile gösterilen alttaki grafikte ise $MgCl_2$ ile gerçekleştirilen çöktürme işlemi pH 11'de yapılmış ve elde edilen su numunesinin absorbansı ölçülmüştür.



Şekil 5.2 $FeCl_3$'ün farklı derişimlerinde ve atıksuyun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerinde absorbans değişimi

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi $FeCl_3$ derişimlerine karşı çizilen iki ayrı grafik bulunmaktadır. Bunlardan kendi pH değeri adı ile gösterilen üstteki grafik atıksuyun farklı $FeCl_3$ derişimlerinde oluşan farklı pH'lar ile elde edilen su numunesinin absorbans değeridir. pH 11'e ayarlanmış adı ile gösterilen alttaki grafikte ise $FeCl_3$ ile gerçekleştirilen çöktürme işlemi pH 11'de yapılmış ve elde edilen su numunesinin absorbansı ölçülmüştür.



Şekil 5.3 $Al_2(SO_4)_3$'ün farklı derişimlerinde ve atıksuyun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerinde absorbans değişimi

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi $Al_2(SO_4)_3$ derişimlerine karşı çizilen iki ayrı grafik bulunmaktadır. Bunlardan kendi pH değeri adı ile gösterilen üstteki grafik atıksuyun farklı $Al_2(SO_4)_3$ derişimlerinde oluşan farklı pH'lar ile elde edilen su numunesinin absorbans değeridir. pH 11'e ayarlanmış adı ile gösterilen alttaki grafikte ise $Al_2(SO_4)_3$ ile gerçekleştirilen çöktürme işlemi pH 11'de yapılmış ve elde edilen su numunesinin absorbansı ölçülmüştür.

Şekil 5.1-5.3'te görüldüğü üzere arıtmanın bir göstergesi olan absorbans değerlerinin pH 11'de daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Bu da Tan ve Teng (2000)'in çalışmasında verdiği sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermektedir.

5.2 Jar Testi İle En İyi Koagülant'ın Belirlenmesi

Bir önceki kısımda pH 11'de ve her çöktürücünün atıksuya atılmasıyla oluşan pH değerlerinde absorbans ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler sonunda pH 11 'de gerçekleşen çöktürmenin sonunda atıksuyun absorbans değerlerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca pH değerini 11 yapabilmek için NaOH çözeltisi kullanılmıştır. Bu denemelerden sonra daha detaylı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunun için pH değeri 7-12 arasında belirlenmiş bu değerlerde 3 çeşit çöktürücü çeşitli miktarlarda atıksuya ilave edilmiş ve absorbans değerleri ölçülmüştür. Bu deneyler esnasında kullanılan

farklı çöktürücülerin atıksuya ilavesi ile farklı pH ölçümleri elde edilmiştir. Bu pH değerlerini istenen pH değerlerine (7-12) getirmek için NaOH, $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltileri ayrı ayrı kullanılmıştır.

5.2.1 $MgCl_2$ ile ilgili jar testleri

Bu kısımda $MgCl_2$ çöktürücüsü kullanılarak atıksuyun arıtılmasına çalışılmıştır. Bunun için farklı derişimlerde $MgCl_2$ çözeltileri atıksuya atılmış ve absorbans değerleri ölçülmüştür. Ayrıca bir önceki kısımda bahsedildiği gibi $MgCl_2$ çözeltisinin atıksuya atıldığında oluşan pH'ı önceden belirlediğimiz pH değerlerine getirmek için (pH 7-12) $Ca(OH)_2$, NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılmıştır. Bu deneylerde gerekli sonuçları göstermek için önce $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltilerinin kullanıldığı sonuçlar gösterilecek sonra da NaOH ve H_2SO_4 çözeltilerinin kullanıldığı ikinci grup deney sonuçları gösterilecektir.

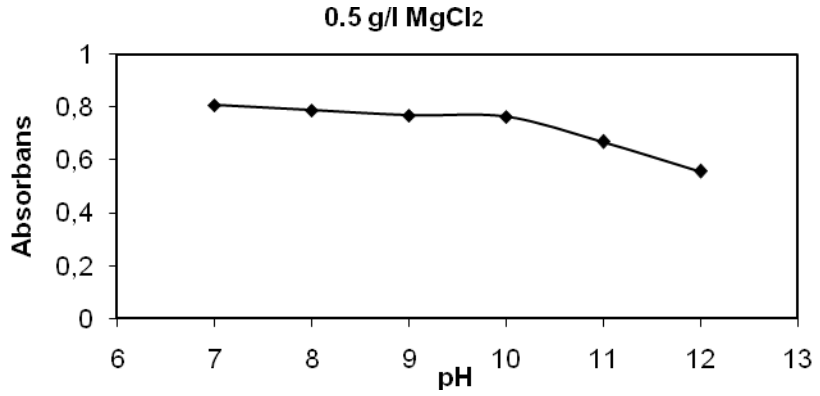
Çizelge 5.1'de $MgCl_2$ çöktürücüsü ilavesi ile oluşan pH değerlerinin istenilen pH değerlerine getirilmesinde $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılarak yapılan ayarlama sonunda çeşitli pH değerleri için 50 ml'lik arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4)

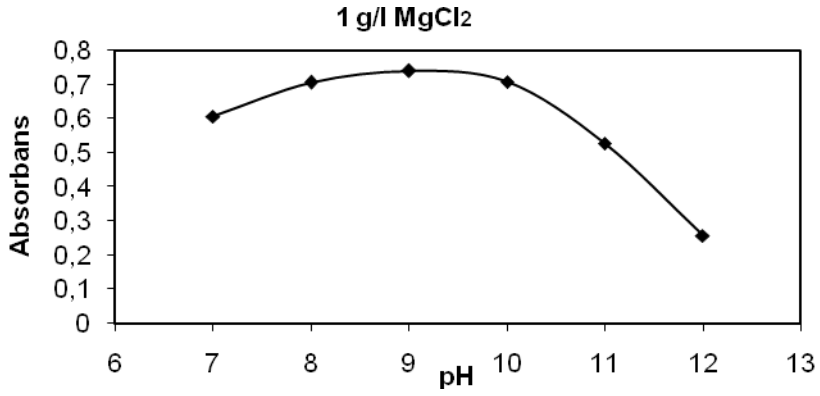
Çöktü-rücü	Çöktü-rücü Derişimi	Atıksu pH'ı	Atıksu abs.	pH=7 iken abs.	pH=8 iken abs.	pH=9 iken abs.	pH=10 iken abs.	pH=11 iken abs.	pH=12 iken abs.
$MgCl_2$	0.5 g/L	9.9	0.657	0.633	0.650	0.680	0.736	0.611	0.412
	1 g/L	9.2	0.835	0.607	0.706	0.740	0.707	0.527	0.256
	2 g/L	9.3	0.814	0.614	0.688	0.752	0.746	0.306	0.177
	3 g/L	9.2	0.817	0.660	0.713	0.743	0.737	0.518	0.188
	5 g/L	9.3	0.821	0.641	0.681	0.775	0.665	0.354	0.125
	7 g/L	9.3	0.792	0.726	0.728	0.779	0.755	0.375	0.132

Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltileri ile yapılan ayarlama ile elde edilen en iyi atıksu absorbans ölçümü pH 12'de 5g/L $MgCl_2$ ilavesi ile gerçekleştirilmiştir. Arıtmadan sonra santrifuj yapılarak askıda katı maddelerin de çökelmesi sağlanmıştır. İşleme tabi tutulmamış atıksu absorbans değeri 0.978'dir. 5g/L $MgCl_2$ ilavesi ile pH 12'de elde edilen arıtılmış atıksuyun absorbans değeri 0.125'dir. Bu arıtmanın sonunda % 87 giderim sağlanmıştır.

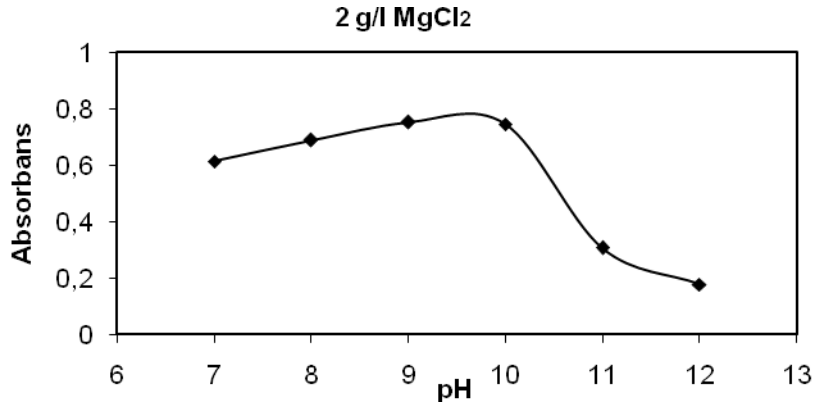
$MgCl_2$ çöktürücüsü ile yapılan arıtma işlemini gözleyebilmek için Çizelge 5.1'de gösterilen verilerden yararlanılmıştır. Bunun için her $MgCl_2$ derişimi için pH-absorbsiyon grafiği çizilmiştir. Şekil 5.4-5.9 arasında bununla ilgili sonuçlar verilmiştir.



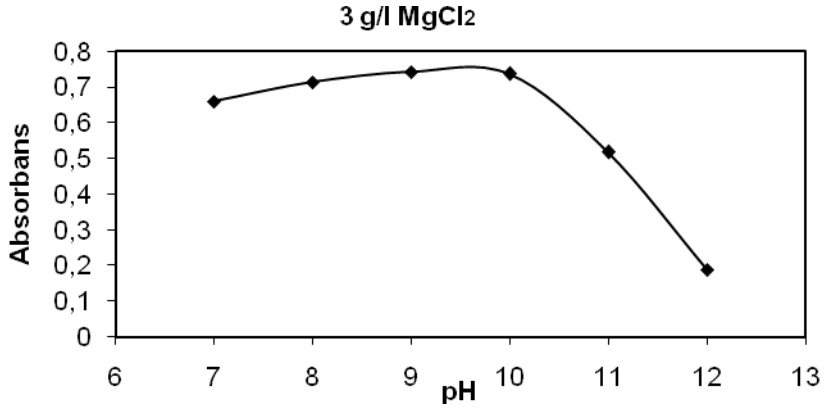
Şekil 5.4 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



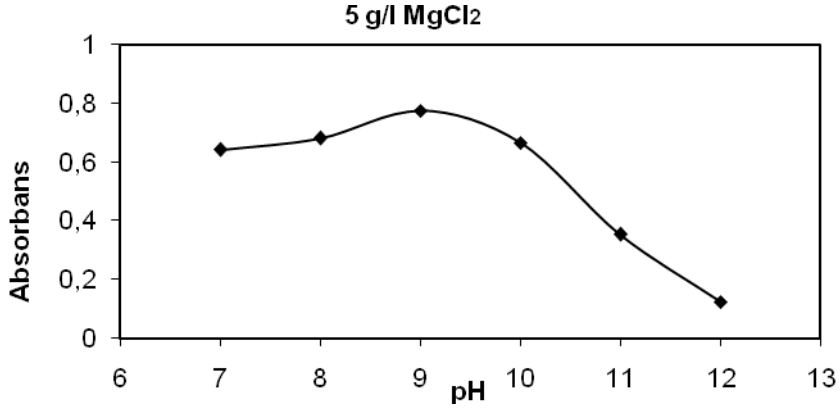
Şekil 5.5 Çöktürücü olarak 1 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



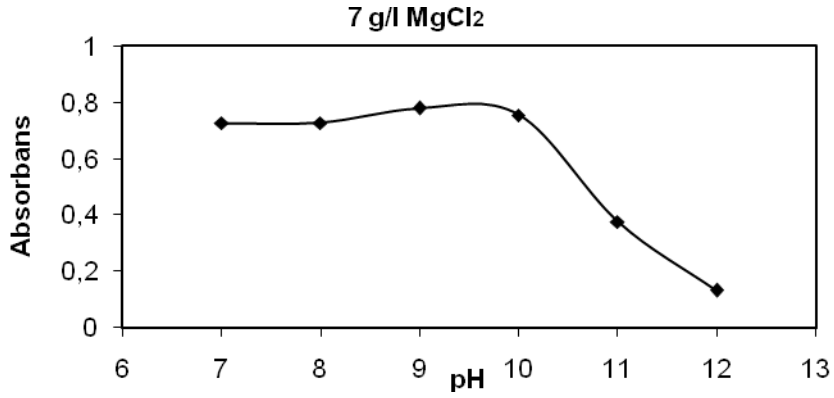
Şekil 5.6 Çöktürücü olarak 2 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.7 Çöktürücü olarak 3 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

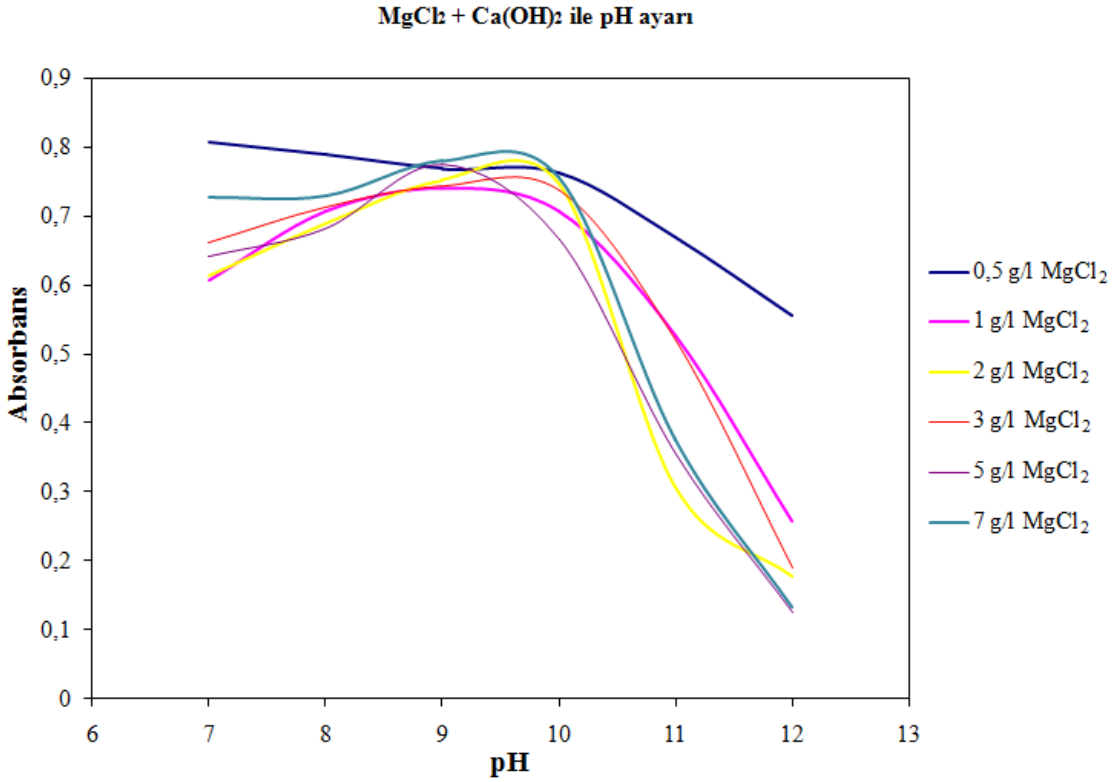


Şekil 5.8 Çöktürücü olarak 5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.9 Çöktürücü olarak 7 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Yukarıda verilen ilgili şekillerin yardımıyla ve $MgCl_2$'nin $Ca(OH)_2$, H_2SO_4 çözeltilerinin kullanımıyla atıksuyun arıtılma etkinliğini gözlemek için tüm sonuçlar Şekil 5.10'da beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.10 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4)

