

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Tekstil Atıksuyunda TiO₂ Nano Partiküllerinin
Oluşumu, Taşınımı ve Kimyasal Arıtımı**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burcu AKTAN**

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin SELÇUK

Temmuz 2011

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 081201002 nolu öğrencisi Burcu AKTAN tarafından hazırlanan “**Tekstil Atıksuyunda TiO₂ Nano Partiküllerinin Oluşumu, Taşınımı ve Kimyasal Arıtımı**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin SELÇUK (İstanbul Üniversitesi)
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Fehiman ÇİNER (Pamukkale Üniversitesi)
(Üye)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Sema PALAMUTÇU (Pamukkale Üniversitesi)
(Üye)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17.08.2011 tarih ve 23/13... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.


Burcu AKTAN

ÖNSÖZ

Nano partiküller çeşitli alanlarda olduğu gibi tekstil alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Tekstil atıksuyunda bulunan nano partiküllerin çevresel etkileri henüz tam olarak bilinmemektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar literatür araştırmasında verildiği gibi çok sınırlı olup TiO_2 ve metal dopingli TiO_2 partiküllerinin tekstil atıksuyundaki davranışı ve çevresel etkileri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Nano teknoloji uygulaması ile tekstil atıksuyunda bulunması muhtemel olan TiO_2 ve metal dopingli TiO_2 nano partiküllerinin kimyasal arıtımı ilk kez bu çalışmada incelenecektir. Bu kapsamda ayrıca nano partiküllerin özellikleri (boyut analizi, zeta potansiyeli, morfolojik özellikleri, miktarları) koagülant ve arıtma verimi ile (KOİ giderimi, renk giderimi vb.) ilk defa bu çalışmada ilişkilendirilecektir. Bu çalışmada emeği geçen danışmanım Doç. Dr. Hüseyin SELÇUK hocama, laboratuvar desteği için Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları Genel Sorumlusu Doç. Dr. Fehiman ÇİNER hocama, birlikte yüksek lisans eğitimini aldığım birlikte gülüp eğlendiğim sevgili arkadaşlarım Burçak BULUT, Sadık UYUM, Tuğçe GÜLTEKİN, Yasemin CEYHAN ve Derya AKTAŞ'a, lisans eğitimim boyunca yanlarında kaldığım, destek ve sevgilerinden hiçbir şeyi eksik etmeyen çok değerli dedem Nedim AKTAN ve babannem Ruhsar AKTAN'a, eğitim hayatım boyunca bana her zaman ve her şey için destek olan biricik babam Nail AKTAN, biricik annem Zevcin AKTAN ve biricik kardeşim Nedim AKTAN'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu çalışma 108M211 nolu “ TiO_2 ve Metal Dopingli TiO_2 Nano Partikül Kaplama ile Pamuklu Tekstil Yüzeylerinde Ekolojik Çok Fonksiyonlu Karakterlerin Oluşturulması, Olası Çevresel Etkileri ve Çözüm Yöntemleri” isimli TÜBİTAK projesi ve 2010FBE029 nolu BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

Temmuz 2011

Burcu AKTAN

Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1.GİRİŞ	1
1.1 Tekstil Endüstrisi.....	1
1.1.1 Tekstil endüstrisinin tanımı	1
1.1.2 Tekstil sanayiinde üretim süreci	2
1.1.3 Tekstil endüstrisi genel prosesleri.....	2
1.1.3.1 Ön terbiye	2
1.1.3.2 Haşılama	3
1.1.3.3 Yıkama ve haşıl giderme	3
1.1.3.4 Yakma.....	4
1.1.3.5 Ağartma	4
1.1.3.6 Mersevizasyon.....	4
1.1.3.7 Boyama	5
1.1.3.8 Apreleme.....	5
1.1.4 Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının özellikleri.....	5
2. NANOTEKNOLOJİ	11
2.1 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları ve Tekstil Sektöründeki Yeri.....	11
2.1.1 Nano ürünler	12
2.1.2 Nano tekstiller.....	13
2.2 Avrupa Birliği'nde Nanoteknoloji	14
2.3 Gelecekte Nanoteknoloji	15
3. TiO₂ VE TEMEL OKSİDASYON MEKANİZMASI	16
3.1 Yarı İletkenler.....	16
3.1.1 Yarı iletkenlerin başlıca özellikleri.....	17
3.2 Titanyum.....	17
3.2.1 Fiziksel özellikleri.....	18
3.2.2 Kimyasal özellikleri.....	19
3.3 Heterojen Fotokatalitik Degradasyon	20
3.3.1 Fotokatalitik sistem.....	20
3.3.2 Yarı iletken fotokatalizörler.....	21
3.3.2.1 TiO ₂ 'nin genel kullanımı ve özellikleri	22
3.3.2.2 Kristal yapı ve özellikleri.....	23
3.3.2.3 Foto katalizör olarak TiO ₂	24
3.3.2.4 TiO ₂ 'nin uygulama alanları	25
4. SOL – JEL METOTU	26
4.1 Sol-Jel Yönteminin Avantajları	26
4.2 Sol-Jel Yönteminin Dezavantajları.....	27
5. METARYEL - METOT	28
5.1 TiO ₂ NP Sol Hazırlama	28
5.1.1 Seçilen sol-jel metotlarının uygulanması.....	28
5.1.1.1 1. metot	28
5.1.1.2 2. metot	29

5.1.1.3 3.metot	29
5.1.1.4 4. metot	30
5.2 Hazırlanan Sollerin Diyaliz Edilmesi	30
5.3 Film Karakterizasyonu	31
5.3.1 Nano film kaplama.....	31
5.3.2 Filmlerin morfolojik ve yapısal özellikleri	33
5.3.3 Filmlerin optik özellikleri	33
5.3.4 Filmlerin fotoelektrokatalitik (FEK) ve fotokatalitik (FK) özellikleri	34
5.3.4.1 Elektrotların kaplanması ve fotoakımlarının ölçülmesi.....	34
5.4 Kullanılan Tekstil Atık Suyu ve TiO ₂ NP Karakterizasyonu	35
5.4.1 Tekstil atıksuyu karakterizasyonu	36
5.5 Arıtma.....	36
5.5.1 Kimyasal arıtma.....	36
5.6 Nanopartiküllerin Toksisitesi	36
6. BULGULAR	40
6.1 Hazırlanan Sollerde TiO ₂ NP'lerin Boyut Analizi	40
6.2 Farklı Metotlarla Hazırlanan Sollerin Zeta Potansiyeli	43
6.3 Filmlerin Fotoelektrokatalitik Özellikleri.....	46
6.4 Hazırlanan Sollerin Optik Özellikleri.....	48
6.5 TiO ₂ NP Oluşumu ve Taşınımı ve Arıtımı	52
6.5.1 Deney 1	52
6.5.1.1 Tekstil atıksuyundaki TiO ₂ NP'leri ve koagülasyon	53
6.5.1.2 Koagülasyon sonrası boyut dağılımındaki değişim	54
6.5.2 Deney 2	55
6.5.2.1 Koagülasyon sonrası numunelerin absorban ölçümleri	55
6.5.3 Deney 3	57
6.5.3.1 Deney 3-a.....	57
6.5.3.2 Deney 3-b.....	60
6.5.4 Deney 4	62
6.5.4.1 Deney 4-a.....	62
6.5.4.2 Deney 4-b.....	63
6.6 Sollerin Kimyasal Oksijen İhtiyacının (KOİ) Diyaliz'e Göre Değişimi.....	64
6.7 TiO ₂ NP Toksisitesi.....	65
6.7.1 Toksisite deneyi - 1	65
6.7.2 Toksisite deneyi - 2.....	65
7. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR.....	71

KISALTMALAR

NT	: Nano Teknoloji
NP	: Nano Partiküller
BOI	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
CMC	: Karboksi Metil Selüloz
AKM	: Askıda Katı Madde
FEK	:Fotoelektrokatalitik

TABLO LİSTESİ

Tablolar

1.1: Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar.....	6
1.2: Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri.....	10
5.1: Atıksu karakterizasyonu.....	35
5.2: Toksikite testinde uygulanan standart yöntemler	37
6.1: TiO ₂ sol-gel metotları ve ortalama partikül boyutu.....	43
6.2: TiO ₂ solu hazırlama metotları ve sıfır yüzey yükü pH değeri	46
6.3: Tekstil atıksuyu ile 1/4 oranında seyreltilen 1. metot'un koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları	55
6.4: Distile su ile seyreltilen 1/4 Degussa P25'in koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları	58
6.5: Tekstil atıksuyu ile 1/4 oranında seyreltilen TiO ₂ 'in (Degussa P25) koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları.....	60
6.6: Distile su ile 1/4 oranında seyreltilmiş 4.metot'un koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları	63
6.7: Tekstil atıksuyu ile 1/4 oranında seyreltilmiş 4.metot'un koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları	64
6.8: Diyalizde kullanılan su miktarına göre kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) değişimi.....	64
6.9: TiO ₂ NP'lerinin 24 ve 48 saatlik <i>D. magna</i> toksisitesi.....	65
6.10: Tekstil atıksuyu ile 1/10 oranında seyreltilmiş 4.metot ve TiO ₂ (Degusaa P25) koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları.....	66
6.11: Dört metot'un saf haldeki numunelerindeki <i>Ceriodaphnia dubia</i> ölüm oranları.....	66
6.12: Tekstil atıksuyu ile 1/10 oranında seyreltilmiş 4.metot koagülasyonu sonucu alınan numunelerdeki <i>Ceriodaphnia dubia</i> ölüm oranları.....	67
6.13: Tekstil atıksuyu ile 1/10 oranında seyreltilmiş TiO ₂ 'in (Degussa P25) koagülasyonu sonucu alınan numunelerdeki <i>Ceriodaphnia dubia</i> ölüm oranları.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

1.1: Pamuk Tekstil Proses Akım Şeması ve Oluşacak Atıklar.....	9
3.1: Yarı iletken bir maddenin elektronik yapısı.....	16
3.2: Yarı iletken bir maddenin band yapısı.....	17
3.3: Bir küresel yarı iletken partikülü.....	21
3.4: Çeşitli metal oksitlerin valens band boşluklarının enerji değerleri.....	22
3.5: a) Rutil, b) Brokit ve c) Anataz'ın kristal yapıları.....	24
3.6: Bir TiO ₂ molekülünün model kristal yapısı	24
3.7: Isık ile uyarılmış bir yarı iletkenin dış ortamla elektron değiş tokuşu.....	25
5.1 1.Metot hazırlama şeması.....	28
5.2 2.Metot hazırlama şeması.....	29
5.3 3.Metot hazırlama şeması.....	29
5.4 4.Metot hazırlama şeması.....	30
5.5 pH dengelemesi yapılan sol-jel'ler-1.....	31
5.6 pH dengelemesi yapılan sol-jel'ler-2.....	31
5.7 Reymak R-DC 430 Daldırma-Çekme Cihazı-1.....	32
5.8 Reymak R-DC 430 Daldırma-Çekme Cihazı-2.....	32
5.9 Nano-ZS90 cihazı.....	33
5.10 UV-Vis spektrofotometre.....	34
5.11 FEK reaktör sistemi.....	35
5.12 Daphnia Magna.....	37
5.13 Ceriodaphnia Dubia.....	38
5.14 <i>Ceriodaphnia dubia</i> ile Toksikite Deney Düzeneği.....	38
5.15 Toksikite Deney Düzeneği.....	39
6.1: 1.Metot ile elde edilen TiO ₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı	40
6.2: 2.Metot ile elde edilen TiO ₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı.....	41
6.3: 3.Metot ile elde edilen TiO ₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı.....	41
6.4: 4.Metot ile elde edilen TiO ₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı	42
6.5: TiO ₂ solu hazırlama metotları ve partikül boyut dağılımı.....	42
6.6: 1.Metot ile hazırlanan TiO ₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi.....	44
6.7: 2.Metot ile hazırlanan TiO ₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi.....	44
6.8: 3.Metot ile hazırlanan TiO ₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi.....	45
6.9: 4.Metot ile hazırlanan TiO ₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi.....	45
6.10: Farklı metotlarla hazırlanan TiO ₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi.....	46

6.11: 1. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü	47
6.12: 2. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü	47
6.13: 3. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü	48
6.14: 4. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü	48
6.15: 1. Metot ile hazırlanan TiO ₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması.....	49
6.16: 2. Metot ile hazırlanan TiO ₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması.....	49
6.17: 3. Metot ile hazırlanan TiO ₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması.....	49
6.18: 4. Metot ile hazırlanan TiO ₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması.....	50
6.19: Farklı metotlarla hazırlanan TiO ₂ NP'lerinin UV-Vis spektrum taraması.....	50
6.20: Sol hazırlama metotları sonrası nano partiküllerin görünümü (1) 1. Metot , (2) 2. Metot, (3) 3. Metot, (4) 4. Metot.....	51
6.21: pH değerinin bakiye TiO ₂ konsantrasyonu üzerindeki etkisi.....	52
6.22: Seyreltmenin sudaki bakiye TiO ₂ konsantrasyonu üzerindeki etkisi.....	53
6.23: Bakiye Ti 'nin distile su ve tekstil atıksuyundaki koagülasyonu.....	53
6.24: Distile sudaki TiO ₂ NP'lerinin kontrolünde pH'ın etkisi.....	54
6.25: Koagülasyon sonrası supernatantların partikül boyut dağılımı (pH=8).....	54
6.26: FeSO ₄ koagülasyonundan sonra pH'ın partikül boyut dağılımı üzerindeki etkisi	55
6.27: Kullanılan ham tekstil atıksuyunun UV-Vis spektrum taraması.....	56
6.28: 1/4 oranında tekstil atıksuyu ile seyreltilen 1.yöntem 'in alum ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması.....	56
6.29: 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen 1.yöntem 'in FeSO ₄ ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması.....	57
6.30: 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen 1.yöntem 'in FeCl ₃ ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması.....	57
6.31: 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması.....	58
6.32: 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin FeSO ₄ ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması.....	59
6.33: 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü.....	59
6.34: 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin FeSO ₄ ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü.....	60
6.35: 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması.....	61
6.36: 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen degussa 'nin FeSO ₄ ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması.....	61
6.37: 1/4 oranda atıksu ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü.....	62

6.38 1/4 oranda atıksu ile seyreltilen degussa 'nin FeSO ₄ ile koagulasyonu sonucundaki ICP ölçümü.....	62
6.39: 1/4 oranda distile su ile seyreltilen 4.Metot ile hazırlanan solün alum ile koagulasyonu sonucundaki ICP ölçümü.....	64
6.40 1/4 oranda atıksu ile seyreltilen 4.Metot ile hazırlanan solün alum ile koagulasyonu sonucundaki ICP ölçümü.....	64

ÖZET

TEKSTİL ATIKSUYUNDA TiO₂ NANOPARTİKÜLLERİNİN OLUŞUMU, TAŞINIMI VE KİMYASAL ARITIMI

Nano teknoloji (NT) en az bir nanometre boyutunda olan atom ve moleküllerin kontrolünde gelişmekte olan bir disiplinler arası bir teknolojidir. Bu özelliği birçok alanda NT uygulamaları sağlar. Nano-malzemelerin bu ilgi çekici özellikleri de tekstil sektörünü etkilemiştir. Son zamanlarda nano parçacıklar (NP'lerin), anti-bakteriyel özellik, kırışıklık direnci, su iticilik gibi yeni işlevler oluşturmak için tekstil ürünleri içine dahil edilmiştir. TiO₂ NP'leri kendi kendini temizleyen ve antibakteriyel nano tekstillerin gelişmesinde en çok kullanılan NP'lerdir. Ancak, bilimsel literatürde insan ve çevre sağlığı, için NP'lerin olası olumsuz etkilerinin giderek artması ve atıksu çalışmalarının bu konuda yetersiz olması giderek riskli bir hal almıştır. Bu çalışmada, tekstil atıksuyundaki TiO₂ NP'lerin oluşumu ve taşınımı araştırılmıştır. TiO₂ NP'lerin hazırlamak için Sol-jel yöntemi kullanılmıştır. TiO₂ NP'lerin sulu ortamdan arıtımı için farklı şartlar altında demir ve alüminyum koagülanları kabul edilip uygulanmıştır. TiO₂ NP'lerin kaplama atıksuyu ham tekstil atık suyu ile karıştırılmıştır ve karışık tekstil atıksuyundaki TiO₂ NP'lerin kontrolü için koagülasyon metotları uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil Atıksuyu, Titanyum Dioksit, Kendi Kendini Temizleme, Nano Partiküller, Arıtma, Koagülasyon

ABSTRACT

FATE, TRANSPORT AND CHEMICAL TREATMENT OF TiO₂ NANO PARTICLES IN THE TEXTILE WASTEWATER

Nano technology (NT) is an emerging interdisciplinary technology, controlling atom and molecules with at least one dimension of nanometer size. This feature provides applications of NT in many areas. These challenging properties of nano-materials have also attracted textile industry. Recently nano particles (NPs) have been incorporated into textile products to create new functionalities such as anti-bacteria, wrinkle resistance, water repellence, and so on. TiO₂ NPs are the most studied NPs to develop self-cleaning and antibacterial nano textiles. However, the increasing warning issue of possible negative effects of NPs to human and environment health, published in the scientific literature, may come true due to the risk of possible release of NPs into the process wastewater and then aquatic environment in the case of their insufficient entrapment in the treatment process. In this study, fate and transport pathways of TiO₂ NPs in the textile wastewater system was investigated. Sol-gel method was used to prepare TiO₂ NPs. Iron and aluminum coagulations were applied under different condition to find out the efficient conditions for the treatment of TiO₂ NPs from aqueous solution. TiO₂ NPs coating wastewater was also mixed with the raw textile wastewater and coagulation methods were also applied to control TiO₂ NPs in the mixed textile wastewater.

Keywords: Textile wastewater, titanium dioxide, self-cleaning, nano particles, treatment, coagulation

1. GİRİŞ

Tekstil sektörü tüm dünyada ülkelerin ekonomilerini etkileyen bir sektördür. Milyonların istihdam edildiği sektörün dünya ticaretindeki payı %5.6'dır. Avrupa birliği %15 ile ABD'den sonra dünyanın en büyük tekstil ürünleri ihracatı payına sahiptir. Fakat bunun yanında AB ülkeleri aynı zamanda dünyanın tekstil ürünleri ülkeleri arasında %20 ithalat payı ile dünyanın en büyük tekstil marketini oluşturmaktadır [1].

Avrupa bölgeleri içerisinde tekstil ihracatının %63'ni Türkiye yapmaktadır ve Avrupa tekstil sektöründe çok önemli bir paya sahiptir. Türkiye'yi %11.6, %9.2 ve %5.6 ile sırasıyla Almanya, İngiltere ve Fransa izlemektedir. Toplam ihracatımızın %32'ni oluşturan tekstil sektörü aynı zamanda yüksek oranda istihdam sağlamaktadır [2].

Tekstil sektörü nanoteknoloji'nin kullanım alanlarından biridir. Tekstil ürünlerine su tutmama, leke tutmama, antibakteriyel olma, kendi kendini temizleme vb. gibi farklı özellikler vermek amacıyla nanoteknoloji kullanımı hızla devam etmektedir. Bu kullanım sonucunda oluşan nanopartiküllerin çevreye olumlu yada olumsuz etkileri olmaktadır. Bu etkilerin belirlenmesi ve buna göre önlem alınması gerekmektedir. Bu çalışmada tekstil atıksularında oluşacak nanopartiküllerin oluşumu, taşınımı ve artırılması araştırılacaktır. Böylece bu çalışma tekstil proseslerinde oluşacak olan nanopartiküllerin kontrolünde bir yol gösterici olacaktır.

1.1 Tekstil Endüstrisi

1.1.1 Tekstil endüstrisinin tanımı

Tekstil sektörleri tüm sektörler içerisinde en karmaşık üretim proseslerine sahiptir. Yıkama, mercerizasyon, haşılama, boyama, bitirme gibi çok farklı proseslerde kullanılan ve büyük bir çoğunluğu insan sağlığına ve çevreye zararlı olan kimyasallar, deterjanlar, pestisitler, biyositler, boyalar gibi bileşikler proseslerde kullanılan yüksek oranda suyla birlikte çevreye verilmektedir. Bundan dolayı tekstil

sektörü kirleticilerin ve su tüketiminin azaltılması hususunda IPPC direktifleri çerçevesinde yer almaktadır.

1.1.2 Tekstil sanayiinde üretim süreci

Pamuklu tekstilde; pamuktan iplik elde edilmesi, bu ipliğin dokunup kuşmaş hale getirilmesi bilinen konulardır. Çırçır fabrikalarında çekirdekli pamuk, çekirdek ve elyaftan ayrılır ve iplik üretimi için harmanlanır, temizlenir, taranır. Daha sonra bükülerek iplik elde edilmesi sağlanır. Çeşitli kalite ve türde elde edilen iplikler, dokuma fabrikalarında veya daha küçük çaplı atölye tipi tezgahlarda dokunur, kumaş haline getirilir [3].

Dokumahaneden çıkan ham beze, satışa hazır bir duruma gelmeden kullanma yeri ya da moda isteğine göre görünüm, tutum gibi özelliklerin kazandırılması amacıyla uygulanan beyazlatma(ağartma), renklendirme(boyama ,baskı) ve apre(bitim) işlemlerinin tümüne terbiye denir. Terbiyede işlem gören tekstil ürünleri farklı şekil ve formlarda olabilir . Genellikle yüzey haline getirilmiş yani dokuma, örme veya dokusuz yüzey (elyaf(lif), iplik ve dokuma-örgü kumaş) şeklinde olmalarına karşın bunların dışında değişik şekillerde ki tekstil ürünlerinin terbiye işlemleri de yapılmaktadır. Örneğin; açık elyaf, band, kops, çile veya bobin halindeki iplikler ve çözgü levendi, kumaş levendi terbiyesi gibi...Ancak daha önce de belirtildiği gibi genellikle dokunmuş, örülmüş veya dokusuz yüzey haline getirilmiş durumdaki tekstil malzemelerinin veya yine bunlardan yapılmış hazır tekstil ürünlerinin (bitmiş) terbiyesi yapılmaktadır. Terbiye işlemlerinde önemli olan husus; kumaşın yapılan işlemler sırasında, aşırı zorlanmaması, hırpalanmaması ve yıpratılmamasıdır. İşlemler sırasında görebileceği zararlar en düşük seviyede tutulmalıdır.

1.1.3 Tekstil endüstrisi genel prosesleri

Tekstil endüstrisinde üretimde yer alan proses ve işlemler, işlenen elyafa bağlı olmaksızın tanım olarak birbirine benzerler. Endüstride uygulanan ana işlemler, ön terbiye, haşılama, haşıl sökme, yakma, ağartma, merserize etme, boyama, apreleme olmak üzere gruplanabilirler[4].

1.1.3.1 Ön terbiye

Kumaşa doğrudan satış için artı bir değer kazandırmayan işlemlerdir. Daha çok bir tekstil ürününü terbiyede sonraki işlemlere hazırlayan, genelde ekstraktif yani üründe ağırlık kaybına neden olan işlemlerdir. Ön terbiye işlemleri özellikle doğal lifler için

büyük önem taşımaktadır. En fazla ön terbiye işlemi pamuklu kumaşlar için söz konusudur. Örneğin; fırça-makas, haşıl sökme, pişirme, kaynatma (hidrofilleştirme), ağartma (kasar), mersevizasyon gibi. Ön terbiye işlemleri genelde hazırlama amaçlıdır. Kumaşta fazla bir değer artışı yaratmazlar. Bu nedenle pasif işlemlerdir. Mümkün olduğu kadar bu işlemler kombine edilerek bir arada ve optimum maliyetle yapılmalıdır. Ama mutlaka gerektiği kadar ve özenli bir şekilde yapılmalıdır[5].

Pamuk elyafı yapısı gereği sarımsı renkte ve doğasından ileri gelen bazı safsızlıklar ile kirlenir. Bu sebeple boyamaya işlemi yapılacak pamuk öncelikle bu safsızlıkların giderilmesi için uygun metotlar ile ön işlemlere tabi tutulurlar. Dokunmuş veya örülmüş kumaşın boya veya baskıya hazır duruma gelene kadar gördüğü işlemlere ön terbiye denir. Ön terbiyenin önemi büyüktür. Çünkü terbiye işlemleri kumaşların takip eden diğer işlemlerinde görülen hataların yaklaşık %60-70 ni kapsar[6].

1.1.3.2 Haşılama

İnce kumaşların dokunması esnasında çok ince iplik kullanılır. Fakat bu incelikteki iplik, dokuma sırasında maruz kalacağı gerilimlerin etkisiyle kopar. Bu tür durumlarda, nişasta ve dekstrin gibi maddeler kullanılarak kumaş geçici olarak sağlamlaştırılır. Bu işleme haşılama denir [4,7,8].

Haşıl maddesi, dokuma sırasında meydana gelebilecek aşınma ve kopmaları önlemek için çözümlü ipliklerine uygulanır. Böylece çeşitli mekanik zorlamalarla karşı karşıya kalan lifler birbirine daha iyi yapışarak, daha kapalı, daha sağlam bir hale gelir ve kayganlıklarının artması sağlanarak dokumada performans artırılır [9]. Haşıl maddeleri çoğunlukla doğal nişastalar, modifiye selülozlar ve sentetiklerdir. Sentetik ipliklerde haşıl maddesi olarak nişasta bileşikleri yerine polivinil alkol, karboksi metil selüloz ve poliakrilik asit gibi maddelerin kullanımı biyolojik oksijen ihtiyacını azaltır. Atıksulardaki biyolojik oksijen ihtiyacını artıran en büyük etkenler arasına haşıl maddeleri girmektedir [10].

1.1.3.3 Yıkama ve haşıl giderme

Pamuk elyafı, ham madde menşesine bağlı olarak % 8 – 12 yabancı madde içermektedir. Dokuma kumaşlarda % 10 – 15 civarında bir yabancı madde de haşıl maddelerinden gelmektedir. Dokuma öncesi yapılan haşılama işleminde kullanılan nişasta, polivinil alkol veya benzeri haşıl maddelerinin deterjan/su uzaklaştırılması gerekir. Bu işleme “haşıl sökme” denir [3]. 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 bisülfid ve deterjanlar, nişastanın hidrolizi için asitler ve enzimler kullanılır. Uygulanan elyafın cinsine göre; kullanılacak kimyasal, suyun sıcaklığı ve temas süreleri değişir. Yıkama toplam atık yükünün %30 artmasına sebep olur. Boyama proseslerinden önce haşıl maddelerinin giderilmesi önemlidir. Aksi halde haşıl maddeleri boyanın elyafa nüfus etmesini engeller veya boyanın rengini değiştirir [4,7,8].

1.1.3.4 Yakma

Yakma işleminde amaç, kumaşı oluşturan ipliklerden çıkan lif uçlarını (hav tüycüklerini) uzaklaştırmaktır.

1.1.3.5 Ağartma

Haşıl sökme ve yıkama ile giderilemeyen renk verici maddeleri gidermek için ağartma prosesi uygulanır. Doğal renklendiricileri gidermek için bu aşamada hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit, sodyum klorür ve SO₂ gazı gibi maddeler kullanılır. Bunlardan hidrojen peroksit özellikle pamuklu kumaşların ağartılmasında kullanılır. Peroksit su ve oksijene bozunur ve çözünmemiş katı parçalar yada gözlenebilen artıklar bırakır. Peroksit ilavesi atık akımında oksijen miktarını artırır [4,7,8].

Ağartma prosesi 3 adımda gerçekleştirilir;

1. Kumaş; ağartıcı maddeler, aktiveleştirici katkı maddeleri, stabilizör ve diğer gerekli kimyasallarla doyurulur.
2. Kumaşın, yeterli sıcaklıkta, yeterli süre ağartıcıyla teması sağlanır.
3. Kumaş yıkanır ve kurutulur [4,7].

Tekstil atıksularında toplam BOİ'nin yaklaşık %5'i ağartma prosesinden gelmektedir [7].

1.1.3.6 Mercerizasyon

Mercerizasyon işleminin asıl amacı pamuk elyafının parlaklığını düzenlemektir. Mercerizasyon sonucu, pamuk lifleri daha pürüzsüz bir görünüm kazanır. Doğal

pamuklu elyaftan %20 daha kuvvetli bir hal alır ve boyamada affinitesi artar. Pamuklu dokumaların arıtılması NaOH çözeltisi ile yapılmaktadır. Bu uygulama, daha çok dokumanın boyanabilmesi ve absorblama karakterini düzeltebilmek içindir. Merserizasyondan çıkan atıksular yüksek alkalinite ihtiva eder [4,7,8].

1.1.3.7 Boyama

Boyama işlemi bir çok yolla ve yeni boyalar, yardımcı kimyasallar eklenerek yapılır. Kirlilik yükünün %20 - %40 ' mı oluşturmasına karşılık yüksek derecede renklilik ve çok miktarda atık oluşturur [4,7,8].

1.1.3.8 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 [4,7,8].

