

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TiO₂ İLE SULARIN FOTOKATALİTİK DEZENFEKSİYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yasemin CEYHAN

Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin SELÇUK

TEMMUZ 2011

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091201004 nolu öğrencisi Yasemin CEYHAN tarafından hazırlanan “**TiO₂ İLE SULARIN FOTOKATALİTİK DEZENFEKSİYONU**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı :
(Jüri Başkanı)

Doç.Dr. Hüseyin SELÇUK (İstanbul Üniversitesi)



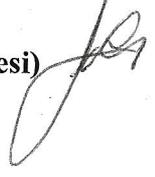
Jüri Üyesi :

Prof. Dr. Ahmet Hilmi ÇON (Pamukkale Üniversitesi)



Jüri Üyesi :

Doç. Dr. Fehiman ÇİNER (Pamukkale Üniversitesi)

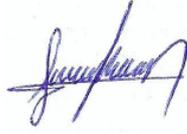


Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
17.08.2011 tarih ve ...23/11..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


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.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Yasemin CEYHAN

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin başlangıcından bitimine kadar, bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan danışman hocam Sn. Doç. Dr. Hüseyin SELÇUK' a; mikrobiyolojik çalışmalar sırasında desteğini esirgemeyen ve çalışmalarımı yakından ilgilenen Sn. Prof. Dr. Ahmet Hilmi ÇON 'a; laboratuvar çalışmalarımı yürütmemde sağladığı katkılardan dolayı Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı genel sorumlusu Sn. Doç. Dr. Fehiman ÇİNER'e; çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan, yardımlarını benden esirgemeyen, keyifli çay sohbetleriyle beni motive eden sevgili çalışma arkadaşlarım, Derya AKTAŞ, Tuğçe GÜLTEKİN, Rahman ÇALHAN, Burcu AKTAN' ve Gülümser ACAR' a; tez çalışmam ve hayatım boyunca yanımda olduklarını hep hissettiğim kardeşlerim Betül CEYHAN ve İsmail CEYHAN' a; burada olmamı sağlayan ve eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatım boyunca minnettar kalacağım annem Fadime CEYHAN ve babam Mehmet CEYHAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışması 108M211 numaralı "TiO₂ ve Metal Dopingli TiO₂ Nano Partikül Kaplama ile Pamuklu Tekstil Yüzeylerinde Ekolojik Çok Fonksiyonlu Karakterlerin Oluşturulması, Olası Çevresel Etkileri ve Çözüm Yöntemleri" isimli proje çerçevesinde TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Temmuz 2011

Yasemin CEYHAN

Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
1. GİRİŞ	1
2. DEZENFEKSİYON	3
2.1 Dezenfeksiyonun Tanımı.....	3
2.2 Suların Dezenfeksiyonu.....	3
2.3 Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler	4
2.3.1 Temas süresi.....	4
2.3.2 Dezenfektan konsantrasyonu	5
2.3.3 Sıcaklık	6
2.3.4 Mikroorganizmaların türü ve yaşam evresi	6
2.3.5 Suyun pH'ı ve organik madde içeriği.....	7
2.4 Dezenfektan Seçimi.....	7
2.5 Dezenfeksiyon Yöntemleri	8
2.5.1 Klor ile dezenfeksiyon.....	9
2.5.1.1 Kırılma noktası klorlaması	11
2.5.2 Klor dioksit ile dezenfeksiyon	12
2.5.3 UV ışığı ile dezenfeksiyon.....	12
2.5.3.1 Etki mekanizması.....	13
2.5.4 Ozon ile dezenfeksiyon	14
2.5.5 Potasyum permanganat ile dezenfeksiyon.....	15
2.6 Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumu ve Kontrolü	15
2.7 Dezenfektan Avantaj ve Dezavantajları	17
3. FOTOKATALİTİK-FOTOELEKTROKATALİTİK ARITMA.....	19
3.1 Fotokatalitik Arıtma	19
3.2 Fotoelektrokatalitik Arıtma.....	21
3.3 Yarı İletken Maddeler	22
3.4 TiO ₂ Yarı İletkeni	24
3.4.1 TiO ₂ 'nin genel özellikleri ve kullanım alanları	27
3.4.2 Kristal yapısı	28
3.4 Nanopartikül Hazırlama.....	30
3.4.1 Sol-jel metodu	30
3.4.1.1 TiO ₂ nanopartikül hazırlama yöntemleri	31
4. MATERYAL METOT.....	34
4.1 Sol-jel Hazırlama Yöntemleri	34
4.1.1 I. yöntem.....	34
4.1.2 II. yöntem.....	34
4.1.3 III. yöntem	34
4.1.4 IV. yöntem	34
4.1.5 Degussa.....	35
4.2 Film Kapalama	35

4.3 Filmlerin FEK Özelliklerinin Belirlenmesi	36
4.4 Bakteriyolojik Deneyler.....	37
4.4.1 Besi yeri hazırlama ve sayım yöntemi.....	37
4.4.2 Dilüsyon hazırlanışı ve <i>E.coli</i> geliştirilmesi	37
4.5 Deneyler.....	38
4.5.1 Fotokatalitik dezenfeksiyon.....	38
4.5.2 Fotokatalitik dezenfeksiyona anyon ve katyon etkisi.....	39
4.5.3 Fotokatalitik arıtmaya karbonat etkisi	40
4.5.4 İmmobilize TiO ₂ filmler ile fotokatalitik dezenfeksiyon	40
4.5.5 İçme ve şebeke suyunda fotokatalitik dezenfeksiyon	40
5. BULGULAR.....	42
5.1 Filmlerin FEK Özellikleri.....	42
5.2 Ticari TiO ₂ (Degussa P25) İle Dezenfeksiyon.....	43
5.3 Fotokatalitik Arıtmaya Kalsiyumun Etkisi	44
5.4 Fotokatalitik Arıtmaya Klorürün Etkisi.....	45
5.5 Fotokatalitik Arıtmaya Magnezyumun Etkisi.....	47
5.6 Fotokatalitik Dezenfeksiyona Karbonat İyonlarının Etkisi	48
5.7 Kaplanmış TiO ₂ (İmmobilize) Deneyleri	52
5.8 İçme ve Şebeke Suyu Deneyleri	53
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	55
KAYNAKLAR.....	57

KISALTMALAR

cfu	:	Colony forming unit
DYÜ	:	Dezenfeksiyon yan ürünleri
E.coli	:	Escherichia coli
FEK	:	Fotoelektrokatalitik
FK	:	Fotokatalitik
HAA	:	Haloasetikasit
HOCl	:	Hipoklorit asit
hv	:	Solar enerji
K₂HPO₄	:	Dipotasyum hidrojen fosfat
MKS	:	Maksimum kirletici seviyesi
NDMA	:	Nitrosodimetilamin
NP	:	Nanopartikül
TBT	:	Ttetrabutyl titanat
THM	:	Trihalometan
TIP	:	Titanyum (IV) isopropoxide
TIPT	:	Tetraisopropyl orthotitanate
TiO₂	:	Titanyumdioksit
TOK	:	Toplam Organik Karbon
TOX	:	Toplam organik halojenürler
USEPA	:	ABD Çevre Koruma Örgütü
UV	:	Ultraviyole
VRB	:	Violet Red Bile
ZnO	:	Çinko Oksit