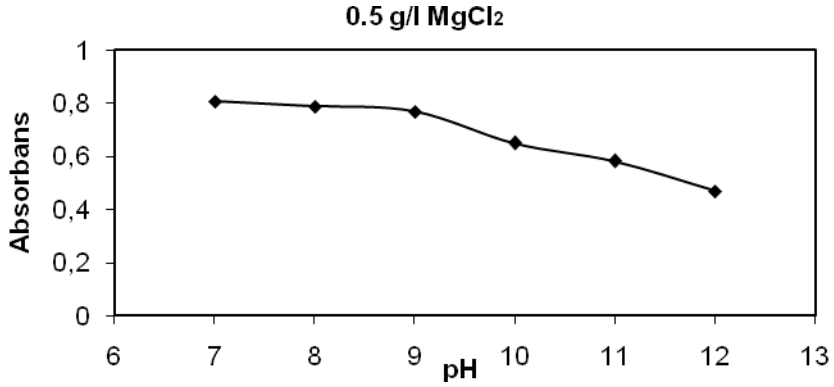
Çizelge 5.2'de $MgCl_2$ çöktürücüsü ilavesi ile oluşan pH değerlerinin istenilen pH değerlerine getirilmesinde NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılarak yapılan ayarlama sonunda çeşitli pH değerleri için 50 ml'lik arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)

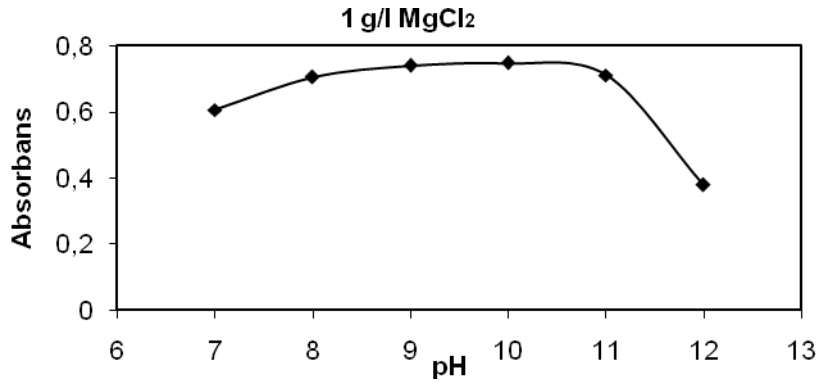
Çöktü-rücü	Çöktü-rücü Derişimi	Atıksu pH'ı	Atıksu abs.	pH=7 iken abs.	pH=8 iken abs.	pH=9 iken abs.	pH=10 iken abs.	pH=11 iken abs.	pH=12 iken abs.
$MgCl_2$	0.5 g/L	9.9	0.657	0.633	0.650	0.680	0.736	0.718	0.616
	1 g/L	9.2	0.835	0.607	0.706	0.740	0.748	0.711	0.373
	2 g/L	9.3	0.814	0.614	0.688	0.752	0.759	0.706	0.308
	3 g/L	9.2	0.817	0.660	0.713	0.743	0.751	0.698	0.267
	5 g/L	9.3	0.821	0.641	0.681	0.775	0.757	0.649	0.221
	7 g/L	9.3	0.792	0.726	0.728	0.779	0.742	0.461	0.195

Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri ile yapılan ayarlama ile elde edilen en iyi atıksu absorbans ölçümü pH 12'de 7g/L $MgCl_2$ ilavesi ile gerçekleştirilmiştir. Arıtmadan sonra santrifuj yapılarak askıda katı maddelerin de çökelmesi sağlanmıştır. İşleme tabi tutulmamış atıksu absorbans değeri 0.978'dir. 7g/L $MgCl_2$ ilavesi ile pH 12 'de elde edilen arıtılmış atıksuyun absorbans değeri 0.195'dir. Bu arıtmanın sonunda % 80 giderim sağlanmıştır.

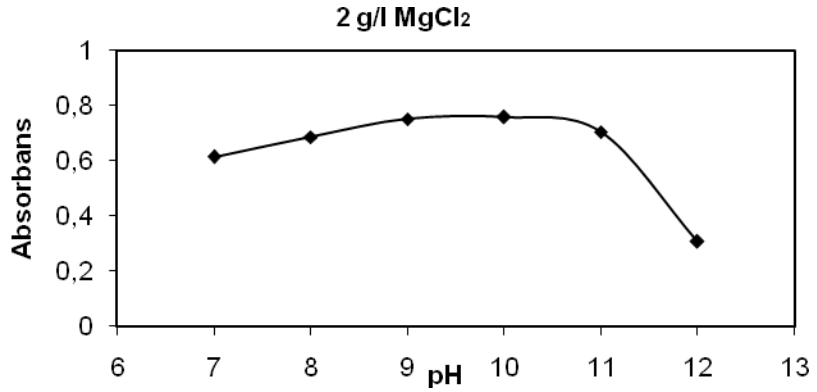
$MgCl_2$ çöktürücüsü ile yapılan arıtma işlemini gözleyebilmek için Çizelge 5.2'de gösterilen verilerden yararlanılmıştır. Bunun için her $MgCl_2$ derişimi için pH-absorbsiyon grafiği çizilmiştir. Şekil 5.11-5.16 arasında bununla ilgili sonuçlar verilmiştir.



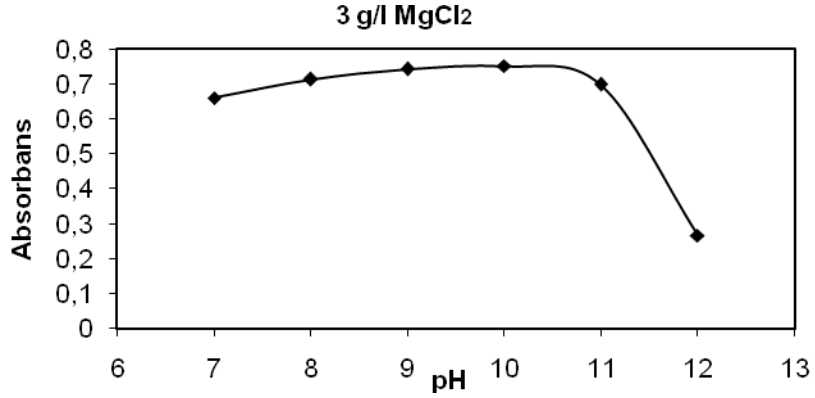
Şekil 5.11 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



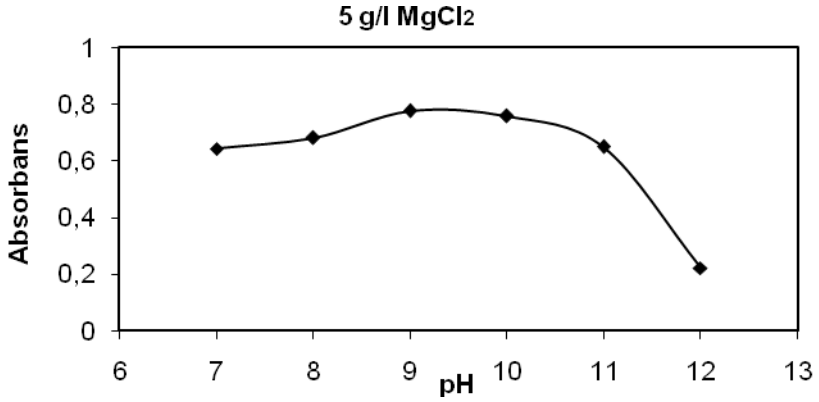
Şekil 5.12 Çöktürücü olarak 1 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



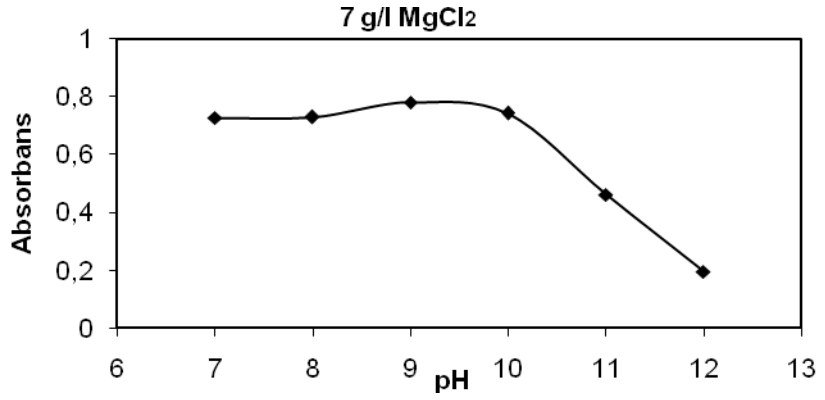
Şekil 5.13 Çöktürücü olarak 2 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.14 Çöktürücü olarak 3 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

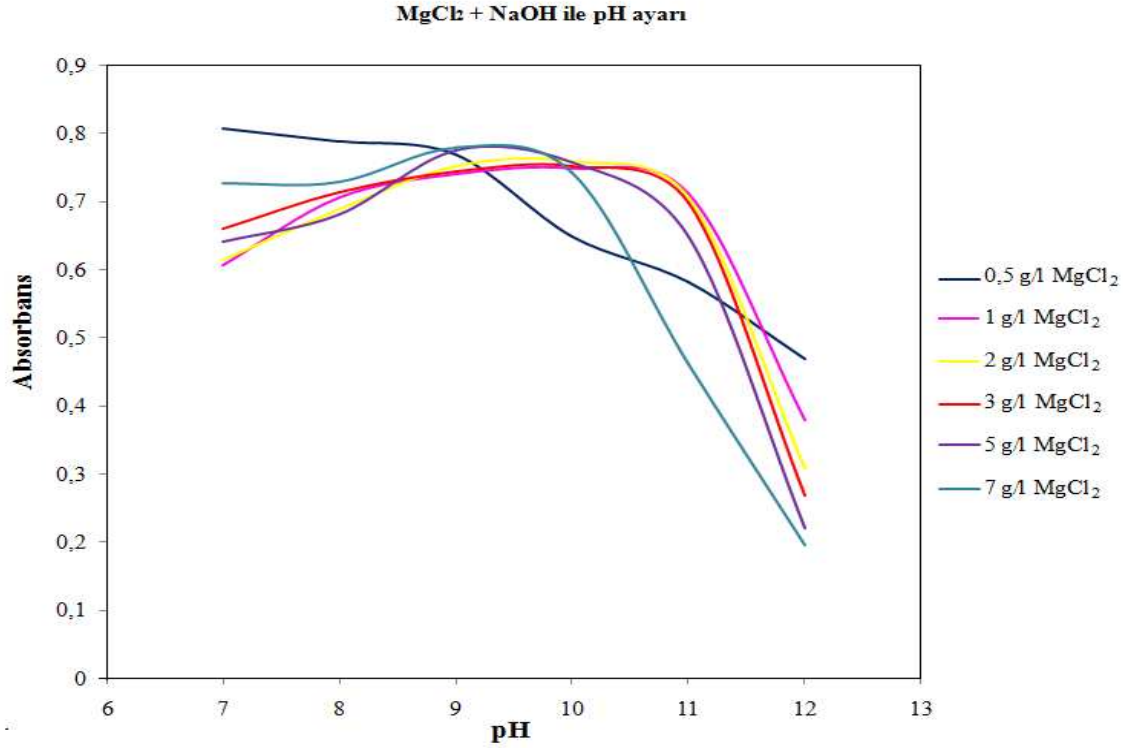


Şekil 5.15 Çöktürücü olarak 5 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.16 Çöktürücü olarak 7 g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Yukarıda verilen ilgili şekillerin yardımıyla ve $MgCl_2$'nin NaOH, H_2SO_4 çözeltilerinin kullanımıyla atıksuyun arıtılma etkinliğini gözlemek için tüm sonuçlar Şekil 5.17'de beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.17 $MgCl_2$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)

5.2.2 $FeCl_3$ ile ilgili jar testleri

Bu kısımda $FeCl_3$ çöktürücüsü kullanılarak atıksuyun arıtılmasına çalışılmıştır. Bunun için farklı derişimlerde $FeCl_3$ çözeltileri atıksuya atılmış ve absorbans değerleri ölçülmüştür. Ayrıca bir önceki kısımda bahsedildiği gibi $FeCl_3$ çözeltisinin atıksuya atıldığında oluşan pH'ı önceden belirlediğimiz pH değerlerine getirmek için (pH 7-12) $Ca(OH)_2$, NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılmıştır. Bu deneylerde gerekli sonuçları göstermek için önce $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltilerinin kullanıldığı sonuçlar gösterilecek sonra da NaOH ve H_2SO_4 çözeltilerinin kullanıldığı ikinci grup deney sonuçları gösterilecektir.