1.1.4 Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının özellikleri

Pamuklu tekstil endüstrisi üretim sistemi haşıl sökme, pişirme, ağartma, merserizasyon işlemi, baskı, çalkalama, yeniden haşılama ve bitirme işlemlerinden oluşmaktadır. Pamuklu tekstil atıkları alkali özellikte, işlenen boyanın renginde ve debisi yüksek atıklardır. Pamuklu, yünlü ve sentetik tekstil endüstrilerinde işlem değişimi, kimyasal madde değişimi ve bitim işlemlerinin değişimi atıksularının karakterinin de çok değişmesine neden olmaktadır. Tekstil endüstrisinde atıksular miktar ve bileşim yönünden çok değişkendirler. Bu atıklar liflerde mevcut olan doğal safsızlıklar ve sistemlerde kullanılan kimyasal maddelerdir.

Tekstil atıksularında bulunan bazı kimyasallar Tablo 1.1 de verilmiştir[14].

Tablo 1.1 Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar

Tanımlama	Örnekler	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür Sodyum sülfat Magnezyum sülfat	Boyannın elyafa geçirilmesi Elyafın zeta potansiyelini nötralize etmek Geciktirici
Asitler (mineral)	Hidroklorik asit Sülfürik asit Fosforik asit Borik asit	pH kontrolü Nötralizasyon Reçine artıklarının temizlenmesi Arta kalan boyaların temizlenmesi
Asitler (organik)	Formik asit Asetik asit Oksalik asit Sitrik asit	pH kontrolü Reçine küründe katalizör
Alkaliler	Kostik Soda külü Trisodyum fosfat Sodyum bikarbonat Amonyak Sodyum metasilikat Potasyum ortosilikat Sodyum pirofosfat Boraks Disodyum fosfat	pH kontrolü Peroksitle kasarda aktivatör Reaktif boyalarla boyanan elyaflar için aktivatör Nötralizasyon Merserizasyon
Tampon çözeltiler	Monosodyum fosfat	pH kontrolü
Ayraçlar	Etildiamin tetraasetik asit	Kompleks sertlik sağlama Geciktirici Boyannın elyafa uygulanmasını düzenleme
Disperse olan ve yüzey aktif maddeler	Anyonik Katyonik Non-iyonik	Dispers boyalar Yumuşatıcılar Boyannın elyafa uygulanmasını düzenleme
Oksidanlar	Peroksit Sodyum klorit Sodyum hipoklorit Perborat Perkarbonat Periyodat Permanganat Dikromat	Kasar Arta kalan boyaların çıkarılması
İndirgeyici	Sodyum hidrosülfid Sodyum bisülfid Tiyosülfat Tiyöüre dioksit	Vat ve sülfür boyalarının çözündürülmesi Arta kalan boyanın giderilmesi

Tablo 1.1 Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar (Devam)

Taşıyıcılar	Fenil fenoller Klorlu benzenler	Absorbsiyonu arttırıcı
Ağır metaller	Bakır Krom Kobalt	Boyanın elyafa tutunmasını arttırmak
Bükücü yağlar Boyar maddeler	Çeşitli	Elyafı boyamak için bükme proseslerine ilave edilir

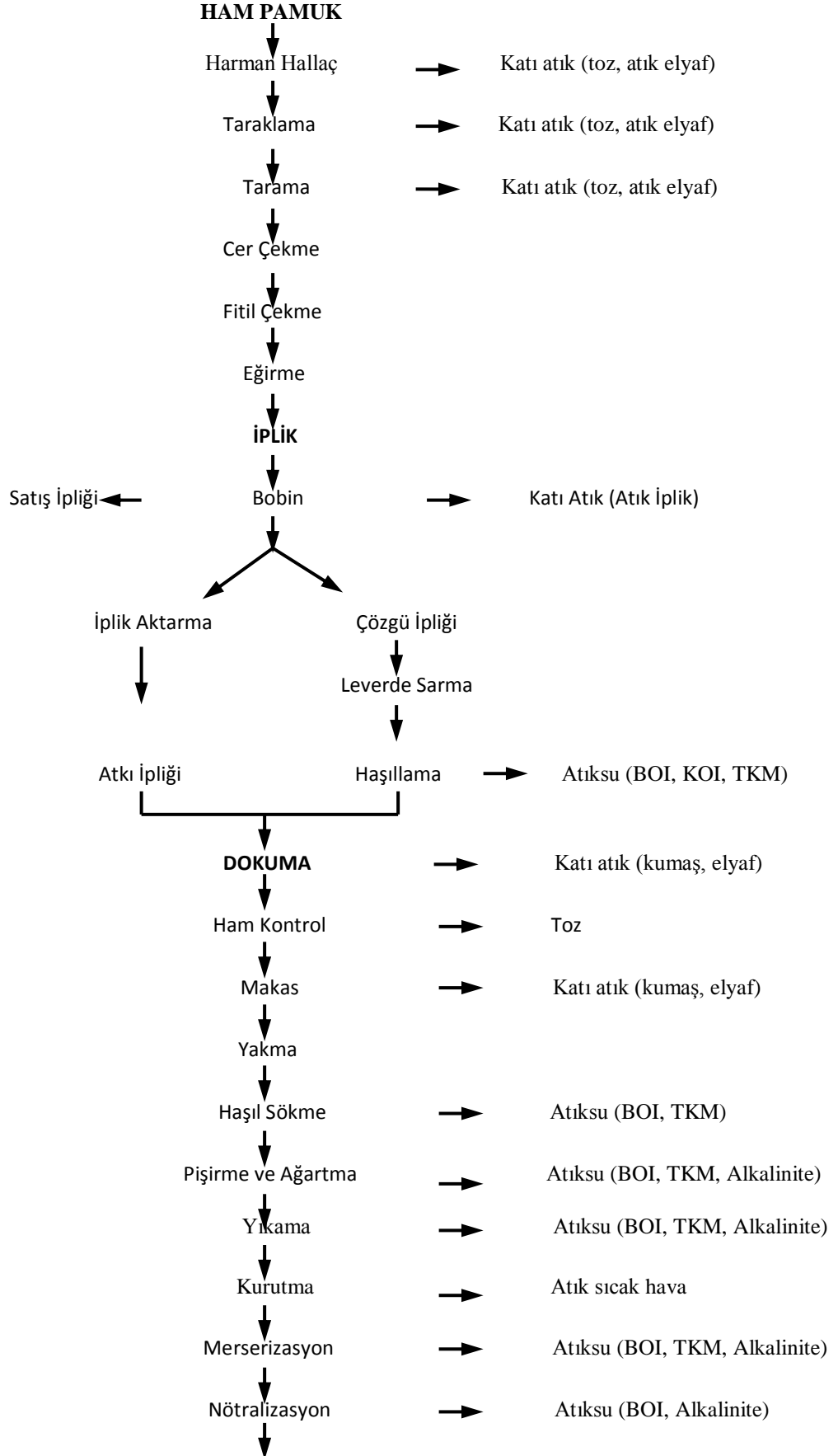
Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının kirlilik unsurları; organik madde içeriğinin yüksek oluşu, pH'ın yüksek oluşu, toksik maddelerin bulunması, sıcaklığın yüksek oluşu, deterjan ve sabun içeriğinin olması, yağ ve gres, sülfür, katı maddeler ve alkalinite içermesi şeklinde özetlenebilir. Tekstil atıksularında çoğunlukla, boyalar, taşıyıcılar, krom ve türevleri ile sülfür bulunabilmektedir. Boyamada ayrışmaya karşı çok dayanıklı boyaların kullanılması istendiğinden, oluşan boya artıkları da biyolojik ayrışmaya karşı dayanıklıdır ve zor ayrışır [11].

Pamuklu tekstil fabrikalarında kirlilik yaratan işlemlerden birisi haşılammadır. Haşıl maddeleri çoğunlukla doğal nişastalar, çeşitli selülozlar ve sentetiklerdir. Nişasta bileşikleri yerine Karboksi Metil Selüloz (CMC) yani sentetik haşıl maddelerinin kullanımı BOİ' yi azaltır. CMC ve diğer haşıl maddeleri 5 günde çok düşük BOİ verirler. Ancak bu bileşikler daha uzun sürede daha yüksek BOİ (BOİ₂₀) verirler. Ortalama büyüklükte bir pamuklu tekstil tesisi için, nişastalı atıklar toplam atıksu hacminin %16'sını, toplam BOİ'nin %53'ünü toplam katıların %36'sını ve alkalitenin %6'sını teşkil etmektedir [11].

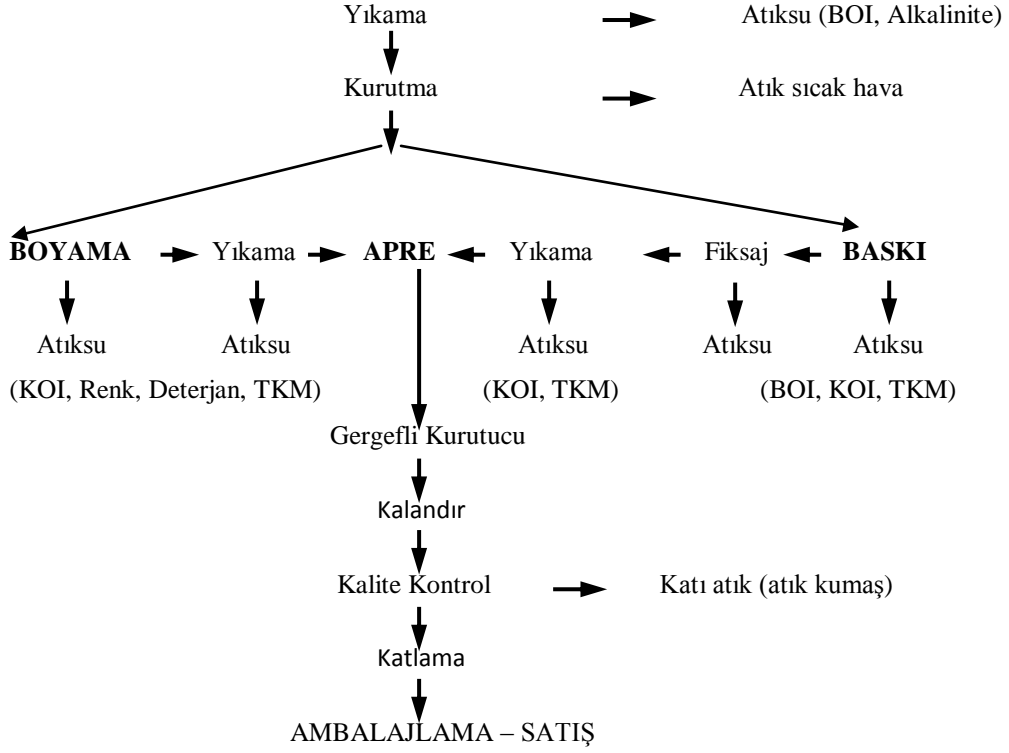
Haşıl sökme maddesi olarak polivinil alkol kullanılmaktadır. Bu madde, deterjan/su çözeltisi ile uzaklaştırılabilir. Atıksularda bulunan deterjanlar biyolojik sistemlerde köpük problemi yaratırlar ve 1 ppm konsantrasyonda bakteriler için öldürücü olabilmektedir. Haşıl sökme işlemi sonunda AKM (askıda katı madde), ÇKM (çözülmüş katı madde), yağ ve gres içeren atıklar suya karışmaktadır. Bu işlemin atıkları, kumaş üretimi sonucu meydana gelen katı atığın % 50'sini oluşturmaktadır. Atıksulardaki polivinil alkol, biyolojik olarak yavaş bir şekilde ayrışmakta ve atıksulardaki KOİ'nin önemli bir bölümünü teşkil etmektedir. Son yıllarda, olivinil alkole uyum sağlayan mikroorganizmalar geliştirilmiş, biyolojik olarak ayrışabilmesi hızlandırılmıştır [12].

Pamuklu tekstil endüstrisinde pişirme işlemi için kullanılan en önemli kimyasal madde kostik soda (NaOH)'dır. Bu işlem sonucunda, NaOH içeren bazik atıksular oluşmaktadır. Pişirme işleminde kullanılan yüzey aktif maddeler ve sodyum fosfat atıksulara karışmaktadır. Atıksularda ayrıca kullanılan pamuğun % 3-4'ü oranında pamuk yağları da bulunabilir. Pişirme işlemi atıksuları; kuvvetli alkali (pH>12), koyu renkli ve pamuktan gelen safsızlıkları içeren atıklardır. Atıksuyun ÇKM ve yağ konsantrasyonu yüksek, AKM içeriği düşüktür. Ağartma işlemi hidrojen peroksit ile yapılmaktadır. Bu işlem sonunda oluşan kirlilik yükleri düşüktür. Ağartma işlemi sonucunda oluşan atıksuda, ÇKM, sodyum silikat, sodyum hidroksit ve sodyum fosfat gibi anorganik katı maddeler ile deterjanlar ve benzeri organik maddeler mevcut olabilir.

Merserizasyon işleminde derişik NaOH kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda oluşan atıksu, kuvvetli alkali (pH=12-13) karakterdedir ve BOİ konsantrasyonu düşüktür. NaOH ile birlikte merserizasyon işleminde penetrant (nüfuz edici) maddeler kullanılır. NaOH, toplam atıksu hacminin %19'unu, BOİ'nin %37'sini, toplam katıların %43'ünü ve toplam alkalitenin %60'ını oluşturur. Yıkama, ağartma, boyama ve apre atıkları kompozit atığın geri kalan kısmını oluştururlar. Bunlar toplam atığın hacimce %65'ini BOİ'nin %10'unu TKM'nin %2'sini ve toplam alkalitenin %34'ünü teşkil ederler. Büyük işletmelerde, NaOH geri kazanılmakta ve yeniden kullanım için derişik hale getirilmektedir [12]. Bazı işletmelerde su geçirmezlik, alev almazlık, buruşmazlık ve benzeri apre işlemlerinden gelen atıklar hacimce küçük miktarlardadır. Uygulanan kimyasal madde; ıslatma, işleme alma ve kurutma gibi nedenlerle küçük miktarlarda atıksu oluşturmaktadır. Pamuklu kumaşların istenen renge göre boyanması işlemi sonucunda boya atıklarını da içeren yüksek renk konsantrasyonlarına sahip atıksular oluşmaktadır. Boyama işlemi atıksularında çözünmüş katı madde miktarı ve KOİ yüksektir [13]. Pamuklu Tekstil Proses Akım Şeması ve Oluşacak Atıklar Şekil 1.1'de verilmiştir [9,15].



Şekil 1.1 Pamuk Tekstil Proses Akım Şeması ve Oluşacak Atıklar



Şekil 1.1 Pamuk Tekstil Proses Akım Şeması ve Oluşacak Atıklar (Devam)

Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri Tablo 1.2. de verilmiştir [16].

Tablo 1.2 Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri

İşlem	Önemli Kirlilikler
Haşıl sökme	Yüksek BOİ, yüksek toplam katı, nötr pH
Yıkama	Yüksek BOİ, yüksek alkali, yüksek toplam katı madde, yüksek sıcaklık
Ağartma	Yüksek BOİ, yüksek katı madde, alkali pH
Merserizasyon	Düşük katı madde, alkali pH, düşük katılar
Boyama ve Baskı	Yüksek BOİ, yüksek katılar, nötr-alkali pH

2. NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknoloji malzeme bilimi, elektronik, optik, ilaç, plastik, enerji ve çevre gibi pek çok alanda uygulama ve yeni özellikler sağlayan en az 1 nm boyutundaki atom ve molekülleri kontrol eden disiplinler arası bir teknolojidir [17]. Yunanca'da cüce anlamına gelen "nano", metrenin milyarda birine denk gelen bir ölçü birimidir. Nanoteknoloji bu anlamda, "çok küçük maddelerin teknolojisi" anlamına gelmektedir. Bir malzemenin sahip olduğu özellikler bir ya da daha fazla doğrultudaki büyüklüğü nanometre düzeyinde küçültüldüğünde değişmektedir. Örneğin normalde kırılğan bir malzeme olan seramik, tanecik büyüklüğü nanometre düzeyine indirildiğinde kolaylıkla deforme olup şekillendirilebilmektedir. 1 nanometre büyüklüğündeki altın tanesi, kırmızı renk göstermektedir. İlaveten, nano büyüklükteki tozlarla takviyelendirilen kompozit malzemeler çok daha yüksek performans değerlerine ulaşmaktadır.

Nano büyüklüğün tarifi açısından genel olarak kullanılan örnek futbol topudur. Dünyanın büyüklüğü düşünüldüğünde futbol topunun büyüklüğü ne kadarsa, futbol topuyla nanopartikül arasındaki büyüklük de bu oranla anlaşılabilir [18]. Malzemeler atomlardan oluşur, 1 nanometrede 3-5 atom vardır. Doğada atomlar hiç bir zaman bozulmazlar. Bozulan aradaki bağlardır. Bu ölçeklerde tıpkı lego yapmak gibi malzemeler yeniden tasarlanabilir. Aradaki bağlar çok fonksiyonlu özellikler verecek şekilde oluşturulur [19].

2.1 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları ve Tekstil Sektöründeki Yeri

Nanoteknoloji, her geçen yıl daha fazla uygulama sahası bulmakta ve dünya çapında ilgi görmektedir. Nanobilime bu nedenle yatay bilim denmektedir, çünkü tüm teknoloji sektörlerinde fiilen uygulanabilmektedir. Medikal alanlarda hastalıkların teşhisi konusunda yardıma olan nanobilim, nanoteknoloji temelli kaplamalar implantların vücuda uyumunu artırmaktadır.

Ayrıca tümörlere zerke edilen nanopartiküller, ısıtarak tümörü yok etmek için kullanılabilir veya nanopartiküller organ naklinde uzun vadeli iyi sonuçlar alınmasına yardımcı olmaktadır.

Nanoteknoloji, bilgi teknolojileri alanında da veri saklamak için kullanılmaktadır ve bilgisayar uygulamalarının kısa vadede vazgeçilmezi haline gelmiştir. Enerji üretimi ve depolanması alanında etkin hidrojen depolama için nanoteknolojiler ayrıca yalıtım, nakil ve aydınlatma alanlarında ciddi enerji kazanımı sağlamaktadır. Güvenlik alanında ise biyolojik ve kimyasal etkenlere karşı ön uyan amaçlı kullanılabilir. Gündelik hayatımızda kullandığımız pek çok ürün şimdiden nanoteknoloji temelli üretilmektedir ve güneş yağı da bunlardan biridir. Daha az hammadde ile üretim yapılmasına olanak veren bu teknoloji sayesinde üretim kaynaklı çevre liderliğinin azaltılması da hedeflenmektedir. Analistler nanoteknoloji ürünlere ait pazarın şu anda 2.5 milyar euro olduğunu tahmin etmekte ve 2010 yılında pazarın büyüklüğünün yüz milyarın üzerine çıkacağı öngörüsünü dile getirmektedirler. Avrupa, Amerika ve Japonya ile kıyaslandığında nanoteknoloji konusunda basılı yayınlar anlamında önde gelmektedir. Bilginin her zaman sermayeleştirilmediğinden hareketle, patent başvurularına bakıldığında Avrupa'nın payının yüzde 36, Amerika'nın ise yüzde 42 olduğu görülmektedir.

Nano boyutta üretim yapmak için araştırma ve fabrikasyon alanında yeni disiplinler arası bir yaklaşım gerekmektedir. Kavramsal anlamda bu üretim 2 şekilde yapılabilir: ilki mikro sistemlerden başlayıp bunları küçültmekle ilerlemek (yukarıdan-aşağıya) ve ikinci olarak moleküler düzeyden yapıtaşlarına ulaşmak (aşağıdan yukarıya) şeklindedir. İlk yöntem montajla ilişkilendirilebilirken; ikinci teknik, senteze dayanmaktadır ve halihazırda yeni gelişim aşamasında olmakla birlikte, geniş çaplı etkileri varolan üretim süreçlerine yıkıcı etkisi olması beklenmektedir [17,20,21].

2.1.1 Nano ürünler

Nanoteknoloji ile geliştirilmiş ürünler, biz her zaman farketmesek bile günlük hayatımıza artarak girmeye başlamışlardır.

- 1 – Organik Işık Emiciler (OLED)
- 2 – Fotovoltaik filmler
- 3 – Çizilme direnci yüksek yüzeyler

- 4 – Leke tutmayan giysiler
- 5 – Akıllı Giysiler
- 6 – Bucky-tüp çerçevesi (Bucky-tub frame)
- 7 – Nano parçacıklı boyalar
- 8 – Termokromik cam
- 9 – Manyetik veri hafızası
- 10- Karbon nanotüp yakıt hücreleri [22]

2.1.2 Nano tekstiller

Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları, nanotekstiller olarak adlandırılabilir. Nano-tekstil tanımı, nanoteknoloji uygulamaları sonucu elde edilen tüm tekstil yüzeylerini ifade etmektedir. Nanoteknoloji, tekstil ürünlerinin performanslarını geliştirmek için kullanılmaktadır. Tekstil ürünleri, onlara değişik özellikler kazandıran nanoteknoloji sayesinde çok fonksiyonlu hale gelmektedir; örnek olarak nanoteknoloji ile tekstil ürünleri su itici, antibakteriyel ve antifungisit olabilir. Doğal ve sentetik bütün tekstil ürünlerinin yapıtaşları moleküllerdir. Bu moleküller lif oluşturacak şekilde dizilirler, lifler de iplik eldesi için kullanılır. Bir kumaşın kullanım performansını geliştirmenin kalıcı yolu kumaşı meydana getiren liflerin, moleküler düzeyde takviyelendirilmesiyle mümkündür. Moleküler nanoteknoloji felsefesi ile elde edilen tekstil yüzeyleri birer nanomalzemedirler [18]. Nano materyaller bir, iki veya üç boyutlu olabilmektedirler. Tek boyutlu nanomateryaller, çok ince yüzey filmleri veya kaplamaları (2-3 nm-<100 nm arasında değişebilmektedir) alanında kullanılabilirler. İki boyutlu nanomateryaller, nanolif veya karbon nanotüpleri kapsamaktadırlar. Havacılık, uzay gemileri, otomobil endüstrisi ve balistik tekstillerde kullanımı için son derece yüksek mukavemete sahip nanokompozit üretiminde kullanılmaktadırlar. Üç boyutlu yapıdaki nano materyaller yumuşatma, antimikrobiyal, yağ ve kir iticilik bitim işlemleri, güç tutuşurluk gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadırlar. Ayrıca, polimer içinde mikrokapsül olarak da farklı uygulamalarda kullanılabilirler [23].

Nanoteknoloji ve nanomalzemeleri uygun koşul ve miktarlarda kullanarak tekstil ürünlerine aşağıda verilen işlevleri kazandırmak mümkündür [24]:

- Mekanik, kimyasal, fotokimyasal veya termal bozunmalara karşı dayanıklılığın artırılması,
- Su, yağ ve kirlenmeye karşı iticiliğın geliştirilmesi,
- Morötesinden kızılötesine elektromanyetik dalgayı soğurma ve ısıtma özelliğinin değiştirilebilmesi,
- Antistatik ve elektromanyetik koruyucu etkiler için elektrik iletkenliğinin geliştirilmesi,
- Aktif ajanların tutulabilmeleri (hareketsizleştirme) ve kontrollü salınımları,
- Buruşmazlık.

2.2 Avrupa Birliği'nde Nanoteknoloji

Avrupa Komisyonu, nanoteknoloji alanında 12 Mayıs 2004 tarihinde "Nanoteknoloji için Avrupa Stratejisine Doğru" tebliği ile temel çerçeveyi çizmiştir. Avrupa Birliği bu ilk adımla nanoteknoloji konusunda çevre, sağlık, güvenlik ve sosyal kaygılan da dikkate alan bir Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) planı öngörmüştür. Rekabet edebilirlik açısından nanoteknolojiyi öne çıkaran Komisyon, sanayi ve Ar-Ge kurumlarının uyumlu çalışmasını hedefleyen ve bu amaçla yenilik geliştirecek personelin de sanayinin ihtiyaçlarının farkında eğitilmesine önem veren bir strateji benimsemiştir. Komisyon, 7 Haziran 2005 tarihinde "Nanobilimler ve Nanoteknolojiler: Avrupa İçin Aksiyon Planı 2005-2009" isimli tebliği ile bu alandaki çalışmalara yeni ve düzenleyici bir yaklaşım getirmeyi amaçlamıştır. Bunu müteakiben Komisyon'un sağlık ve tüketicinin korunmasından sorumlu bölümü, nanoteknolojilerin potansiyel zararlarını ve risklerini ele alan raporunu 28 Eylül 2005'de sunmuştur. Raporda 3 yaklaşıma yer verilmektedir. Bunlardan ilki etik prensipleri dikkate alan ve sosyal anlamda sorumlu Ar-Ge süreçleri başlatmak; ikincisi, nanoteknoloji temelli ürünlerin sağlık, çevre, güvenlik gibi alanlarda tüketici risklerini dikkate almak ve son olarak uluslararası alanda gerekli işbirliğinin teşvik edilmesi şeklinde sıralanmıştır. Doğada varoldukları halleriyle veya insan yapımı olarak nanopartiküllerin vücuda nüfuz etmeleri veya çevreye yayılarak sebep olabilecekleri riskler de bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bu konuda Avrupa Kimyasal Üreticileri Konsey'inin üstünde durduğu bir husus da mevcut mevzuatın nanopartikülleri de kapsadığı ve bu nedenle yeni mevzuat hazırlanmasının yersiz olduğu yönündedir. Avrupa Birliği, nanoteknoloji alanında 6. Çerçeve Projesi'ne

destek vermektedir ve 7. Çerçeve Programı'nda da nanoteknolojiler konusunda araştırmalar desteklenmektedir. NanoRoadSME isimli bu projeyle KOBİ'lerin çeşitli sektörlerde nanoteknoloji uygulamalarının başarı faktörleri analiz edilmektedir. Tekstil özel olarak hedeflenmemiş olmakla birlikte nanoteknolojinin potansiyelinin anlaşılması açısından ilgili raporlar faydalı görölmektedir [18,20,21].

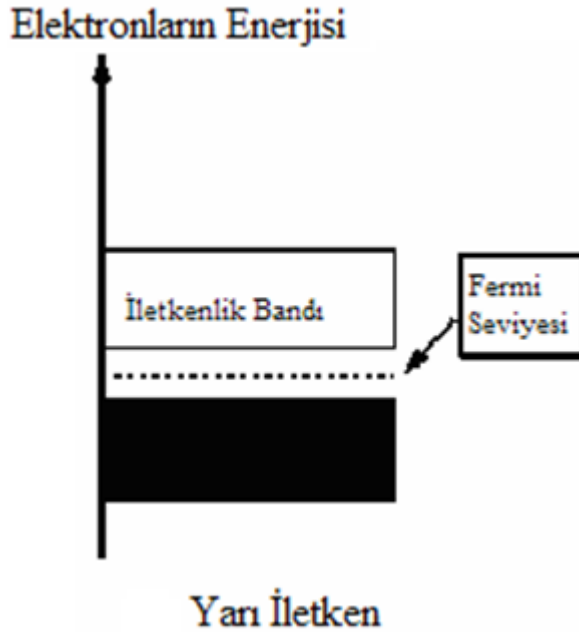
2.3 Gelecekte Nanoteknoloji

Nanoteknoloji tekstil sektörü için gelecek vaat eden bir alandır. Tekstil sektörü şimdiden nanoteknolojinin etkisi altına girmiştir. Performansı geliştirmek veya tekstil malzemelerinde daha önce emsali görölmemiş işlevler ortaya çıkarmak amacıyla yapılan araştırmalar giderek gelişmektedirler [17]. Her ne kadar şu an endüstriyel olarak kısıtlı olsa da nanoteknoloji çalışmalarının ve nanoteknoloji içeren tekstil ürünlerinin sektörde daha fazla yer alacaklarının aşıkâr oldukları düşünölmektedir [25]. Son 10 yılda nanoteknolojinin gelmiş olduğu nokta, tekstil teknolojisi alanındaki hızlı gelişmeyi desteklemiştir. Önümüzdeki 25 yıl içinde tekstil sektöründe nanoteknolojinin sebep olacağı öngörölen gelişmeler beklenmektedir.