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1 : İdeal dezenfektan karakteristikleri.....	8
2.2 : Dezenfeksiyon yöntemleri.....	9
2.3 : Klorlama sonucu oluşan önemli dezenfeksiyon yan ürünleri.....	10
2.4 : Ozonlama yan ürünleri.....	15
2.5 : Yaygın kullanılan dezenfektanların ideal karakteristiklere göre karşılaştırılması.....	18
4.1 : İçme ve yeraltı suyunun karakteristiği.....	41
5.1 : Degussa ile distile suyun <i>E.coli</i> 'ye karşı mikrobiyal etkisi.....	43
5.2 : Farklı miktarlarda Ca ilavesinin <i>E.coli</i> gelişimine etkisi.....	45
5.3 : Farklı miktarlarda Cl ilavesinin <i>E.coli</i> gelişimine etkisi.....	46
5.4 : Farklı miktarlarda Mg ilavesinin <i>E.coli</i> gelişimine etkisi.....	47
5.5 : Farklı pH'larda sadece degussanın ve NaHCO ₃ içeren degussanın <i>E.coli</i> gelişimi üzerindeki etkisi.....	50
5.6 : Farklı yöntemlerle kaplanmış filmlerin <i>E.coli</i> aktivasyonuna.....	52
5.7 : İçme ve şebeke suyunda degussanın <i>E.coli</i> üzerindeki etkisi.....	53

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Kırılma Noktası Klorlaması.	11
2.2 : Elektromanyetik Spektrum.	13
3.1 : Fotokatalitik arıtmanın şematik gösterimi.	19
3.2 : Fotoelektrokatalitik sistem.	21
3.3 : Yarı iletkenlerin kristal yapısının üç boyutlu olarak gösterilmesi.	23
3.4 : Yarı iletkenlerde kovalent bağların gösterilişi.	23
3.5 : Bazı yarı iletkenlerin enerji değerleri.	24
3.6 : Fotokatalitik arıtma sistemlerinin genel mekanizması(A, indirgenebilir ve B, oksitlenebilir maddeler).	26
3.7 : (a) Rutil (b) Brokit (c) Anataz.	29
3.8 : TiO ₂ rutil ve anataz kristal yapılarının birim hücreleri.	30
4.1 : Diyaliz membran.	35
4.2 : Daldırma ile kaplama tekniği şematik gösterimi.	36
4.3 : FEK reaktör sistemi.	36
4.4 : Güneş simülatörü.	39
5.1 : Oda sıcaklığında kaplanmış filmlerde fotoakım.	42
5.2 : 50 °C de tutulan kaplı filmlerde fotoakım.	43
5.3 : Degussalı sudaki ve distile sudaki <i>E.coli</i> 'nin gelişimi.	44
5.4 : Farklı miktarlarda Ca ilavesinin <i>E.coli</i> gelişimine etkisinin zamana göre değişimi.	45
5.5 : Farklı miktarlarda Cl ilavesinin <i>E.coli</i> gelişimine etkisinin zamana göre değişimi.	47
5.6 : Farklı miktarlarda Mg ilavesinin <i>E.coli</i> gelişimine etkisinin zamana göre değişimi.	48
5.7 : Fotokatalitik dezenfeksiyona karbonat iyonlarının etkisi a)pH=5 ve pH=6 b)pH=7 ve pH=8.	51
5.8 : Kaplanmış filmlerin <i>E.coli</i> üzerindeki etkisinin zamana göre grafiği.	52
5.9 : İçme ve şebeke suyunda degussanın <i>E.coli</i> üzerindeki etkisi.	54

ÖZET

TiO₂ İLE SULARIN FOTOKATALİTİK DEZENFEKSİYONU

Güneş enerjisi, su ve atık su arıtımı alanında uygulama alanı bulan bir enerji türüdür. Doğal (güneş) veya yapay bir kaynaktan elde edilen UV ışınları ve Titanyum dioksit (TiO₂) gibi yarı iletken katalizörler ile kirleticilerin parçalanıp yok edilmesine fotokatalitik proses denilmektedir. Bu fotokatalitik (FK) prosesin uygun elektrik alanıyla birleştirilmesiyle fotoelektrokatalitik (FEK) prosesler elde edilmektedir ve bu teknolojideki uygulamalar giderek artmaktadır.

Bu çalışmada, TiO₂ nanopartikülleri kullanılarak suların arıtımı ve dezenfeksiyonu araştırılmıştır. Deneyleerde ticari TiO₂ olan Degussa P25, bakteri olarak da *Escherichia coli* (*E.coli*) kullanılmıştır.

Dört farklı yöntemle camlar kaplanmıştır. Kaplanan camların fotoakımları ölçülmüştür. Bu camların antimikrobiyal etkisi araştırılmıştır.

Degussanın *E.coli* üzerindeki antimikrobiyal etkisine bakılmıştır. Kalsiyum, magnezyum, klor ve karbonatın degussanın antimikrobiyal aktivitesine etkisi olup olmadığını incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dezenfeksiyon, Fotoelektrokatalitik Arıtma, Fotokatalitik Arıtma, Nanopartikül, TiO₂ (Titanyumdioksit)

SUMMARY

PHOTOCATALITIC DISINFECTION OF WATERS BY TiO₂

Solar energy is a kind of energy that can find application areas in water and wastewater treatment. Destruction of pollutants by UV-ray supplied from natural (sun) or artificial sources and semi conductor catalysts like TiO₂ is called fotocatalitic process. Fotoelectrocatalitic processes are obtained by combining fotocatalitic process with proper electrical field and application of this new technology is spreading.

In this study, treatment and disinfection of water by using TiO₂ nanoparticles were investigated. In experiments as commercial TiO₂ Degussa P25 was used and *Escherichia coli* (*E.coli*) used for disinfection experiments.

Glasses are coated with four different methods. Photocurrents of coated glasses were measured. Antimicrobial effects of these glasses were investigated.

Antimicrobial effects of Degussa on *E.coli* were examined. Calcium, magnesium, chloride and carbonate were investigated whether the effect of the antimicrobial activity of degussa.

Keywords: Disinfection, Photoelectrocatalitic Treatment, Photocatalitic Treatment, Nanoparticle, TiO₂

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji, endüstrileşme ve nüfus artışı dünyanın doğal dengesini sürekli bozarak, çevre kirliliğinin önemli boyutlarda artmasına neden olmaktadır. Çevre kirliliğinin en büyük nedenlerinden biri ülkelerin gelişmelerine dayalı kalkınmanın temel unsurlarını oluşturan tarım, sanayi, ulaşım, turizm ve enerji sektörleridir. Ancak bu sektörlerde kalkınma sağlanırken, yapılacak yatırımların mutlaka çevre ile uyumlu olması ve çevrenin korunması gereklidir (Çınar, 2000).

Suların kirlenmesi, hiç şüphesiz çağdaş medeniyetin doğal ortamı bozmasının en fazla endişe verici sorunlarından birini oluşturmaktadır. Eğer insan faaliyeti kısa ve uzun vadede, kirlilik etkenlerinin tamamını engelleyemezse, yakın bir zamanda kara ve okyanus sularının kirliliği çağdaş bir sorun olarak karşımıza çıkacaktır. Su krizi zaten dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Su azlığı sanayileşmiş ve kurak iklime sahip olan üçüncü dünya ülkelerini ve buralardaki tarım ürünlerini oldukça etkilemektedir (Akman ve diğerleri, 2000).