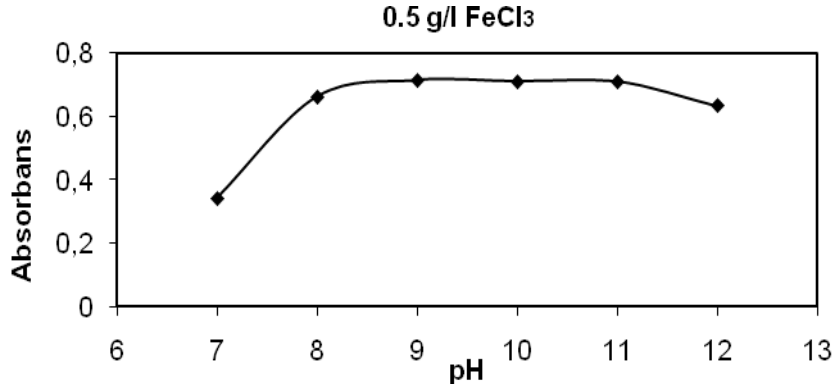
Çizelge 5.3'te $FeCl_3$ çöktürücüsü ilavesi ile oluşan pH değerlerinin istenilen pH değerlerine getirilmesinde $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılarak yapılan ayarlama sonunda çeşitli pH değerleri için 50 ml'lik arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4)

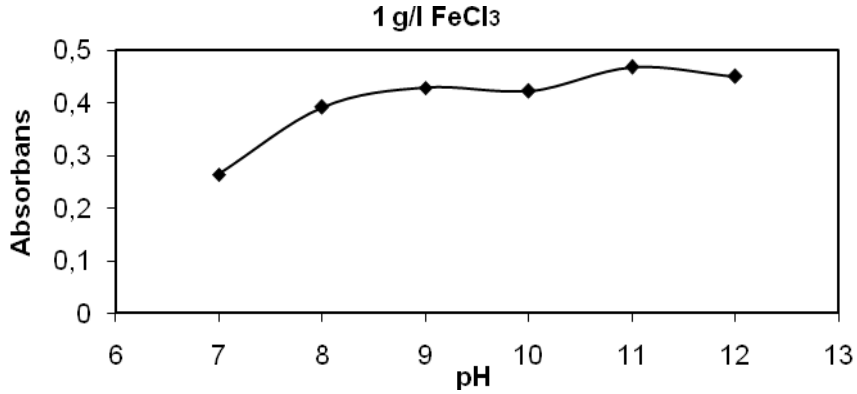
Çöktü-rücü	Çöktü-rücü Derişimi	Atıksu pH'ı	Atıksu abs.	pH=7 iken abs.	pH=8 iken abs.	pH=9 iken abs.	pH=10 iken abs.	pH=11 iken abs.	pH=12 iken abs.
$FeCl_3$	0.5 g/L	8.5	0.661	0.342	0.663	0.715	0.711	0.710	0.635
	1 g/L	8.1	0.382	0.263	0.391	0.428	0.422	0.468	0.450
	2 g/L	5.5	0.246	0.219	0.233	0.266	0.259	0.218	0.211
	3 g/L	2.5	2.494	0.251	0.241	0.244	0.219	0.194	0.201
	5 g/L	2.1	2.494	0.208	0.217	0.233	0.193	0.191	0.183
	7 g/L	1.7	2.494	0.173	0.176	0.178	0.171	0.163	0.151

Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltileri ile yapılan ayarlama ile elde edilen en iyi atıksu absorbans ölçümü pH 12'de 7g/L $FeCl_3$ ilavesi ile gerçekleştirilmiştir. Arıtmadan sonra santrifuj yapılarak askıda katı maddelerin de çökelmesi sağlanmıştır. İşleme tabi tutulmamış atıksu absorbans değeri 0.978'dir. 7g/L $FeCl_3$ ilavesi ile pH 12 'de elde edilen arıtılmış atıksuyun absorbans değeri 0.151'dir. Bu arıtmanın sonunda % 84 giderim sağlanmıştır.

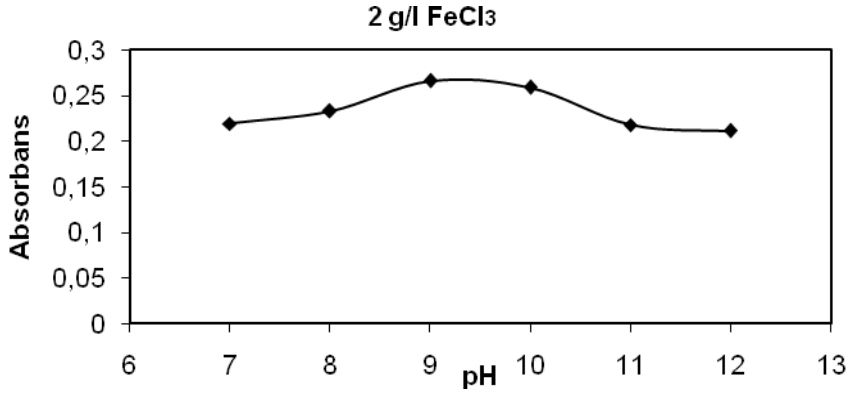
$FeCl_3$ çöktürücüsü ile yapılan arıtma işlemini gözleyebilmek için Çizelge 5.3'te gösterilen verilerden yararlanılmıştır. Bunun için her $FeCl_3$ derişimi için pH-absorbsiyon grafiği çizilmiştir. Şekil 5.18-5.23 arasında bununla ilgili sonuçlar verilmiştir.



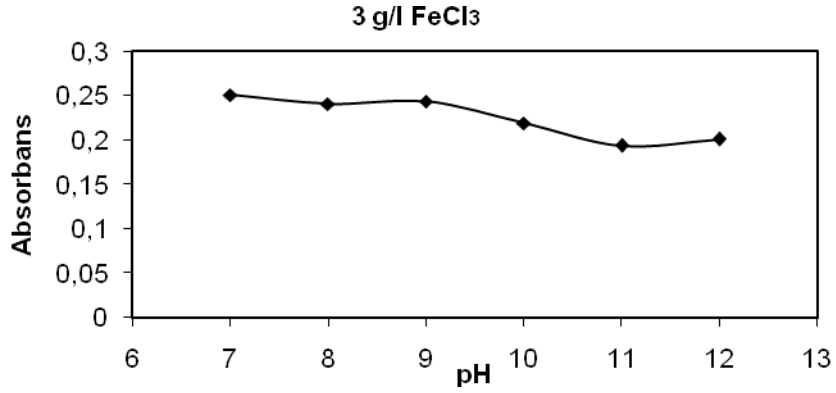
Şekil 5.18 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



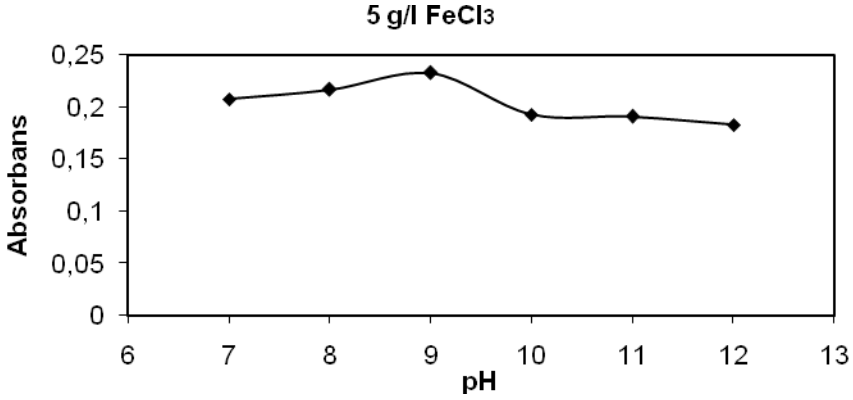
Şekil 5.19 Çöktürücü olarak 1 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



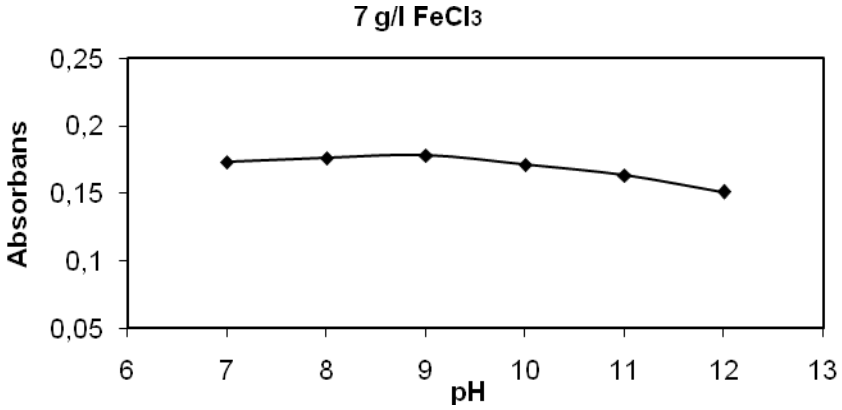
Şekil 5.20 Çöktürücü olarak 2 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.21 Çöktürücü olarak 3 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

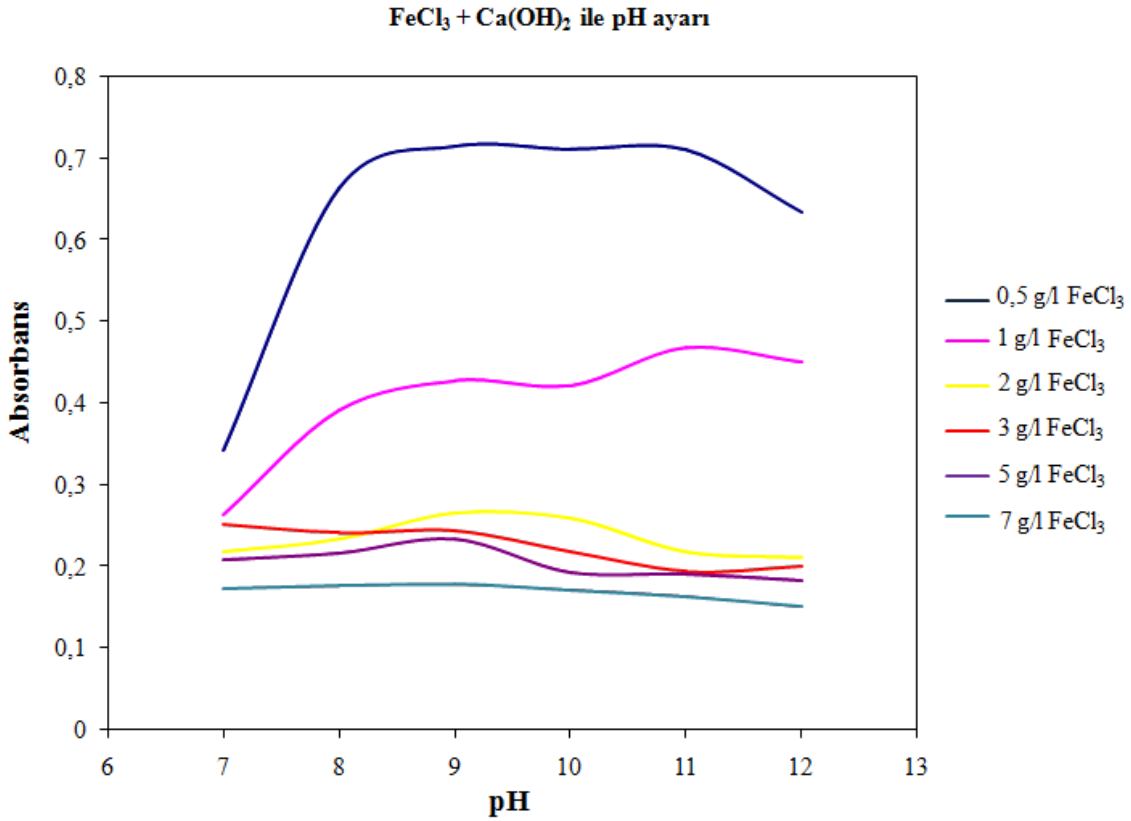


Şekil 5.22 Çöktürücü olarak 5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.23 Çöktürücü olarak 7 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Yukarıda verilen ilgili şekillerin yardımıyla ve $FeCl_3$'nin $Ca(OH)_2$, H_2SO_4 çözeltilerinin kullanımıyla atıksuyun arıtılma etkinliğini gözlemek için tüm sonuçlar Şekil 5.24'te beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.24 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4)

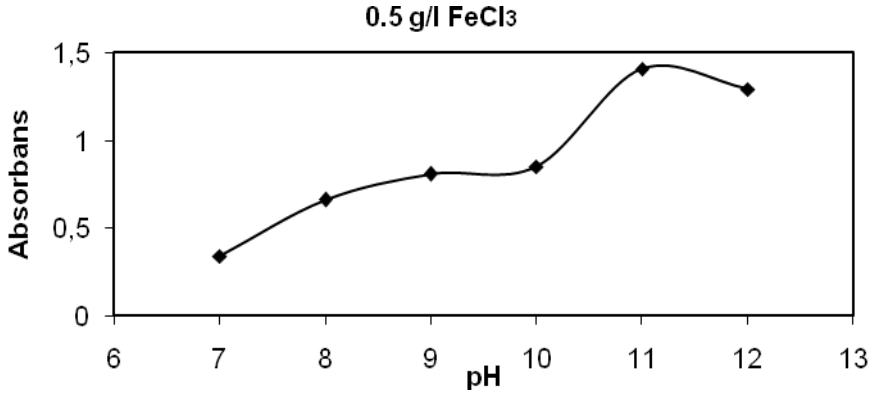
Çizelge 5.4'te $FeCl_3$ çöktürücüsü ilavesi ile oluşan pH değerlerinin istenilen pH değerlerine getirilmesinde NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılarak yapılan ayarlama sonunda çeşitli pH değerleri için 50 ml'lik arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)

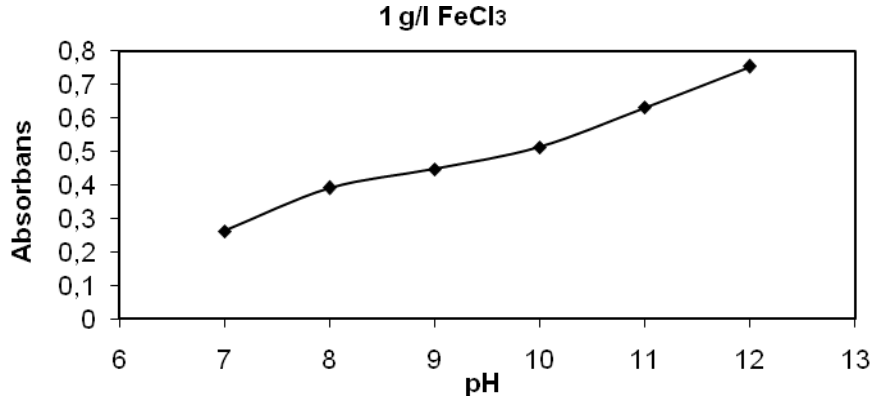
Çöktü-rücü	Çöktü-rücü Derişimi	Atıksu pH'ı	Atıksu abs.	pH=7 iken abs.	pH=8 iken abs.	pH=9 iken abs.	pH=10 iken abs.	pH=11 iken abs.	pH=12 iken abs.
$FeCl_3$	0.5 g/L	8.5	0.661	0.342	0.663	0.809	0.852	1.410	1.292
	1 g/L	8.1	0.382	0.263	0.391	0.448	0.512	0.631	0.753
	2 g/L	5.5	0.246	0.198	0.218	0.259	0.312	0.519	0.536
	3 g/L	2.5	2.494	0.221	0.262	0.330	0.384	0.436	0.515
	5 g/L	2.1	2.494	0.205	0.245	0.303	0.322	0.441	0.470
	7 g/L	1.7	2.494	0.185	0.210	0.242	0.358	0.428	0.458

Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri ile yapılan ayarlama ile elde edilen en iyi atıksu absorbans ölçümü pH 7'de 7g/L $FeCl_3$ ilavesi ile gerçekleştirilmiştir. Arıtmadan sonra santrifuj yapılarak askıda katı maddelerin de çökelmesi sağlanmıştır. İşleme tabi tutulmamış atıksu absorbans değeri 0.978'dir. 7g/L $FeCl_3$ ilavesi ile pH 7'de elde edilen arıtılmış atıksuyun absorbans değeri 0.185'dir. Bu arıtmanın sonunda % 81 giderim sağlanmıştır.