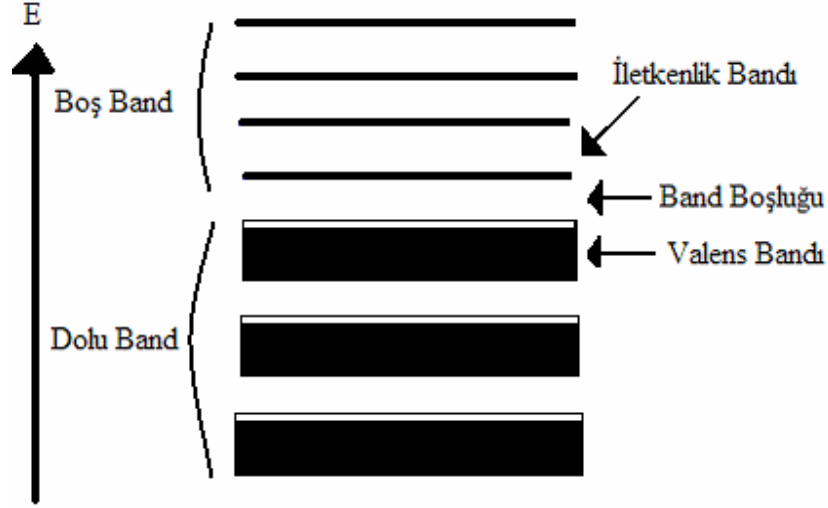
3. TiO₂ VE TEMEL OKSİDASYON MEKANİZMASI

3.1 Yarı İletkenler

Yarı iletken maddeler iletkenliği yalıtkanlarınkı ile iletkenlerinki arasında yer alan maddelerdir. Yarı iletken maddelerde valens bandı ile iletkenlik bandı arasındaki band boşluğu küçük olduğundan, oda sıcaklığında yarı iletkenin valens bandında bulunan elektronlar termal olarak uyarılarak iletkenlik bandına geçmelerine olanak sağlayacak kadar enerjiye sahip olurlar. İletkenlik bandına geçen bu elektronlar, komşu atomlar arasındaki kovalent bağları kırarak katı içerisinde serbestçe hareket edebilirler. Uyarılan elektronların ayrıldığı kovalent bağlarda boşluklar meydana gelir ve iletkenlik bu boşlukların hareketiyle sağlanır. Düşük sıcaklıklarda elektronların termal enerjisi valens bandı ile iletkenlik bandı arasındaki band boşluğunu aşmaya yetmediğinden iletkenlik sağlanamaz ve madde bir yalıtkan gibi davranır. Yarı iletken bir maddenin elektronik yapısı Şekil 3.1 de gösterilmektedir. Şekil 3.2 de ise yarı iletken bir maddenin band yapısı gösterilmektedir [26].



Şekil 3.1 Yarı iletken bir maddenin elektronik yapısı



Şekil 3.2 Yarı iletken bir maddenin band yapısı

3.1.1 Yarı iletkenlerin başlıca özellikleri

- İletkenlik bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alırlar,
- Normal halde yalıtkandırlar.
- Ancak ısı, ışık ve magnetik etki altında bırakıldığında veya gerilim uygulandığında bir miktar valans elektronu serbest hale geçer, yani iletkenlik özelliği kazanır.
- Bu şekilde iletkenlik özelliği kazanması geçici olup, dış etki kalkınca elektronlar tekrar atomlarına dönerler.
- Tabiatta basit eleman halinde bulunduğu gibi laboratuarda bileşik eleman halinde de elde edilir.
- Yarı iletkenler kristal yapıya sahiptirler. Yani atomları kübik kafes sistemi denilen belirli bir düzende sıralanmıştır.
- Bu tür yarı iletkenler, yukarıda belirtildiği gibi ısı, ışık, etkisi ve gerilim uygulanması ile belirli oranda iletken hale geçirildiği gibi, içlerine bazı özel maddeler katılarak ta iletkenlikleri arttırılmaktadır. [27]

3.2 Titanyum

Titanyum sembolü Ti olan 22 atom numaralı kimyasal elementtir. Hafif, güçlü, parlak, korozyona karşı dirençli grimsi bir geçiş metalidir. Titanyum demir,

alüminyum, vanadyum, molibden gibi elementler ile alaşım yapabilir. Bu güçlü, hafif alaşımlar havacılık (jet motorları, füzeler ve uzay araçları) askeri, endüstriyel işlemler (kimyasallar ve petrokimyasallar, arıtma santralleri, kâğıt hamuru ve kâğıt) otomotiv, yiyecek, tıp (protezler, implantlar , dental endodontik malzemeler, dental implantlar), spor eşyaları, mücevher, cep telefonu, ve diğer uygulamalarda kullanılır [28]. Titanyum 1791'de William Gregor tarafından İngiltere'de keşfedildi ve Martin Heinrich Klaproth tarafından Yunan mitolojisindeki Titan'a atfen bu şekilde isimlendirildi. Element birkaç mineral depozitde bulunur. Bunlardan öncelikli olanlar yer kabuğunda ve litosferde genişçe dağılmış olan rutil ve ilmenittir. Titanyum neredeyse tüm canlı varlıklarda, kayalarda, sulara ve toprakta bulunur [28]. Metal başlıca mineral cevherlerinden Kroll işlemi ve Hunter işlemi yöntemleri ile çıkarılır. En yaygın bileşiği olan titanyum dioksit (TiO_2) beyaz pigment imalatında kullanılır [29]. Diğer bileşiklerinden titanyum tetraklorid ($TiCl_4$) sis perdelerinde/havaya yazı yazımında kullanılır ve katalizör olarak kullanılır ve titanyum triklorid polipropilen imalatında katalizör olarak kullanılır [28].

Metal formun en yararlı özellikleri korozyona karşı dirençli olması ve bütün metaller içinde en yüksek dayanıklılık-ağırlık oranına sahip olmasıdır [30]. Alaşımsız haliyle %45 daha hafif olmasına rağmen bazı çelikler kadar dayanıklıdır [31]. Elementin iki allotropik türü [32] ve ^{46}Ti 'den ^{50}Ti 'ye beş tane doğal izotopu bulunur. Bunlardan ^{48}Ti doğal olarak en bol bulunan izotoptur (73.8%) [33].

3.2.1 Fiziksel özellikleri

Metalik bir element olan titanyum sahip olduğu yüksek dayanıklılık-ağırlık oranı ile bilinir [32]. Düşük yoğunluklu hafif ve güçlü bir metaldir. Saf haliyle tamamen esnektir (özellikle oksijensiz ortamda) [34]. Parlak, metalik beyaz renklidir. Göreli olarak yüksek erime noktası ((1,649 °C or 3,000 °F'nin üstünde)) ile dayanıklı metallerden olması açısından kullanışlıdır.

Ticari sınıf (%99.2 saf) titanyum yaklaşık 63,000 psi (434 MPa) tensil (gerilme) gücüne sahiptir. Bu birçok çelik alaşımın tensil gücüne eşittir ancak titanyum %45 oranında daha hafiftir. Titanyum alüminyumdan %60 oranında daha ağır olmasına rağmen en yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımı 6061-T6'dan iki kat daha güçlüdür [31]. Belli titanyum alaşımlarının (örneğin Beta C) tensil gücü 200,000 psi'in (1380 MPa) üzerine kadar çıkabilir [30]. Yine de 430 °C'nin (800 °F) üzerinde ısıtıldığında titanyum dayanıklılığını yitirmeye başlar [31].

Titanyum (ısı işlemleri uygulanmış bazı cins çelikler kadar olmasa da) oldukça sert, antimanyetik ve zayıf bir ısı iletkenidir. Çelikte olduğu gibi titanyum yapılarında yaşam süresini garanti eden bir yorulma sınırı vardır [35].

Metal dimorfik allotropudur. Kristal yapısı 882 °C'de (1,619 °F) cisim merkezli kübik beta formdan hegzagonal alfa forma değişir. Alfa formunun özgül ısısı titanyum geçiş sıcaklığına ulaşınca kadar çarpıcı bir şekilde yükselir sonra tekrar düşer ve sabit kalır, beta form için ise sıcaklıktan bağımsızdır [31].

Zirkonyum ve hafnyuma benzer şekilde, ekstra bir omega fazı vardır, bu faz yüksek basınçlarda termodinamik olarak kararlıdır ancak normal basınçta yarı kararlı olabilir.

3.2.2 Kimyasal özellikleri

Titanyumun en ünlü kimyasal özelliği korozyona karşı gösterdiği müthiş direncidir. Neredeyse platin kadar dirençli olan element asitler, klor gazı ve yaygın tuz çözeltilerinin maruziyetine karşı koyabilecek yeterliliktedir [32]. Saf titanyum su içerisinde çözünmez ancak yoğun asit içinde çözünebilir [36].

Pourbaix diagramı titanyumun termodinamik olarak çok reaktif bir metal olduğunu gösterir. Titanyumun su ve hava tepkimesi yavaştır.

Bu metal havada yükseltilmiş sıcaklıklarda pasif ve (korozyon direncini artıran) koruyucu bir tabaka oluşturur, ancak oda sıcaklığında kararmaya karşı dirençlidir [34]. İlk oluşumda bu tabaka sadece 1–2 nm kalınlığındadır, ancak kalınlık zamanla yavaşça artmaya devam eder (dört yıl içinde 25 nm'lik bir kalınlığa ulaşır) [35].

Titanyum havada 610 °C (1,130 °F) ve daha yüksek sıcaklıklarda titanyum dioksit oluşturarak yanar [32]. Titanyum ayrıca saf azot içinde yanan birkaç elementten biridir (800 °C veya 1,472 °F sıcaklığında yanarak titanyum nitrit oluşturur) [37]. Titanyum klor gazı, klorid solüsyonları ve organik asitlerin çoğu ile birlikte, seyreltik sülfürik ve hidroklorik aside karşı dirençlidir [38]. Element paramanyetiktir (mıknatısla zayıf etkileşim gösterir) ve elektriksel ve ısı iletkenliği düşüktür [34]. Deneyler doğal titanyum döteron ile bombardıman edildiğinde radyoaktif hale geldiğini gösterdi. Bu durumda titanyum pozitronlar ve şiddetli gama ışınları yayımlar. Kızarmış bir metal olduğunda oksijenle ve sıcaklığı 550 °C'ye (1,022 °F) ulaştığında klor ile bileşik oluşturur [38].

3.3 Heterojen Fotokatalitik Degradasyon

Heterojen fotokatalitik degradasyon'', organik kirleticilerin CO₂, H₂O ve HCl gibi anorganik asitlere parçalanarak suların arıtılmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin esası; suda bulunan organik kirleticilerin parçalanması için ultraviyole ışığın ve yarı iletkenlerin bir arada kullanılmasına dayanır. Laboratuvar çalışmaları, organik asitler, aminler, fenol türevleri, klorlu alkan ve alkenler ve aromatik bileşikler gibi bir çok organik maddenin yakın ultraviyole ışık ve TiO₂ yarı iletkeni bir arada kullanılarak degrade edilebileceğini göstermiştir [39].

Günümüze dek incelenmiş bulunan fotokatalitik degradasyon reaksiyonları değişik fotoreaktör sistemlerinde gerçekleştirilmiştir. Fotokatalitik reaktörlerin bazılarında fotokatalizör olarak kullanılan TiO₂ ince bir film şeklinde kullanılarak hareketsiz faz haline getirilmiştir [40]. Bazılarında ise, sisteme partikül halinde ilave edilerek suspansiyonlarda çalışılmıştır. Sonuçta fazlar arası alan daha büyük olduğundan suspansiyonlarda yapılan denemelerden daha iyi sonuçlar alınmıştır.

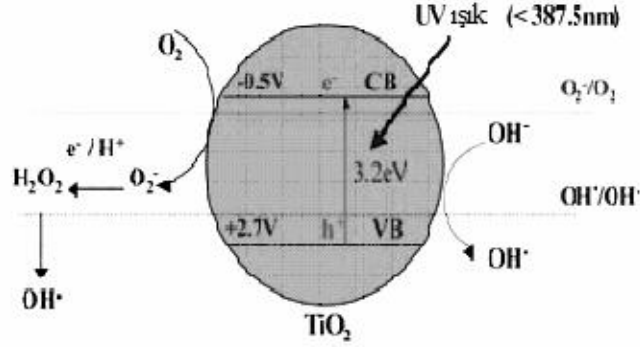
3.3.1 Fotokatalitik sistem

Fotokatalitik bir sistem; sıvı fazda asılı bulunan yarı iletken partiküllerden ve bu suspansiyonu aydınlatmak için kullanılan bir ışık kaynağından oluşur. Bir yarı iletken, elektronlar ile dolu olan bir valens bandına (VB) ve boş enerji düzeylerini içeren bir iletkenlik bandına (CB) sahiptir. Şekil 3.3 de küresel bir yarı iletken partikül gösterilmiştir. Kullanılan ışığın hv enerjisi yarı iletkenin valens bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji farkı, E_g den daha büyük olduğunda, yarı iletken partikülü foton (hv) ile etkileşerek valens bandında bulunan bir elektronun iletkenlik bandına uyarılmasını ve geride pozitif bir boşluk (h⁺VB) bırakarak partikül içinde elektron/boşluk, e⁻CB/h⁺VB, çiftlerinin oluşmasını sağlar[41].



Oluşan bu elektron/boşluk çiftleri, yarı iletken yüzeyinde redoks reaksiyonlarının başlamasına neden olur. Adsorplanmış hidroksil iyonlarının (OH⁻) veya H₂O moleküllerinin oluşan pozitif boşluklar ile oksidasyon reaksiyonları, farklı organik bileşiklerin bozunmasını sağlayacak hidroksil radikallerini (OH[•]) oluşturur. Hidroksil radikallerinin oksitleme gücü 2.80 eV dir[41].





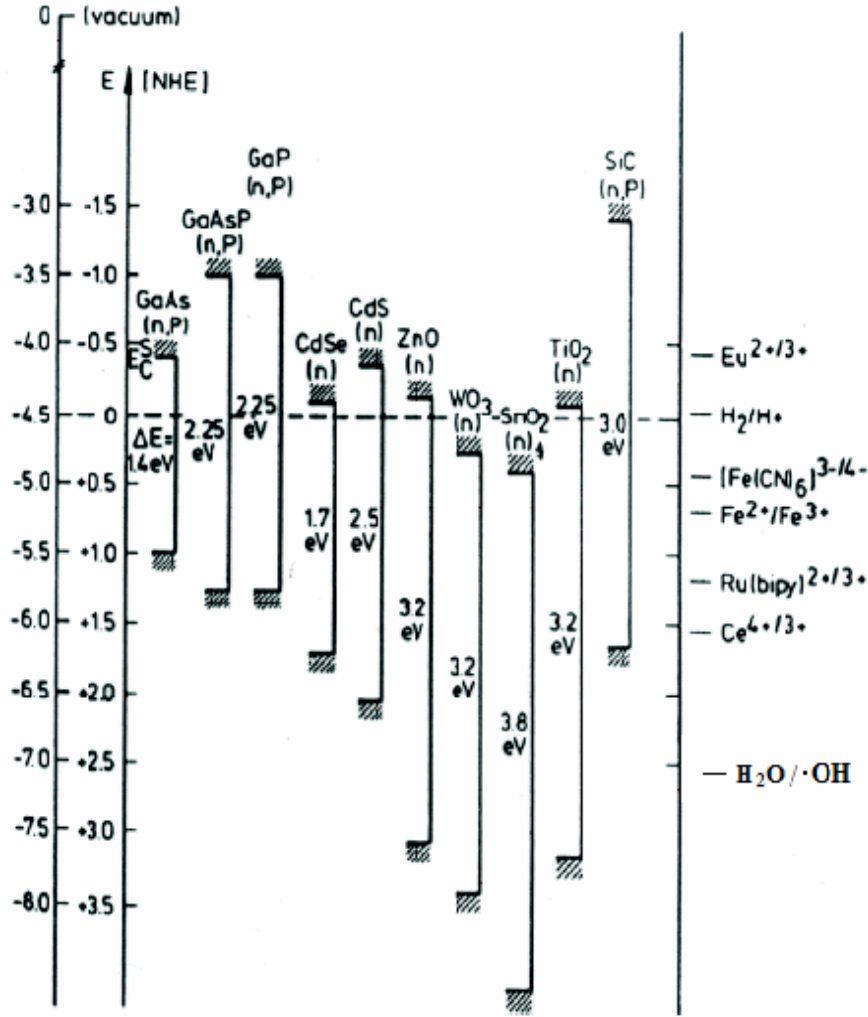
Şekil 3.3 Bir küresel yarı iletken partikülü

3.3.2 Yarı iletken fotokatalizörler

Fotokatalitik degradasyon sistemlerinde yarı iletken fotokatalizör olarak genellikle metal oksit bileşikleri kullanılır. Bunun nedeni, Şekil 3.4' den de açıkça görüldüğü gibi, metal oksitlerin valens bandlarının diğer yarı iletken maddelere kıyasla daha pozitif olmasıdır. Yarı iletken metal oksitlerin $h^+ \text{VB}$ nin tamamıyla pozitif oksidasyon potansiyeline sahip oluşu ve bütün kimyasal maddeleri oksitleyici bir özellikleri vardır. Suyun bir elektronlu oksidasyonu sonucunda $\cdot\text{OH}$ radikalleri meydana gelir.



Fotokatalitik degradasyon yöntemi için en uygun fotokatalizör TiO_2 dir. Fotokatalizör olarak TiO_2 nin tercih edilmesinde birçok faktör etkilidir. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir; TiO_2 nin kimyasal ve fotokimyasal kararlılığı, zehirsiz olması, valens band boşluğunun kuvvetli oksitleyici özelliğe sahip olması ve ucuz olması[41].



Şekil 3.4 Çeşitli metal oksitlerin valens band boşluklarının enerji değerleri

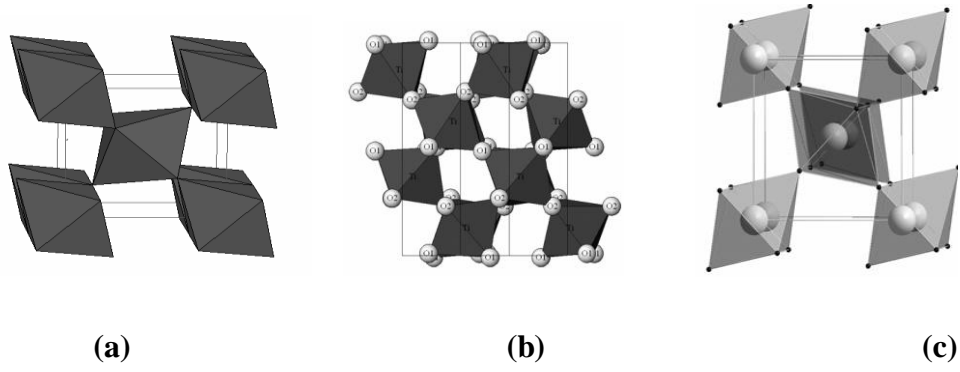
3.3.2.1 TiO₂'nin genel kullanımı ve özellikleri

Titanyum dioksit geçiş metal oksit ailesine ait bir üyedir. 20.yy' nin başlarında beyaz boya için pigment olarak zehirli kurşun oksitlerin yerine kullanılmaya başlaması endüstriyel önemini arttırmıştır. Titanyum dioksitin yıllık üretimi 4 milyon tondan fazladır [42]. TiO₂ boya (toplam üretimin %51'i), plastik (%19), kağıt (%17) endüstrileri başta olmak üzere pek çok alanda kullanılır. Zararsız olması nedeniyle gıda, deri, eczacılık, kozmetik (UV korumalı güneş kremleri v.b. ürünlerde) sektörlerinde ve değişik titanat pigmentleri yapımında kullanılır. Titanyum dioksitin kimyasal maddelere dayanıklılığı çok fazladır, toksik özelliği yoktur, maliyeti düşüktür ve daha birçok olumlu özellikleriyle kullanımı gittikçe artmaktadır. Işığı çok iyi kırma özelliği nedeniyle silikonlu güneş pillerinde, yansımayı engellemesi nedeniyle de ince-film optik aletlerde kullanılır. Gaz sensörü olarak (elektrik

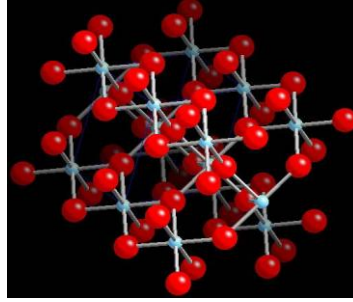
iletkenliğinden dolayı) yüksek sıcaklıklarda oksijen ve CO konsantrasyonlarının, aynı zamanda CO/O₂ ve CO/CH₄ oranlarının belirlenmesinde kullanımı oldukça başarılıdır. TiO₂ insan vücuduyla da uyumlu bir maddedir, bu nedenle biomalzeme (kemik bileşeni ve mekanik destekleyici) olarak kullanılır. TiO₂ yarı iletkeninin diğer yarı iletkenlerden üstün özelliklere sahip olmasına rağmen, fotokatalitik aktivitesini sınırlayan iki önemli eksikliği mevcuttur. İlk olarak, TiO₂ yarı iletken fotokatalizörü yaklaşık olarak 3.0-3.2 eV band boşluğuna sahiptir ve düşük enerjili UV-A ışık ($\lambda < 387\text{nm}$) veya görünür ışık ile uyarılabilir, bu da tüm güneş tayfının yalnızca % 4-5'lik bir kısmını kapsamaktadır. Nitekim bu durum güneş ışığının ve görünür ışığın kullanımını kısıtlamaktadır. İkincil olarak, TiO₂ partiküllerindeki elektron-boşluk çiftlerinin yeniden birleşme hızlarının yüksek olması fotokatalizör etkinliğinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, organik kirleticilerin TiO₂ katalizörü yüzeyinde oldukça düşük miktarlarda tutunması, fotokatalitik verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. Son yıllarda, yukarıda sayılan ve TiO₂'nin kullanımını sınırlayan tüm engellerin aşılması amacıyla, katalizör yüzeyinin askorbik asit [43], 5-sülfosalisilik asit [44] veya bir polimer [45] kullanılarak modifiye edilmesi, katalizöre bir geçiş metalinin dop edilmesi [46,47], katalizöre metal iyonu aşılması [48] gibi yöntemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

3.3.2.2 Kristal yapı ve özellikleri

TiO₂ üç farklı polimorfik yapıda bulunur. Anataz tetragonal, brokit ortorombik, rutil tetragonal yapıda bulunur. Rutil, anataz ve brokit yapıları farklı (TiO₂⁶⁻) yapılarına sahiptirler(Şekil 3.5). Bu nedenle bu yapıların oktahedral zincirlerindeki bükülmeler farklılık gösterir. Üç faz arasındaki Gibbs serbest enerjileri küçük farklılıklar gösterir (4-20 kJ.mol⁻¹). Tanecik boyutunun yüzey-enerji etkileri nedeniyle yeterli düşük değerlere ulaştığında faz kararlılığının değiştiği görülür. Eğer üç kristalin tanecik boyutu eşit ise anatazın boyutları 11 nm' den daha düşük, brokit 11-35 nm arasında, rutil 35 nm' den daha büyük olduğunda termodinamik olarak en kararlı yapılarla sahiptirler [49].



Şekil 3.5 a) Rutil, b) Brokit ve c) Anataz'ın kristal yapıları



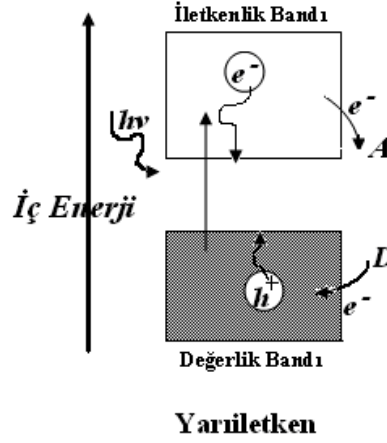
Şekil 3.6 Bir TiO₂ molekülünün model kristal yapısı

Anatazin rutile dönüşüm entalpisi oldukça düşüktür. Bu aralık -1.3 ile -0.6 ± 0.8 kJ/mol dür. Kinetik olarak anataz daha kararlıdır ve oda sıcaklığında anatazın rutile dönüşümü söz konusu değildir. Bu dönüşüm sıcaklık veya basınç artışı ile gerçekleştirilebilir.

3.3.2.3 Foto katalizör olarak TiO₂

Günümüzde özellikle sanayi alanında gelişmiş ülkeler zararlı atıklarından dolayı ciddi bir çevresel kirlenme ile karşı karşıyadır. TiO₂ foto katalizör olarak bu sorunların yanı sıra sıvı ve havanın temizlenmesinde de büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca bakteri, virüs gibi mikro organizmaları yok etmede, su içindeki hidrojeni ayırmada da kullanılmaktadır [50]. TiO₂, ZnO₂, Fe₂O₃, CdS, ZnS gibi foto katalizörler üzerine düşürülen ısıyla kendisini çevreleyen organik ve inorganik bileşiklerin kimyasal tepkimeler sonucu parçalanmasında katalizör olarak görev yaparlar [50]. Yarı iletkenlerin bant yapısında değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında enerji seviyesi bulunmaz. Bu bölgeye yasak bant aralığı (E_g) denir. TiO₂ için yasak bant aralığı 3,2eV civarındadır. Yarı iletken üzerine ışık düşürülürse iletkenlik bandındaki bir elektron (- e) değerlik bandına ardında bir boşluk (+ h) bırakarak geçer. Oluşan bu hol elektron çifti yarıiletkenin etkileşimde bulunduğu bir

ortam tarafından adsorbe edilmezse belli bir süre sonra birleşir. Foto katalizör yarıiletkenlerin bu elektron hol çiftleri dış ortam tarafından adsorbe edilir [51]. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 Işık ile uyarılmış bir yarı iletkenin dış ortamla elektron değiş tokuşu

TiO₂ yüzeyi aydınlatıldığında yarıiletken içinde oluşan elektron hol çiftlerinden elektronlar su içindeki oksijeni indirger, holler ise organik bileşigi oksitler. Sonuçta H₂ ve □ OH radikali oluşur. TiO₂ yüzeyi ile temas halindeki okside olabilen her bileşik foto aktivite sonucu oluşan kimyasal reaksiyonlar tarafından oksitlenerek zararsız hale getirilir [52].

3.3.2.4 TiO₂' nin uygulama alanları

Titanyum dioksit ince filmler üstün optik, elektrik ve kimyasal özelliklerinden dolayı birçok uygulama alanına sahiptir [53]. Titanyum dioksit 18500 C gibi çok yüksek erime sıcaklığına sahip olduğundan dolayı optik kaplama malzemesi olarak kullanılır. Bu şekildeki kaplamalar birçok optik uygulamalarda ve optik devrelerde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca bu tür kaplamalar sıcaklığa duyarlı optik uygulamalar içinde iyi bir alternatif olabilir. Titanyum dioksitin sıcaklığa duyarlı optik devrelerde kaplama malzemesi olarak kullanılmasının birçok avantajı vardır:

- 1- Yüksek sıcaklıklara dayanma kapasitesi,
- 2- Görünür ve yakın görünür bölgede düşük soğurma,
- 3- Dikkate değer termo-optik etkisi,
- 4- Yüksek ve belirli bir kırma indisine sahip olması (626 nm'de $n @ 2$) [54].

4. SOL – JEL METOTU

Cam seramik gibi inorganik maddeleri oluşturmak için yüksek sıcaklık gerektiren işlemler kullanılır. Bu işlemlerde sıcaklık 1500 °C – 1600 °C'ye kadar çıkabilir. Bu yüksek sıcaklıklar çalışmaları zorlaştırır ve çalışana zarar verebilir. Daha kolay ince film oluşturmaları için birçok kimyasal yöntem geliştirilmiş ve araştırmalara devam edilmektedir.

Bu kimyasal yöntem, başlangıç malzemesi olarak bir solüsyon içerdiği ve bu solüsyon kullanarak jel gibi bir yapı elde edildiği için Sol-Jel yöntemi adı altında toplanmıştır. Sol-Jel yöntemi, geleneksel yöntemlere oranla daha düşük sıcaklıklar (100-600 °C) gerektirir. Sol-Jel yöntemi, özellikle organik olmayan ince film kaplamalarında kullanılmaktadır [55].

Ayrıca Sol-Jel yönteminin teknolojik olarak en önemli noktası; katılaşmadan önce çözeltinin, daldırma, döndürme ve püskürtme yaygın yöntemleri ile ince film hazırlanmasında ideal olmasıdır [56].

4.1 Sol-Jel Yönteminin Avantajları

1. Yüksek sıcaklık ve vakum gerektirmez.
2. Gerekli alet ve makine çok basittir.
3. Hazırlanan ortamla etkileşimde bulunmaz.
4. Saf kaplama elde edilebilir.
5. Kaplanan malzemenin her yerinde kaplama maddesinin kalınlığı aynıdır. Elde edilen film homojendir.
6. Kaplanan filmin yüzey alanı, boşluklu yapının istenen boyutu istenilen şekilde ayarlanabilir (araştırmalarla yüzey alanının 1 ile 250 m²/g arasında değişebileceği gösterilmiştir).
7. Süreçler kolayca kontrol edilebilir

8. Her türlü geometriye sahip malzemeye uygulanabilir.
9. Gözenekli yapı oluşur. (%0 ile %65)
10. Enerji tasarrufu sağlar.
11. Hava kirliliğine sebep olmaz.

4.2 Sol-Jel Yönteminin Dezavantajları

1. Kullanılan bazı maddeler sağlığa zararlı olabilir.
2. Özellikle katmanlı filmlerin hazırlanması uzun zaman alır.
3. Malzeme maliyetleri fazladır.
4. Oluşturulan filmlerde karbon çökeltisi kalır.
5. Filmlerde hidroksil birikir.
6. İşlemler sırasında solüsyon kaybı fazladır.
7. Çözeltinin ömrü kısadır [50].