Suda oluşan kirlenme, zaman içinde doğal yöntemlerle temizlenebilmektedir. Fakat günümüzde kirlenme çok hızlı olduğu için, doğal sistemler yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle kullanılmış suların alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım işlemlerinden geçirilmesi gerektiği gibi içme ve kullanma suyu temininde de bazı arıtım işlemleri uygulanmalıdır. Özellikle sularda bulunan patojen mikroorganizmalar birçok salgın hastalığın yayılmasına neden olduğundan içme ve kullanma suyu temininde dezenfeksiyon önemli bir yöntemdir.

Dezenfeksiyon için en yaygın olarak kullanılan yöntem klorlama olarak bilinmektedir. Klor yüzyılın başından itibaren patojenik mikroorganizmalara karşı ek bir önlem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak son yıllarda klorlamanın insan ve hayvanlar için toksik veya genotoksik olabilen yan ürünlere yol açtığına dair bulgular, daha güvenli dezenfektanların araştırılmasına neden olmuştur. Ayrıca bazı patojen veya parazitlerin dezenfektanlara karşı dirençli olduğu ve bilinen indikatör

mikroorganizmaların her zaman suyun güvenliği hakkında fikir vermediği fark edilmiştir (Alkan, 2005).

Klora alternatif olarak birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan birisi ozonlamadır. Ozon kalıntı bırakmamaktadır fakat ozon ile dezenfeksiyonun maliyeti çok fazladır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu yöntemlerde karşılaşılan olumsuzluklar nedeniyle alternatif dezenfeksiyon yöntemleri geliştirilmektedir. Bu alternatifler yöntemlerden biri de ultraviyole (UV) ile dezenfeksiyondur (Akçay, 2010).

UV ışığının kullanılmasının yanında; dünyadaki fosil yakıtların sınırlı olması nedeniyle alternatif enerjilerin geliştirilmesi üzerine çok yoğun çalışmalar yapılmıştır. Alternatif enerjiler içerisinde çevresel kirlilik problemleri açısından en temiz ve de en ucuzu güneş enerjisidir. Su dezenfeksiyonunda güneşin kullanılması kolay, sürdürülebilir ve düşük maliyetlidir (Selçuk ve diğerleri, 2007).

Son yıllarda en etkin alternatif yöntemin “fotokataliz” olduğu belirlenmiştir. Bu yöntem, UV ışığı kullanılarak aktif hale getirilmiş bir yarı iletken ile atık sulardaki zararlı maddelerin buldukları ortamda parçalanarak zararsız ürünlere dönüşmesini içermektedir (Sayılkan, 2007).

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 (Qian ve Hinestroza, 2004). Gıda, tarım, tıp, malzeme gibi pek çok sektörü etkisi altına almıştır.

Nano teknoloji son yıllarda gelişen bir alan olup, çevre mühendisliği alanında arıtma ve enerji amaçlı kullanılması uygulamalarına daha yeni başlanmıştır. Geleceğin ekonomik arıtma sistemi olarak gösterilen nanopartiküller ile arıtma sistemlerinin uygulamaya yönelik geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada nanopartiküllerin geliştirilmesi ve arıtma amaçlı kullanılması hedeflenmektedir. Bu çerçevede geliştirilen nanopartiküllerin fotoakım özellikleri su arıtımı sırasında dezenfeksiyon verimleri ile ilişkilendirilmiştir.

Bu çalışmada, nanopartiküller ve UV ışığı kullanılarak suların dezenfeksiyonu araştırılmıştır. Nanopartiküller ile fotokatalitik arıtmaya etki edebilecek parametreler ve *E.coli* inaktivasyonu incelenmiştir.

2. DEZENFEKSİYON

2.1. Dezenfeksiyonun Tanımı

Dezenfeksiyon, hastalık yapan ya da besinlere ve diğer maddelere zarar vererek bozulmalarına neden olan mikroorganizmaların (mikrop, mantar, küf vb. canlıların) kimyasal ve fiziksel yöntem ve okside edici karakteristiğe sahip kimyasal maddeler kullanılarak yok edilmesi veya üremelerinin sınırlandırılmasıdır (Aydın, 2009).

Sterilizasyondan farkı, yalnızca hastalık yapıcı ve zarar verici mikroorganizma ve canlıların hedef alınmasıdır. Sterilizasyonda ise ortamda bulunan tüm mikroorganizmaların yok edilmesi esastır (Metcalf & Eddy, 2004)

2.2. Suların Dezenfeksiyonu

Suyun içindeki mikroorganizma yaşamının kontrolü amacıyla suyun dezenfekte edilmesi şarttır. Dezenfeksiyon işleminin, birçok şekilde gerçekleştirilmesi mümkündür. Ancak, en yaygın olarak klorlama ve ultraviyole dezenfeksiyon sistemleri kullanılmaktadır (Teksoy, 2006).

Klor, eskiden beri en yaygın kullanılan dezenfektandır. Yaygın kullanımında klorun ucuz bir dezenfeksiyon sistemi olmasının yanı sıra, kalıcı etkiye sahip olması da önemli bir etkidir. Klor, suya karıştırıldığı anda, suyun içindeki bazı organik maddeler ve ağır metallerle reaksiyona geçer. Tüm reaksiyonlar meydana geldikten sonra, serbest bakiye klorun suda bırakılması, nihai kullanım noktasına kadar mikroorganizma faaliyetini önleyecektir (Hısım ve Ayan, 2005).

Ancak, klorun, suyun içindeki bir takım organik maddelerle birleşerek, insan sağlığına zararlı kanserojen kimyasal bileşiklerin (trihalometan, kloroform vb.) oluşumuna sebebiyet verdiği bilinmektedir (Rook, 1974). Klor kullanımı kontrolsüz yapıldığı takdirde bu tip kimyasalların oluşumu mümkündür. Bu sebepten dolayı, suyun dezenfeksiyonu amacıyla değişik kimyasalların kullanımı da her geçen gün artmaktadır. Ancak günümüzde klor halen, en sık kullanılan dezenfektandır.

Suyun dezenfeksiyonu amacıyla kullanılan bir diğer yöntem ise, ultraviyole dezenfeksiyondur. Bu yöntemde, dalga boyu 254,7 nanometre olan ultraviyole ışınımı kullanılır. Bu ışınım, suyun içindeki mikroorganizmaların, DNA yapısında bozulmaya sebep olup, üremeyi engeller. Ultraviyole sistemler, dezenfeksiyon amacıyla, oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerde dikkat edilmesi gereken konu, sistemin nihai kullanıma mümkün olduğunca en yakın yere konmasıdır. Ayrıca, sistemden çıkan su özellikle atmosfere açık ayrı bir üniteye girmemeli ve bekletmeden kullanılmalıdır. Ayrıca, voltaj düşümleri veya elektrik kesintilerinde, sistemin bir jeneratör sistemine bağlı olması faydalı olacaktır. Sadece yüzde 10'luk bir voltaj düşümü, sistemin etkinliğini % 20 oranında azaltabilmektedir (Aydın, 2009).