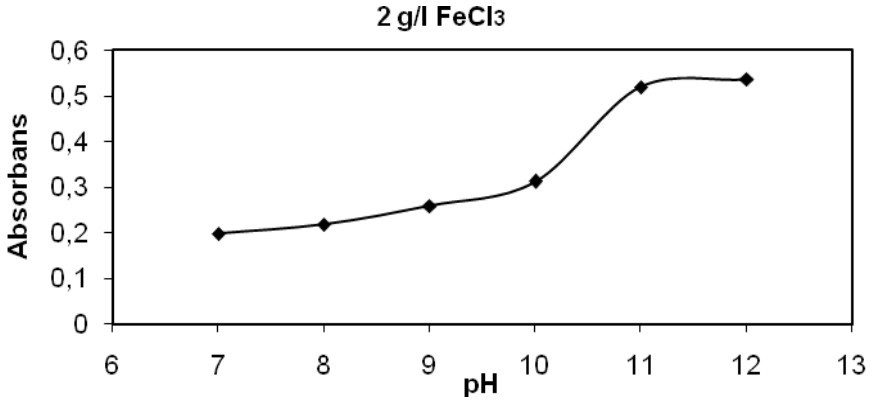
$FeCl_3$ çöktürücüsü ile yapılan arıtma işlemini gözleyebilmek için Çizelge 5.4'te gösterilen verilerden yararlanılmıştır. Bunun için her $FeCl_3$ derişimi için pH-absorbsiyon grafiği çizilmiştir. Şekil 5.25-5.30 arasında bununla ilgili sonuçlar verilmiştir.



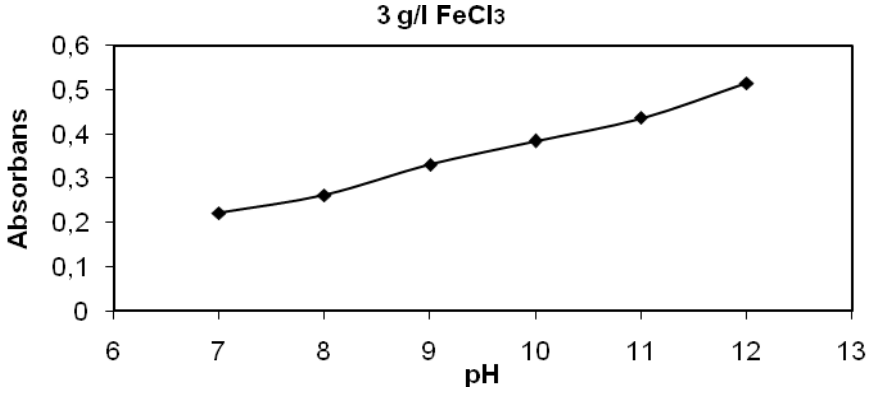
Şekil 5.25 Çöktürücü olarak 0.5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



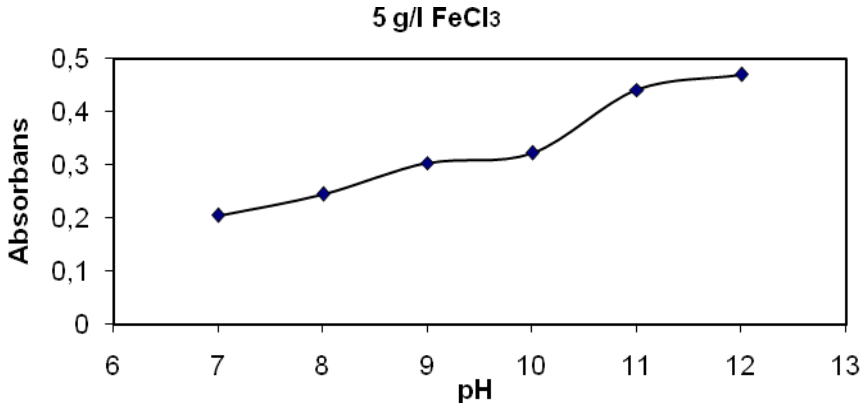
Şekil 5.26 Çöktürücü olarak 1g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



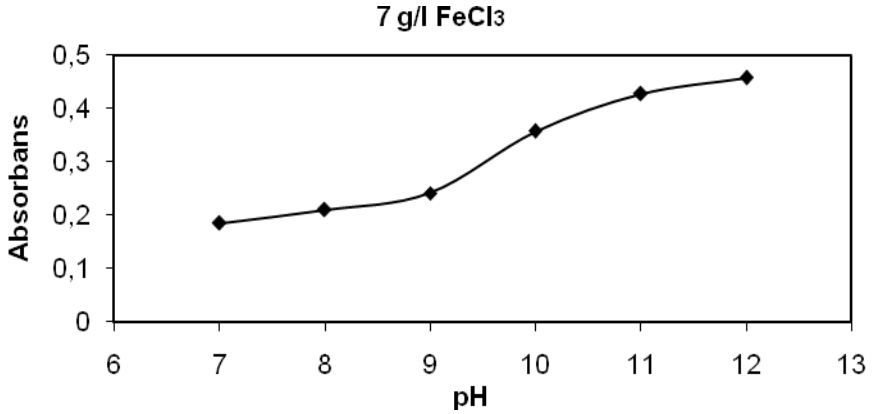
Şekil 5.27 Çöktürücü olarak 2 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.28 Çöktürücü olarak 3 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

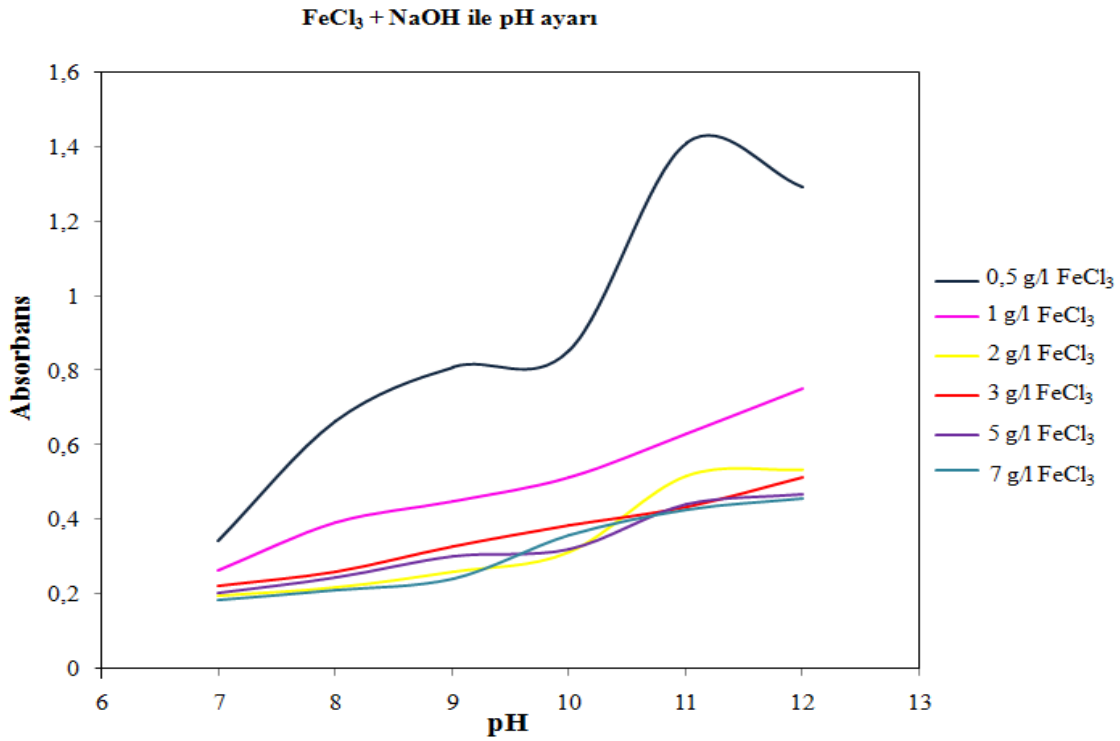


Şekil 5.29 Çöktürücü olarak 5 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.30 Çöktürücü olarak 7 g/L $FeCl_3$ kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Yukarıda verilen ilgili şekillerin yardımıyla ve $FeCl_3$'nin NaOH, H_2SO_4 çözeltilerinin kullanımıyla atıksuyun arıtılma etkinliğini gözlemek için tüm sonuçlar 5.31'de beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.31 $FeCl_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)

5.2.3 $Al_2(SO_4)_3$ ile ilgili jar testleri

Bu kısımda $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüsü kullanılarak atıksuyun arıtılmasına çalışılmıştır. Bunun için farklı derişimlerde $Al_2(SO_4)_3$ çözeltileri atıksuya atılmış ve absorbans değerleri ölçülmüştür. Ayrıca bir önceki kısımda bahsedildiği gibi $Al_2(SO_4)_3$ çözeltisinin atıksuya atıldığında oluşan pH'ı önceden belirlediğimiz pH değerlerine getirmek için (pH 7-12) $Ca(OH)_2$, NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılmıştır. Bu deneylerde gerekli sonuçları göstermek için önce $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltilerinin kullanıldığı sonuçlar gösterilecek sonra da NaOH ve H_2SO_4 çözeltilerinin kullanıldığı ikinci grup deney sonuçları gösterilecektir.

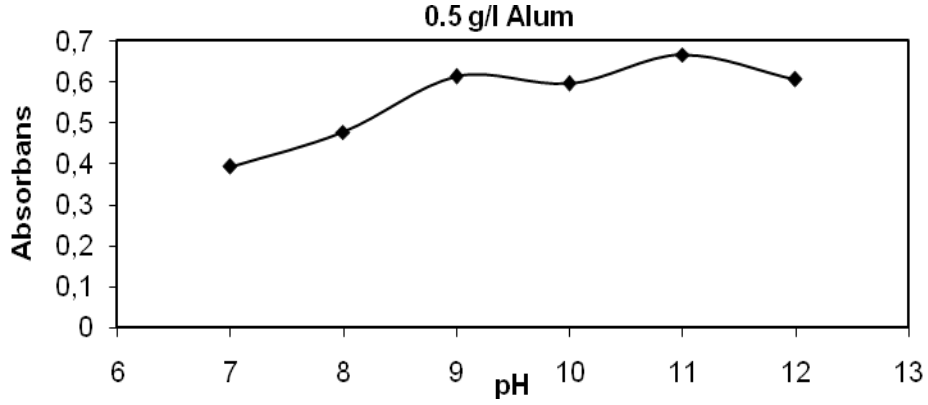
Çizelge 5.5'te $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüsü ilavesi ile oluşan pH değerlerinin istenilen pH değerlerine getirilmesinde $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılarak yapılan ayarlama sonunda çeşitli pH değerleri için 50 ml'lik arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4)

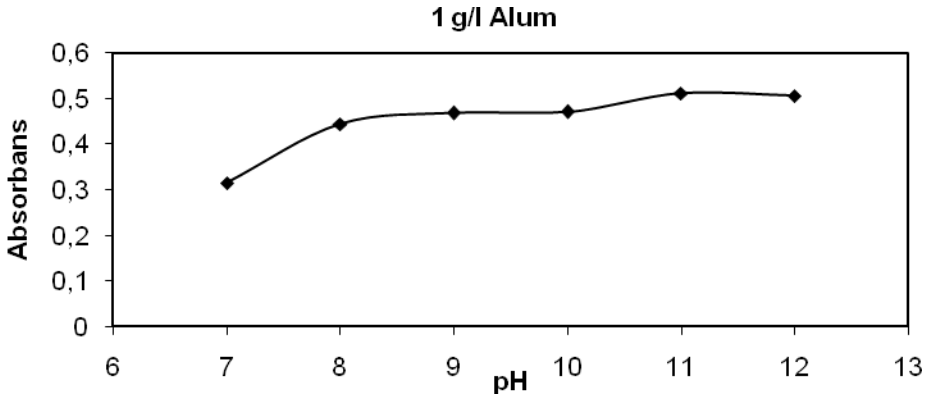
Çöktü-rücü	Çöktü-rücü Derişimi	Atıksu pH'ı	Atıksu abs.	pH=7 iken abs.	pH=8 iken abs.	pH=9 iken abs.	pH=10 iken abs.	pH=11 iken abs.	pH=12 iken abs.
$Al_2(SO_4)_3$	0.5 g/L	8.2	0.597	0.393	0.476	0.613	0.595	0.666	0.605
	1 g/L	7.9	0.462	0.315	0.443	0.467	0.470	0.511	0.506
	2 g/L	7.4	0.324	0.298	0.355	0.381	0.362	0.347	0.353
	3 g/L	4.9	0.335	0.323	0.339	0.341	0.317	0.310	0.310
	5 g/L	4.5	0.366	0.299	0.296	0.289	0.262	0.277	0.259
	7 g/L	4.4	0.436	0.306	0.310	0.307	0.298	0.300	0.254

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi $Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4 çözeltileri ile yapılan ayarlama ile elde edilen en iyi atıksu absorbans ölçümü pH 12'de 7g/L $Al_2(SO_4)_3$ ilavesi ile gerçekleştirilmiştir. Arıtmadan sonra santrifuj yapılarak askıda katı maddelerin de çökelmesi sağlanmıştır. İşleme tabi tutulmamış atıksu absorbans değeri 0.978'dir. 7g/L $Al_2(SO_4)_3$ ilavesi ile pH 12'de elde edilen arıtılmış atıksuyun absorbans değeri 0.254'dir. Bu arıtmanın sonunda % 74 giderim sağlanmıştır.

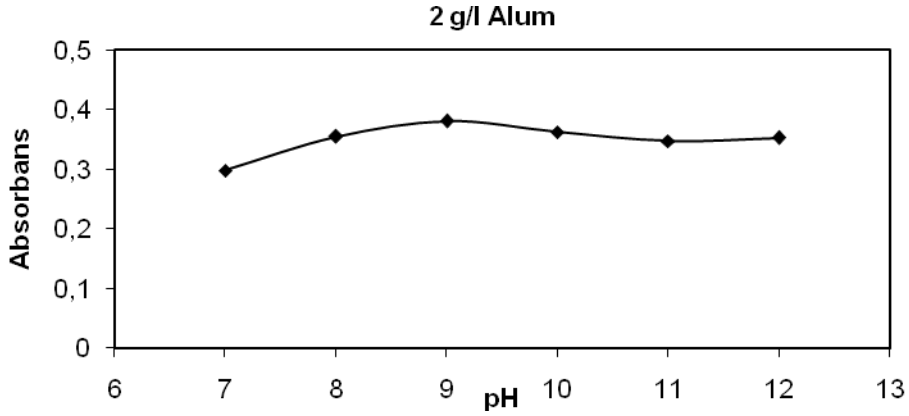
$Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüsü ile yapılan arıtma işlemini gözleyebilmek için Çizelge 5.5'te gösterilen verilerden yararlanılmıştır. Bunun için her $Al_2(SO_4)_3$ derişimi için pH-absorbsiyon grafiği çizilmiştir. Şekil 5.32-5.37 arasında bununla ilgili sonuçlar verilmiştir.