5. METARYEL - METOT

5.1 TiO₂ NP Sol Hazırlama

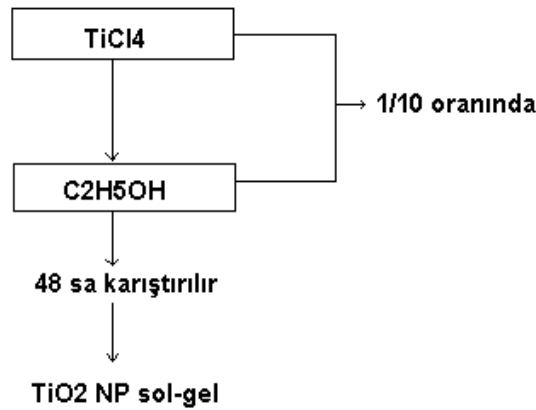
Sol-jel yönteminde genel titanyum kaynağı belli oranlarda solvent, stabilizatör ve bazı diğer yardımcı kimyasalların basit bir düzenekte karıştırılması ile uygulanan bir yöntemdir. Farklı sol-gel hazırlama teknikleri kullanıldığından çalışmada öncelikle bu yöntemlerin ekonomik olarak uygulanabilirliği araştırılıp değerlendirildikten sonra uygun görülen metotlar karşılaştırmalı ön denemelerden sonra seçilmiştir. Bu kapsamda, Literatürde farklı sol-gel hazırlama teknikleri taraması yapıp sol-gel hazırlama yöntemleri araştırılmış ve aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

5.1.1 Seçilen sol-jel metotlarının uygulanması

Çalışmada sol-jel yöntemi ile TiO₂ NP hazırlama yöntemleri araştırılmış ve aşağıdaki 4 metot seçilerek hazırlanmıştır.

5.1.1.1 1. metot

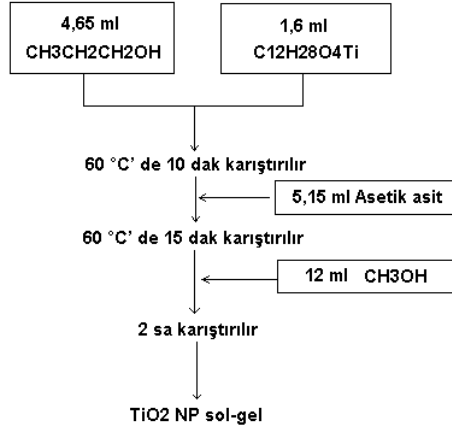
İlk yöntemde TiCl₄ kullanılarak TiO₂ NP hazırlanmıştır. TiCl₄ (Merck) 1/10 oranında (TiCl₄/Ethanol = 1/10) damla damla ethanole (C₂H₅OH) eklendi (manyetik karıştırıcıda). Oluşturulan sol-gel oda sıcaklığında 48 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Elde edilen açık sarı renkli sol-gel diyaliz edildikten sonra şeffaflaştırılarak pH değeri 3 civarında çalışmalarda kullanıldı [57] (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 1.Metot hazırlama şeması

5.1.1.2 2. metot

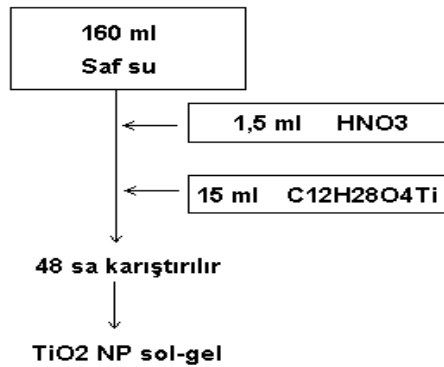
Bu yöntemde ilk olarak 4,65 ml isopropanol 1,6 ml titanium isopropoxide (Aldrich; %97) içerisine eklendi. Elde edilen çözelti 60 °C' de 10 dak karıştırıldı. Karıştırma işleminden sonra çözeltiye 5,15 ml asetik asit ilave edilerek 15 dak boyunca 60 °C' de karıştırıldı. Son olarak 12 ml metanol eklenerek elde edilen çözelti 2 saat süre ile karıştırıldı. Karıştırma diyaliz edilen şeffaf sol pH 3 civarında çalışmalarda kullanıldı [58] (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 2.Metot hazırlama şeması

5.1.1.3 3.metot

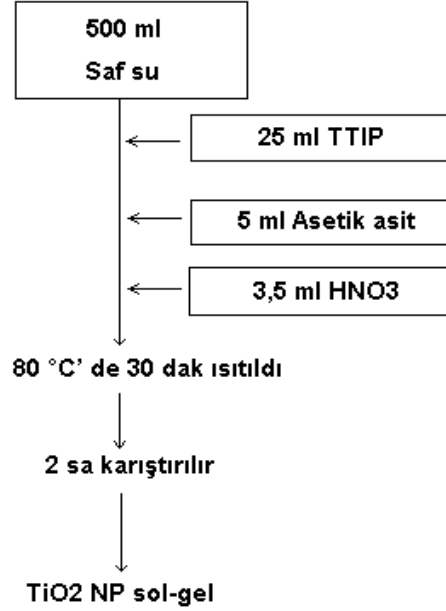
160 ml saf su içerisine sırasıyla 1,5 ml nitrik asit ve 15 ml titanium IV-isopropoxide (Aldrich; %97) eklendi. Elde edilen çözelti 2 gün boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Sol-gel' in rengi karıştırma işlemi boyunca giderek açılarak beyazdan şeffaf bir renge dönüştü. Sol diyaliz edilerek pH 3 civarında çalışmalarda kullanıldı.(Şekil 5.3)



Şekil 5.3 3.Metot hazırlama şeması

5.1.1.4 4. metot

Son olarak uygulanan yöntemde ise; 25 ml Titanium Tetra İsopropoxide (TTIP) (Aldrich; %97) ve 5 ml asetik asit 500 ml distile suya eklendi. Daha sonra 3,5 ml HNO₃ eklenerek elde edilen karışım 80 °C' de 30 dak ısıtıldı. Oluşturulan TiO₂ kolloidi 2 sa boyunca manyetik karıştırıcı üzerinde bekletildi [59]. Sol diyaliz edilerek pH 3 civarında çalışmalarda kullanıldı.(Şekil 5.4).



Şekil 5.4 4.metot hazırlama şeması

5.2 Hazırlanan Sollerin Diyaliz Edilmesi

Hazırlanan sollerin pH değeri çok düşüktür. Eğer pH ayarı yapılmadan tekstil yüzeyine uygulanırsa hem kumaşın aşınmasına sebep olacak hem de oluşan atıklar çevreye daha fazla zarar verecektir. Bu yüzden pH ayarı yapılmıştır. Bunu sağlamak için de diyaliz membran (Spectra/ Por Dialysis Membrane – MWCO : 3,500 Da) kullanılmıştır. Hazırlanan soller Şekil 5.5 ve Şekil 5.6' da görüldüğü gibi membran içine doldurulup saf su içerisinde pH ayarlanması yapılmıştır (pH = 2,6 – 2,7). Daha yüksek pH da sollerin jel haline geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.5 pH dengelenmesi yapılan sol-jel'ler-1



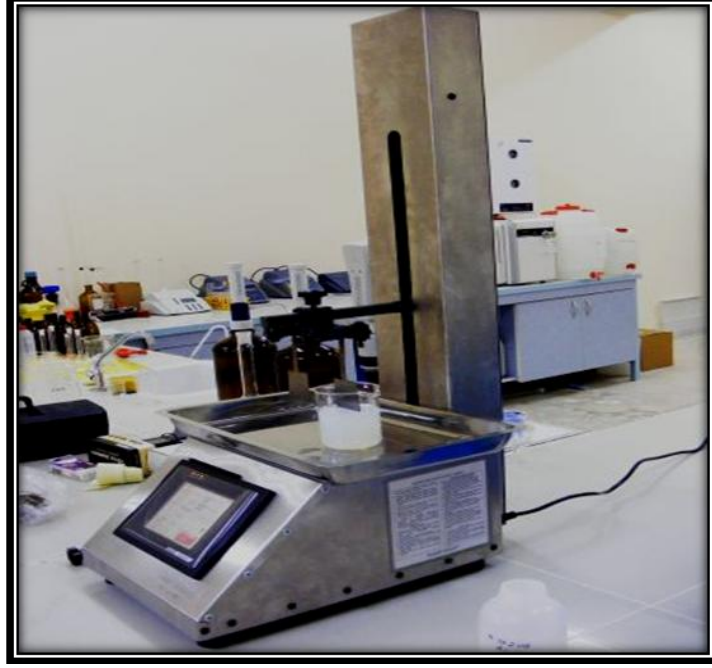
Şekil 5.6 pH dengelenmesi yapılan sol-jel'ler-2

5.3 Film Karakterizasyonu

5.3.1 Nano film kaplama

Tüm elektrot kaplama çalışmalarında standart daldırma çekme koşullarını sağlayan Reymak R-DC 430 Daldırma-Çekme cihazı (Şekil 5.7-5.8) ile yapılmıştır. Hareket hızı 5 mm/dak ile 999 mm/dak arasında değişen cihazın çalışma aralığı 430 mm' dir. Hareket sayısı ise max 999 adettir. Kaplama işleminde 4*5 cm² titanyum folyeler (Good Fellow) hazırlanan sollar ile kaplanarak filmlerin fotokatalitik ve

fotoelektrokatalitik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Kaplama sonrası elektrotlar 70–400 °C sıcaklık aralıklarında fırınlarda yakma işlemine tabi tutularak filmlerin aktivasyonu sağlanmıştır.



Şekil 5.7 Reymak R-DC 430 Daldırma-Çekme Cihazı-1



Şekil 5.8 Reymak R-DC 430 Daldırma-Çekme Cihazı-2

5.3.2 Filmlerin morfolojik ve yapısal özellikleri

Tekstil yüzeylerine uygulanacak TiO₂ NP'in boyutları ve zeta potansiyeli, kaplama sonrası atık suya geçen nano partiküllerin boyut ve zeta potansiyeli ölçümleri, NP kaplama işlemi sonrası oluşan atık suyun çeşitli arıtma sistemleri ile arıtılması sonrası bakiye kalan NP'lerin boyutlarının ve zeta potansiyellerinin belirlenmesi Partikül Boyutu ve Zeta Potansiyeli Zetasizer Nano-ZS90 cihazı (Şekil 5.9) ile ölçülmüştür.



Şekil 5.9 Nano-ZS90 cihazı

TiO₂ ve metal iyonlarının pamuklu tekstil yüzeylerindeki konsantrasyonları, çeşitli yıkama devir ve sıcaklıklarında suya geçen miktarları ve çeşitli arıtmalar sonrasında suda bakiye kalan miktarları Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Su Kimyası Laboratuvarı bünyesindeki Optima 2100 DV ICP-Optical Emission Spectrophotometre (ICPOES) (Perkin Elmer) ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

5.3.3 Filmlerin optik özellikleri

Materyal metot kısmında detayları verilen 4 sol hazırlama metodu ile elde edilen nano partiküllerin optik özellikleri lamların daldırma-çekme yöntemi ile kaplanması ve oda sıcaklığında kurutulması sonrası UV-Vis spektrofotometrede 200-600 nm dalga boylarında absorpsanları belirlenmiştir (Şekil 5.10).

Sol ile kaplamadan önce lamlar önce etanole batırılıp kurutuldu. Bu işlem 3 kere tekrarlandı. Daha sonra lamlar hazırlanan sollere batırıldı. Oda sıcaklığında kurutulmuş absorpsan ölçümü gerçekleştirildi.

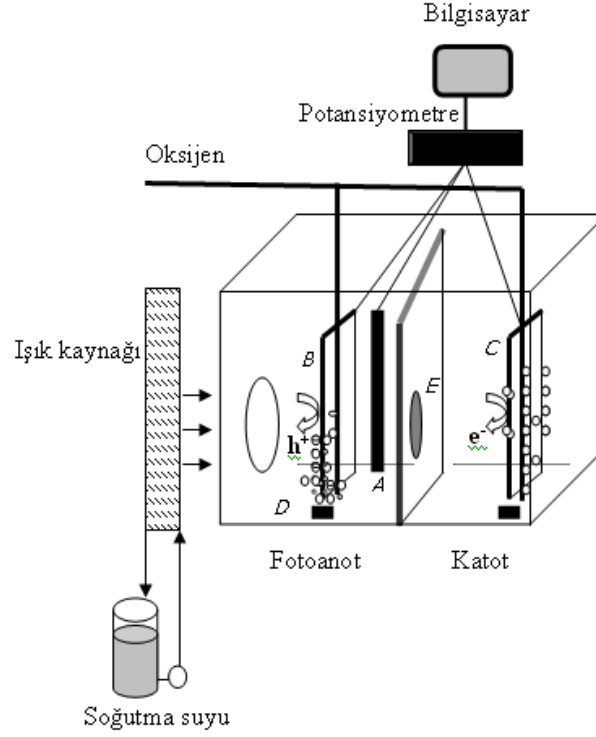


Şekil 5.10 UV-Vis spektrofotometre

5.3.4 Filmlerin fotoelektrokatalitik (FEK) ve fotokatalitik (FK) özellikleri

5.3.4.1 Elektrotların kaplanması ve fotoakımlarının ölçülmesi

Hazırlanan TiO_2 NP titanyum üzerine sol-gel daldırma çekme yöntem ile kaplama yapıldıktan sonra TiO_2 NP' ile kaplı bu elektrotlar FEK reaktör sistemi içerisinde (Şekil 5.11) ve farklı elektrik potansiyeli altında bir elektrolit çözeltisi (0,05 M NaSO_4) içerisinde kullanılarak filmler üzerindeki foto akım ölçülmüştür. Farklı yöntemlerle hazırlanan solların seçiminde fotoakım değerleri gözönünde bulundurulmuştur.



Şekil 5.11 FEK reaktör sistemi

5.4 Kullanılan Tekstil Atık Suyu ve TiO₂ NP Karakterizasyonu

Bu çalışmada kullanılan tekstil atık suyu yıkama, boyama, ağartma ve apre prosesleri olan ve çoğunlukla pamuklu tekstil işlenen bir tekstil fabrikasının arıtma tesisi dengelem tankından alınmıştır. Fabrikada mercerizasyon işlemi uygulanmadığı için atıksu pH'ı 7.5 – 8.5 civarındadır. Boyama işleminden dolayı atıksu oldukça renklidir ve düşük BOİ/KOİ değerine sahiptir.

Tablo 5.1 Atıksu karakterizasyonu

KOI (mg/L)	1260
BOI (mg/L)	350
pH	8,50
Sülfür (mg/L)	42

TiO₂ NP için partikül boyut dağılımı 30 nm civarındadır.

5.4.1 Tekstil atıksuyu karakterizasyonu

NP kaplama işleminin tekstil sektörüne uygulanması durumunda NP'in tekstil atık suyunda taşınımının incelenmesi için tekstil atık suyuna NP'ler ilave edilerek NP taşınımları ve arıtımı incelenmiştir. NP kaplama işlemi sonrası oluşan atık suyun çeşitli kimyasal arıtma ile arıtılması sonrası bakiye kalan NP'in boyutlarının ve zeta potansiyellerinin belirlenmesi Partikül Boyutu ve Zeta Potansiyeli ölçümü Zetasizer Nano-ZS90 cihazı ile yapılacaktır.

5.5 Arıtma

5.5.1 Kimyasal arıtma

TiO₂ NP'in ve pamuklu tekstil atık suyuna farklı oranlarda ilave edilen NP'in kimyasal arıtılabilirliğe etkisini ortaya koymak amacıyla, belirlenen etkin koşullarda tekstil malzemelerinin kaplanması ve yıkanması ile atık su oluşturulacak ve oluşan atık suyun arıtılması için Al(III), Fe(II) ve Fe(III) koagülantları farklı dozlarda kullanılarak kimyasal koagülasyon işlemi yapılacaktır.

Koagülasyon işlemi için atık suya istenen dozda koagülant eklenerek Jar-test cihazında 5 dakika 120 rpm'de hızlı ve 20 dakika 30 rpm'de yavaş karıştırma ve 60 dakika çöktürme süresi sonunda üst duru fazdan alınan arıtılmış suyun zeta potansiyeli ve içerdiği NP'lerin boyutu ve miktarları ölçülmüştür.

Koagülant ile TiO₂ NP'in etkileşimleri koagülant tipine ve pH'a bağlı olarak farklı olacağı beklenmekle birlikte TiO₂ NP'in çöktürme yöntemi ile atık sudan uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Bu uygulama ilk kez bu çalışmada uygulanacaktır. Bu nedenle doğal su sistemlerinde NP' in taşınması ve oksidasyon zincirine katılması konularında önemli bilgiler verecektir. Koagülant ile TiO₂ NP' in etkileşimleri koagülant tipine ve pH' a bağlı olarak farklı olacağı beklenmekle birlikte TiO₂ NP çöktürme yöntemi ile atık sudan uzaklaştırılması hedeflenmektedir.

5.6 Nanopartiküllerin Toksikitesi

Kaplamaların yapılmasından sonra tekstil yıkama banyosunun her aşamasında ve genel çıkış suyunda (toplam atık su) NP'in oluşturabileceği toksisiteyi belirleyebilmek amacıyla aşağıdaki standard yöntemler baz alınarak literatürde

belirtilen modifikasyonlar da göz önüne alınarak ilk olarak uygulaması yapılacak bu çalışmaya göre yeni modifikasyonlar da uygulanmıştır.

Tablo 5.2 Toksikite testinde uygulanan standart yöntemler

Testin adı	Kullanılan standart metod
Su piresi akut zehirlilik tayini	ISO (International Organisation for Standardisation) (1996). Water quality: determination of the inhibition of the mobility of <i>Daphnia magna</i> Straus (Cladocera, Crustacea)- Acute toxicity test, ISO 6341, Geneva, Switzerland. (TS 6050 EN ISO 6341/Nisan 1999)
Su piresi kronik zehirlilik tayini	ISO (International Organisation for Standardisation) (2000). Water quality -- Determination of long term toxicity of substances to <i>Daphnia magna</i> Straus (Cladocera, Crustacea), ISO 10706. Geneva, Switzerland
	OECD Guideline for the Testing of Chemicals (1998). <i>Daphnia magna</i> Reproduction Test. OECD-211. Paris.
Bakteri büyüme hızının inhibisyonu	ISO (International Organisation for Standardisation) (1998). Water quality -- Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of <i>Vibrio fischeri</i> (Luminescent bacteria test) -- Part 2: Method using liquid-dried bacteria, Part 3: Method using freeze-dried bacteria. ISO 11348-2-3, Geneva, Switzerland. (TS EN ISO 11348-2/Nisan 2002)
Tek hücreli tatlı su algı büyüme hızının inhibisyonu	ISO (International Organisation for Standardisation) (2004). Water quality – freshwater algal growth inhibition test with unicellular green algae, ISO8692. Geneva, Switzerland. (TS EN ISO 8692 Ocak 2007)

Toksikite deneyi -1’de hazırlanan numuneler analiz için Napoli Federico II (İtalya) Üniversitesi’ne gönderildi. Deneylerde *Daphnia Magna* su piresi kullanılmıştır (Şekil 5.12) [60].



Şekil 5.12 *Daphnia Magna*

Toksisite deneyi – 2 Napoli Federico II (İtalya) Üniversitesinde yapılmıştır.

Deneyde *Ceriodaphnia dubia* su piresi kullanıldı (Şekil5.13)[61].

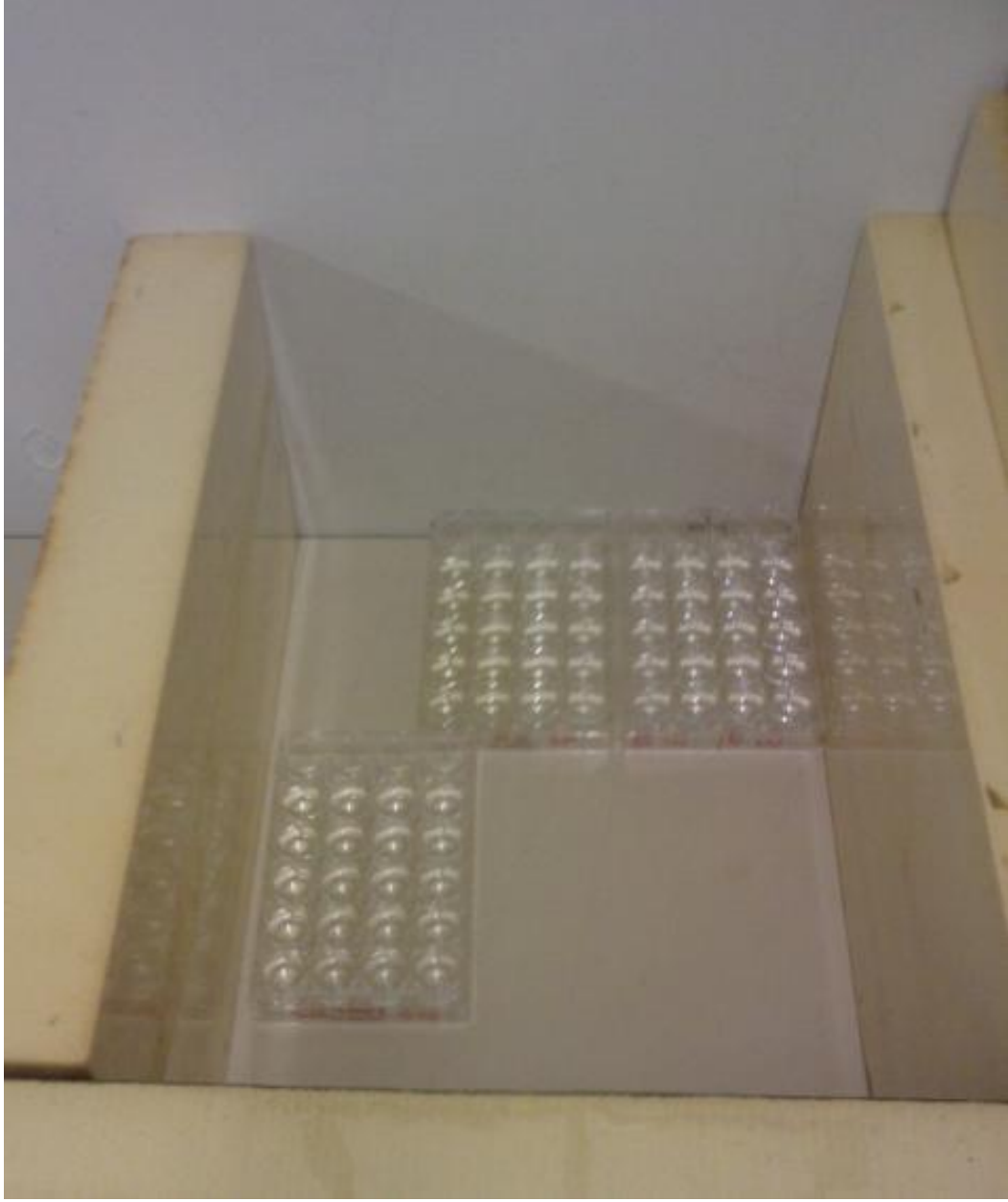


Şekil 5.13 Ceriodaphnia Dubia

Her numune 2 kez tekrarlandı. Numuneler %100, %50, %25 ve %12,5 oranlarda çalışıldı. Deney 2 tekrarlı çalışıldı. 10 hücrenin her birine aynı numuneden 2 ‘şer ml kondu. Daha sonra her bir hücreye 1 adet *Ceriodaphnia dubia* su piresi eklenerek karanlık ortamda bekletildi (Şekil 5.12 – 5.13). 24 saat ve 48 saat sonunda okumalar yapıldı.



Şekil 5.14 *Ceriodaphnia dubia* ile Toksisite Deney Düzeneği



3

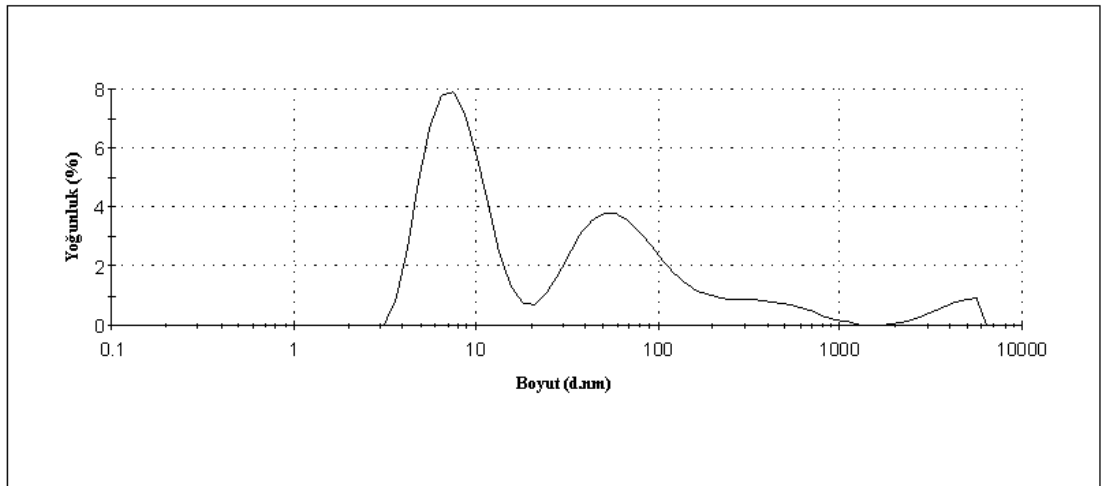
Şekil 5.15 Toksikite Deney Düzenegi

6. BULGULAR

6.1 Hazırlanan Sollerde TiO₂ NP'lerin Boyut Analizi

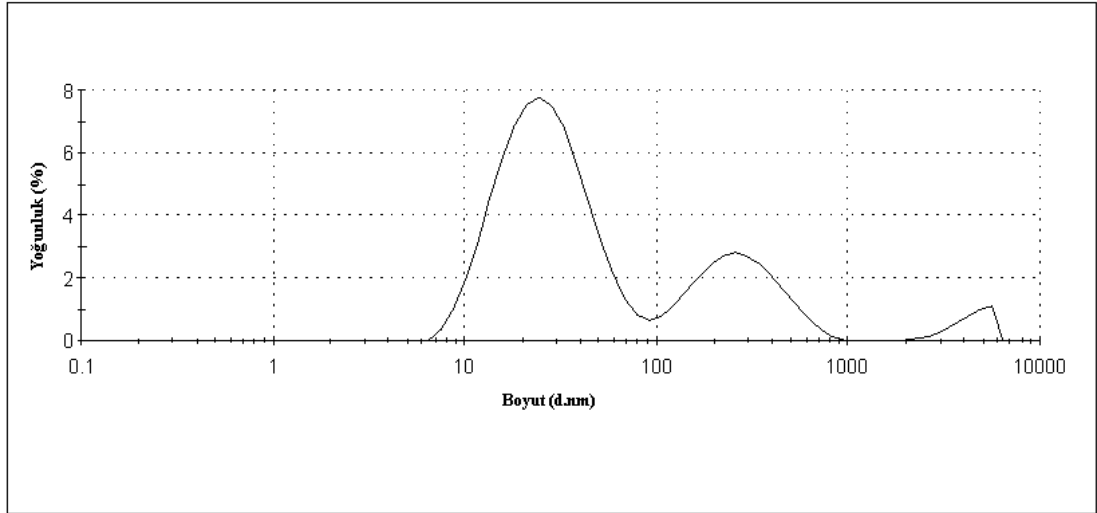
Partikül boyutu kaplamalarda en önemli parametrelerden biri olup partiküllerin tekstil malzemesi gibi pürüzlülüğü ve porozitesi farklı yüzeylere kaplanmasını, kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğünü ve boyut partikül renklerinin değişmesi nedeniyle kaplama yüzeyi renginide etkiler.

1, ve 2. metotlar ile hazırlanan sollerde TiO₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımının belli bir aralıkta üniform olmadığı iki farklı histogramı eğrisi ile farklı dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. 1. metot ile elde edilen partiküllerin boyutlarının ortalama 13 nm civarında olduğu fakat partikül büyüklüğünün ortalama 7 nm ve 60 nm boyutlarında yoğunlaşarak iki farklı histogram oluşturduğu görülmüştür (Şekil 6.1).



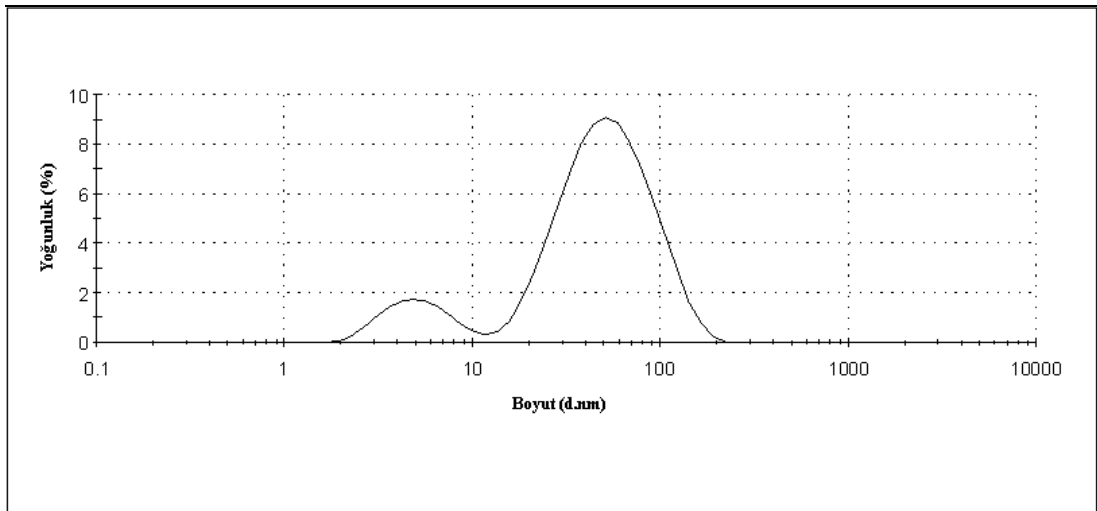
Şekil 6.1 1. Metot ile elde edilen TiO₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı

2. metot ile hazırlanan TiO₂ NP'lerinin boyutlarının ortalama 27 nm civarında olduğu fakat partikül büyüklüğünün ortalama 22 nm ve 200 nm boyutlarında yoğunlaşarak birinci metota benzer şekilde iki farklı histogram oluşturduğu görülmüştür (Şekil 6.2). 1. ve 2. metotla hazırlanan sollerde mikro gram seviyesinde partiküllerin olduğuda görülmüştür (Şekil 6.1 – 6.2).