Ultraviyole sistemlerin, estetik olarak görünümü bulanık olan sularda kullanılması durumunda, suyun UV ünite öncesinde hassas partikül tutma kabiliyetine sahip tortu filtrelerinden geçirilerek bulanıklığının giderilmesi şarttır. Zira mikroorganizmalar, büyük partiküllerin ışınımı engellemesi sonucu, UV ünitelerden canlı çıkabilmektedir. UV ünitelerin ayrıca periyodik bakımı önemlidir. Senede bir kere UV lamba değişimi ve ham su kalitesine bağlı olarak, periyodik olarak kuvars cam temizliğinin yapılması çok önemlidir. Bu temizliğin yapılmaması, UV ışınım etkinliğini azaltacaktır (Özkütük, 2005).

2.3. Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler

Dezenfeksiyon işleminin performansını etkileyen faktörler altı grupta incelenebilir:

- Temas süresi
- Dezenfektan konsantrasyonu
- Sıcaklık
- Mikroorganizmaların türü
- Suyun pH'ı ve bünyesindeki organik maddeler (Alıcı, 2007)

2.3.1. Temas süresi

Dezenfeksiyon prosesinin önemli değişkenlerinden biri temas süresidir. Dezenfektan veya kimyasal maddenin mikroorganizmalar üzerine etkili olabilmesi için belirli bir

süre geçmesi gerekir. Etki süresi uygulanan kimyasal maddeye ve uygulandığı ortam şartlarına göre değişir. 1900'lü yılların başlarında İngiltere'de Harriet Chick tarafından yapılan bir araştırmada, belirli bir konsantrasyondaki dezenfektan ne kadar uzun temas süresine tabi tutulursa mikroorganizma üzerinde o kadar fazla etkili olduğu görülmüştür (Akçay, 2010).

Fakat her dezenfektan için bu süre değişebilir. Dezenfektan için önerilen temas süresinden daha fazla süreye tabi tutmak, dezenfeksiyonun etkisini arttırmaz.

Dezenfektanların etki hızları için önerilen maddelerden biri Chick Kanunu'dur (Muslu, 2002):

$$\frac{dN}{dt} = -kN_t \quad (2.1)$$

N_t = t zamanındaki organizma sayısı

t = Zaman

k = Sabit, zaman⁻¹

t=0 anında $N=N_0$ ise denklemin integrasyonu;

$$N_t = N_0 e^{-kt} \quad (2.2)$$

2.3.2. Dezenfektan konsantrasyonu

Dezenfektan maddenin etkisi konsantrasyonla doğru orantılı olarak artmaktadır. Genelde dezenfektanlar yüksek konsantrasyonda, bakteriler üzerinde daha etkilidirler. Herbert Watson, 1900'lü yılların başlarında yaptığı bir çalışmada inaktivasyon oranı sabitinin, dezenfektan konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu saptamıştır (Alıcı, 2007).

Dezenfeksiyon konsantrasyonunun dezenfektan etkisi ile ilgisi (Muslu, 2002):

$$C^n t_p = Sabit \quad (2.3)$$

formülü ile verilmektedir. Burada;

- C = Dezenfektan konsantrasyonu
- n = Bir sabit
- t_p = Belirli bir etki(yok etme) yüzdesi için gerekli olan süre

$n > 1$ ise, temas süresi konsantrasyondan daha etkilidir. Dezenfektanın seyreltmeyle tesirinin azalacağını gösterir.

2.3.3. Sıcaklık

Sıcaklık artışı, genelde, dezenfeksiyon hızını artırmaktadır. Bu etki, sıcaklığın hem difüzyon hem de reaksiyon hızlarını artırmasından kaynaklanmaktadır. Dezenfeksiyon hızını enzimle olan reaksiyon hızı veya hücre çeperindeki difüzyon hızı etkiler. Her 10°C'lik ısı artımı öldürmeyi en az bir kat artırmaktadır. Dezenfektan içerisinde fenol gibi maddelerin varlığında bu oran 5-10 kata ulaşmaktadır (Akçay 2010).

Hız artışı Van Hoff-Arhenius denklemi ile incelenir (Muslu, 2002).

$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} \quad (2.4)$$

- t_1 ve $t_2 = T_1$ ve T_2 sıcaklıklarındaki belli bir etki yüzdesi sağlamak için geçen süreler
- T_1 ve $T_2 =$ Sıcaklık
- E = Aktivasyon enerjisi (J/mol)
- R = Gaz sabiti (8,3144 J/mol.K)

2.3.4. Mikroorganizma türü ve yaşam evresi

Mikroorganizmanın cins ve türleri ile bulunduğu yaşam evresine dezenfektan maddelerin etkisi değişiktir. Örnek olarak sporlar bakterilerin vejetatif şekillerine göre dezenfektan maddelere karşı oldukça dirençlidir. Ayrıca bakterilerin üreme fazları, sayıları ve diğer özel yapıların varlığı da dayanıklılık üzerine etkilidir. Bir başka örnek ise; büyümekte olan bakteri hücreleri, yaşlı hücrelerden daha kolay ölürler. Virüs ve protozoalar her bir kimyasal dezenfektan için ayrı ayrı direnç gösterirler (Akçay, 2010).

2.3.5. Suyun pH'ı ve organik madde içeriği

Çoğu mikroorganizmalar $pH < 3$ ve $pH > 11$ 'de yaşayamaz. pH 3-11 arasında ise, hem mikroorganizmaların hem de dezenfektanların reaktifliği etkilenecek dezenfeksiyon hızı değişir. Ortamın pH 'sı ne kadar nötürden uzak olursa etki o denli artar. Hidrojen iyon konsantrasyonu bakteriyel etkiyi arttırmaktadır (Muslu, 2002).

Sudaki organik maddeler dezenfeksiyon işlemini olumsuz yönde etkiler (Muslu, 2002).

2.4. Dezenfektan Seçimi

Kullanılacak dezenfeksiyon yönteminin seçimi sırasında dezenfekte edilecek suyun ve suyun dağıtımının yapılacağı şebeke sisteminin başlıca özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Örneğin şebeke bütünlüğünün tam olduğu ve sürekli kontrol altında olduğu bölgelerde içme ve kullanma amacıyla yer altı suları dezenfekte edilecekse, seçilecek dezenfektanda aranılacak temel özellik bakterisit etki olmalıdır. Ancak aynı bölgede yüzeysel su kaynakları kullanılıyorsa seçilecek dezenfektanın bakterisit etkinliğinin yanı sıra parazit ve virüslere karşı da etkili olması, ayrıca renk ve koku giderici etkinliğinin bulunması istenmelidir. Şebeke bütünlüğünün tam olmadığı, su kaçaklarının ve tesisat arızalarının yaygın olduğu bölgelerde ise estetik parametreler ikinci planda olmalı ve öncelikle birincil dezenfeksiyon etkinliği ve bakiye koruyucu etkinliği yüksek dezenfektanlar seçilmelidir. İdeal dezenfektan karakteristikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: İdeal dezenfektan karakteristikleri (Metcalf & Eddy, 2004)