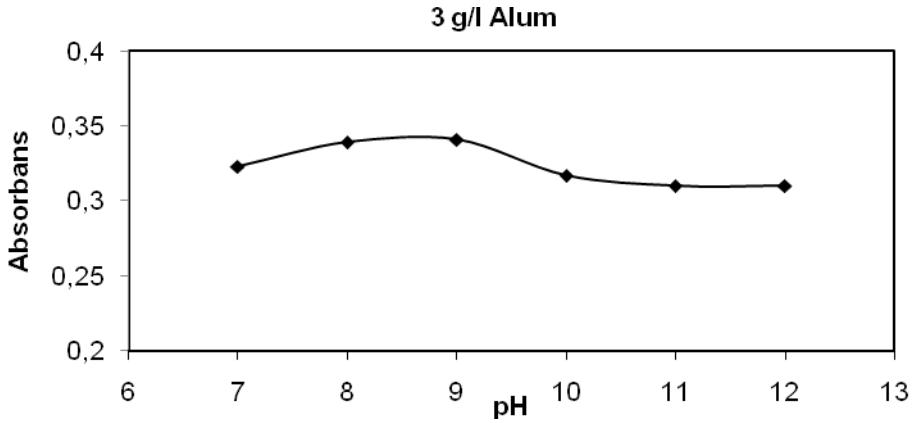
Şekil 5.32 Çöktürücü olarak 0.5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



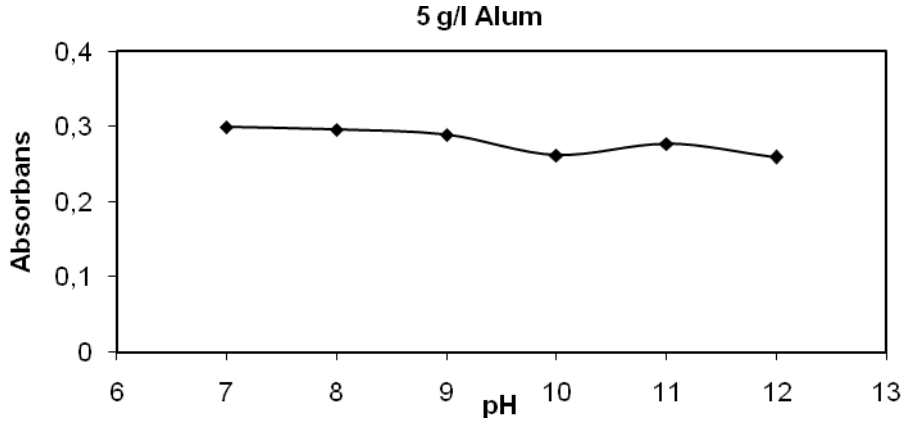
Şekil 5.33 Çöktürücü olarak 1 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



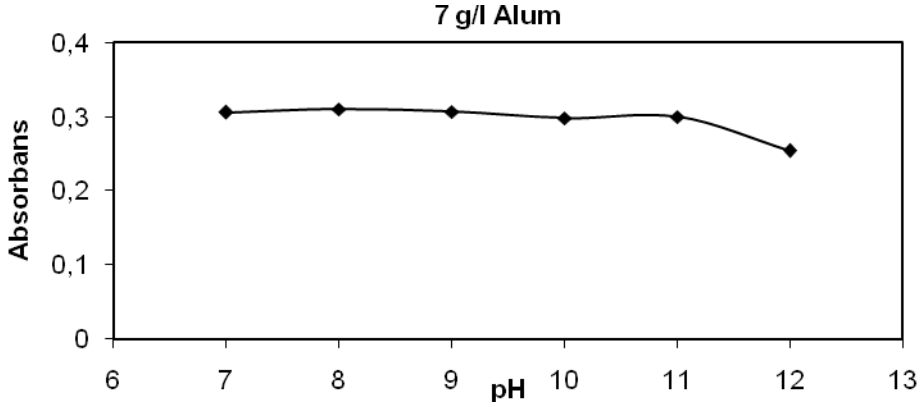
Şekil 5.34 Çöktürücü olarak 2 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.35 Çöktürücü olarak 3 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerler

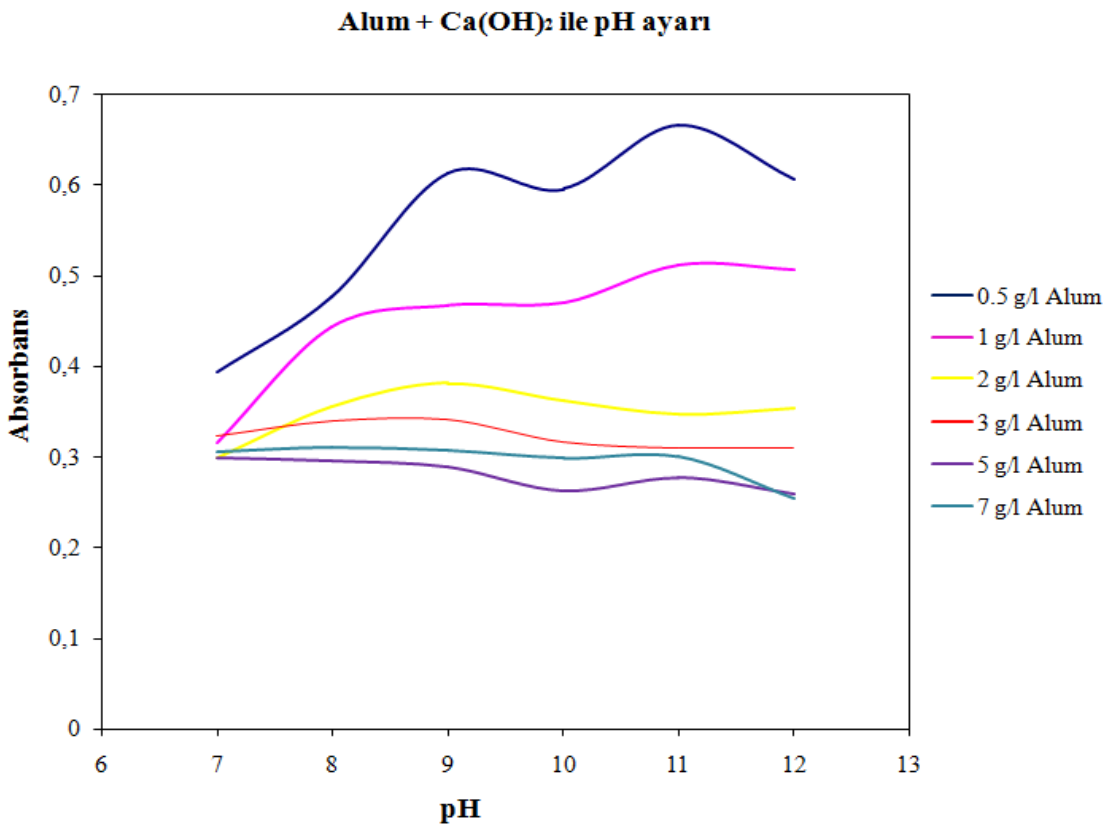


Şekil 5.36 Çöktürücü olarak 5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.37 Çöktürücü olarak 7 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Yukarıda verilen ilgili şekillerin yardımıyla ve $Al_2(SO_4)_3$'ün NaOH, H_2SO_4 çözeltilerinin kullanımıyla atıksuyun arıtılma etkinliğini gözlemek için tüm sonuçlar Şekil 5.38'de beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.38 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme ($Ca(OH)_2$ ve H_2SO_4)

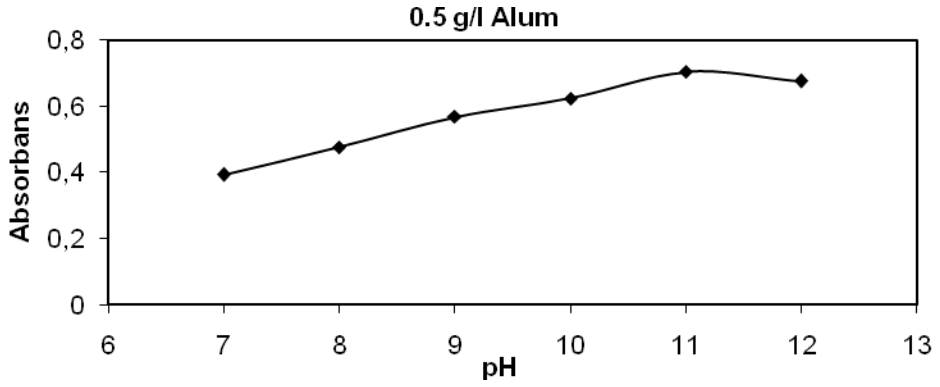
Çizelge 5.6'da $Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüsü ilavesi ile oluşan pH değerlerinin istenilen pH değerlerine getirilmesinde NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri kullanılarak yapılan ayarlama sonunda çeşitli pH değerleri için 50 ml'lik arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ve H_2SO_4)

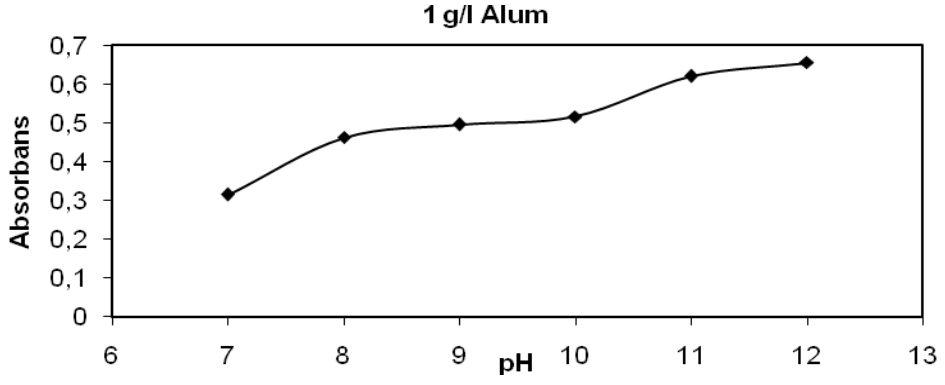
Çöktü-rücü	Çöktü-rücü Derişimi	Atıksu pH'ı	Atıksu abs.	pH=7 iken abs.	pH=8 iken abs.	pH=9 iken abs.	pH=10 iken abs.	pH=11 iken abs.	pH=12 iken abs.
$Al_2(SO_4)_3$	0.5 g/L	8.2	0.597	0.393	0.476	0.568	0.623	0.704	0.676
	1 g/L	7.9	0.462	0.315	0.443	0.495	0.516	0.620	0.655
	2 g/L	7.4	0.324	0.298	0.355	0.398	0.657	0.653	0.695
	3 g/L	4.9	0.335	0.333	0.353	0.410	0.669	0.526	0.547
	5 g/L	4.5	0.366	0.288	0.314	0.354	0.393	0.497	0.558
	7 g/L	4.4	0.436	0.299	0.308	0.334	0.377	0.402	0.470

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi NaOH ve H_2SO_4 çözeltileri ile yapılan ayarlama ile elde edilen en iyi atıksu absorbans ölçümü pH 7'de 5g/L $Al_2(SO_4)_3$ ilavesi ile gerçekleştirilmiştir. İşleme tabi tutulmamış atıksu absorbans değeri 0.978'dir. 5g/L $Al_2(SO_4)_3$ ilavesi ile pH 7'de elde edilen arıtılmış atıksuyun absorbans değeri 0.288'dir. Bu arıtmanın sonunda % 71 giderim sağlanmıştır.

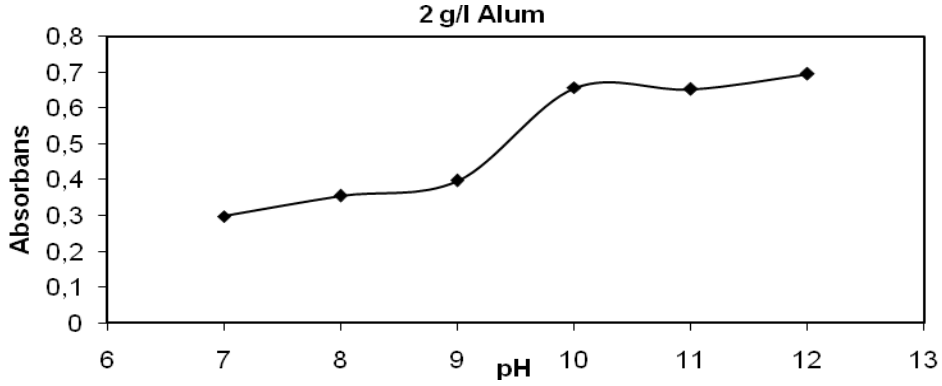
$Al_2(SO_4)_3$ çöktürücüsü ile yapılan arıtma işlemini gözleyebilmek için Çizelge 5.6'da gösterilen verilerden yararlanılmıştır. Bunun için her $Al_2(SO_4)_3$ derişimi için pH-absorbsiyon grafiği çizilmiştir. Şekil 5.39-5.44 arasında bununla ilgili sonuçlar verilmiştir.