Şekil 6.2 2. Metot ile elde edilen TiO₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı

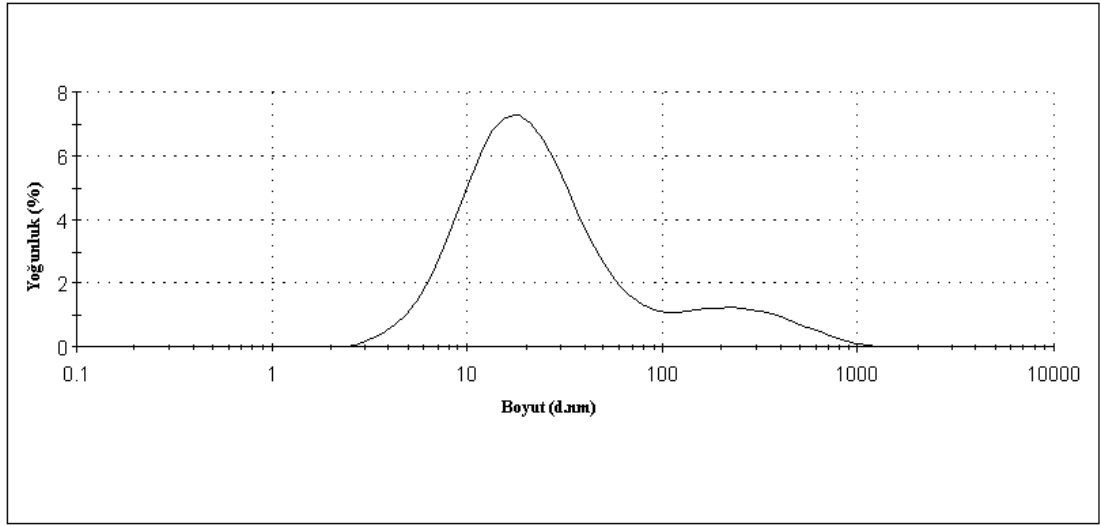
Sarı renkte TiO₂ kristalleri oluşturan 3. metot ile hazırlanan TiO₂ NP'lerinin boyutlarının açık bir şekilde 200 nm den düşük olduğu Şekil 6.3'de görülmektedir. 5 nm boyutunda ikinci bir histogram görülsede genel olarak 3. metot ile 31 nm civarında uniform bir partikül boyutu elde edilmektedir.



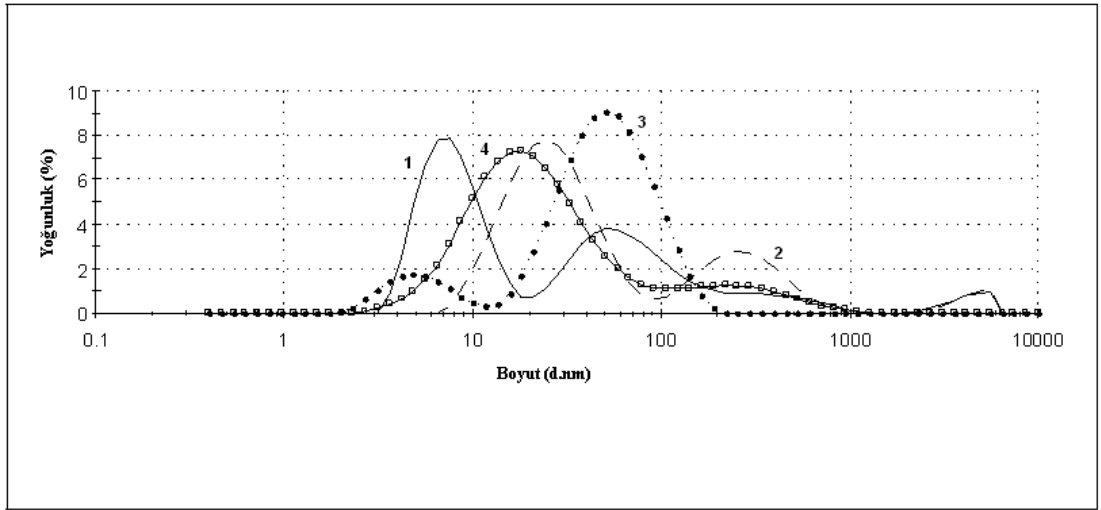
Şekil 6.3 3. Metot ile elde edilen TiO₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı

TiO₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı analizlerinde 4. metot ile hazırlanan sollerde tek histograma yakın bir sonuç elde edilmiştir (Şekil 6.4). Partikül dağılımı 18 nm civarında bulunmuş olup çok az miktarda sollerde 100 nm'nin üzerinde partikül oluştuğu görülmüştür. Sonuç olarak ortalama en küçük partikül çapı 1. metot ile elde

edilirken en uniform partikül çapı 4 metot ile 18 nm civarında elde edilmiştir. Dört metota ait TiO₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı şekil 6.5'te sunulmuştur.



Şekil 6.4 4. Metot ile elde edilen TiO₂ NP'lerinin partikül boyut dağılımı



Şekil 6.5 TiO₂ solu hazırlama metotları ve partikül boyut dağılımı

Tablo 6.1 TiO₂ sol-gel metotları ve ortalama partikül boyutu

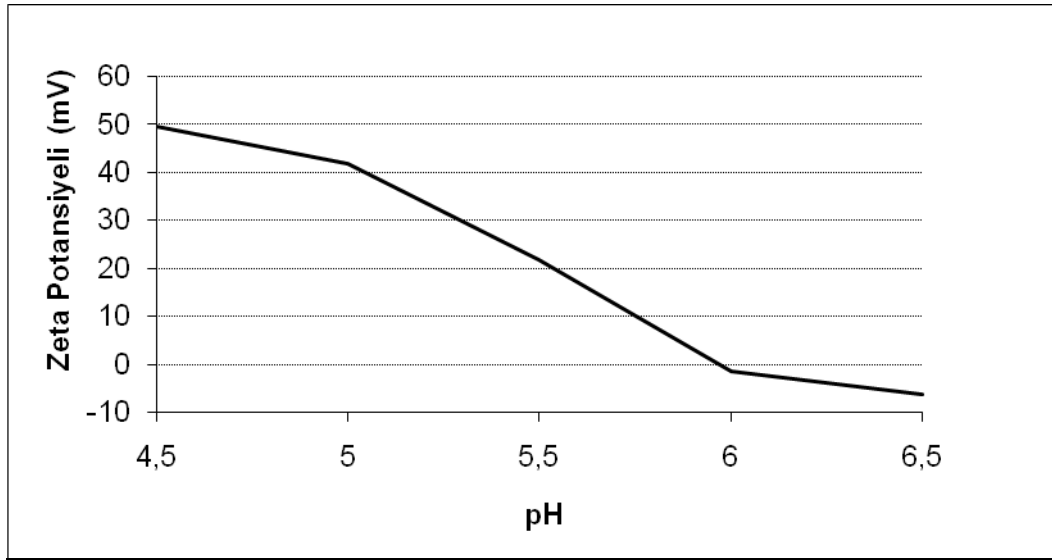
Metotlar	Ortalama partikül dağılımları
1. Metot	13.03 d.nm
2. Metot	31.08 d.nm
3. Metot	27.47 d.nm
4. Metot	18.44 d.nm

Kullanılan 4 sol hazırlama metotunda da partikül dağılımı 30 nm civarında bulunmuştur. Sollerdeki partikül dağılımında sol hazırlama tekniğinin değil pH değerinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

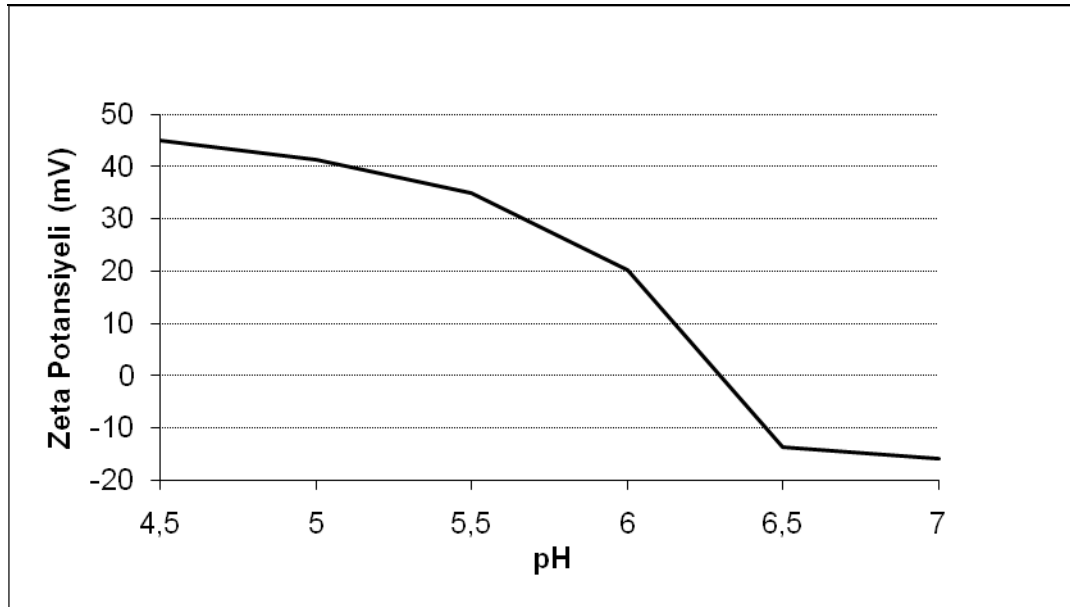
6.2 Farklı Metotlarla Hazırlanan Sollerin Zeta Potansiyeli

Zeta potansiyeli bir maddenin yüzey yükünün pH değerine göre değişimini gösterir. Geniş pH aralığında pozitif olan yüzeylerde negatif yüklü kirleticilerin ve mikroorganizmaların adsorpsiyonu elektrostatik çekimle hızlı bir şekilde gerçekleşir. Elektrostatik çekim ile yüzeye adsorplanan negatif yüklü kirletici ve patojen mikroorganizmaların giderilmesi daha hızlı olur. Artı ve eksi yüklerin eşit olduğu pH değeri (point of zero charge) olarak bilinen zeta potansiyeli ölçümü TiO₂ nano partiküllerinin antibakteriyel ve kendi kendini temizleme potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametrelerden biridir.

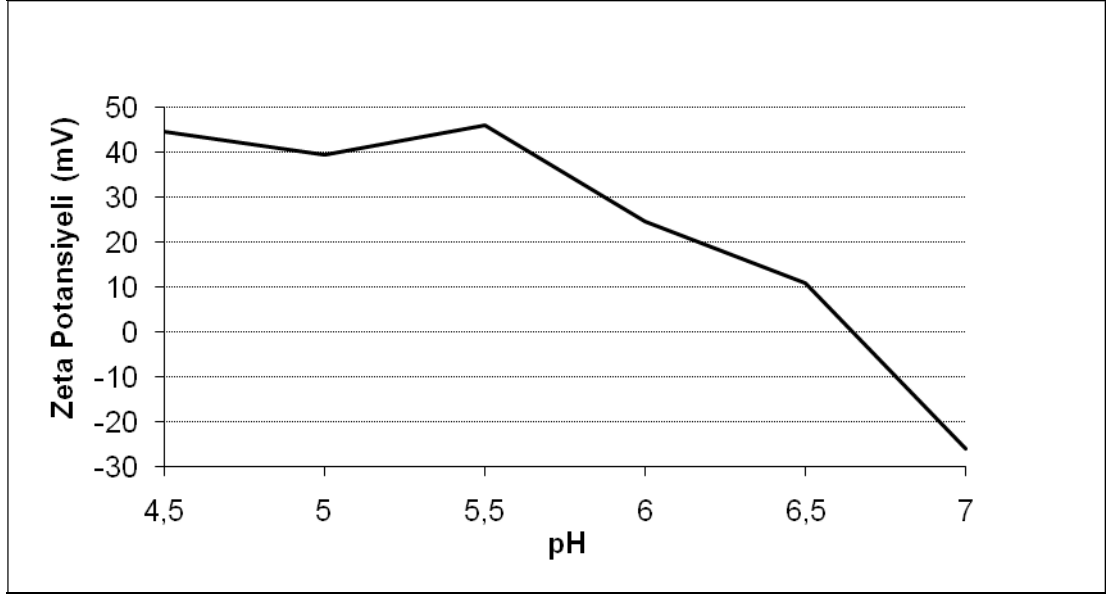
Bu çalışmada geliştirilen ve tekstil yüzeyinde uygulanan nano partikülün değerlendirilmesi için farklı yöntemlerle hazırlanan sollerin zeta potansiyelleri ölçülmüştür. Zeta sizer cihazı ile zeta potansiyeli ölçümü üzerine alınan sonuçlar sol hazırlama metotlarının zeta potansiyelini etkilediğini göstermektedir. Bu çalışmada metotların zeta değerleri arasında çok fazla fark olmadığı ve pH 4.5 civarında yük değerlerinin 50 civarında olduğu ve artan pH değerleri ile azaldığı görülmüştür (Şekil 6.6).



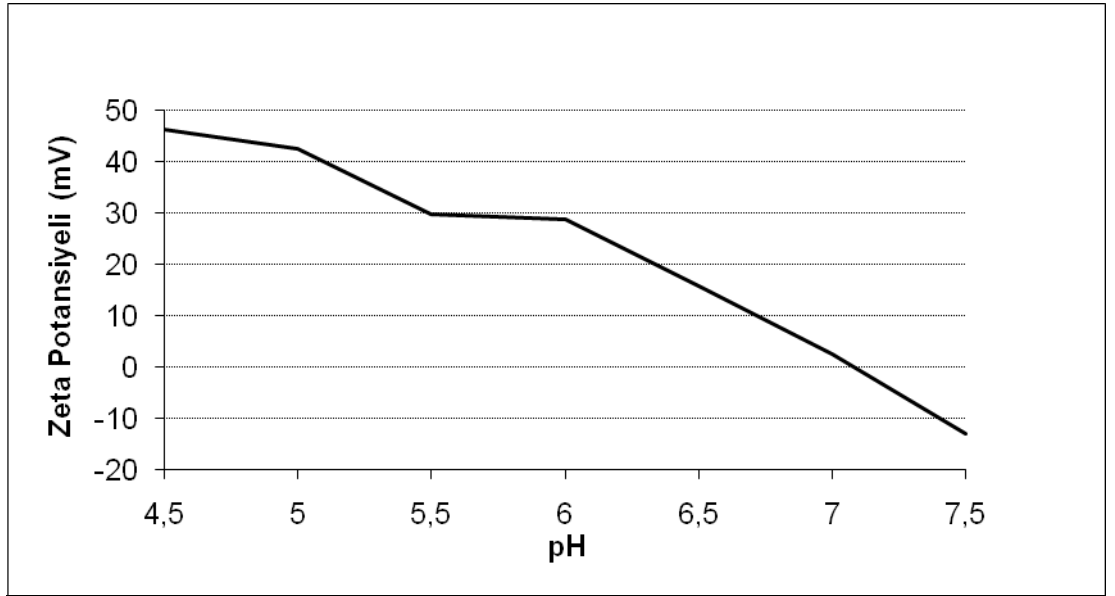
Şekil 6.6 1.Metot ile hazırlanan TiO₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi



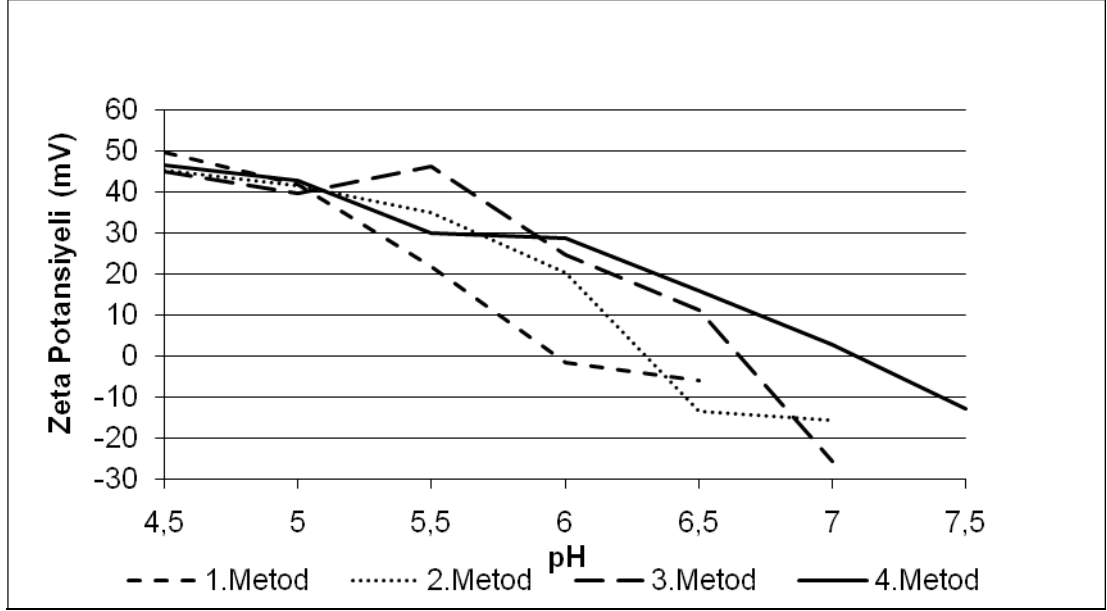
Şekil 6.7 2.Metot ile hazırlanan TiO₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi



Şekil 6.8 3.Metot ile hazırlanan TiO₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi



Şekil 6.9 4.Metot ile hazırlanan TiO₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi



Şekil 6.10 Farklı metotlarla hazırlanan TiO₂ nano partiküllerinin yüzey yükünün pH değerine göre değişimi

Tablo 6.2’ de verildiği gibi sıfır zeta potansiyeli pH değeri (7.0) en yüksek 4. metot ile hazırlanan TiO₂ nano partikülleri ile elde edilmiştir. 1. metot ile hazırlanan TiO₂ nano partiküllerinde ise en düşük sıfır yük pH değeri (6.0) gözlenmiştir. 2 .ve 3. metotlarla hazırlanan TiO₂ nano partiküllerinde ise sıfır yük pH değerleri sırasıyla 6.3 ve 6.7 elde edilmiştir.

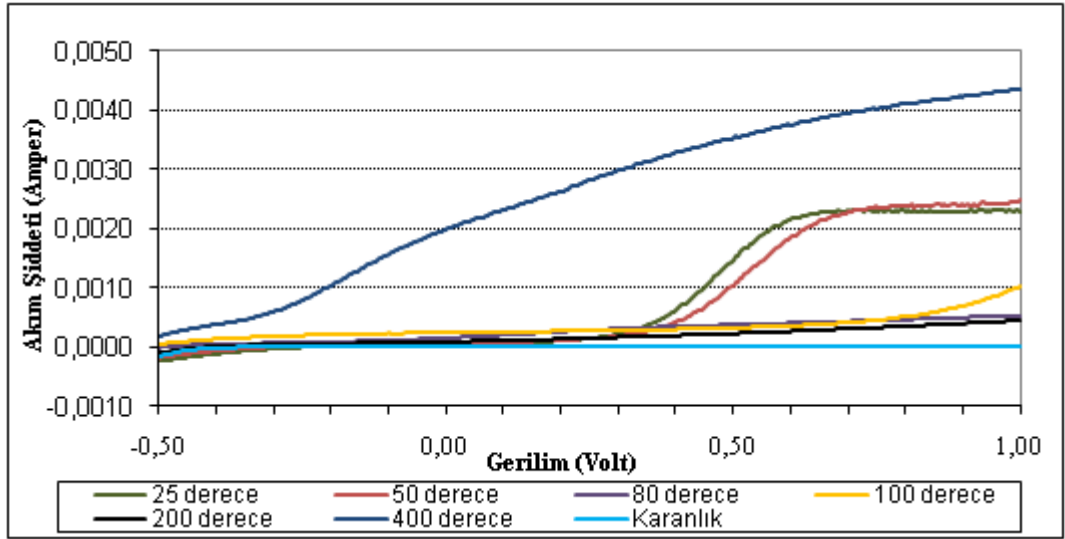
Tablo 6.2 TiO₂ solu hazırlama metotları ve sıfır yüzey yükü pH değeri

Metotlar	Sıfır zeta potansiyeli pH değeri
1. Metot	6.0
2. Metot	6.3
3. Metot	6.7
4. Metot	7.0

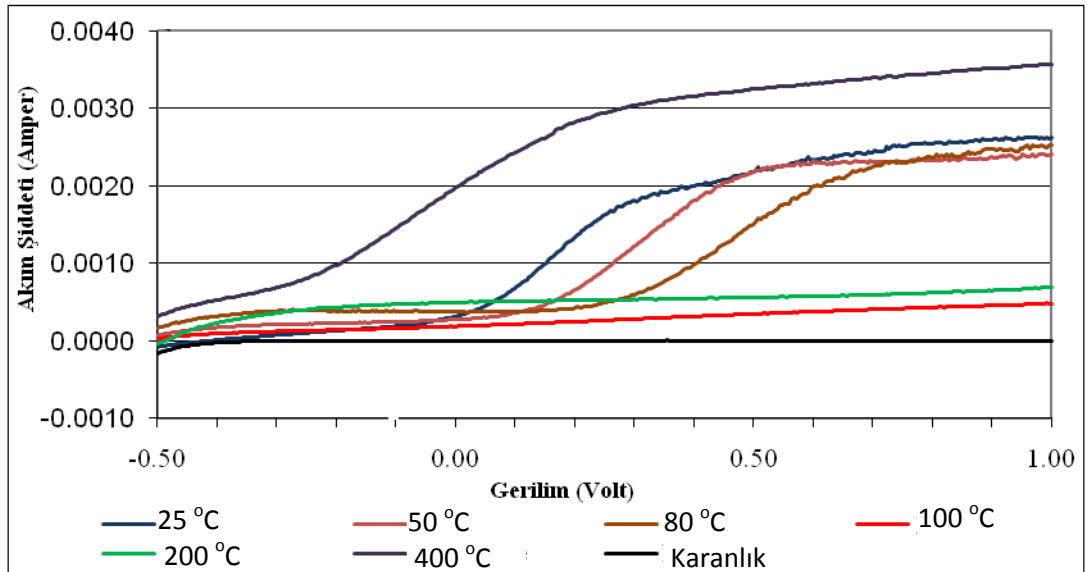
6.3 Filmlerin Fotoelektrokatalitik Özellikleri

Fotoelektrokatalitik verim filmlerin bir elektrokimyasal sistem içerisinde ışınlama ile oluşturduğu elektronun fotoakım olarak ölçülmesi ile elde edilir. Elde edilen fotoakım filmlerin fotokatalitik aktivitesi hususunda önemli bilgiler verir. Her zaman

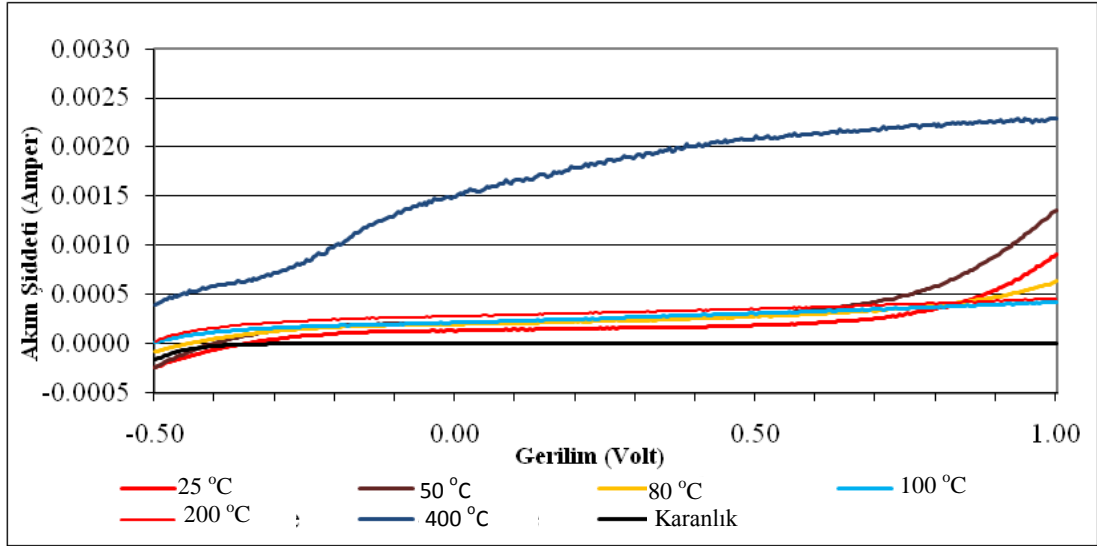
doğru olmamakla birlikte fotoakımın fazla elde edildiği filmlerin fotokatalitik aktivitesi veya başka bir değişle kendini temizleme ve antibakteriyel etkisinin daha fazla olması beklenir. Çalışmada tekstil malzemesi kaplaması seçildiğinden metal veya cam kaplamanın aksine düşük sıcaklıklarda kaplama yapılması zorunluluğu vardır. Bundan dolayı fotokatalitik verimi en yüksek tekstil kaplama metotunun seçilmesi için filmlerin fotoakımları farklı film kurutma (kalsinasyon) sıcaklıklarında araştırılmıştır. Aşağıda farklı sollarle kapladığımız elektrotların farklı sıcaklıklarda kurutulması ile yapılan ölçüm grafikleri verilmiştir (Şekil 6.11-6.14).



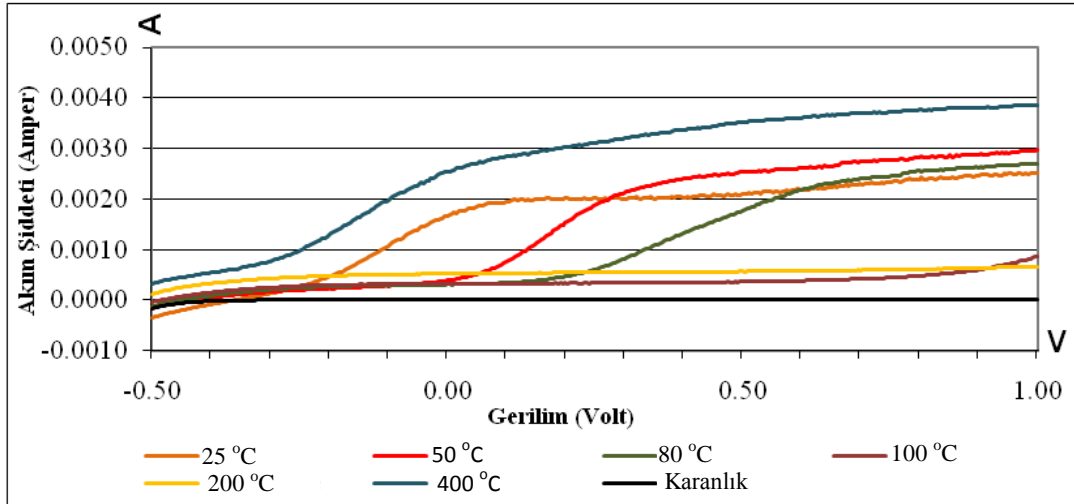
Şekil 6.11 1. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü



Şekil 6.12 2. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü



Şekil 6.13 3. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü



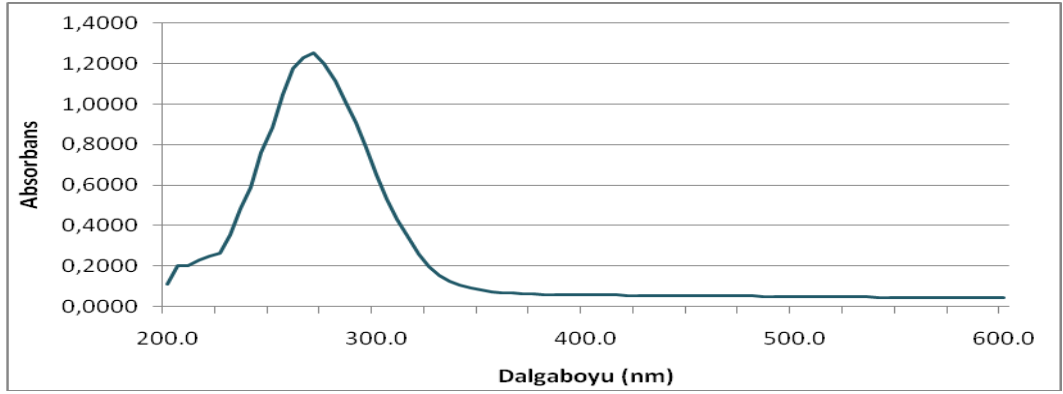
Şekil 6.14 4. Metot'un farklı sıcaklıklarda kalsinasyon sonrası fotoakım ölçümü

Şekil 6.12 'den görüleceği gibi 400 C^o de kalsinasyon sonrası en yüksek fotoakım 2 metot ile hazırlanan TiO₂ nano filmlerinde gözlenmiştir. Fakat sıfır potansiyelde 3 ve 4 metot ile hazırlanan TiO₂ nano filmlerinde yaklaşık olarak eşit bir fotoakım oluşturmuştur. En düşük fotoakım ise 1 metot ile hazırlanan TiO₂ nano filmlerinde elde edilmiştir.