Karakteristik	Özellikler / Tepki
Kullanılabilirlik / Maliyet	Kolay bulunabilir ve makul fiyatlı olmalı
Koku giderme yeteneği	Dezenfeksiyon boyunca koku oluşumu göstermemeli
Homojenlik	Çözelti üniform özellikte olmalı
Yabancı madde ile etkileşimi	Bakteri haricinde, organik maddelerle adsorbe olmamalı
Zehirlilik	Mikroorganizmalar için zehirleyici olmalı, insanlar ve diğer canlılar için zehirli olmamalı
Güvenlik	Taşıma, depolama ve kullanım açısından güvenli olmalı
Çözünürlük	Suda veya hücre dokusunda çözünebilmeli
Mikroorganizmaya etkisi	Yüksek seyreltmelerde etkili olmalı
Ortam sıcaklığında etkisi	Ortam sıcaklık oranlarında etkili olmalı

Uygun dezenfektan maddesinin özellikleri (Öztürk ve diğerleri, 2004):

- Patojenik mikroorganizmaları yok etme yeteneğine sahip olmalıdır.
- Su içinde hızlı etki göstermelidir. Suyun ısı ve pH'ından etkilenmemelidir.
- Tat, koku ve zehirli madde gibi yan ürünler bırakmamalıdır.
- Ucuz olmalı ve kolay bulunmalıdır.

2.5. Dezenfeksiyon Yöntemleri

İçme ve kullanma sularının dezenfeksiyonundaki amaç sağlık açısından zararlı olabilecek patojen mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesidir. Dezenfeksiyon fiziksel ve kimyasal olarak ikiye ayrılır. Suların dezenfeksiyonunda bireysel olarak kullanılabilen çok sayıda yöntem (kaynatma, iyot gibi) bulunmakta, ancak toplumsal amaçlı uygulamalarda genelde az sayıda dezenfeksiyon tekniği kullanılabilir (Muslu, 2002).

Dezenfeksiyon yöntemleri genel olarak fiziksel yöntemler ve kimyasal yöntemler olarak ikiye ayrılır (Tablo 2.2). Bunlara ek olarak mekanik yöntemleri ve radyasyonla dezenfeksiyon yöntemleri kullanılır.

Tablo 2.2: Dezenfeksiyon yöntemleri (Öztürk ve diğerleri, 2004)

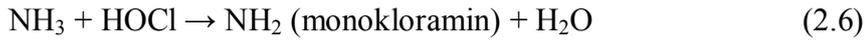
DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİ	
Fiziksel Yöntemler	Kimyasal Yöntemler
Isı ile Dezenfeksiyon	Alkali ve Asitler ile Dezenfeksiyon
Ultraviyole IşığI ile Dezenfeksiyon	Yüzey Aktif Maddeler ile Dezenfeksiyon
	Metal İyonları ile Dezenfeksiyon
	Halojenler ile Dezenfeksiyon
	Ozon ile Dezenfeksiyon
	Potasyum Permanganat ile Dezenfeksiyon

2.5.1 Klor ile dezenfeksiyon

Su arıtımında dezenfeksiyon amaçlı klor kullanımı 1900'lü yıllara dayanmaktadır. Klor suya genellikle sıvı (Sodyum Hipoklorit), gaz (Saf Klor) formunda dozlanmaktadır ve suya karıştığında (2.5) nolu eşitlikteki reaksiyon gerçekleşerek güçlü bir oksidant olan Hipoklorit asit (HOCl) oluşturur.



Hipoklorit asitin sudaki amonyak ile reaksiyonu sonucu denklem (2.6)-(2.8)'deki kloraminler oluşur. Hipoklorit asit ve kloraminlerin oluşumu pH, sıcaklık, temas süresi ve klor/amonyak oranına çok bağlıdır.



Bugüne kadar kullanıla gelen klorun en önemli avantajı ucuz olması, uygulanabilirliğinin kolay olması *E.coli* mikroorganizmalarını kolayca yok etmesi ve aynı zamanda su kalitesini bozan demir ve sülfat bakterilerini de etkin şekilde giderebilmesidir (Akçay ve diğerleri, 2007).

Rook (1974)'ın yaptığı çalışmalarda suya klor ilave edildiğinde sağlık etkisi olan Trihalometanları (THM) keşfetmiştir. THM'ler sudaki organik maddelerin bromür ve klorür halojenleri ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda içme suyunda düşük seviyede bulunan THM'lere uzun süreli maruz kalınmasının

insanların bağırsak ve mesane kanserine yakalanma risklerinin artmasında önemli bir etken olabileceği sonucuna varılmıştır. ABD Çevre Koruma Örgütü (USEPA) Ulusal Birincil İçme Suyu Kirletici Standartları'nda THM'lerin kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir. Bu olumsuz etkiler düşünülerek birçok gelişmiş ülkede Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ) için yasal sınırlamalar getirilmiştir. Mesela; THM'ler ve Haloasetik asitler (HAA) için maksimum kirletici seviyesi (MKS) sırasıyla USA'de 80 µg/l ve 60 µg/l, çoğu Avrupa Birliği Ülkeleri'nde 30-100 µg/l THM iken Türkiye'de Sağlık Bakanlığı 150 µg/l THM standardını uygulamaya koymuştur (İTATS, 2005). Tablo 2.3'de klorlama sonucu oluşan ve kanser yapma riski taşıyan DYÜ'ler görülmektedir.

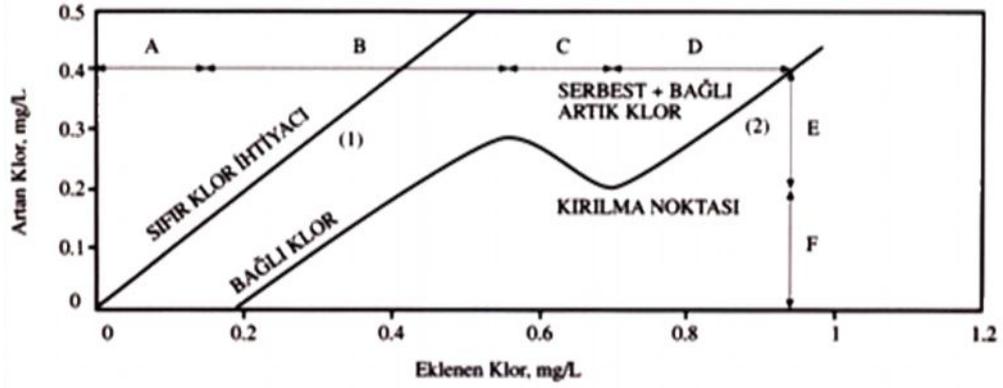
Tablo 2.3: Klorlama sonucu oluşan önemli DYÜ'ler (Akçay ve diğerleri, 2007)

Trihalometan	Kloroform (CHCl ₃)
	Bromodiklorometan (CHCl ₂ Br)
	Dibromodiklorometan (CHClBr ₂)
	Bromoform (CHBr ₃)
Haloasetik asit	Monokloroasetik asit (CH ₂ ClCOOH)
	Dikloroasetik asit (CHCl ₂ COOH)
	Trikloroasetik asit (CCl ₃ COOH)
	Monobromoasetik asit (CH ₂ BrCOOH)
	Dibromoasetik asit (CHBr ₂ COOH)
Nitrosodimetilamin	N-nitrosodiamilen