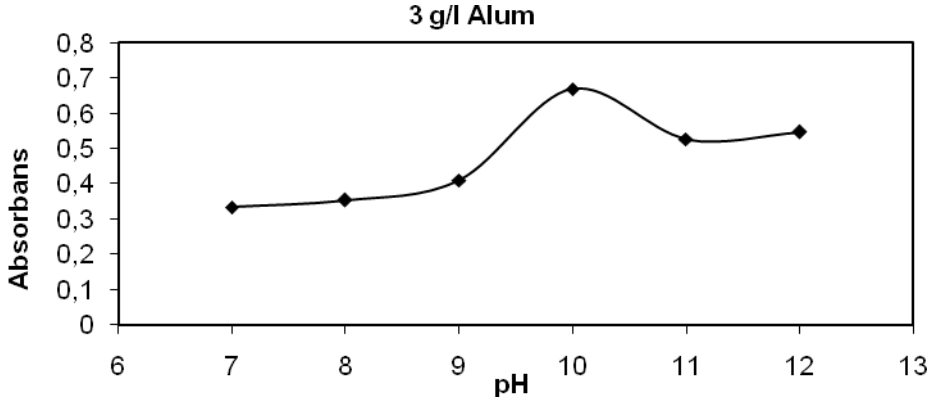
Şekil 5.39 Çöktürücü olarak 0.5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



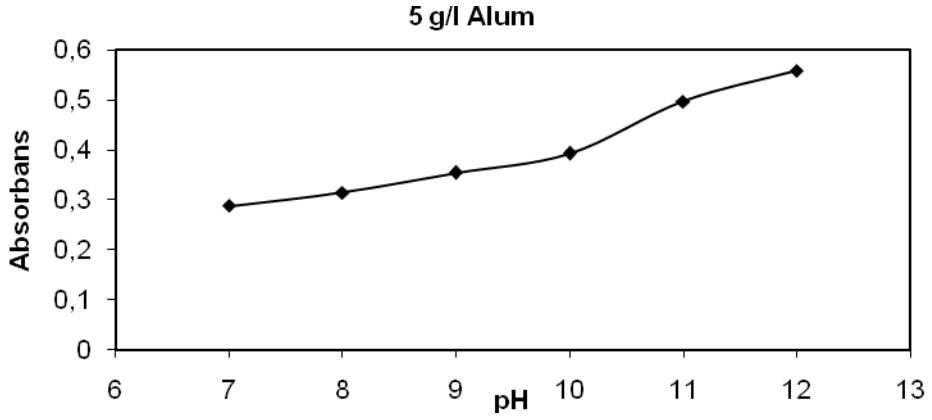
Şekil 5.40 Çöktürücü olarak 1 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



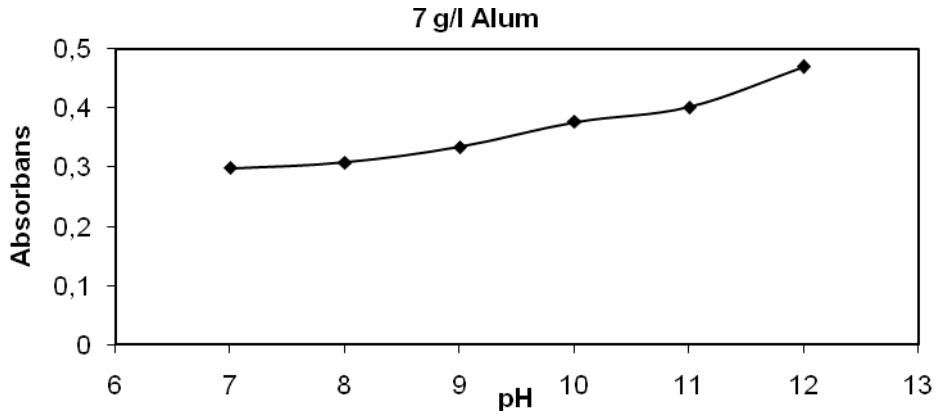
Şekil 5.41 Çöktürücü olarak 2 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.42 Çöktürücü olarak 3 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

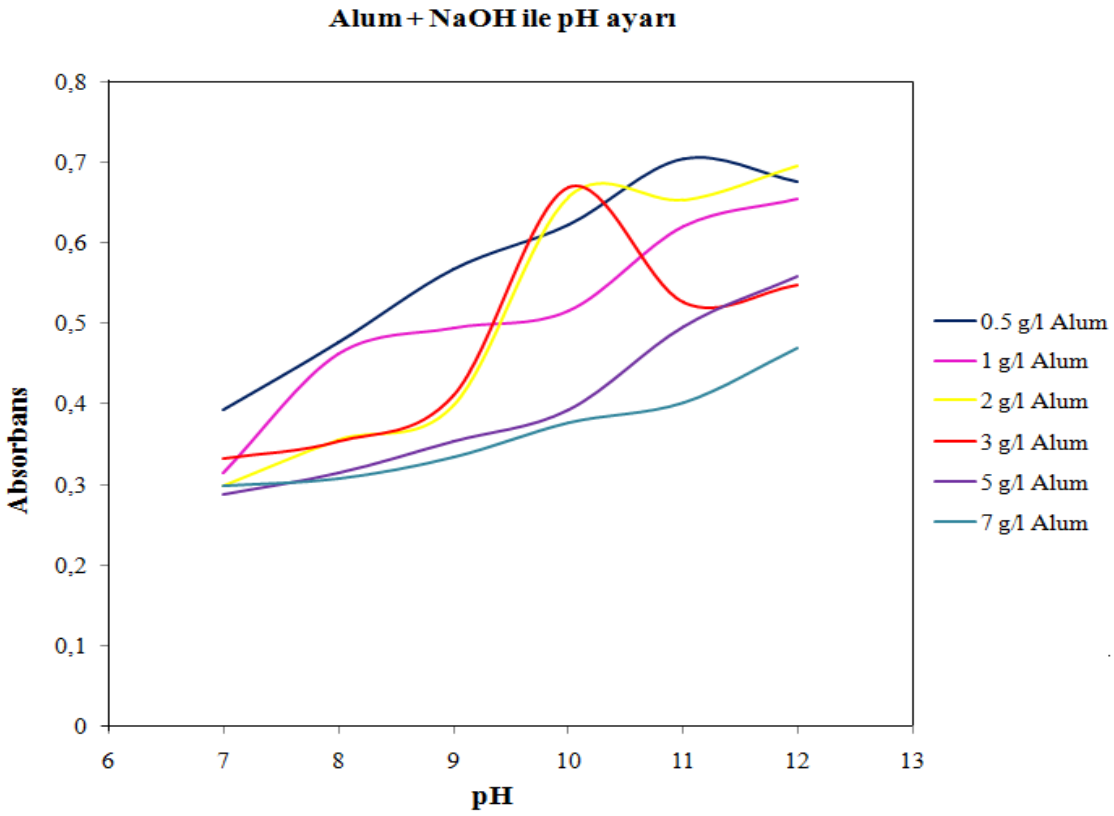


Şekil 5.43 Çöktürücü olarak 5 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.44 Çöktürücü olarak 7 g/L Alum kullanılan tekstil atıksuyunun NaOH ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Yukarıda verilen ilgili şekillerin yardımıyla ve $Al_2(SO_4)_3$'ün NaOH, H_2SO_4 çözeltilerinin kullanımıyla atıksuyun arıtılma etkinliğini gözlemek için tüm sonuçlar Şekil 5.45'te beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.45 $Al_2(SO_4)_3$ koagülantı ile çöktürme (NaOH ile pH ayarı)

Yapılan çalışmalar sonunda çöktürme yöntemi ile arıtma işlemi için $MgCl_2$'nin daha uygun olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında çeşitli pH denemeleri ile pH 12 $MgCl_2$'nin 5 g/L olacağı anlaşılmıştır. Ayrıca pH ayarı için de $Ca(OH)_2$ çözeltisinin uygun olacağı anlaşılmıştır.

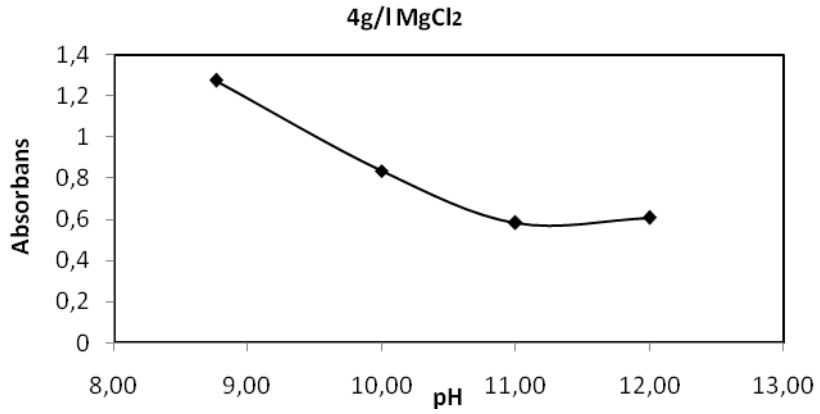
5.2.4 $MgCl_2$ için farklı atıksuda jar testi

Bir önceki bölümde $MgCl_2$ derişiminin 5 g/L olduğu ve pH'ın 12'ye $Ca(OH)_2$ ile ayarlandığında en düşük absorbans değeri bulunarak en iyi arıtma işletim şartının bulunduğu söylenmiştir. Bu kısımda ise bu sonuçların geçerliliğini görmek için aynı fabrikanın farklı dönemde alınan atıksu üzerinde benzer denemeler yapılmış ve benzer optimum şartları elde etmek için absorbans ölçümlerine bakılmıştır. Bu amaçla Çizelge 5.7'de gösterilen çalışmalar yapılmıştır. Burada pH ve $MgCl_2$ derişim aralıkları daha küçültülerek absorbans değerlerine bakılmıştır. İlgili çizelgede çöktürücü derişimleri 4-6 g/L arasında değiştirilmiş pH aralıkları ise 9 ile 13 arasında değiştirilmiştir.

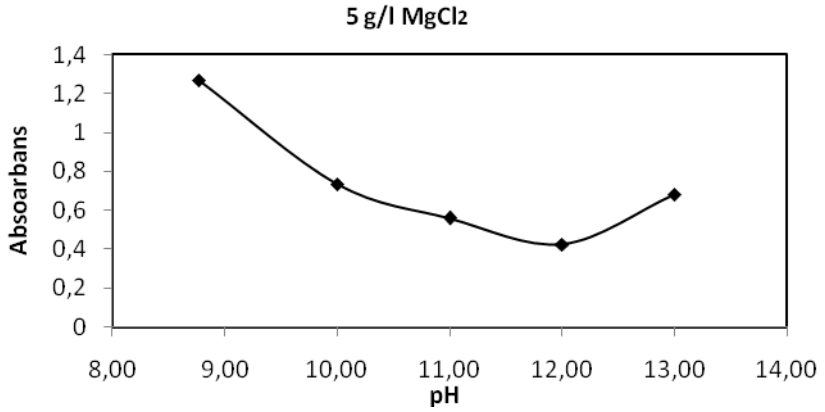
Çizelge 5.7 $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH ve farklı çöktürücü ($MgCl_2$) derişimleri kullanıldığında 500 ml'lik arıtılmış tekstil atıksuyunun absorbans değerleri

Çöktürücü derişimi g/L	pH	Absorbans	% Giderim
4,0	8,76	1,274	-
4,0	10	0,836	34
4,0	11	0,583	54
4,0	12	0,61	52
5,0	8,77	1,27	-
5,0	9	1,347	-
5,0	10	0,735	42
5,0	11	0,559	56
5,0	12	0,43	66
5,0	13	0,682	46
5,5	8,74	1,358	-
5,5	10	0,79	42
5,5	11	0,491	64
5,5	12	0,48	65
6,0	8,78	1,27	-
6,0	10	1,319	-
6,0	11	0,477	62
6,0	12	0,51	60

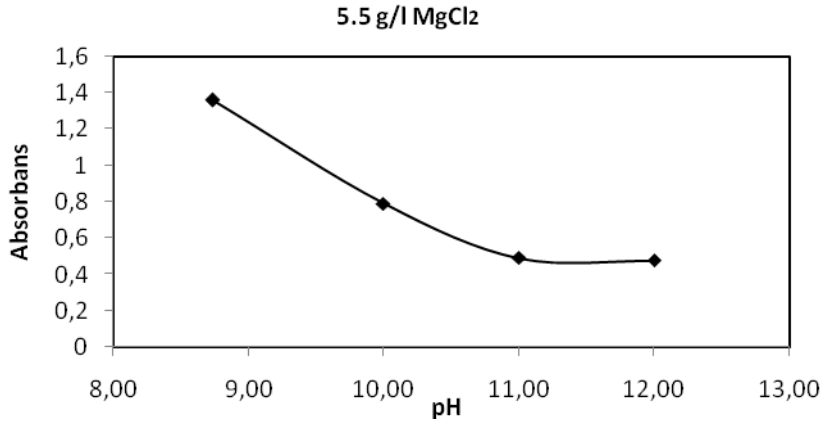
Elde edilen sonuçlara göre pH'ın 12 çöktürücü derişiminin 5 g/L olduğu şartlarda absorbans 0,43 olarak bulunmuştur. Böylece optimal işletim koşulunun atıksu farklılıklarından etkilenmediği anlaşılmıştır. Çizelge 5.7'ye ilaveten farklı $MgCl_2$ derişimleri için atıksuyun bu derişimlerde arıtılması esnasında pH absorbans derişimleri Şekil 5.46-5.49 arasında gösterilmiştir.



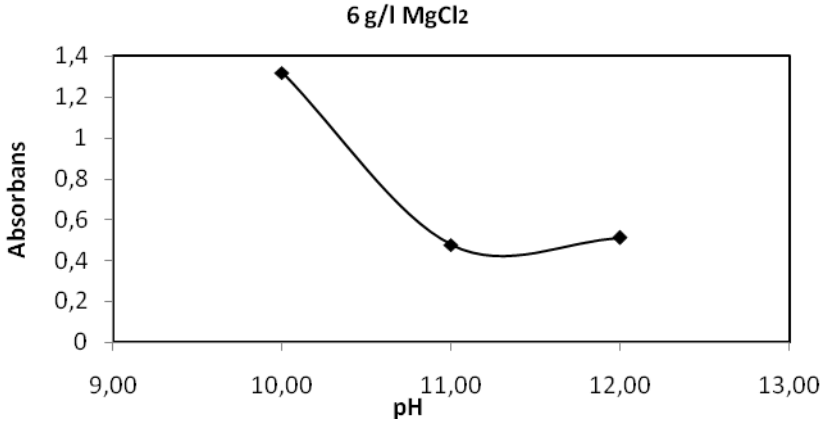
Şekil 5.46 Çöktürücü olarak 4g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.47 Çöktürücü olarak 4g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

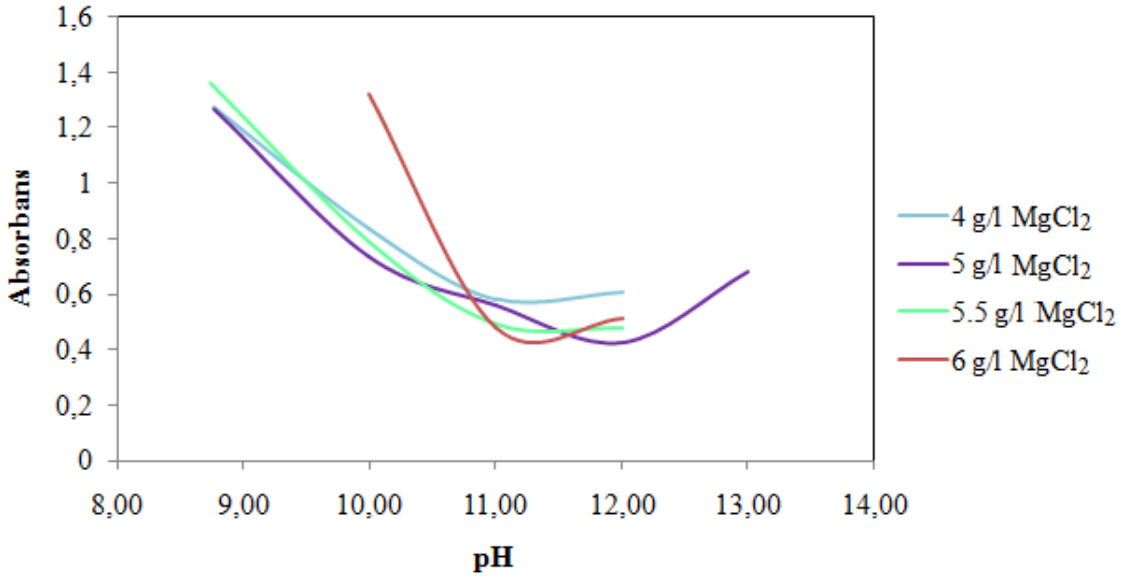


Şekil 5.48 Çöktürücü olarak 6g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri



Şekil 5.49 Çöktürücü olarak 6g/L $MgCl_2$ kullanılan tekstil atıksuyunun $Ca(OH)_2$ ile ayarlanan farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Şekil 5.50'de ise tüm çöktürme sonuçlarını pH ve $MgCl_2$ derişimlerine göre absorbans değişim değerleri gösterilmiştir. Bu bölümde yapılan tüm çalışmalar sonunda aynı tekstil fabrikasından alınan farklı atıksuların absorbans ölçüm temeline dayanılarak en iyi arıtma işletim şartının 5 g/L $MgCl_2$ ve $Ca(OH)_2$ çözeltisi ile ayarlanan pH 12 'de olduğu bulunmuştur.