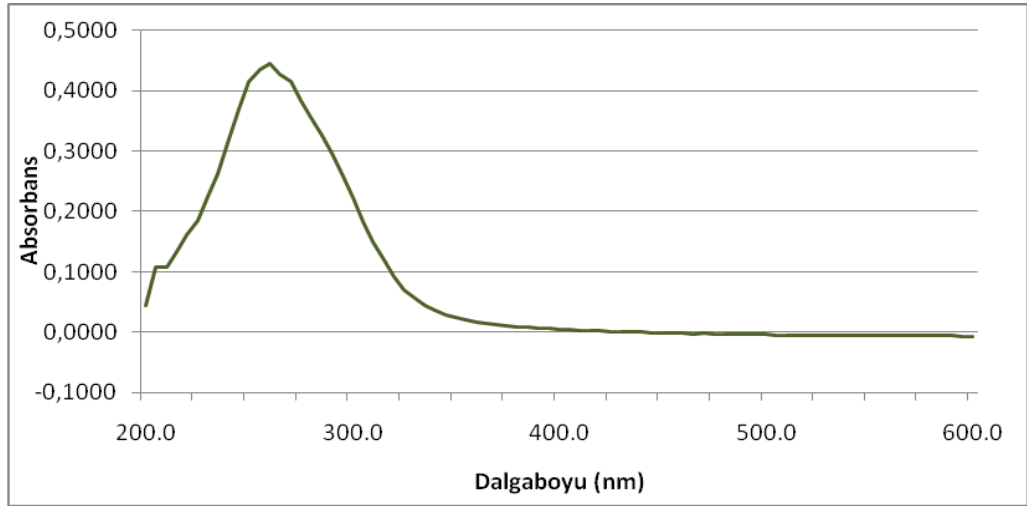
6.4 Hazırlanan Sollerin Optik Özellikleri

Optik özellikler TiO₂ gibi bir yarı iletken maddenin hangi dalga boyunda ışığı absorplayarak redikal oluşturduğunu göstermektedir. Bu özelliğe göre pek çok malzeme farklı dalga boylarında aktif olarak fotokatalizör özellik göstermektedir.

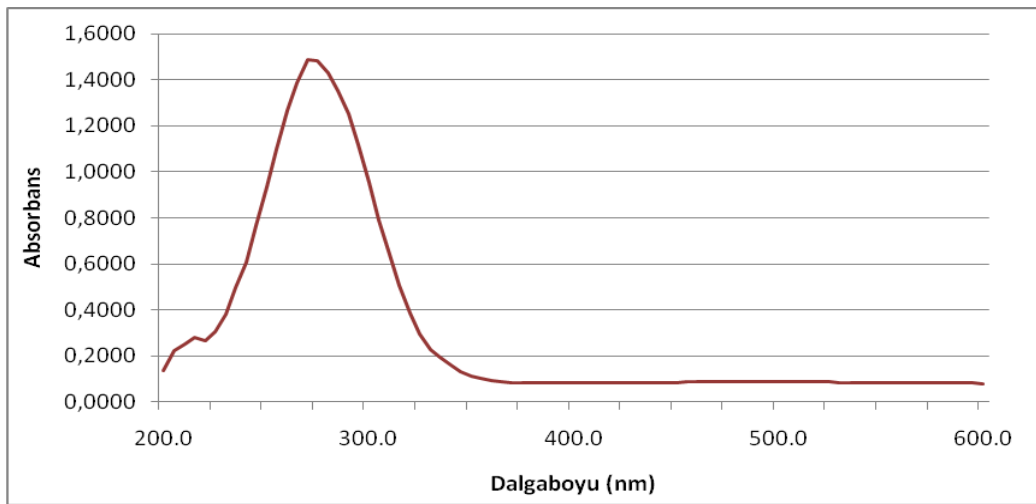
Dört farklı metotla hazırlanan TiO₂ NP'lerin UV-Vis spektrum taraması şekil 6.15 – 6.19 arasında verilmiştir.



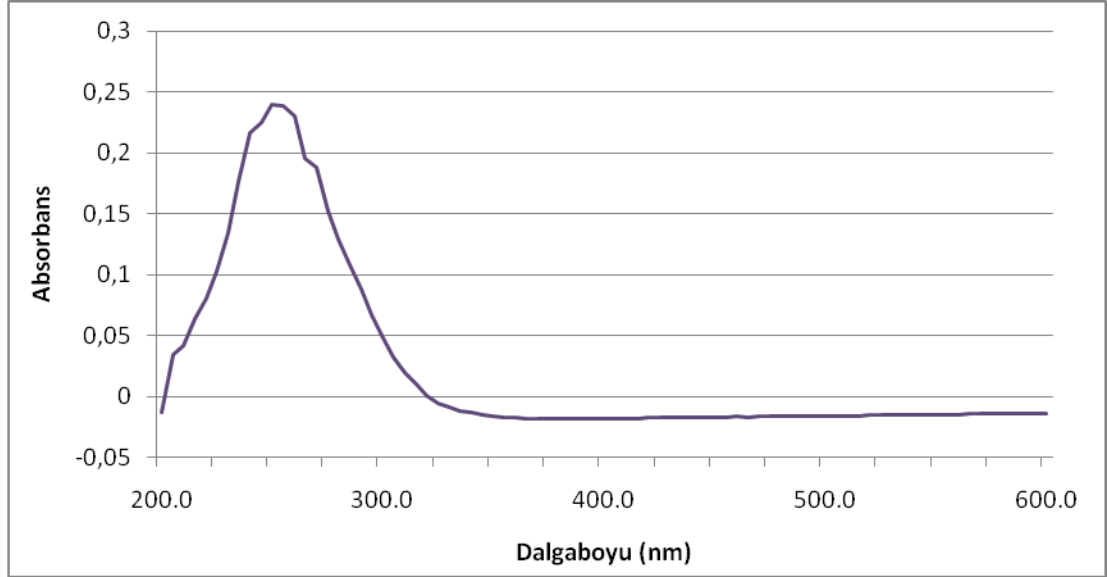
Şekil 6.15 1. Metot ile hazırlanan TiO₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması



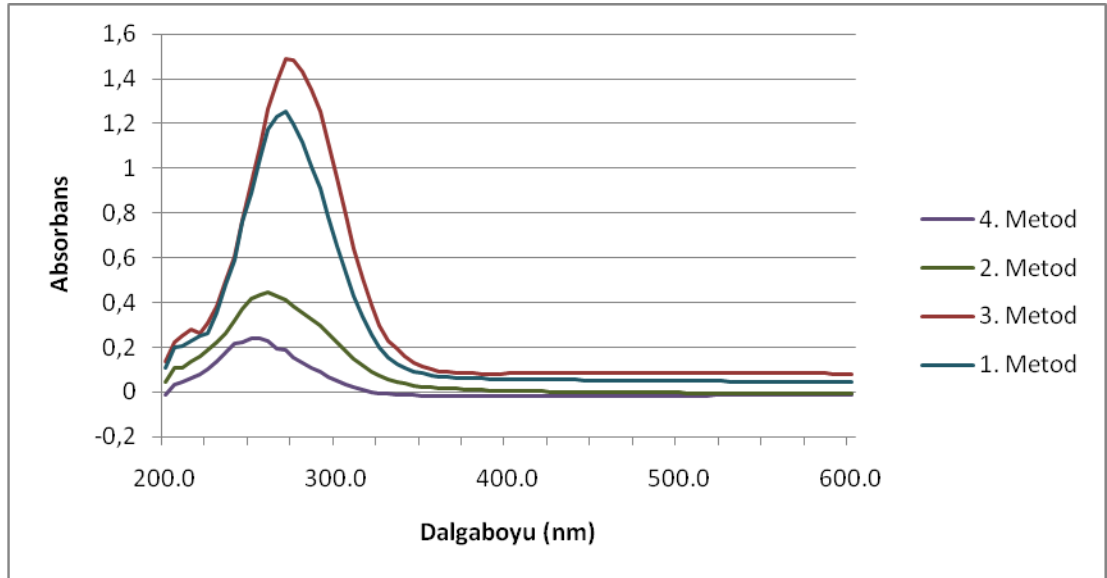
Şekil 6.16 2. Metot ile hazırlanan TiO₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması



Şekil 6.17 3. Metot ile hazırlanan TiO₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması



Şekil 6.18 4. Metot ile hazırlanan TiO₂ NP'ünün UV-Vis spektrum taraması

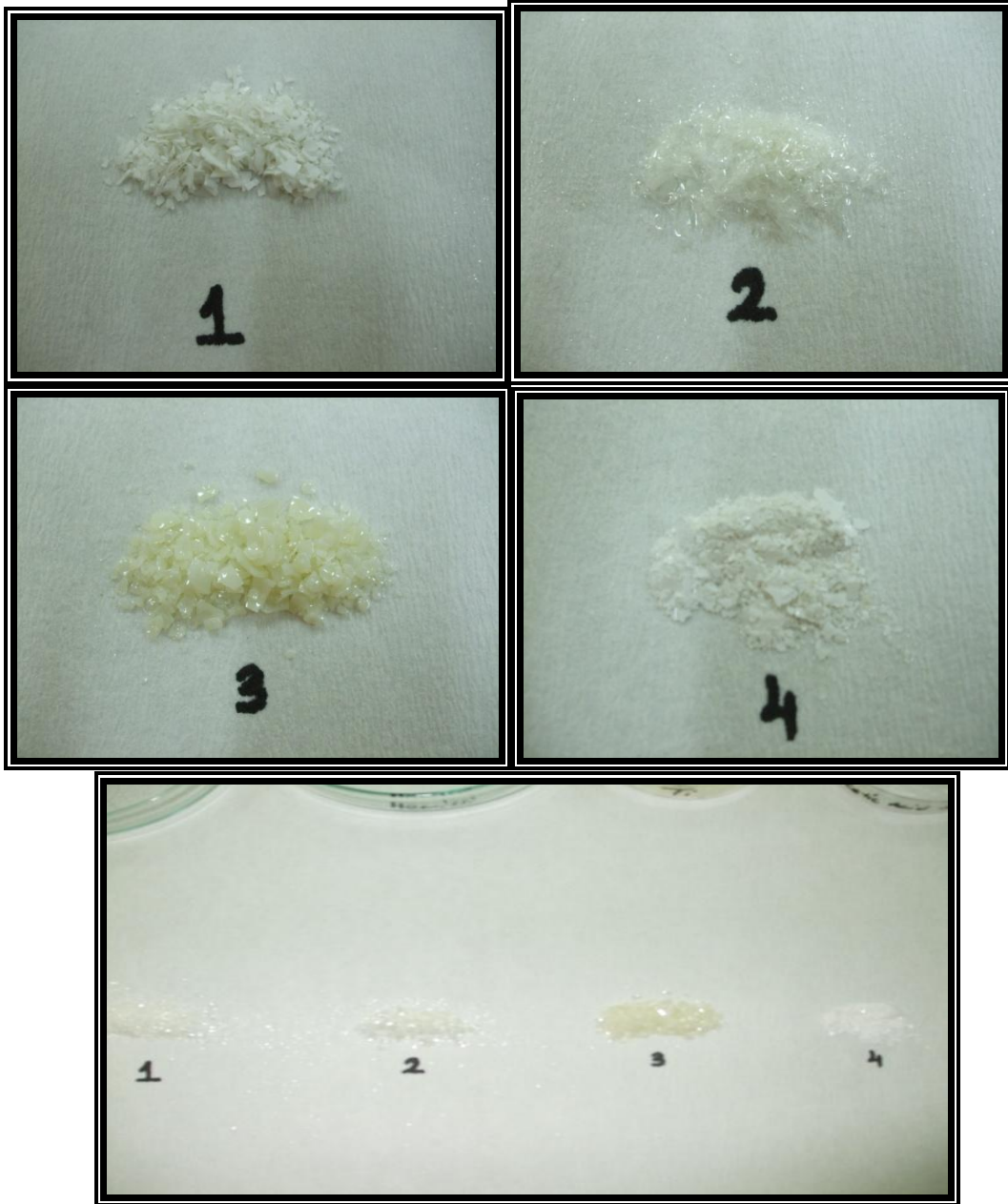


Şekil 6.19 Farklı metotlarla hazırlanan TiO₂ NP'lerinin UV-Vis spektrum taraması

Şekil 6.19'dan görüleceği gibi solların hepsinin 220-380 nm dalga boyu aralığında UV ışınlarını absorpladığı görülmüştür. Optik özellikler başka bir deyişle absorbans spektrumları 1. ve 3. TiO₂ nano partikül hazırlama yöntemi ile elde edilen TiO₂ kristallerinin daha geniş bir dalga boyunda UV ışınlarını absorpladığını göstermektedir.

Şekil 6.20'den de görüleceği gibi sollar kurutulduktan sonra 4 sol hazırlama metotları ile beyaz renkte TiO₂ kristali elde edilmiştir. 3 metot ile biraz daha kirli beyaz elde edilmiştir. 3 metot ile elde edilen TiO₂ kristallerinde sarı renk, 1 metot ile

elde edilen TiO_2 kristallerinde çok açık sarı renk gözlenmiştir. Optik ve görsel sonuçlar beyaz renkte elde edilen TiO_2 kristallerinin 200-320 nm arasında UV ışığını absorpladığı kristallerde sarı renk ile bu aralığın genişlediği ve TiO_2 kristallerinin 200-380 nm arasında UV ışığını absorpladığı görülmüştür.



Şekil 6.20 Sol hazırlama metotları sonrası nano partiküllerin görünümü

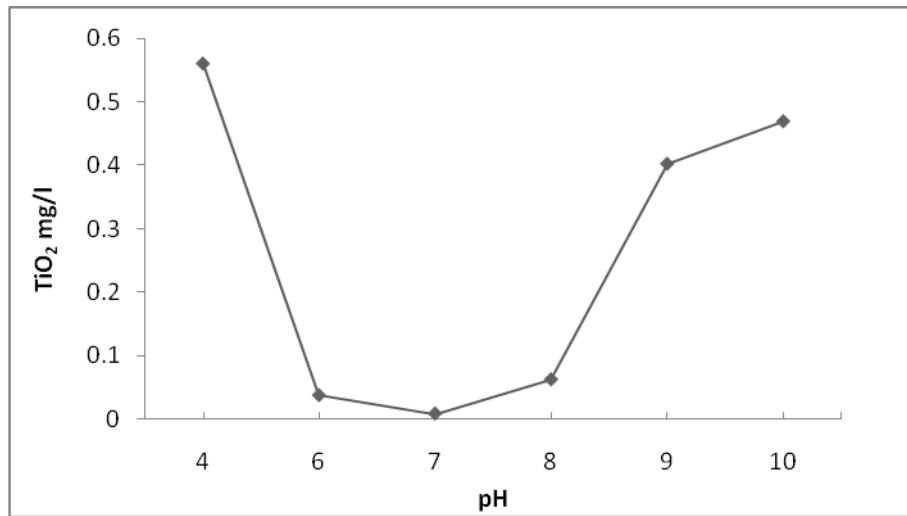
(1) 1. Metot , (2) 2. Metot, (3) 3. Metot, (4) 4. Metot

Sonuç olarak kullanılan 4 sol-gel metodu sonrası elde edilen TiO_2 kristallerinin UV ışığını absorpladığı 400 nm üzerindeki görünür ışığı absorplamadığı tespit edilmiştir. Tekstil kaplama alanında önemli olan TiO_2 kristallerinin renkleri konusunda ise en iyi beyaz renk 4 metot ile en iyi sarı renk ise 3 metot ile elde edilmiştir.

6.5 TiO₂ NP Oluşumu ve Taşınımı ve Arıtımı

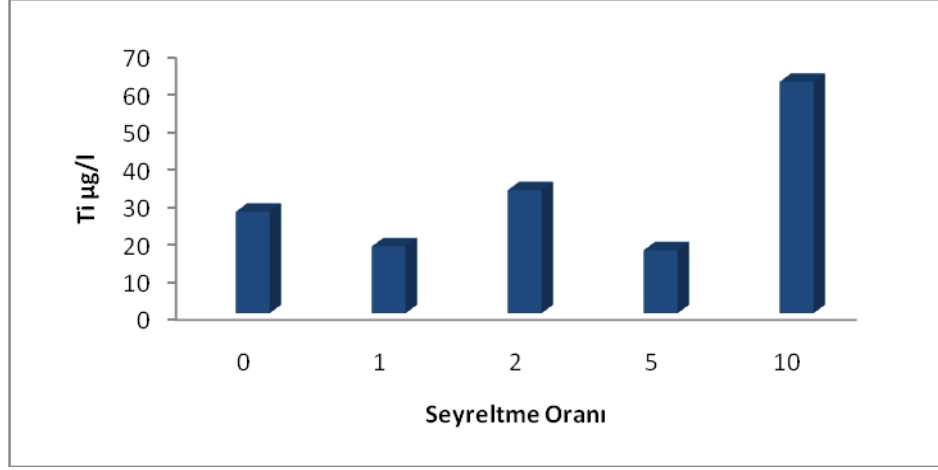
6.5.1 Deney 1

TiO₂ NP'nin pH değeri yaklaşık 3.0 civarındır ve bu pH değerinden daha yüksek bir pH'ta titanium partikülleri jel haline gelmektedir ve çözelti içinde çözülmemektedir. Su döngüsünde sol jel bazlı TiO₂ NP'lerinin oluşumu ve taşınımını bulmak için, TiO₂ solü distile su ile seyreltildi(1/10) ve pH değeri ayrı ayrı 4, 6, 7, 8 ve 10 olmak üzere ayarlandı. 1 saatlik çökmeden sonra üst fazdan numune alınarak, 0,45 µm'lık filtre kağıdından süzülme ve TiO₂ konsantrasyonu (titanium) ICP cihazı ile ölçüldü. Şekil 6.21'de görüldüğü gibi minimum TiO₂ konsantrasyonu olan 8 µg/l ,pH 7 de elde edilmiştir. Bu pH değeri üzerinde, özellikle pH 8 'den sonra TiO₂ konsantrasyonu, muhtemelen TiO₂ NP'lerinin yüksek pH'ta düşük çökme veriminden dolayı artış göstermiştir.



Şekil 6.21 pH değerinin bakiye TiO₂ konsantrasyonu üzerindeki etkisi

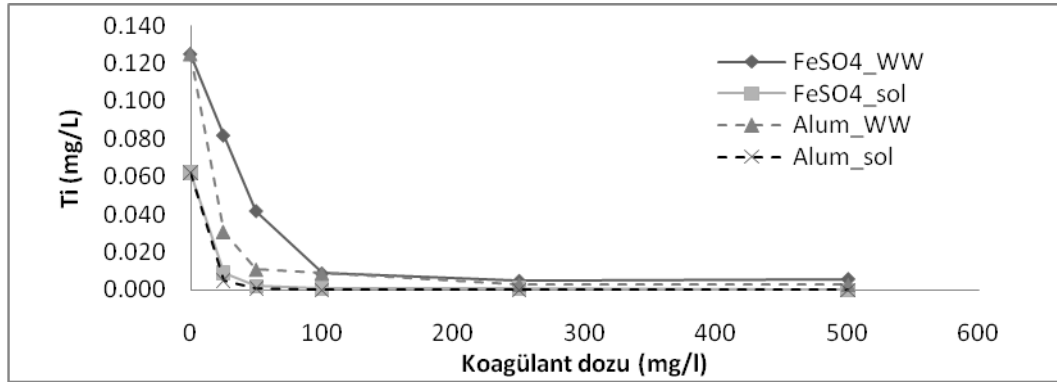
Seyreltmenin sudaki bakiye TiO₂ konsantrasyonu üzerindeki etkisi pH 8'de farklı distile su/sol oranları kullanılarak araştırılmıştır. Şekil 6.21'de görüldüğü gibi solü seyreltmek bakiye TiO₂ konsantrasyonunu azaltmamıştır. Seyreltme sonrası dalgalı TiO₂ konsantrasyonları (17 – 60 µg/l) elde edilmiştir (Şekil 6.22).



Şekil 6.22 Seyreltmenin sudaki bakiye TiO_2 konsantrasyonu üzerindeki etkisi

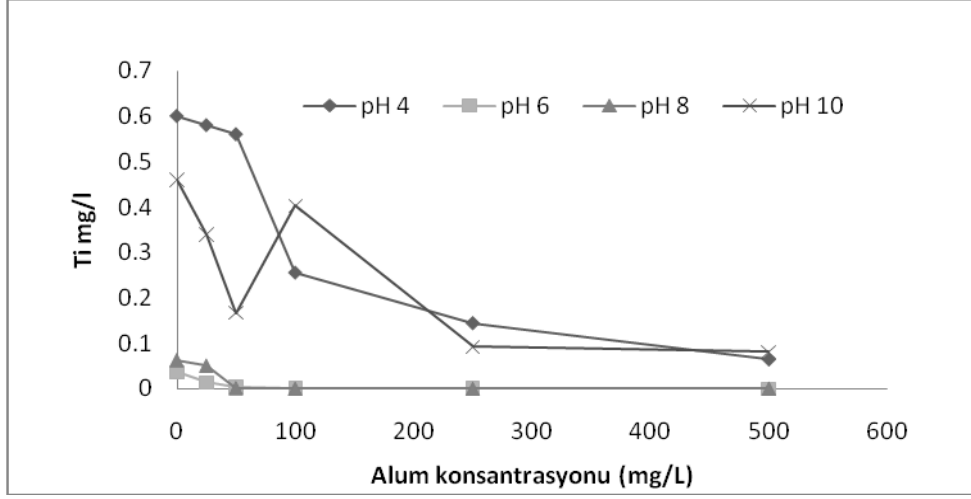
6.5.1.1 Tekstil atıksuyundaki TiO_2 NP'leri ve koagülasyon

Sudaki TiO_2 NP'lerinin arıtılabilirliğini öğrenmek için TiO_2 solü distile su ve tekstil atıksuyu ile 10 kat seyreltildi. Seyreltilmiş örneklerin pH değeri 8'e ayarlandı, TiO_2 NP'leri atıksudan gidermek için Alum ve $FeSO_4$ koagülantları kullanılarak koagülasyon arıtma metodu seçilmiştir. Şekil 6.23'de görüldüğü gibi, atıksudaki bakiye TiO_2 , distile sudaki TiO_2 'den 2 kat daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlar TiO_2 NP'leri bazı organiklerle reaksiyona girebilir ve bunun sonucunda tekstil atıksuyunda bakiye TiO_2 'yi arttırabilir gerçeğini yansıtmaktadır.



Şekil 6.23 Bakiye Ti 'nin distile su ve tekstil atıksuyundaki koagülasyonu

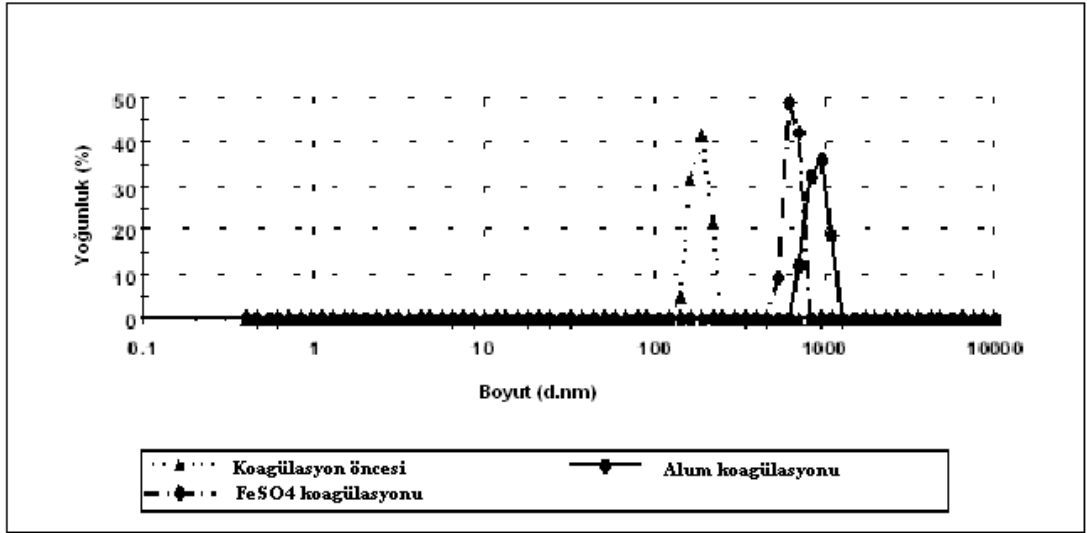
Distile sudaki TiO_2 NP'lerinin kontrolünde pH'ın etkisi pH 4, 6, 8 ve 10'da bulunmuştur. Distile sudaki TiO_2 'nin koagülasyonu için Alum kullanılmıştır. Sol jel bazlı TiO_2 NP'leri suda az çözünürdür bu nedenle pH 4 ve 10 da suda 50 mg/l alum kullanarak %99'un üzerinde TiO_2 giderilirken, pH 6 ve 8 de 500 mg/l alum koagülasyonundan sonra suda 0.1 mg/L'den daha az Ti kalmıştır (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 Distile sudaki TiO₂ NP'lerinin kontrolünde pH'ın etkisi

6.5.1.2 Koagülasyon sonrası boyut dağılımındaki değişim

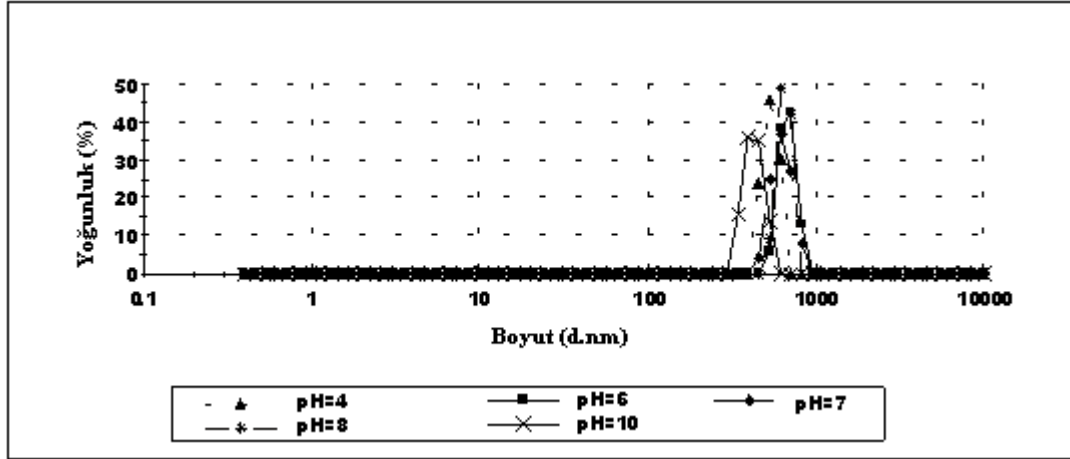
TiO₂ solünü seyreltip pH ayarlaması (pH=8) yaptıktan sonra örnek olarak supernatant kısmı alındı ve boyut analizi yapıldı. TiO₂ NP'lerinin ortalama boyutu 30 nm 'den 300 nm'ye çıktığı gözlemlendi. FeSO₄ ve alum koagülasyonlarından sonra seyreltilmiş TiO₂ solünün ortalama partikül boyutu önemli ölçüde 300 nm'den 850 nm ve 1000 nm'ye genişlemiştir (Şekil 6.25).



Şekil 6.25 Koagülasyon sonrası supernatantların partikül boyut dağılımı (pH=8)

Şekil 6.26'da 100 mg/l FeSO₄ koagülasyonundan sonra pH'ın partikül boyut dağılımı üzerindeki etkisi görülmektedir. Sonuçlar gösteriyor ki, koagülasyon yapılmış TiO₂ çözeltisinin partikül boyut dağılımı pH değeri ile değişmemektedir. Sonuç olarak

FeSO₄ koagülasyon sonrası ortalama partikül boyutu 800 – 900 nm civarı bulunmuştur.