Kloramin veya amonyum içeren sularda serbest klorun dezenfektan olarak kullanımı ile oluşabilen kloraminler, dezenfeksiyon yan ürünü olarak kanser yapma etkisi olan Nitrosodimetilaminin (NDMA) oluşumuna neden olduğu rapor edilmiştir. NDMA, N-nitroaminler içerisindeki güçlü kanser yapıcılardan biridir ve içme suyu ve atık su dezenfeksiyonu sırasında oluşabilmektedir (Graham ve diğerleri, 1996; U.S. EPA, 2002). Bu bileşiğin kanser yapma riski, THM'lerden çok daha yüksektir. Gerecke ve Sedlak (2003) yaptıkları çalışmada çözünmüş organik karbon bileşikleriyle NDMA arasında ilişki olabileceğini belirtmişlerdir. Amerika'da bazı içme suyu kaynağından alınan örneklerde 0,15 µg/L seviyesinde NDMA bulunması belirtilen düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. Kuzey Amerika ve Kanada'da 2001-2002 yıllarında bazı su ve atık su arıtma tesisi incelemelerinde NDMA seviyesi 0,15 µg/L - 10 ng/L olduğu belirlenmiştir (Barrett ve diğerleri, 2003; Aksoy ve diğerleri, 2009).

2.5.1.1. Kırılma noktası klorlaması

Klor ihtiyacı suya ilave edilen klor ile belli bir temas süresi sonunda kalan serbest ve yararlanılabilir klor arasındaki farktan bulunur. Hiçbir indirgen madde içermeyen sularda eklenen klor dozuna karşı kalıntı klor beklentisi bir 45° eğrisi çizer. İndirgen maddeler ve amonyak içeren suya klor ilave edildiğinde Şekil 2.1'deki eğri elde edilir. Klor dozunun doğal ve atık sularda oluşturduğu kalıntı klor derişimini izleyerek, suların klor ihtiyacını belirlemek bu eğri yardımıyla olur.



Şekil 2.1: Kırılma noktası klorlaması (Akçay, 2010)

Klor önce sudaki indirgen maddelerle reaksiyona girer ve AB eğrisini oluşturur. B noktası, indirgen maddelerin giderimi için gerekli dozu gösterir. B noktasından sonra klor ilave edildiğinde kloraminler oluşur. Monokloramin ve dikloramin genellikle birlikte ele alınır. Bunlar dezenfektan olarak etkilidir ve birleşik kalıntı klor oluştururlar. Bunların karşılıklı miktarları ortamın pH'ına bağlıdır. Tüm amonyak tüketildiğinde, C noktasına gelinir. Serbest yararlanılabilir klor arttıkça, önceden oluşan kloraminler okside edilir. Bu ise, azot oksit, azot triklorür gibi okside olmuş azot bileşiklerinin oluşup serbest kloru tüketmesine neden olur. Böylece C ve D noktaları arasındaki eğri oluşur. Kloraminlerin tümünün oksidasyonu tamamlandıca, suya ilave edilen klor suda kalıntı klor olarak artmaya başlar. D noktası kırılma noktası olarak ifade edilir. Bu noktanın ilerisinde daha fazla klor ilavesi sonucu tüm klorun serbest yararlanılabilir klor haline geçmesi gerekir. Bu bilgiler sadece suların garantili dezenfeksiyonunda değil, atık sulardan azotlu maddelerin nihai arıtımı için de önemlidir (Şengül ve Müezzinoğlu, 1993).

2.5.2. Klor dioksit (ClO₂) ile dezenfeksiyon

Klor dioksit, bir oksitleyici olarak hipokloröz asit kadar etkilidir ve yüksek pH değerlerinde iyi bir dezenfektandır. Klor dioksit amonyakla reaksiyona girmediğinden kloraminler oluşmaz, ayrıca organik maddelerle de reaksiyona girmediğinden kloroform veya diğer trihalometanların oluşumu söz konusu değildir. Klor dioksitin bir başka avantajı ise klorun farklı türleri ile reaksiyona giren fenollü bileşikleri bozarak istenmeyen tatlara neden olan klorlu fenollerin oluşumunu engellemesidir. Klordioksit çok kararsız bir gazdır, bu yüzden de genellikle arıtma tesisinde sodyum klorit (NaClO₂) ile kuvvetli bir klor çözeltisinin karıştırılması ile elde edilir (Akçay, 2010).



Klor dioksitin eldesi biraz fazla klor ilavesi ile pH'ın 4'ün altına düşürülmesi ile arttırılabilir. Klor dioksitin yaygın olarak kullanılmamasının sebepleri diğer klor formlarına göre pahalı olması ve bu konuda fazla uygulamanın olmamasındandır. Klor dioksit ile dezenfekte edilen sularda klorit oluşabilir ve günümüzde kloritin insan sağlığı üzerine etkileri konusunda şüpheler bulunmaktadır. Bu sebeple avantajları ve dezavantajları tam açığa kavuşmadan yeni bir dezenfektanın kullanımına dikkatli yaklaşılmaktadır.

Değişik pH değerlerinde, farklı kimyasal madde ilaveleri ile klorlu türlerin indirgenmesini hızlandırarak veya önleyerek yapılacak titrasyonlar sonucu serbest klor, bileşik klor, klordioksit, klorit ve klorat konsantrasyonları yukarıdaki kimyasal denklemlerin de yardımıyla bulunabilir. Eğer suda hangi klorlu bileşiğin bulunduğu biliniyorsa titrasyon sayısı azaltılabilir (Samsunlu, 1999).

2.5.3 Ultraviyole (UV) ışını ile dezenfeksiyon

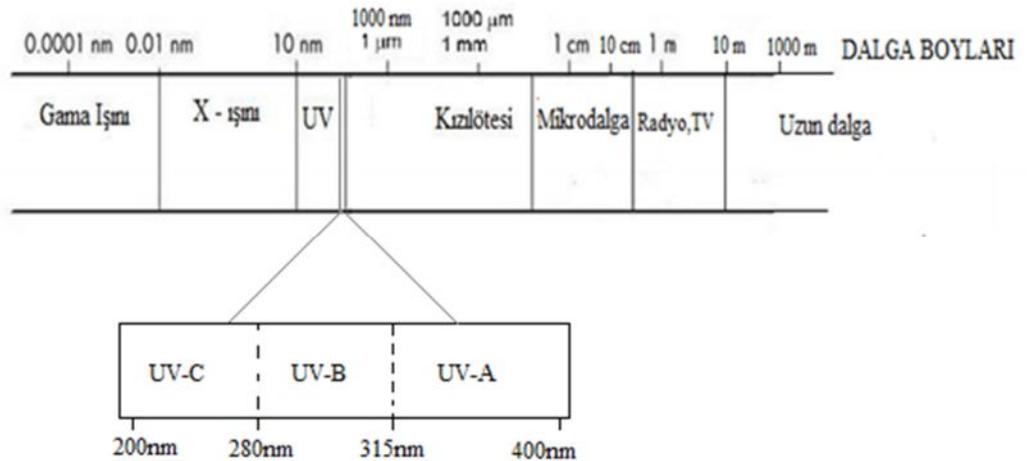
Suya herhangi bir kimyevi madde katılmaksızın, ultraviyole ışınları ile suda bulunması muhtemel bakteri, mantar, virüs vb. mikroorganizmaların etkisiz hale gelmesi ultraviyole lamba kullanılarak sağlanır.