Şekil 5.50 Tekstil atıksuyuna farklı çöktürücü derişimleri kullanıldığında farklı pH değerlerine karşı ölçülen absorbans değerleri

Arıtma işlemlerinden sonra arıtılmamış ve arıtılmış atıksuyun içerisinde bulunan ağır metallerin analizi yapılmışır. Bu sonuçlara bakılarak arıtmanın ne kadar gerçekleştiği gözlenmiştir. Ağır metal analiz sonuçları Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Tekstil atıksuyu ağır metal analiz sonuçları

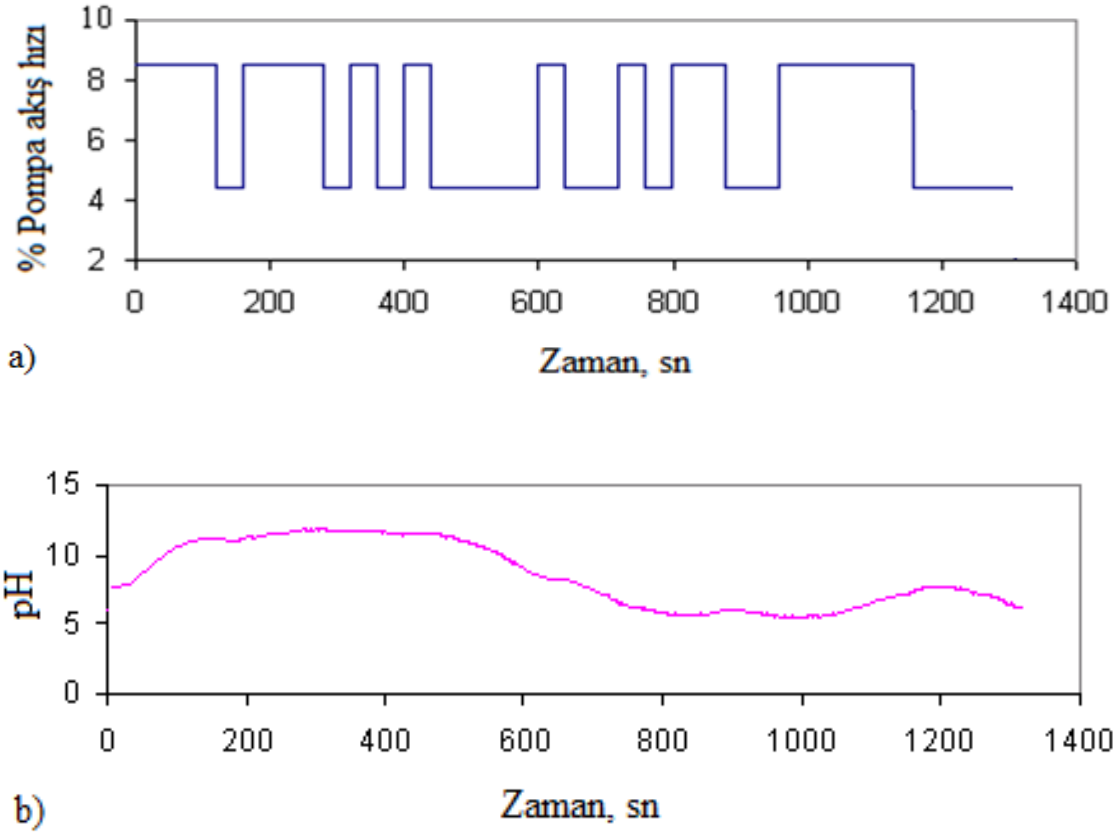
Örnek	Analit	Arıtılmamış Atıksu	ArıtılmışAtıksu
Tekstil Atıksuyu	Al	0.023 mg/L	0.032 mg/L
	B	0.045 mg/L	0.030 mg/L
	Cd	-0.013 mg/L	-
	Co	-0.013 mg/L	-
	Cr	0.047 mg/L	0.004 mg/L
	Cu	0.003 mg/L	-
	Fe	0.113 mg/L	0.006 mg/L
	Mn	0.005 mg/L	-
	Ni	-0.014 mg/L	-
	Pb	-0.009 mg/L	-
	Zn	0.56 g/L	-

5.3 Kontrol Deneyleri

Kontrol deneyleri bir önceki bölümde elde edilen optimum şartların en kısa sürede ve en iyi arıtmaya ulaşılabilmek için yapılmaktadır. Bir önceki bölümde yapılan jar testlerinde sisteme atıksu ilavesinden sonra $MgCl_2$ çözeltisine yavaş yavaş ilave edilir ve $MgCl_2$'nin 5g/L olduğu derişim için gözlenen pH≈9 değerinde olduğu gözlenir. pH≈9 değerinde iken $MgCl_2$ çözeltisi bitinceye kadar bu işleme devam edilir. Sonra $Ca(OH)_2$ ilavesi ile pH yavaş yavaş 12'ye getirilir. Bu işlem esnasında 9-12 değerleri arasında etkili bir çöktürme elde edilemez. Bunu engellemek için çöktürme esnasında pH'ın sabit kalması çok önemlidir. Bu amaçla pH kontrol deneyleri yapılmıştır. Bunun için 2 L'lik reaktöre 1 L'lik atıksu doldurulur, atıksuyu arıtmak için sisteme $MgCl_2$ çözeltisi ilave edilir ve pH ayarı için ayrı hatlardan H_2SO_4 ve $Ca(OH)_2$ çözeltileri gönderilir.

Deney sistemimizde reaktöre sürekli olarak H_2SO_4 ve $Ca(OH)_2$ çözeltileri beslenmiş ve pH kontrolü için $Ca(OH)_2$ çözeltisi ayarlanabilen değişken olarak kullanılmıştır. Etkili bir arıtmanın gerçekleşip gerçekleşmediğini görmek için de belli zaman periyotlarında numuneler alınarak arıtılmış suyun absorbans değerleri ölçülür.

Bu çalışmada tekstil fabrikasından elde edilen boya atıksuyunun GPC kontrolü yapılmıştır. Bunun için GPC kontrol yöntemi ve algoritması kullanılmıştır. GPC kontrolünün en temel içeriği olan CARIMA modelinin model parametreleri hesaplanmıştır. Bu model parametrelerinden ve GPC kontrol algoritmasından ayarlanabilen değişkenin değişimi hesaplanmıştır. Buna ilaveten bir girdi bir çıktı kontrol sistem amacına dönük bir çalışma gerçekleştirilmiştir. CARIMA model parametrelerini hesaplamak için açık hat kontrol deneyi yapılmıştır. Bunun için çıkış değişkeni pH'ı ölçülerek zamanla gözlenmiştir. Bu değişimi elde etmek için pompayla sisteme gönderilen $Ca(OH)_2$ akış hızı rastgele Pseudo Random özelliğine sahip değişime uğratılmıştır. Pseudo Random etkisi altında pH'ın zamanla değişimi elde edilmiş ve bu veriler yardımı ile CARIMA model katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 5.51 Pseudo Random etkisi ve bu etki altındaki pH'ın zamanla değişimi a) PRBS sinyalleri b) kontrol çıktıları

Yukarıdaki şekillerden elde edilen verilerle CARIMA modelin katsayıları hesaplanmış ve aşağıda gösterilmiştir.

$$y(t) = \frac{B}{\Delta A} u(t-1)$$

$$[y(t) - y(t-1)] = -a_1[y(t-1) - y(t-2)] - a_2[y(t-2) - y(t-3)] + b_0 u(t-1)$$

$a_1 = 0.5877$

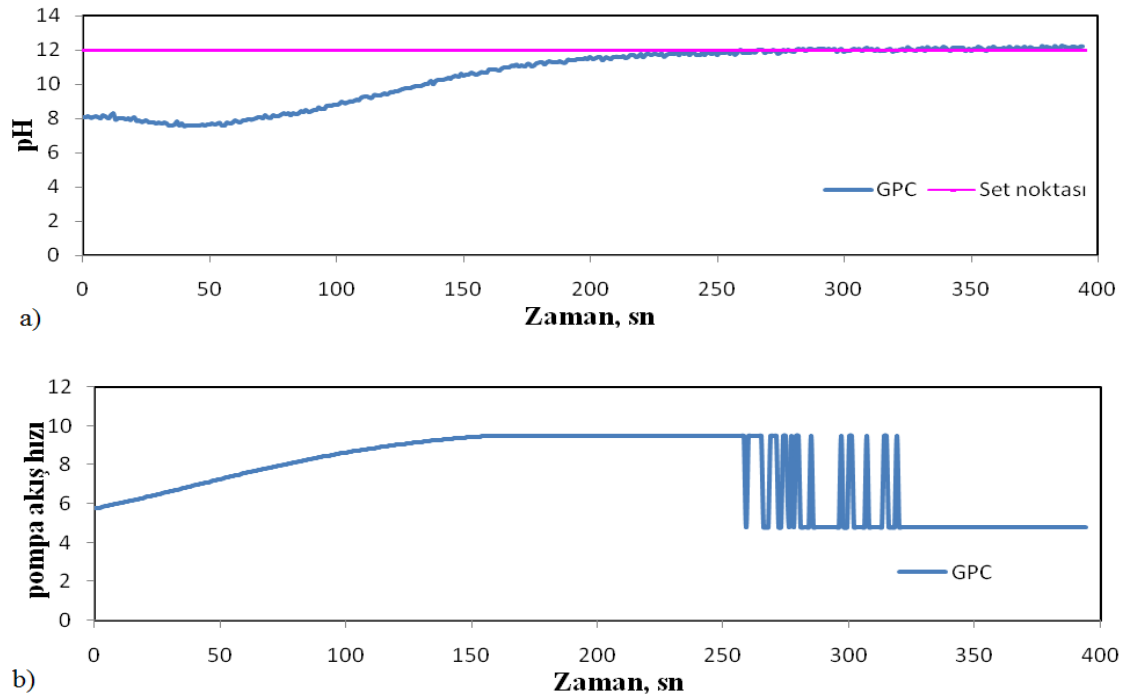
$a_2 = 0.283$

$b_0 = 0.00146$

Yukarıdaki eşitliklerden görüldüğü gibi CARIMA model ikinci dereceden alınmış ve sistem özelliğini rahatlıkla gösterecek bir model olduğu anlaşılmıştır. Parametre tahminleri için en küçük katsayılar metodu kullanılmış regrasyon katsayısı olarak R^2=0.99 bulunmuştur. Ayrıca kontrol çalışmaları için N_1, N_2, N_u da bazı sabitlerle değerlendirilmiştir ve değerleri N_1=2, N_2=7 ve N_u=1 olarak alınmıştır. Kontrol ayar parametresi olarak λ değeri ise 1.125 olarak seçilmiştir.

5.3.1 Fabrika tekstil atıksuyu üzerinde yapılan kontrol ön denemeleri

Bu kısımda gerçek fabrika atıksuyu için yapılacak GPC kontrol denemelerinden önce kontrol ön denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla bir tekstil fabrikasının atıksuyunun arıtıldıktan sonraki atıksu çıkış akımından örnek alınmış ve bunun ikinci bir arıtmaya tabi tutulması sağlanmıştır. Tekstil fabrikası atıksu arıtım tesisinden alınan numunenin arıtılmış olmasına rağmen renginin koyu renk olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle bu atıksuyun ikinci bir arıtıma gerek olduğu anlaşılmıştır. Bunun için bir önceki kısımlarda anlatılan optimum işletim şartlarında $MgCl_2$ ile çöktürme çalışması gerçekleştirilmiş ve pH=12'de çöktürmenin oluşması sağlanmıştır. Deney yöntemi önceki kısımlarda anlatıldığı gibi önce atıksu çıkışından elde edilen su numunesi reaktöre 1l olarak ilave edilmiş sonra içine belli derişimde $MgCl_2$ atılmıştır. Sonra sisteme önceden bağlı olan on-line computer sistemi ile pH'ın 12'de tutulması çalışılmıştır. Bunun için on-line bağlı computer kontrol sistemine Visual Basic programlama dilinde GPC algoritması yazılmıştır. GPC kontrol sistemini Visual Basic programlama diliyle yazılmış ve pH ölçümleri on-line olarak bilgisayara aktarılmıştır. GPC kontrol algoritması gerekli hesaplamaları yaparak ayarlanabilen değişken olan $Ca(OH)_2$'yi sisteme ileten pompanın hızını değiştirmek için sinyal göndermektedir. İlgili sinyal yardımıyla pompa hızı ayarlanmakta ve $Ca(OH)_2$ akış hızı değişmekte böylece reaktörün pH'ı 12'de sabit tutulmaktadır. Bu arıtma suyu ile ilgili grafikler Şekil 5.52'de gösterilmektedir.