Şekil 6.26 FeSO₄ koagülasyonundan sonra pH'nin partikül boyut dağılımı üzerindeki etkisi

6.5.2 Deney 2

Bu çalışmada 1. Metot ile hazırladığımız sol jel kullanılmıştır. İlk olarak sol, tekstil atıksuyu ile 1/4 oranda seyreltilmiştir. pH ayarlaması yapıldıktan sonra (pH=7-7.5) 1 saat çökelmeye bırakıldı. Daha sonra koagülasyon işlemi için üst faz alındı. Her numuneden 0. dakikada örnekler alındıktan sonra koagülasyon işlemi uygulandı. Deneyde kullanılacak olan koagülant dozları Tablo 6.3'de verilmiştir.

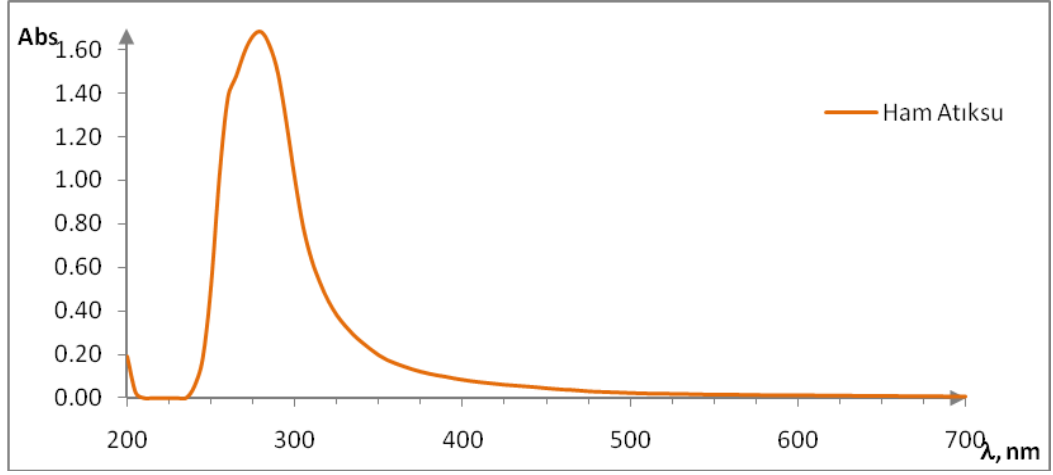
Tablo 6.3 Tekstil atıksuyu ile 1/4 oranında seyreltilen 1. metot'un koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları

Numune	Koagülant	Koagülant dozu (mg/lt)
1. Metot + Tekstil Atıksuyu	Alum	100
	Alum	300
	Alum	500
	FeSO ₄	100
	FeSO ₄	300
	FeCl ₃	100
	FeCl ₃	300

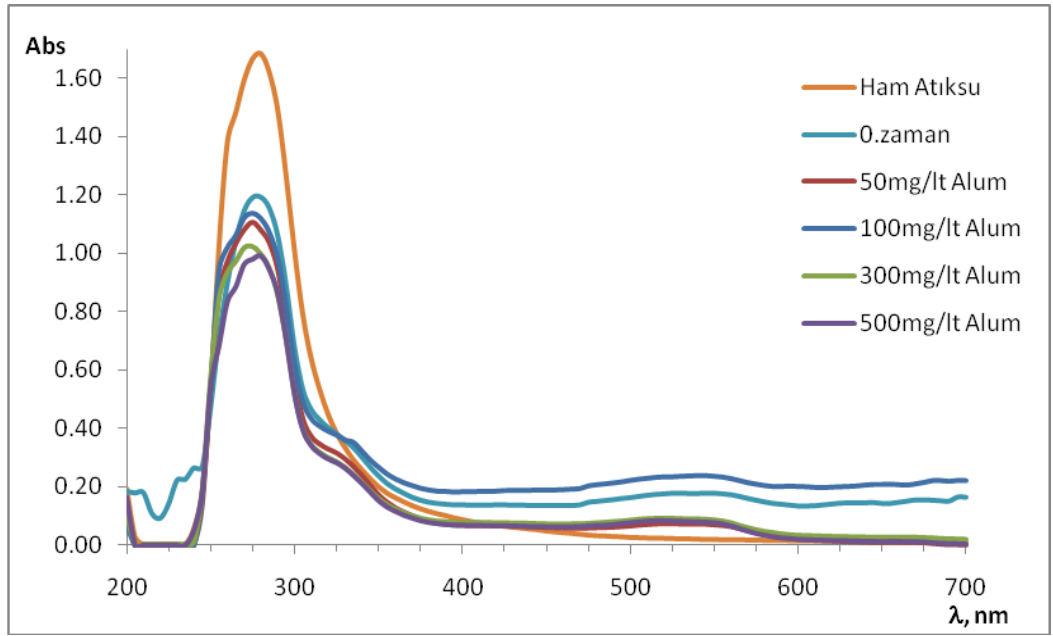
6.5.2.1 Koagülasyon sonrası numunelerin absorbans ölçümleri

Spektrum taramalarının yorumlanabilmesi için ilk önce koagülasyon işleminde kullanılan ham atıksuyun spectrum taraması yapılmıştır (Şekil 6.27). Alum, FeCl₃ ve

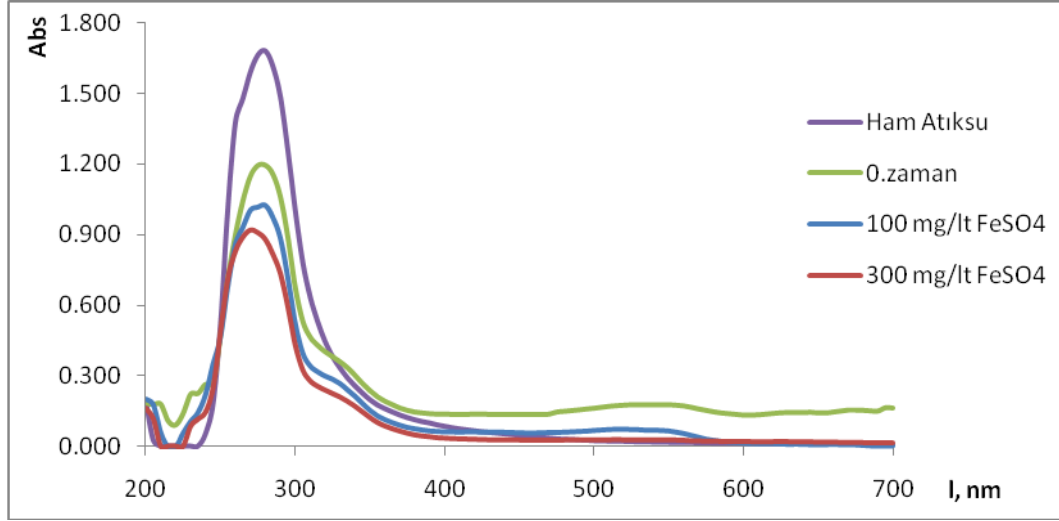
FeSO₄ koagülasyonları sonrasında her üç koagülant ile de dalga boyu aralığının daraldığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.28-6.30).



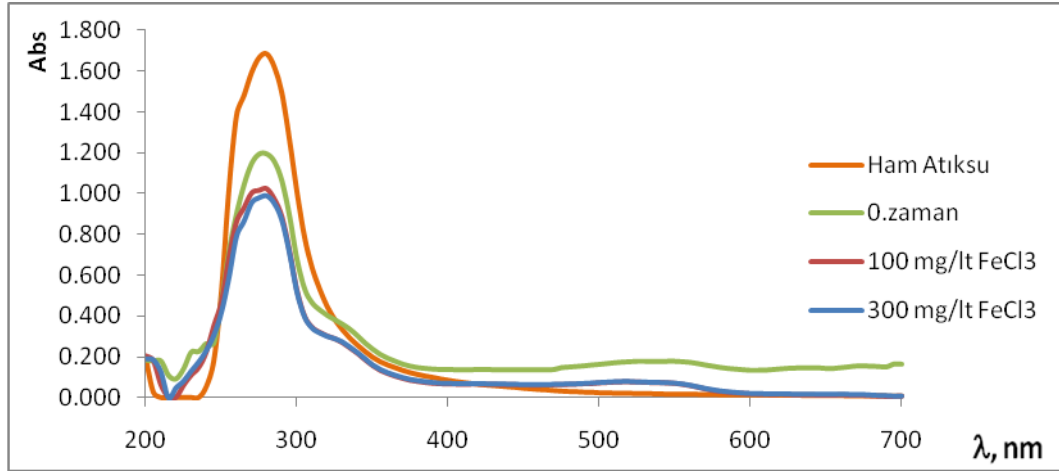
Şekil 6.27 Kullanılan ham tekstil atıksuyunun UV-Vis spektrum taraması



Şekil 6.28 1/4 oranında tekstil atıksuyu ile seyreltilen 1.yöntem 'in alum ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması



Şekil 6.29 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen 1.yöntem 'in FeSO₄ ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması



Şekil 6.30 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen 1.yöntem 'in FeCl₃ ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması

6.5.3 Deney 3

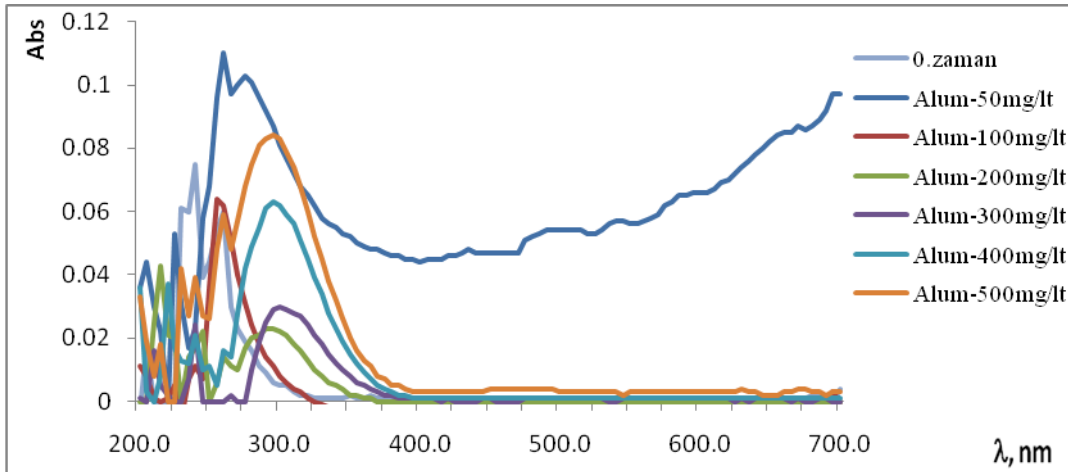
6.5.3.1 Deney 3-a

Bu çalışmada karşılaştırmada kullandığımız ticari adı Degussa P25 olarak bilinen TiO₂, distile su ile 1/4 oranında seyreltildi. pH ayarlaması yapıldı (pH=7). 1 saat çöktelttikten sonra üst faz koagülasyon işlemi için alındı. Tablo 6.4'e göre koagülasyon işlemi gerçekleştirildi.

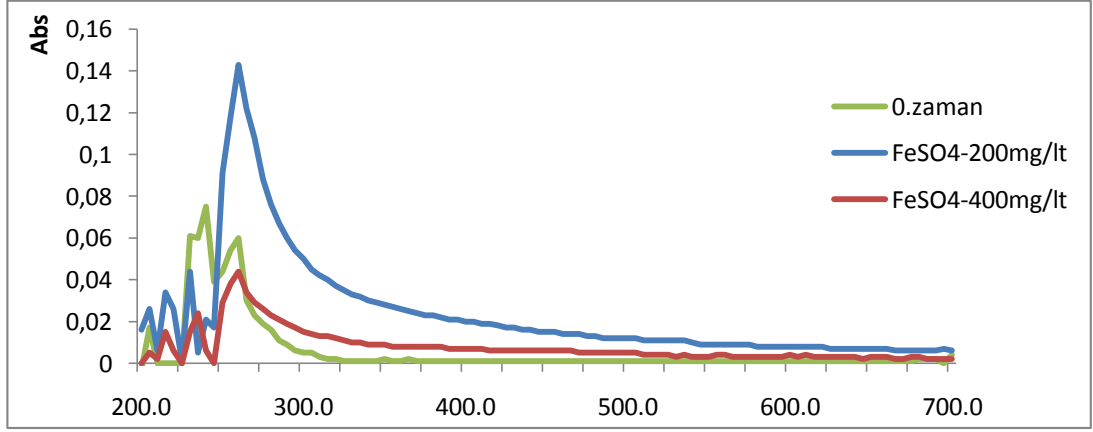
Tablo 6.4 Distile su ile 1/4 oranında seyreltilmiş TiO₂'in (Degussa P25) koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları

Numune numarası	Koagülant	Koagülant Dozu(mg/l)
0 (0.zaman)	Koagülasyon uygulanmadı	Koagülasyon uygulanmadı
1	Alum	50
2	Alum	100
3	Alum	200
4	Alum	300
5	Alum	400
6	Alum	500
7	FeSo4	200
8	FeSO4	400

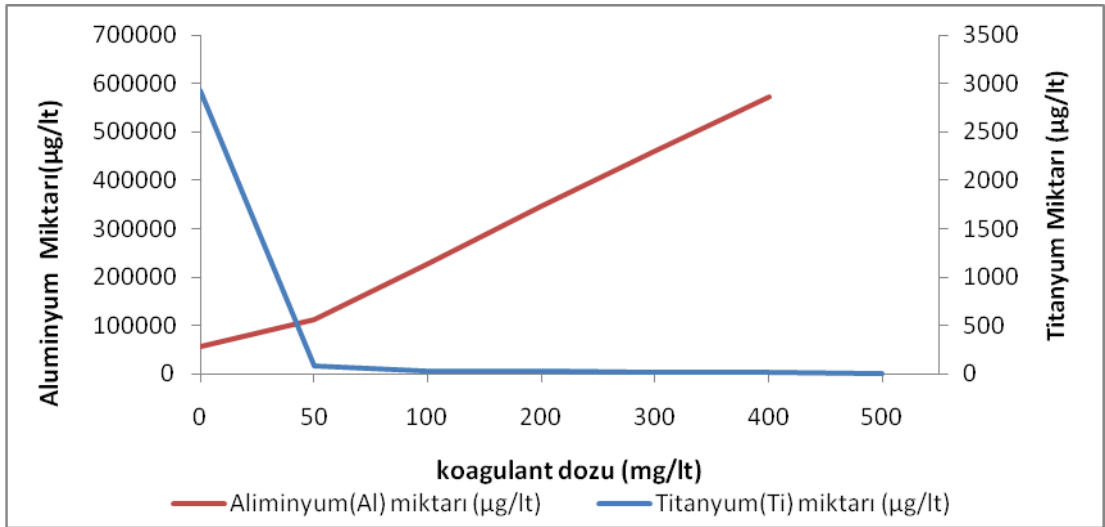
Koagülasyon sonrası numunelerin spectrum taramaları yapılmıştır. Alum ve FeSO₄ koagülasyonu sırasında numunelerde renk değişimi gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak ışık absorblama aralığı 300 nm'den 390 nm'ye genişlediği görülmektedir (Şekil 6.31,6.32). Fakat titanyum giderimi olumsuz etkilenmemiştir (Şekil 6.33, 6.34). İyi bir pH ayarlaması ile FeSO₄ ve alum sonucu oluşan renk de giderilebilecektir.



Şekil 6.31 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması

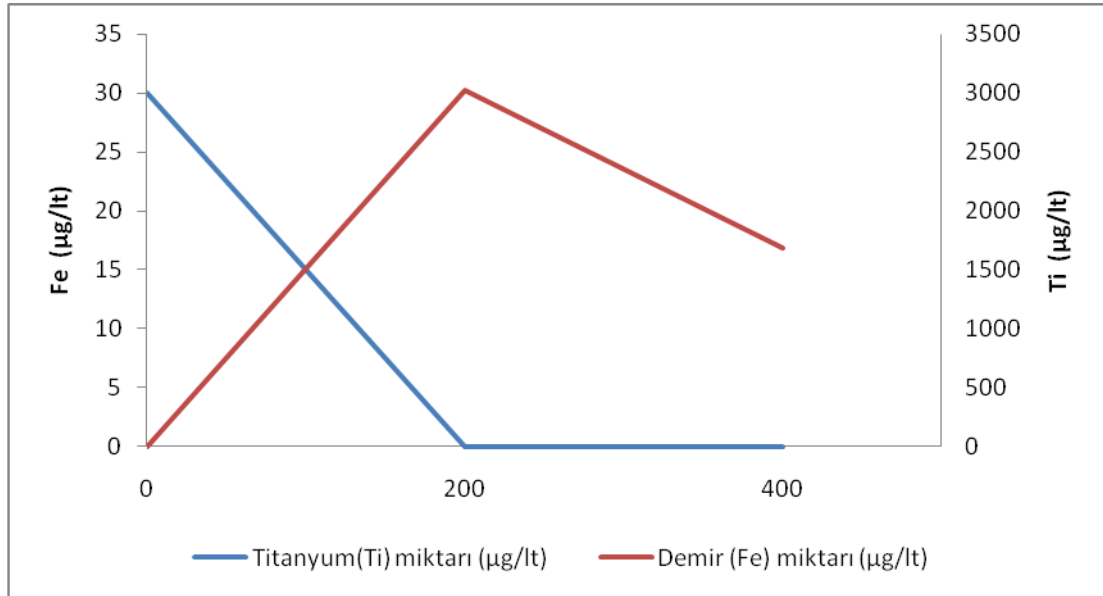


Şekil 6.32 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin FeSO₄ ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması



Şekil 6.33 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü

Şekil 6.33'de görüldüğü gibi koagülant miktarı arttıkça giderilen titanyum miktarı artmaktadır. 100mg/l koagülant miktarından sonraki miktarlarda titanyum giderim verimi düşmektedir. Numunedeki aluminyum miktarında koagülant miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. İdeal koagülant oranı giderim verimine bakarsak 50 mg/l seçilebilir.



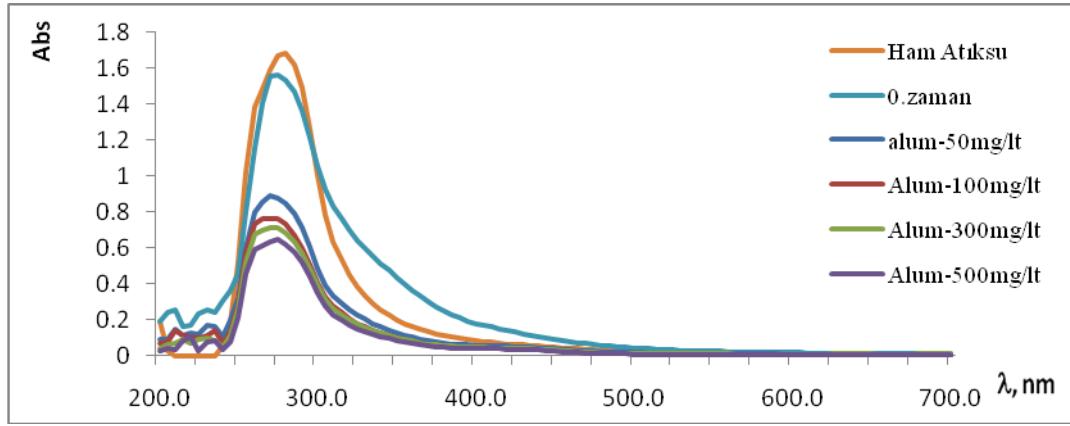
Şekil 6.34 1/4 oranda distile su ile seyreltilen degussa 'nin FeSO₄ ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü

6.5.3.2 Deney 3-b

Bu çalışmada ticari TiO₂(Degussa P25) tekstil atıksuyu ile 1/4 oranında seyreltildi. pH ayarı yapıldıktan sonra (pH= 7 - 7,5) 1 saat çökmeye bırakılmıştır. Daha sonra koagülasyon işlemi için üst faz alındı. Tablo 6.5'e göre koagülasyon işlemi uygulanmıştır ve elde edilen UV – Vis spektrum tarama sonuçları Şekil 6.35 – 6.36 'da verilmiştir.

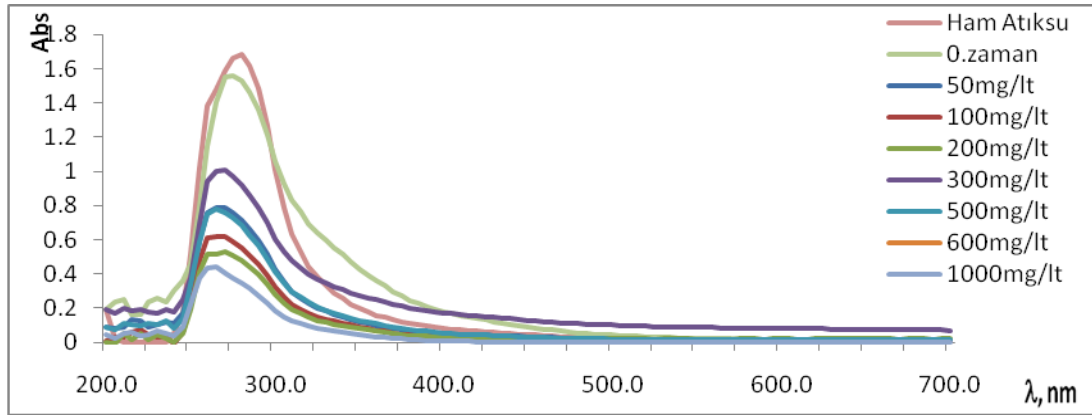
Tablo 6.5 Tekstil atıksuyu ile 1/4 oranında seyreltilen TiO₂'in (Degussa P25) koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları

Numune numarası	Koagülant	Koagülant Dozu(mg/l)
0 (0.zaman)	Koagülasyon uygulanmadı	Koagülasyon uygulanmadı
1	Alum	50
2	Alum	100
3	Alum	300
4	Alum	500
5	FeSO ₄	100
6	FeSO ₄	200
7	FeSO ₄	300
8	FeSO ₄	400
9	FeSO ₄	500
10	FeSO ₄	600
11	FeSO ₄	1000
12	FeCl ₃	50
13	FeCl ₃	100
14	FeCl ₃	300
15	FeCl ₃	500



Şekil 6.35 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması

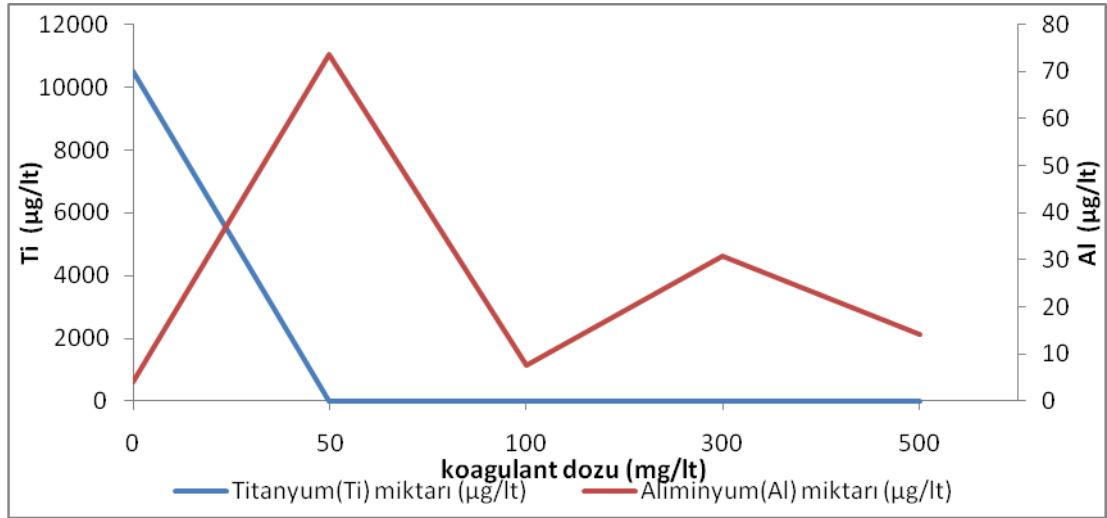
0.zaman 'da alınan numune 200 – 480 nm dalga boyu aralığında UV ışınlarını absorblamaktadır. Alum koagülasyonu ile ışık absorblama aralığı 220-390 nm aralığına daraldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.36 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltilen degussa 'nin FeSO4 ile koagülasyonu sonucundaki UV-Vis spektrum taraması

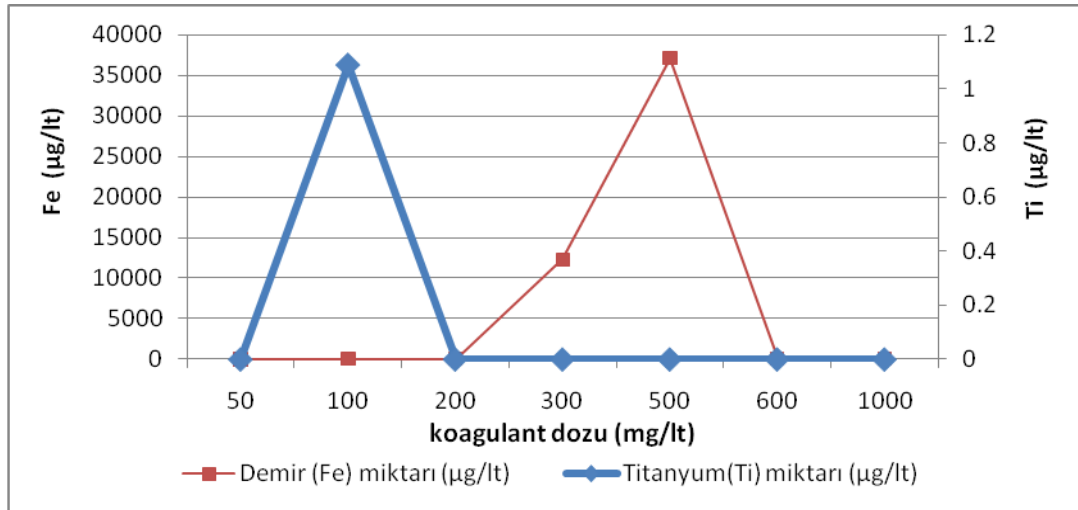
0.zaman 'da alınan numune 200 – 480 nm dalga boyu aralığında UV ışınlarını absorblamaktadır. Alum koagülasyonu ile dalga boyu 220-390 nm aralığına daraldığı gözlemlenmiştir.

50 mg/lt alum konsantrasyonunda titanyumun önemli ölçüde giderildiği gözlemlenmiştir. Diğer alum konsantrasyonlar titanyum giderimi çok fazla olduğu öngörülmüştür. Ayrıca koagülasyon sonrası bakiye alum konsantrasyonu tabloda verilmiştir (Şekil 6.34).



Şekil 6.37 1/4 oranda atıksu ile seyreltilen degussa 'nin alum ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü

FeSO₄ koagülasyonunda denenen koagülant dozları gerekenden çok fazladır. Grafikte de görüldüğü gibi 50 mg/Lt alum konsantrasyonunda titanyum miktarı sıfır'a yakın bir değerdir (Şekil 6.35). 50mg/Lt alum konsantrasyonu veya daha az alum konsantrasyonunda titanyum giderimi sağlanmıştır. Koagülasyon sonrası bakiye alum konsantrasyonu Şekil 6.35'de gösterilmiştir.



Şekil 6.38 1/4 oranda atıksu ile seyreltilen degussa 'nin FeSO₄ ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü

6.5.4 Deney 4

6.5.4.1 Deney 4-a

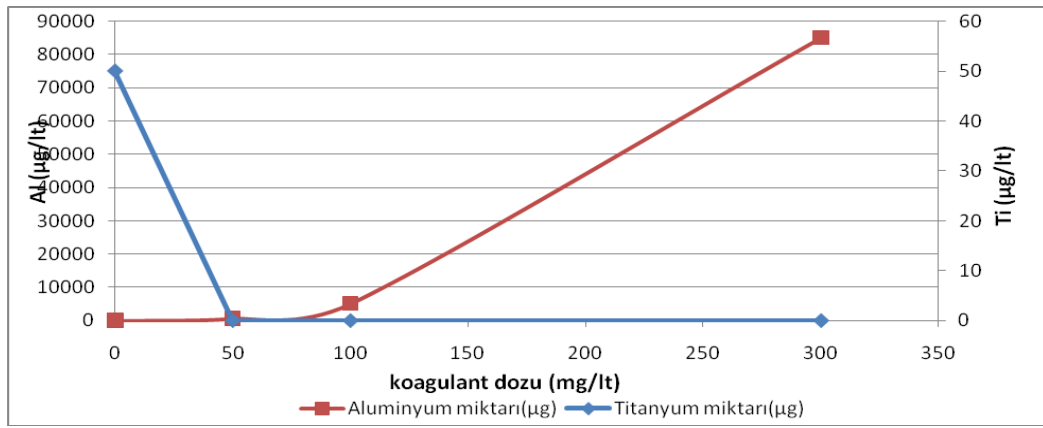
Bu çalışmada 4. Metot 1/4 oranda distile su ile seyreltildi. pH ayarlaması yapıldıktan sonra (pH=7 – 7,5) 1 saat çökelmeye bırakıldı. Çökelme sonunda üst faz

koagülasyon işlemi için alındı. Daha sonra tablo 6.6'ya göre koagülasyon işlemi uygulandı.