UV ışınlarının dezenfektan etkisini su arıtımında kullanmaya yönelik çalışmalar 19.yy sonlarına dayanır. İhtiyaç duyulan UV ışınlarını sentetik olarak üreten cıva

buharlı UV lambalar 20.yy başlarında keşfedilmiş ve dünyanın ilk UV su dezenfeksiyon sistemi 1910 yılında Marsilya -Fransa'daki arıtma tesisinde devreye alınmıştır. Fakat birkaç yıllık işletmeden sonra uygulama durdurulmuş, yerine daha kolay ve ucuz olması nedeniyle klorlama uygulaması getirilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte UV lambalar daha etkili ve ekonomik hale gelmiş, her kapasitede UV dezenfeksiyon cihazları üretilebilmiştir. 1950'li yıllardan itibaren UV ışınları ile su dezenfeksiyonu hızla yaygınlaşmış ve günümüzde standart ve güvenilir bir uygulama halini almıştır (Akçay, 2010).

2.5.3.1. Etki mekanizması

Doğada UV ışınlarının kaynağı güneştir (Şekil 2.2). Güneşten atmosferimize ulaşan UV-A (315-400 nm) ve UV-B (280-315 nm) ışınları yeryüzüne kısmen ulaşabilir. Bu ışınlar aşırıya kaçılmadıkça insanlar açısından faydalıdır, örneğin vücudumuzun D vitamini sentezi yapmasını veya cildimizin bronzlaşmasını sağlar. UV-C (200-280 nm) ışınları ozon tabakası tarafından büyük oranda emilmekte ve yeryüzüne ulaşmamaktadır. UV-C ışığı dezenfeksiyonda etkilidir. Özellikle 250-260 nm (**253,7≈254 nm**) dalga boyundaki ışık en büyük antimikrobik etkinlik gösterir. Çünkü bu dalga boyu; DNA tarafından en etkin adsorbe edilen dalga boyudur; bu da dezenfeksiyonda daha etkili olmasının sebebidir.



Şekil 2.2: Elektromanyetik Spektrum

Yaklaşık 254 nm dalga boylu yüksek enerjiye sahip UV-C ışınları mikroorganizmaların hücre zarından içeri süzülür ve DNA'yı oluşturan nükleik

asitler tarafından absorbe edilir. Bu enerji transferi sonucu DNA zinciri birçok noktasından tahrip olur. DNA'sı bozulan canlının üreme dahil tüm hücre faaliyetleri durur ve hücre ölür. Başarılı bir UV lamba en az elektrik enerjisi harcayarak en fazla miktarda UV ışını üretmeli ve mümkün olan en uzun süre hizmet etmelidir. Ayrıca lambanın yaydığı ışın spektrumu "monokromatik" olmalı yani sadece 254 nm dalga boylu ışınlar üretmelidir. Daha geniş spektrumda 200 nm ile 400 nm aralığında UV ışınları üreten "polikromatik" UV lambalar da mevcuttur. Ancak aşırı enerji tüketimleri ve 240 nm altı ışınların oluşturduğu yan etkiler nedeniyle bu tür UV lambaların içme suyu arıtımında kullanımı sınırlıdır (Aydın, 2009).

Ultraviyole sistemlerde 254 nm dalga boyunda UV ışını mikroorganizmaların hücre zarlarından geçer ve DNA yapılarını bozarak zararsız hale gelmelerini sağlar. Mikrobiyolojik arıtmada Ultraviyole (UV) Dezenfeksiyon fiziksel ve doğal bir prosesle, özellikle sızılarda üstün bir arıtma gerçekleştirir.

2.5.4 Ozon ile dezenfeksiyon

Ozon oksijenin allotropik bir şeklidir. Açık mavimsi renkte keskin kokulu, stabil olmayan bir gazdır. Bu nedenle ozon kullanılacağı zaman imal edilir (Akçay, 2010).

Dezenfeksiyon ajanı olarak ozon, dağıtım sisteminde bakteri büyümesi problemine yol açabilme potansiyeli olan parçalanabilir organik madde miktarının artmasına da sebep olur (Yavich ve diğerleri, 2004). Bu yüzden dağıtım sisteminde bakteriyel büyümeyi önlemek için ozonlama ile basit yapılara dönüştürülmüş organik maddelerin biyofiltrede azaltılması ve nihai klorlama yapılması uygun olur. Öte yandan ozon üretimi pahalı bir süreçtir, elektrik enerjisi gerekir ve acil durumlardaki güç düşüşü sırasında sistem çalışmaz. Moleküler ozon reaksiyonları ve serbest radikal reaksiyonlarının her ikisi de organik yan ürünlerin oluşumunda rol alırlar. Bromoform, bromoasetik asit ve bromoasetonitriller gibi organobromür bileşikleri de bromür varlığında oluşmaktadır. Tablo 2.4'te ozonla dezenfeksiyon yan ürünleri görülmektedir. Farklı sularda doğal organik maddenin yapısına, pH değerine, serbest radikal türüne, özellikle ozon dozajına, temas süresine ve bromür türüne göre oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri çeşitlilik gösterir (Minear ve Amy, 1996). Ozonlama sonucu oluşan kanserojen olarak düzenlenen organik bileşiklerden önemli kısmı aldehitlerdir.

Tablo 2.4: Ozonlama yan ürünleri (Akçay ve diğerleri, 2007)

Aldehitler	Asitler	Bromür Yan Ürünleri	Diğer
Formaldehit	Oksalik Asit	Bromlu asetonitriller	Hidrojenperoksit
Asetalaldehit	Sükkinik Asit	Bromoform	
Gloksal	Formik asit	Bromlu Asetikasit	
Metil Gloksal	Asetik Asit	Bromopikrin	
	Pürvik Asit	Bromat İyonu	

Bir metreküp temiz suyu dezenfekte etmek için 0,5-2 gram ozon gereklidir. Bu miktar, su ve ozonun temas süresine ve suyun özelliklerine bağlıdır. Oldukça renkli veya organik madde bakımından zengin suların arıtımı için daha fazla ozona gereksinim vardır. Minimum temas süresi 4 dakikadır. Ozon suda çok az çözüldüğünden ozon ile suyun temasının iyi bir şekilde sağlanması gerekir. Suyun sıcaklığı arttıkça ozonun çözünme verimi azalır (Öztürk ve diğerleri, 2004).

2.5.5. Potasyum permanganat ile dezenfeksiyon

Potasyum permanganat içme sularının arıtımında tat ve koku kontrolü, anorganik bileşiklerinin (demir, manganez ve hidrojen sülfür) giderilmesi için kullanılır. Potasyum permanganat kuvvetli bir oksidasyon maddesidir. Ancak permanganatın *E.coli* giderme hızı ozona ve klora kıyasla daha düşüktür bu nedenle içme suyu arıtma tesislerinde dezenfeksiyon amacıyla kullanımı çok nadirdir. Permanganat klordan çok daha pahalıdır. Çoğunlukla düşük derişimlerde kullanılır. Ozon gibi potasyum permanganatta suda tat koku ve toksik etki yapmadığından klora karşı avantajlıdır (Öztürk ve diğerleri, 2004).