Şekil 5.52 Tekstil fabrikasının atık tesislerinden çıkan atıksuyun GPC kontrolü a) pH'la zaman değişimi b) ayarlanabilen değişkenin zamanla değişimi

Bu deneyler yapıldıktan sonra arıtılmış suyun absorbans değerlerine bakılmış ve kontrol deneyleri öncesi tekstil fabrikası çıkış arıtma suyunun absorbans değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca kontrol deneyleri yapılarak elde edilen atıksuya floklaştırıcı ilave edilerek elde edilen atıksuyun absorbans değerlerine bakılmış ve ikisinin de aynı olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 5.9 İki ayrı işleme tabi tutulmuş atıksu absorbans değerleri

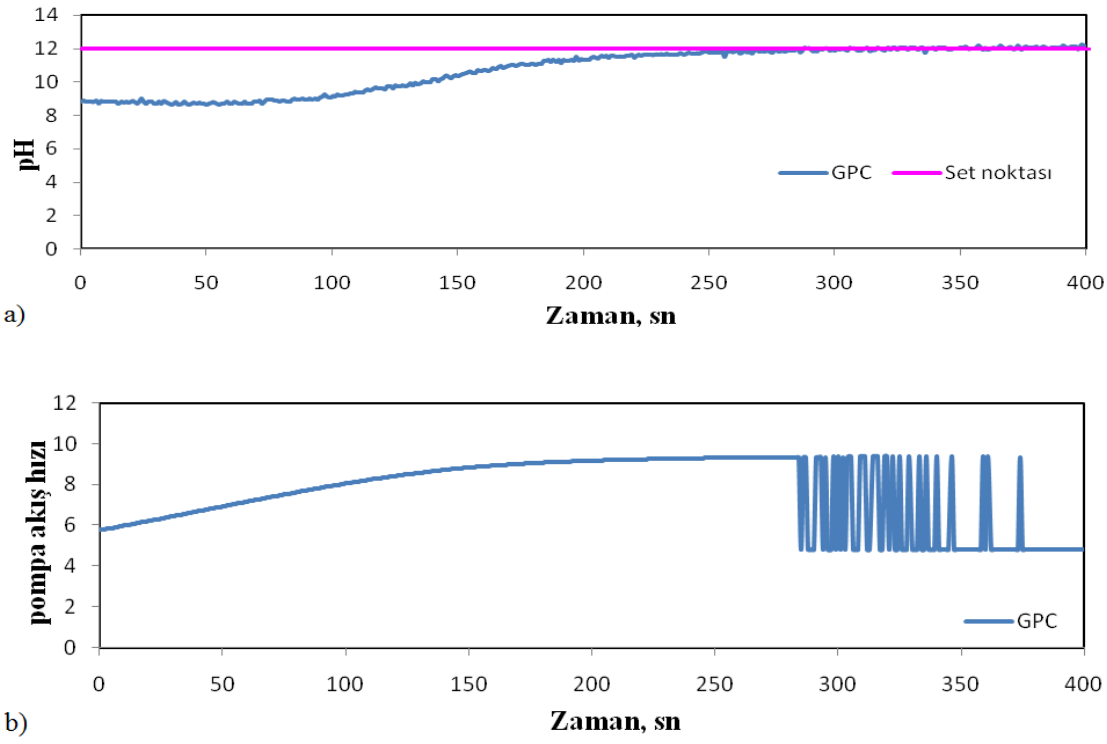
	Tekstil atıksuyu	Floklaştırıcı ilave edilmemiş numune	Floklaştırıcı ilave edilmiş numune	% Giderim
Absorbans	0.327	0.070	0.071	% 78

Çizelge 5.9'dan görüleceği üzere tekstil atıksuyunun absorbans değeri bu atıksuyun kontrol işleminden geçtikten sonraki elde edilen absorbans değerinden büyüktür ancak kontrol yapıldıktan sonra eklenen floklaştırıcının suyun arıtılmasında ve absorbans

değerinde bir etkisi yoktur. Ancak floklaştırıcı ilavesinin çöktürmeyi hızlandırdığı ve bunun absorbansın yanında iyi bir gösterge olduğu anlaşılmıştır.

5.3.2 GPC kontrol sonuçları

Bu kısımdaki GPC kontrol deneyleri bir önceki kısım 5.3.1'de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Ancak tekstil fabrikasından çıkan arıtmaya uğramamış su numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tekstil fabrikasından elde edilen tekstil atıksuyu reaktöre 1 L olarak ilave edilmiş sonra belli derişimdeki $MgCl_2$ reaktörün içine atılmıştır. Visual Basic programı ile GPC algoritmasını içeren bilgisayar on-line olarak reaktöre bağlanmış pH ölçümleri alınmış, bilgisayardan elde edilen çıkış sinyalleri ile ayarlanabilen değikeni sisteme gönderen pompanın hızı değiştirilmiştir. İstenen set noktası olan pH=12'de tutulmaya çalışılmıştır. Deneyle ilgili sonuçlar Şekil 5.53'de gösterilmiştir.



Şekil 5.53 Tekstil fabrikasından alınan atıksuyun GPC kontrolü a) pH'la zaman değişimi b) ayarlanabilen değişkenin zamanla değişimi

Tekstil fabrikasından alınan arıtılmamış suyun absorbansı 0.562 iken tekstil atıksuyunun GPC kontrolü ile pH'ı ayarlanmış ve $MgCl_2$ ile arıtılmış atıksuyun absorbansı 0.151'dir (%73 giderim). Görüldüğü gibi GPC kontrol yöntemi ile istenen düzeyde absorbans değerine sahip atıksu elde edilmiştir. Ayrıca GPC kontrol sistemi ile pH'ı 12'de tutulan atıksuyun arıtılmış hali tekstil fabrikasının atıksuyu tesislerinden elde edilen atıksudan daha iyi arıtıldığı görülmüştür. Ayrıca renk açısından da daha berrak hale geldiği görülmüştür.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

En uygun çöktürücü deneysel denemelerle belirlenmiştir. Bu çöktürmenin gerçekleştirilebilmesi için uygun işletim şartları oluşturulmuştur. Çöktürme deneyleri ilk önce 50ml'de yapılmıştır. Çöktürme işlemi için çalışma koşulları belirlenmiş, buna göre en uygun pH değeri saptanmıştır. Yapılan tüm çalışmalar sonunda aynı tekstil fabrikasından alınan farklı atıksuların absorbans ölçüm temeline dayanılarak en iyi arıtma işletim şartının 5 g/L $MgCl_2$ ve $Ca(OH)_2$ çözeltisi ile ayarlanan pH 12 'de olduğu bulunmuştur. Elde edilen işletim şartlarına göre 2 L'lik bir tepkime kabında GPC kontrollü çöktürme yapılmıştır. Kontrolsüz 500ml'lik tekstil atıksuyu için aynı optimum koşullarda yapılan çöktürme ile arıtım sonucunda %66'lık renk giderimi veya ışık geçirgenliği sağlanırken kontrol sonucunda 1 L'lik atıksu hacminde bu değer %73'e ulaşmıştır.

Arıtılmamış tekstil atıksuyunun absorbans değeri bu atıksuyun kontrol işleminden geçtikten sonraki elde edilen absorbans değerinden büyüktür ancak kontrol yapıldıktan sonra eklenen floklaştırıcının suyun arıtılmasında ve absorbans değerinde bir etkisi yoktur. Ancak floklaştırıcı ilavesinin çöktürmeyi hızlandırdığı ve bunun absorbansın yanında iyi bir gösterge olduğu anlaşılmıştır.

Çalışma şartlarında kontrol amacına dönük kullanılan baz akış hızı ile pH arasında sistem modeli bulunmuştur. Elde edilen verilerin yardımıyla GPC kontrol sistemi ile atıksuyun pH kontrolü yapılmış, ayarlanabilir değişken olarak baz akış hızı kullanılmıştır. Kontrol çalışmalarının başında uygun kontrol parametreleri bulunmuştur. GPC pH kontrolü ile tekstil boyası atığının arıtılmasındaki etkinlik gözlenmiştir. Ancak pH cevap eğrisi doğrusal olmadığından ileriki çalışmalarda doğrusal olmayan model öngörmeli kontrolün pH 12'de daha etkin kontrolü yapılıp yapılamayacağı araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Anonim. 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. (R.G., 31.12.2004 / 25687).

Akın, A.B. 2006. Farklı Yöntemlerle Hazırlanmış Aktif Çamur Biyosorbentleriyle Reaktif Boyarmaddelerin Gideriminde Adsorpsiyon Hız ve Verimliliklerinin Karşılaştırılması, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Alpbaz, M., Karacan, S., Cabbar, Y. and Hapoğlu H. 2002. Application of Model Predictive Control and Dynamic Analysis to a Pilot Distillation Column and Experimental Verification. Chemical Engineering Journal, 88, 163 -174.

Altınten, A. 2007. Generalized Predictive Control Applied to a pH Neutralization Process. Computers and Chemical Engineering, 31, 1199-1204.

Başer, İ., İnanıcı, Y. 1990. Boyarmadde Kimyası, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Bölümü, İstanbul.

Başıbüyük, M. and Kalat, D.G. 2004. The Use of Waterworks Sludge or The Treatment of Vegetable Oil Refinery Industry Wastewater. Environmental Technology, 25, 373-380.

Birgül, A. 2006. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı', Uludağ ünv. Yüksek lisans tezi, Bursa.

Birgül, A. 2007. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması. Ekoloji 15, 62, 72-80.

Bursal, N., Akay, B., Hapoğlu, H. and Alpbaz, M. 2001. New Tuning Method for Generalized Predictive Control of The Production of S. Cerevisia', Trans IChemE, vol 79, Part C.

Clarke, D.M., Mohtadi, C. and Tuffs, P.S. 1987. Generalized Predictive Control - Part I. The Basic Algorithm. Automatica, Vol.23, No 2. pp. 137-148.

Clarke, D.M., Mohtadi, C. and Tuffs P.S. 1987. Generalized Predictive Control - Part II. Extensions and Interpretations. Automatica, Vol.23, No 2. pp. 149-160.

Dayton, E.A. and Basta, N.T. 2005. Use of Drinking Water Treatment Residuals as a Potential Best Management Practice to Reduce Phosphorus Risk Index Scores. Journal of Environmental Quality, 34, 6, 2112-2117.

Gao, B.Y., Yue Q.Y., Wang, Y.and Zhou W.Z. 2007. Color Removal from Dye Containing Wastewater by Magnesium Chloride. Journal of Environmental Management 82, 167-172.

Golob, V., Vinder, A. and Simonic, M. 2005. Efficiency of Coagulation / Flocculation Method for The Treatment of Dyebath Effluents', Dyes and Pigments 67, 93-97.

Karacan, S. 1997. Dolgulu Damıtma Kolonunda Optimum Adaptif Genelleştirilmiş Prediktif Kontrolünün Uygulanması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara.

Karacan, S., Hapoğlu, H. and Alpbaz, M. 1998. Generalized Predictive Control to a Packed Distillation Column for Regulatory Problems. Computers Chem. Eng. 22, 629-632.

Karacan, S., Hapoğlu, H. and Alpbaz, M. 2001. Application of Optimal Adaptive Generalized Predictive Control to a Packed Distillation Column. Chemical Engineering Journal, 84, 389-396.

Kestioğlu, K. 1992. Tekstil Çıkı Sularından Adsorplama Tekniği İle Renk Giderimi, İ.T.Ü. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir.

Kestioğlu, K. ve Yalılı, M. 2006. Yüksek KOİ İçerikli Tekstiil Atıksularının Kimyasal Çökeltim ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliği. Ekoloji 15, 59, 27-31.

Kırdar, E. 1995. Tekstil Atıksularında Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kim, T.H., Park, C., Yang, J. and Kim, S. 2004. Comparison of Disperse and Reactive Dye Removals by Chemical Coagulation and Fenton oxidation. Journal of Hazardous Materials B112, 95-103.

Koca, M. 2006. Mavi Reaktif Boyanın Örülmüş Pamuklu Kumaşa Uygulanmasında Değişik Parametrelerin Renk Verimine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümüm, Ankara.

Leader, J.W., Reddy, K.R. and Wilkie, A.C. 2005. Optimization of Low - Cost Phosphorous Removal From Waste Water Using Co-treatments with Constructed Wetlands', Water Science and Technology, 51, 9, 283-290.

Özkan, G., Hapoğlu, H. and Alpbaz, M. 1998. Generalized Predictive Control of Optimal Temperature Profiles in a Polystyrene Polymerization Reactor. Chemical Engineering and Processing, 37, 125-139.

Özkan, G., Hapoğlu, H., Alpbaz, M. 2006. Non - Linear Generalized Predictive Control of a Jacketed Well-Mixed Tank as Applied to a Batch Process - A Polymerisation Reaction. Applied Thermal Engineering, 26, 720-726.

Papic, S., Koprivanac, N., Bozic, A.L. 2000. Removal of Reactive Dyes From Wastewater Using Fe(III) Coagulant. JSDC volume 116, 352-358.

Papic, S., Koprivanac, N., Bozic, A.L. and Metes, A. 2004. Removal of Some Reactive Dyes From Synthetic Wastewater by Combined Al(III) Coagulation/Carbon Adsorption Process. Dyes and Pigments 62, 291-298.

Sato, T. and Masuda, S. 2007. Generalized Predictive Control for Improving Intersample Performance. IEEJ Trans 2, 620-626.

Solmaz, S.K.A., Birgül, A., Üstün, G.E. and Yonar, T. 2006. Colour and COD Removal From Textile Effluent by Coagulation and Advanced Oxidation Processes. Color. Technol., 122,102-109.

Tan, B.H., Teng, T.T. and Omar, A.K. 2000. Removal of Dyes and Industrial Dye Wastes by Magnesium Chloride. Wat.Res. vol.34, No. 2, pp. 597-601.

Tanyolaç, A. ve Çelebi, S.S. 1992. Endüstriyel Atıksu Arıtımı, Kimya Mühendisleri Odası, 12s., Ankara.

Turhan, L.S. 2006. Diklorotriazin Reaktif Boyarmaddenin Selülozik Elyafa Uygulanması ve Yıkama Şartlarının İncelenmesi. Gazi ünv. Yük.lisans tezi, Ankara.

Yalçın, H. ve Gürü, M. 2002. Su Teknolojisi. Palme Yayıncılık, 36 s., Ankara.

Zhao, Y.B. and Liu, G.P. 2008. Networked Predictive Control Systems Based on The Hammerstein Model. IEEE-II: express briefs, vol.55, no.5.

Zeybek, Z., Çetinkaya, S., Hapoğlu, H. and Alpbaz, M. 2006. Generalized Delta Rule (GDR) Algorithm With Generalized Predictive Control (GPC) for Optimum Temperature Tracking of Batch Polymerization. Chemical Engineering Science, 61, 6691-6700.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Lütfiye Canan PEKEL
Doğum Yeri : ANKARA
Doğum Tarihi: 10/04/1984
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

<u>Eğitim Durumu</u>

Lise	:	Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi – Ankara, (1999-2002)
Lisans	:	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, (2002-2007)
Yüksek Lisans	:	Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü, (2007-2009)