Tablo 6.6 Distile su ile 1/4 oranında seyreltilmiş 4.metot'un koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları

Numune numarası	Koagülant	Koagülant Dozu(mg/l)
0 (0.zaman)	Koagülasyon uygulanmadı	Koagülasyon uygulanmadı
1	Alum	50
2	Alum	100
3	Alum	200
4	Alum	300
5	Alum	400
6	Alum	500
7	FeSO ₄	200
8	FeSO ₄	400

50 mg/lt alum konsantrasyonunda titanyum gideriminde yüksek verim elde edilmiştir. Diğer alum dozları gereğinden fazladır. Koagülasyon sonrası bakiye alum konsantrasyonu elde edilmiştir (Şekil 6.36).



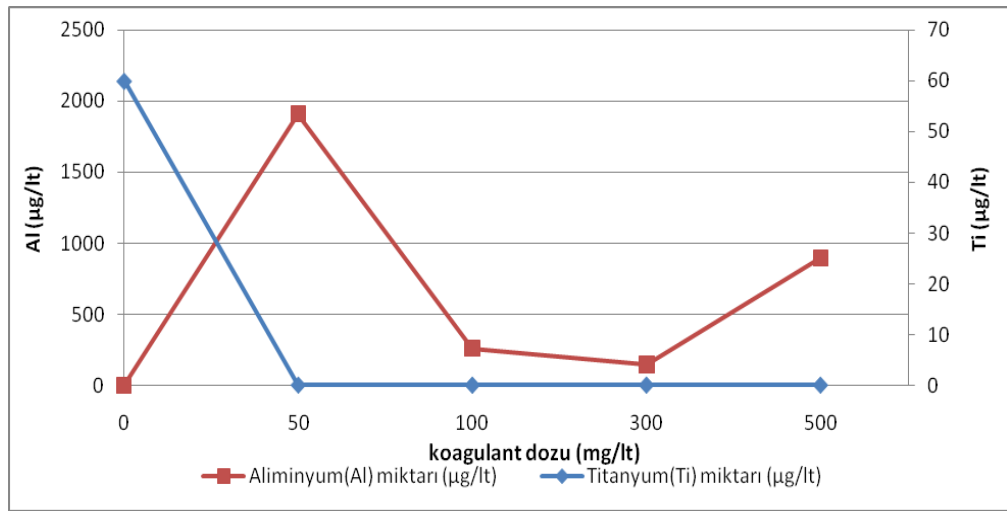
Şekil 6.39 1/4 oranda distile su ile seyreltilen 4.Metot ile hazırlanan solün alum ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü

6.5.4.2 Deney 4-b

Bu çalışmada 4. Metot 1/4 oranda tekstil atıksuyu ile seyreltildi. pH ayarlaması yapıldıktan sonra (pH=7 – 7,5) 1 saat çökelmeye bırakıldı. Çökelme sonunda üst faz koagülasyon işlemi için alındı. Daha sonra tablo 6.7'ye göre koagülasyon işlemi uygulandı.

Tablo 6.7 Tekstil atıksuyu ile 1/4 seyreltilmiş 4.metot'un koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları

Numune numarası	Koagülant	Koagülant Dozu(mg/l)
0 (0.zaman)	Koagülasyon uygulanmadı	Koagülasyon uygulanmadı
1	Alum	50
2	Alum	100
3	Alum	300
4	Alum	500
5	FeSO ₄	50
6	FeSO ₄	100
7	FeSO ₄	300
8	FeSO ₄	500



Şekil 6.40 1/4 oranda atıksu ile seyreltilen 4.Metot ile hazırlanan solün alum ile koagülasyonu sonucundaki ICP ölçümü

50 mg/lt alum dozunda önemli ölçüde titanyum giderimi sağlanmaktadır. Daha fazla alum dozu kullanmak titanyum giderimi için gereksiz olacaktır ayrıca suda bakiye alüminyum miktarı artacaktır (Şekil 6.37).

6.6 Sollerin Kimyasal Oksijen İhtiyacının (KOİ) Diyaliz'e Göre Değişimi

Çalışmada bakılan diğer parametrelerden biri de KOİ'dir. Tabloya göre (Tablo 6.8) diyalizde kullanılan su miktarına göre KOİ değişimi görülmektedir.

Tablo 6.8 Diyalizde kullanılan su miktarına göre KOİ değişimi

Diyalizde kullanılan su miktarı (ml)	KOİ (mg/l)
250	2624
500	2211
1000	2462
2000	2260

Tablo 6.8 'e göre su miktarı arttıkça suya geçen KOI miktarında az da olsa bir azalma görülmüştür. Laboratuvar ortamında daha fazla su miktarı kullanılmadığından değerler çok belirgin değildir. Daha yüksek su miktarlarında bu değer daha anlamlı olacaktır.

6.7 TiO₂ NP Toksikitesi

6.7.1 Toksikite deneyi - 1

Ticari TiO₂ (Degussa P25) ve 4. metot ile hazırlanan TiO₂ NP'in 1 saatlik ve 2 saatlik çökeltme işlemine tabi tutulmuş numunelerinde 24 ve 48 saatlik *D. magna* toksisitesi ölçülmüştür. 1 saatlik çökeltme sonrası suda kalan Ticari TiO₂ (Degussa P25) %20 *D. magna* toksisitesi göstermiştir. sol-gel yöntemi ile hazırlanan TiO₂ NP'in çok daha fazla toksik olduğu ve 1 saat çöktürme sonrası bakiye atık suyun %100 toksik olduğu bulunmuştur (Tablo 6.9).

Tablo 6.9 TiO₂ NP'lerinin 24 ve 48 saatlik *D. magna* toksisitesi

Numune	<i>D. magna</i> toksisitesi-1 saat çöktürülmüş numune					
	R1	R2	% ölüm-24 saat	R1	R2	% ölüm-48 saat
Degussa P25 TiO ₂	1	1	20	1	1	20
TiO ₂ -Sol gel (4. Metot)	5	4	90	5	5	100
Kontrol	0	0	0	0	0	0

Numune	<i>D. magna</i> toksisitesi-2 saat çöktürülmüş numune					
	R1	R2	% ölüm-24 saat	R1	R2	% ölüm-48 saat
Degussa P25 TiO ₂	0	0	0	1	1	20
TiO ₂ -Sol gel (4. Metot)	3	2	50	5	5	100
Kontrol	0	0	0	0	0	0

6.7.2 Toksikite deneyi - 2

Bu çalışmada 4.metot ve TiO₂ (Degussa P25) 1/10 oranda tekstil suyu ile seyreltildi. pH ayarlaması yapıldıktan sonra (pH=7 – 7,5) 1 saat çökeltmeye bırakıldı. Çökeltme sonunda üst faz koagülasyon işlemi için alındı. Daha sonra tablo 6.10' a göre koagülasyon işlemi uygulandı.

Tablo 6.10 Tekstil atıksuyu ile 1/10 oranında seyreltilmiş 4.metot ve TiO₂ (Degusaa P25) koagülasyonu için kullanılan koagülant dozları

Numune numarası	Koagülant	Koagülant Dozu(mg/l)
0 (0.zaman)	Koagülasyon uygulanmadı	Koagülasyon uygulanmadı
1	Alum	10
2	Alum	30
3	Alum	50
4	Alum	100
5	FeSO ₄	10
6	FeSO ₄	30
7	FeSO ₄	50
8	FeSO ₄	100
9	FeCl ₃	10
10	FeCl ₃	30
11	FeCl ₃	50
12	FeCl ₃	100

Hazırlanan numuneler İtalya'nın Napoli Kentinde bulunan Napoli Federico II Üniversitesi toksikoloji laboratuvarına götürülerek toksisitesi ölçülmüştür. Toksikite deneylerinde *Ceriodaphnia dubia* kullanılmıştır.

Tablo 6.11 Dört metot'un saf haldeki numunelerindeki *Ceriodaphnia dubia* ölüm oranları

Numune No:	Numune adi	Numune Oranı (%)	Ölüm oranı (%)		pH
			1.gun	2.gun	
1	1. Metot	50	% 100	% 100	7.90
		25	% 100	% 100	7.65
2	2. Metot	25	% 100	% 100	7.89
		12.5	% 100	% 100	8.12
3	3. Metot	100	% 100	% 100	7.98
		50	% 100	% 100	8.22
		25	% 100	% 100	8.10
4	4. Metot	25	% 100	% 100	8.00
		12.5	% 100	% 100	8.32

Ceriodaphnia dubia pH 7,5 – 8,5 arasında yaşamını sürdürmektedir. pH değerleri normal değerdedir. Tüm numune oranlarında *Ceriodaphnia dubia*'ların tamamı ilk gün ölmüştür. Sonuçlara göre hazırlanan 4 metot da toksik çıkmıştır.

Tablo 6.12 Tekstil atıksuyu ile 1/10 oranında seyreltilmiş 4.metot koagülasyonu sonucu alınan numunelerdeki *Ceriodaphnia dubia* ölüm oranları

Numune No:	Numune adi	Numune Oranı (%)	Ölüm oranı (%)		pH
			1.gün	2.gün	
1	4.yontem+Atıksu (1/10) (0.zaman)	100	%100	%100	8.00
		50	%10	%70	7.89
		25	0	%10	7.94
		12.5	0	%20	8.00
2	10 mg/l Alum ile koagülasyon	100	%80	%100	7.9
		50	0	0	7.86
		25	0	0	7.9
		12.5	0	0	8.10
3	30 mg/l Alum ile koagülasyon	100	%100	%100	8.04
		50	%10	%40	7.87
		25	%10	%20	7.80
		12.5	0	%10	8.30
4	50 mg/l Alum ile koagülasyon	100	%100	%100	7.6
		50	%60	%100	7.8
		25	0	0	7.8
		%12.5	0	0	7.80
5	100 mg/l Alum ile koagülasyon	%100	100	100	7.87
		%50	0	0	8.03
		%25	0	0	8.23
		%12.5	0	0	8.31
6	10 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	%100	0	0	8.04
		%50	20	70	8.35
		%25	20	80	8.08
		%12.5	0	30	7.85
7	30 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	%100	0	0	7.70
		%50	10	80	8.00
		%25	0	30	8.20
		%12.5	0	0	7.8
8	50 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	%100	100	100	8.00
		%50	10	40	7.97
		%25	0	20	8.24
		%12.5	0	0	8.32
9	100 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	%100	100	100	7.94
10	10 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	%100	90	100	8.20
		%50	40	70	7.97
		%25	10	30	8.15
		%12.5	0	70	8.00
11	30 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	%100	100	100	8.35
		%50	20	100	8.10
12	50 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	%100	100	100	8.24
		%50	10	50	8.05
		%25	0	10	7.85
		%12.5	0	0	7.92
13	100 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	%100	100	100	7.92
		%50	10	90	8.22
		%25	0	20	7.96
		%12.5	10	20	8.22

Tekstil atıksuyu ile seyreltilmiş 4.metot ile hazırlanan solün alum ile koagülasyonunda seyreltme olmadan toksik bulunmuştur. 10 mg/l alum koagülasyonunda %50 seyreltmede ölüm gözlenmemiştir.

Tablo 6.13 Tekstil atıksuyu ile 1/10 oranında seyreltilmiş TiO₂'in (Degussa P25) koagülasyonu sonucu alınan numunelerdeki *Ceriodaphnia dubia* ölüm oranları

Numune No:	Numune adi	Numune Oranı (%)	Ölüm oranı (%)		pH
			1.gün	2.gün	
14	Degussa+ Atıksu (1/10) (0.zaman)	%100	100	100	7.84
		%50	50	100	7.90
		%25	0	60	7.84
		%12.5	10	20	7.80
15	10 mg/l Alum ile koagülasyon	%100	80	100	7.7
		%50	30	50	7.64
		%25	0	10	7.68
16	30 mg/l Alum ile koagülasyon	%100	100	100	8.1
		%50	0	0	8.1
		%25	0	0	7.8
17	50 mg/l Alum ile koagülasyon	%100	100	100	8.00
18	100 mg/l Alum ile koagülasyon	%100	80	100	8
		%50	10	50	7.90
		%25	0	0	7.80
19	10 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	%100	100	100	8.17
		%50	10	10	8.01
		%25	0	0	7.97
20	30 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	100	100	100	8.24
		50	0	0	7.80
		25	0	0	8.16
		12.5	20	20	7.98
21	50 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	100	100	100	8.26
		50	0	10	8.32
		25	0	0	8.10
		12.5	0	0	8.35
22	100 mg/l FeCl ₃ ile koagülasyon	100	100	100	7.60
		50	0	10	7.8
		25	50	60	8
23	10 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	100	100	100	8.35
		50	0	0	8.12
24	30 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	100	100	100	8.20
		50	0	0	8.35
		25	0	0	8.22
		12.5	0	0	8.35
25	50 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	100	100	100	8.29
		50	0	10	8.05
		25	0	0	8.26
		12.5	0	0	8.02
26	100 mg/l FeSO ₄ ile koagülasyon	100	100	100	8.00
		50	0	0	7.90

Tekstil atıksuyu ile seyreltilmiş degussa P25 ile hazırlanan solün 100 mg/l FeCl₃ ile koagülasyonunda %25 numune oranında toksik olduğu görülmektedir. *Ceriodaphnia dubia* 'ların ölüm nedeninin fazla FeCl₃ oranından olduğu tahmin edilmektedir. Diğer FeCl₃ koagülasyon seyreltmelerinde toksik olmadığı görülmüştür. FeSO₄ ile koagülasyonunda da %50 numune oranından sonra toksik olmadığı görülmüştür. Alum koagülasyonunda da %50 den sonra neredeyse toksik olmadığı görülmüştür.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada ticari Degussa P25 ve 4 farklı sol-gel metodu ile hazırlanmış TiO₂ nano partiküllerinin fiziksel, yapısal, optik, fotokatalitik özellikleri ve nano partiküllerin çevresel etkileri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1) 4 sol-gel metodu ile hazırlanan sollarde, 13 nm ile en küçük TiO₂ NP çapı 1. metot ile elde edilmiştir. En yüksek TiO₂ NP çapı 3. metot ile 50 nm olarak elde edilmiştir. 2. ve 4. metot ile hazırlanan sollarde TiO₂ NP ortalama çapı yaklaşık olarak 20-30 nm civarında ile elde edilmiştir. Kullanılan tüm sol-gel metotlarının aynı optik özellikler gösterdiği ve 250-350 nm dalga boyunda ışık absorpladığı görülmüştür. Kuru fazda ortalama partikül çapı 55 nm civarında verilmiş olan Degussa P25 TiO₂ suda ortalama çapının değiştiği ve pH değerine bağlı olarak 400-1200 nm civarına yükseldiği belirlenmiştir.

2) Film hazırlama metotlarına ve kurutma sıcaklığına göre fotoakım (fotoaktivite) ölçülmüş ve tüm kurutma sıcaklıklarında 2. ve 4. metotlar ile en yüksek fotoakım değerleri elde edilmiştir. En yüksek fotoakım değeri 400 °C de elde edilmiş olup filmlerin tekstil yüzeyine kaplanacak sıcaklıklarda (25-100 °C) da fotokatalitik özellik gösterdiği görülmüştür.

3) Sol hazırlama metotlarına göre zeta potansiyeli çok fazla değişim göstermemiş fakat zeta potansiyelinin nötr olduğu pH değeri en yüksek 4. metot ile 7 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar en yüksek fotoakımın görüldüğü 4. metot ile hazırlanan nano filmlerde aynı zamanda en fazla adsorpsiyonun olacağını göstermektedir.

4) TiO₂ nano partiküllerinin su ortamındaki toksisitelerinin ölçülmesi için *Ceriodaphnia dubia* ve *Daphnia magna* toksisite deneyleri yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre TiO₂ (Degussa P25)'e göre sol-gel metodu ile hazırlanan sollarin toksik olduğu görülmüştür. En toksik etki TiCl₄ kullanılan yöntemde (1.metot) belirlenmiş olup bu toksik etkinin aktif klordan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Diğer sol-gel metotları ile hazırlanan sollarde de toksisitenin TiO₂ sol hazırlama sırasında eklenen kimyasallardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu husus ayrıca araştırılması gereken bir konudur.

5) TiO₂ NP'in sudan ayrılması için öncelikle sollerde doğal pH ayarlayarak çöktürme işlemi kullanılmıştır. Tüm sollerde pH 6-8 arasında kısmen yavaş bir çöktürme olduğu fakat çöktürme sonrası duru fazda maksimum 70 mikrogram/l gibi çok küçük TiO₂ değerleri ölçülmüştür. pH değerlerinin artması veya azalması ile bakiye TiO₂ miktarı mg seviyelerinde artış göstermiştir. Sonuç olarak sollerde pH ayarlaması ile sudaki TiO₂ NP'in yüksek verimde giderilebileceği tespit edilmiştir.

6) Sollerin tekstil atık suyuna karışması ile benzer şekilde çöktürme görülmüş fakat atıksudaki bakiye TiO₂ miktarının 2-5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Distile suda ve tekstil atık suyunda pH 7 civarında Degussa P25 ve sol-gel bazlı TiO₂ eklenmiş numuneler 1 saat çöktürmeye bırakılmış ve üst faz alınarak Alum, FeSO₄ ve FeCl₃ koagülasyon metotları ile kimyasal arıtılabilirliği araştırılmıştır. TiO₂ NP'lerinin bu koagülasyonlar ile %98'in üzerinde bir verimle etkili bir şekilde giderilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca koagülasyon sonrası ölçülen partikül dağılımlarında NP'lerin tamamının giderildiği veya agragasyon ile yüksek partiküllere dönüştüğü görülmüştür. Koagülasyon sonrası boyut dağılımları 300 nm 'den 800-900 nm gibi yüksek değerlere çıktığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] European Commission (2005J). Trade Issues: Textile Sector, 2005 http://www.europa.eu.int/comm/trade/issues/sectoral/industry/textile/index_en.htm.
- [2] Kaya E., 2005. MS thesis, Lunds Universitet, Environmental Science, Lund, Sweden
- [3] Emer, Ü, Denizli'deki Bazı Pamuklu Dokuma Fabrikalarının Atıksularının Yönetimi, *Yüksek Lisans*, Pamukkale Üniversitesi ,1997
- [4] Kırdar, E.1995. Tekstil Atıksularında Renk Giderimi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 116, İstanbul.
- [5] <http://www.pmyotekstil.bilecik.edu.tr/site/terbiyebilm.html>
- [6] Çebiçi,C.,”Pamuklu Dokuma Kumaşların Merserizasyonu Çalışma Şartlarının Belirlenmesi”,*Lisans Tezi*” Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Kahramanmaraş ,Türkiye ,(2006),17 -18)
- [7] EPA, 1997. Profile Of The Textile Industry, U.S Government Printing Office Superintendent of Documents, Washington.
- [8] EPA,2000. Emergency Planning And Community Right- To- Know Act Section 313 Reporting Guidance For The Textile Processing Industry
- [9] Kanlioğlu, B.Ü. 2000 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularında İyon Çifti Ekstraksiyonu Metodu İle Renk Giderimi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi, s. 83, Bursa
- [10] Kestioğlu, K. 1992. Tekstil Çıkış Sularından Adsorblama Tekniği İle Renk Giderimi, İ.T.Ü. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, s. 74-85, Bornova, İzmir.
- [11] Özcan, Y., 1978. Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 364.
- [12] Şengül, F., 1982, Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 476.
- [13] Neamtu, M., Yediler, A., Siminiceanu. I. and Kettrup, A., 2003, Oxidation of commercial reactive azo dye aqueous solutions by the photo-Fenton and Fenton-like processes Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 161, 87–93.
- [14] Demircanlı, Ü., 1995. Renkli tekstil atıksularının arıtılması üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir.
- [15] Şengül, F., 1991. Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması, D.E.Ü. Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Basım Ünitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, s. 218, İzmir

- [16] Selçuk, H., 1997. Tekstil Atıksularında Kimyasal Yöntemlerle Renk Giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Qian, L., Hinestroza, J.P., 2004. Application of Nanotechnology for High Performance Textiles. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4(1):1-7.
- [18] Yrd. Doç. Dr. Dilek Kut, Tekstil Yüksek Müh. Cem Güneşoğlu, "Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamalar", *Tekstil Teknik Dergisi*, Şubat 2005.
- [19] <http://depkac.com/beyin-firtinasi/21819-nanoteknoloji/>
- [20] Avrupa Komisyonu Tebliği, "Nanosciences and nanotechnologies: An Action plan for Europe 2005-09" 7.06.2005, Brüksel.
- [21] Avrupa Komisyonu Tebliği, "Towards a European Strategy for Nanotechnology" 12.5.2004, Brüksel.)
- [22] <http://www.nanoteknoloji.tk/nanoteknoloji-urunleri.html>
- [23] Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N., 2006a. Lotus Etkili Yüzeyler. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 16(1):287-290. , 2006b. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(3):159-163. , 2006c. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları (Bölüm 2). *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(4):225-229.
- [24] Dağ, Ö., 2006. Çok Fonksiyonlu Nanomalzemeler. *Bilim ve Teknik*, Aralık, 1-4
- [25] Erkan, G., Erdoğan, Ü.H., Kayacan, O., 2005. Tekstil Sektöründe Nano-Teknoloji Uygulamaları, *Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makinaları Kongresi*, Gaziantep, 19-27.
- [26] Mert, H., 2006. TiO₂ 'nin Fotokatalitik Aktivitesinin Arttırılması Askorbik Asit ile Modifiye Edilen TiO₂ 'nin Karakterizasyonu ve Hidrokinonun Fotokatalitik Degradasyon Reaksiyonunun Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. FBE Kimya Anabilim Dalı Fizikokimya, İstanbul
- [27] http://www.silisyum.net/htm/yari_iletkenler/iletken_yalitkan_ve_yari_iletkenler.htm
- [28] Titanium". *Encyclopædia Britannica Concise*. (2007).
- [29] Krebs, Robert E. (2006). *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements: A Reference Guide (2nd edition)*, Westport, CT: Greenwood Press. ISBN 0-313-33438-2.
- [30] Matthew J. Donachie, Jr. (1988). *TITANIUM: A Technical Guide*, sf.11, Metals Park, OH: ASM International. ISBN 0-87170-309-2.
- [31] Barksdale, Jelks (1968). 'The Encyclopedia of the Chemical Elements', 732-38 "Titanium", Skokie, Illinois: Reinhold Book Corporation. LCCCN 68-29938.
- [32] Titanium". *Columbia Encyclopedia* (6th edition). (2000 – 2006). New York: Columbia University Press. ISBN 0-7876-5015-3.
- [33] Barbalace, Kenneth L. (2006). "Periodic Table of Elements: Ti - Titanium".

- [34] Titanium". *Encyclopædia Britannica*. (2006). Retrieved on 2006-12-29.
- [35] Emsley, John (2001). *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, 455, Oxford: Oxford University Press. ISBN 0-19-850341-5.
- [36] Casillas, N.; Charlebois, S.; Smyrl, W. H.; White, H. S. (1994). "Pitting Corrosion of Titanium". *J. Electrochem. Soc.* 141 (3): 636 – 42. doi:10.1149/1.2054783.
<http://ecsd.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=JESOAN000141000003000636000001&idtype=cvips&prog=normal>. *Abstract*
- [37] Titanium". *Microsoft Encarta*. (2005). Retrieved on 2006-12-29
- [38] Titanium". *Los Alamos National Laboratory* (2004). 2006-12-29 tarihinde erişilmiştir.
- [39] Ollis vd., 1984 Hsiao vd., 1983; Matthews, 1987; Al-Ekabi ve Serpone, 1988; Suri vd., 1993
- [40] Al-Ekabi, Serpone, 1988; Matthews, 1987
- [41] Mert,H.M. , TiO₂'nin fotokatalitik aktivitesinin artırılması, askorbik asit ile modifiye edilen TiO₂ nin karakterizasyonu ve hidrokinnonun fotokatalitik degradasyon reaksiyonunun modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi*, 2006
- [42] Natura NC., Funaga N., No MG., (1998), *Thin Solid Films*, 322,6
- [43] Ou Y., Lin J., Zou H., Liao D., (2005), *Journal of molecular photocatalysis A: Chemical* 24159-64
- [44] Li, S., Zheng, F., Liu, X., Wu, F., Deng, N., Yang, J., (2005), "Photocatalytic Degradation of p-nitrophenol on Nanometer Size Titanium Dioxide Surface Modified With 5-sulfosalicylic Acid", *Chemosphere* 61, 589-594
- [45] Bossmann, S.H., Gob, S., Siegenthaler, T.B., Andre, M., Ranjit, K.T., Willner, I., (2001), "An N,N'-dialkyl-4,4'-bipyridinium-modified-titanium dioxide Photocatalyst for Water Remediation-observation and Application of Supramolecular Effects In Photocatalytic Degradation Of Donor Organic Compounds", *Fres. J. Anal. Chem.* 371, 621-628
- [46] Zang, L., Macyk,w., Lange, C., Maiser, W.F., Antonius, C., Meissner, D., Kisch, H., (2000), "Visible-Light Detoxification And Charge Generation By Transition Metal Chloride Modified Titania", *Chem.-Eur.J.* 2, 379-384
- [47] Li, X.Z. Li, F.B.,(2001), "Study of Au/Au³⁺-TiO₂ Photocatalysts Towards Visible Photooxidation for Water and Waste Water Treatment" , *Environ. Sci. Technol.* 35, 2381-2387
- [48] Zheng, S.K., Wang, T.M., Hao, W.C., Shen, R., (2002), Improvement of photocatalytic activity of TiO₂ by Sn implantation. *Vacuum* 65, 155-159
- [49] San N., (1997), "Heterojen Fotokatalitik Degradasyon; Aromatik Kirleticilerin Sulu TiO₂ Suspansiyonlarında Fotokatalitik Degradasyon Kinetiğinin İncelenmesi", *Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul*
- [50] Bardakçı, S., Sol-Jel Yöntemi ile Hazırlanan TiO₂ İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi,*Yüksek Lisans Tezi*

- [51] Mellott, N.P., Durucan, C., Pantano, C.G., Guglielmi, M., Commercial and laboratory prepared titanium dioxide thin films for selfcleaning glasses: Photocatalytic performance and chemical durability. *Thin Solid Films* 2006;502(1):112-120]
- [52] Kaya Ö., Characterization of TiO₂ thin films prepared by sol-gel processing. *Yüksek Lisans*, Orta Dogu Teknik Üniv. 2002
- [53] TNG, C.C., Chen, S.Y., The effect of CO₂ on the structure and colour of silica gel derived materials. *Jour. and Mater. Research* 2001; 16:1712- 1719) , (Katvchvanukul, P., Ananpattaracha, J., Pangpom, S., Sol-Gel preparation and properties study of TiO₂ thin film for photo catalytic reduction of chromium (VI) in photo catalysis process. *Science Tech. of Adv. Mater.* 2005; 6:352-358
- [54] Gülsen, G., NC, M. N., Thermal optical properties of TiO₂ films. *Optic. Mater.* 2002;18:373-381
- [55] Türhan, TiO₂ ve katkılı TiO₂ ince filmlerin hazırlanması ve karakterizasyonu. *Yüksek Lisans*, stanbul Teknik Üniv. 2000
- [56] Tıǧlı, S., ZrO₂ ve TiO₂ ince filmlerinin olusturulması ve karakterizasyonu. *Yüksek Lisans*, TÜ, 2000
- [57] Zhang W, Chen Y, Yu S, Chen S and Yin Y. *Thin Solid Films* (2007) Article in press
- [58] Hemissi M, Amardja-Adnani H and Plenet J.C. *Current Applied Physics* 9(2009) 717-721
- [59] Yuranova T, Mosteao R, Bandara J, Laub D and Kiwi J. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 244 (2006) 160-167
- [60] Are We Underestimating Species Extinction Risk? *PLoS Biol* 3(7): e253,(2005)
- [61] Berner, D.B. 1986. Taxonomy of *Ceriodaphnia* (Crustacea: Cladocera) in eU.S. Environmental Protection Agency cultures. EPA/600/4-86/032.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Burcu AKTAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu – 10.12.1984
Adres : Topraklık mah. Halk cad.
no:29/7 Denizli/Merkez
Lisans Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi - İZMİR



Yayın Listesi

Uluslararası Bildiri

- Fatma Burçak Bulut, Burcu Aktan, Hüseyin Selçuk, Fate, Transport and Chemical Treatment of TiO₂ Nano Particles in the Textile Wastewater, ULE2009, Denizli, 2009

Uluslararası Yayınlar

- Palamutcu S., Acar G., Çon A. H., Gültekin T., Aktan B., Selçuk H., 2011. Innovative self-cleaning and antibacterial cotton textile: no water and no detergent for cleaning. Desalination and Water Treatment, 26, 178-184. Diğer uluslararası makaleler
- Koc A.C., Ciner F., Toprak S., Selçuk H., Aktan B. 2010. The Geographical Information System (GIS) Based Water Quality Assessment of Drinking Water Distribution System in Denizli. Desalination and Water Treatment (DOI: 10.5004/dwt.2010.1940)