2.6. Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumu ve Kontrolü

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık, temas süresi, doğal organik maddenin konsantrasyonu ve özellikleri, klor ve kalıntı klor konsantrasyonu, dezenfektan tipi ve dozu ile bromür konsantrasyonudur. pH artışı ile trihalometanların oluşumu artmakta trikloroasetik asit, dikloroasetonitril ve trikloropropanon gibi haloasetik asitlerin oluşumu azalmaktadır. Artan pH'larda (pH>8) hemen hemen tümü hidroliz oldukları için TOX (toplam organik halojenürler) miktarı azalmaktadır (Yiğit, 2008).

Klor dioksit ve kloraminler, suda klora benzer şekilde reaksiyon gösterdikleri için yan ürünleri de pH değişimlerinden klorunkine benzer şekilde etkilenmektedir. Bromür iyonu içeren suların yüksek pH değerlerinde ozonlanması ile bromat iyonu, düşük pH değerlerinde ozonlanması ile bromlu organik yan ürünler oluşmaktadır.

İçme suyu kaynağındaki doğal organik madde miktarı arttıkça dezenfeksiyon yan ürün oluşumu da artmaktadır. Doğal organik maddenin yapısı, dağılımı ile hidrofobik ve hidrofilik materyal içermesi bu oluşumu etkileyen faktörlerdendir.

Dezenfeksiyon sırasında klor dozu ve kalıntısı arttırıldığında haloasetik asitlerin oluşumu trihalometanların oluşumundan daha fazla meydana gelmektedir. Dolayısı ile mono ve dihalojenik formlara göre daha fazla trihalojenik formlar, bromlu formlara göre daha fazla klorlu formlar oluşmaktadır.

Suda bromür iyonunun bulunması daha fazla bromlu organiklerin oluşumuna ve daha fazla aynı anda klor ve bromu içeren organik bileşiklerin meydana gelmesine yol açmaktadır (Yiğit, 2008).

Dezenfeksiyon yan ürünlerin kontrolü önemli bir konudur. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu azaltmada doğal organik maddelerin etkin bir şekilde sulardan uzaklaştırılması gereklidir. Bu yolla THM, HAA ve NDMA gibi DYÜ'lerinin minimizasyonu sağlanabilecektir. Bu amaçla koagülasyonun kullanılan verimlerinin arttırılması, sistemde ilave granüler aktive karbon filtreler kullanılması veya membran filtrasyonun yapılması uygulanabilir yöntemlerdir. Klorlama yerine klor dioksit veya kloramin gibi alternatif dezenfektanlar kullanılabilir. Ozonlama ile oluşabilen bromat kontrolü, ozon dozu, pH gibi parametreleri kontrol etmek veya amonyak eklemek yoluyla sağlanabilir. NDMA ışığa, özellikle ultraviyole ışığa duyarlıdır ve bu ışık altında oldukça hızlı bir fotolitik degradasyona uğrar. Bu yüzden fotoliz, sudan NDMA'nın gideriminde önemli bir aşamadır. Fakat yüzey sularındaki yüksek organik madde ve askıda katı madde derişimleri fotodegradasyonu yavaşlatır. Yüksek çözünürlük ve düşük partiyon katsayısı NDMA'nın yeraltı suyuna ulaşmasını mümkün kılar (Akçay ve diğerleri, 2007).

Arıtım prosesinde ön klorlama yerine alternatif dezenfektanlarla ön oksidasyon yapılması da klorlu yan ürünlerin oluşumunu azaltmada bir başka seçenektir.

Bunların dışında su kaynağının kontrolü, dezenfeksiyon yan ürün öncülerinin giderilmesi ve farklı dezenfeksiyon stratejilerinin seçilmesi dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu kontrol etmede etkilidir. Ham suda dezenfeksiyon yan ürün öncüleri hem çözülmüş hem de partiküler halde bulunmaktadır. Klasik arıtma yöntemleriyle çözülmüş olanlar partiküler hale dönüştürülüp, çöktürme ve filtrasyon prosesleri ile giderilmektedir. Koagülasyon ve çöktürme işlemleri ile THM oluşum potansiyeli % 50 oranında azalmaktadır (Yiğit, 2008).

2.7.Dezenfektanların Avantaj ve Dezavantajları

Klor ile dezenfeksiyonun avantajları depo etkisinin olması, ucuz olması ve uygulamasının kolay olmasıdır. Bir kuyuyu dezenfekte etmek istediğimiz zaman içine klor atmak yeterlidir. Bina girişlerinde ana giriş suyunun dezenfeksiyonu için dozaj pompası ile klorlamak, kolay ve etkili bir çözümdür.

Dezavantajları ise suda koku yapması, etkisini gösterebilmesi için 20-30 dakikalık bir sürenin gerekmesi, bu sebeple de bir reaksiyon kabına ihtiyaç olması ve klor ile reaksiyona girebilecek organik maddelerin suda bulunmaması gerekmektedir. Su amonyak ihtiva ettiği takdirde klorlamanın kanserojen etkisi olabilmektedir. Bina girişlerinde klorlamadan sonra suyun bir depoda bekletilmesi gerekmektedir (Öztürk ve diğerleri, 2004).

UV ile dezenfeksiyonda kimyasal madde kullanılmadığı için çevre dostudur. Suda kanserojen yan ürünler oluşurmaz. Yeterli UV dozu ($> 400 \text{ J/m}^2$) sağlandığında tüm mikroorganizmalar üzerinde etkilidir. Dezenfeksiyon süresi çok azdır. Bu nedenle kimyasal maddeler ile dezenfeksiyonda gerekli uzun temas süresini temin eden büyük temas tanklarına ihtiyaç yoktur.

UV'nin su içinde herhangi bir bakiye bırakmaması bir avantaj olarak sayılmasına karşın, bazı uygulamalar için aynı özellik UV'nin bir dezavantajı olmaktadır. Bu özelliği nedeniyle UV teknolojisi şehir şebeke suyu dezenfeksiyonunda genellikle tek başına kullanılmaz. Bunun dışında direkt UV ışınının çıplak göze ve cilde çok zararı vardır, UV dezenfeksiyon cihazının bakımı sırasında UV lambaları mutlaka kapatılmalıdır (Aydın, 2009).

Ozonun en büyük avantajı; kokusunun olmaması, çok kuvvetli bir dezenfektan olması, çabuk tesir etmesi ve suda kimyasal bir değişim yapmamasıdır. Ayrıca geniş pH ve sıcaklık sınırlarında da dezenfeksiyon faaliyeti yapabilir (Uslu ve Türkman, 1987).

Ozonun dezavantajları ise; sistemin pahalı olmasıdır. Diğer sistemlere göre daha komplikedir. Ozon sisteminin bakımı ve servisi için diğer sistemlere göre çok daha kalifiye eleman gerekmektedir. Ozon sistemlerinin kullanım alanlarını, büyük kapalı havuzların bulunduğu eğlence parkları, şişeleme endüstrisi ve kimya sanayi olarak sıralayabiliriz (Akçay, 2010).

Tablo 2.5’de genel olarak kullanılan dezenfektanların karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo2.5: Yaygın kullanılan dezenfektanların ideal karakteristiklere göre karşılaştırılması (Metcalf & Eddy, 2004)

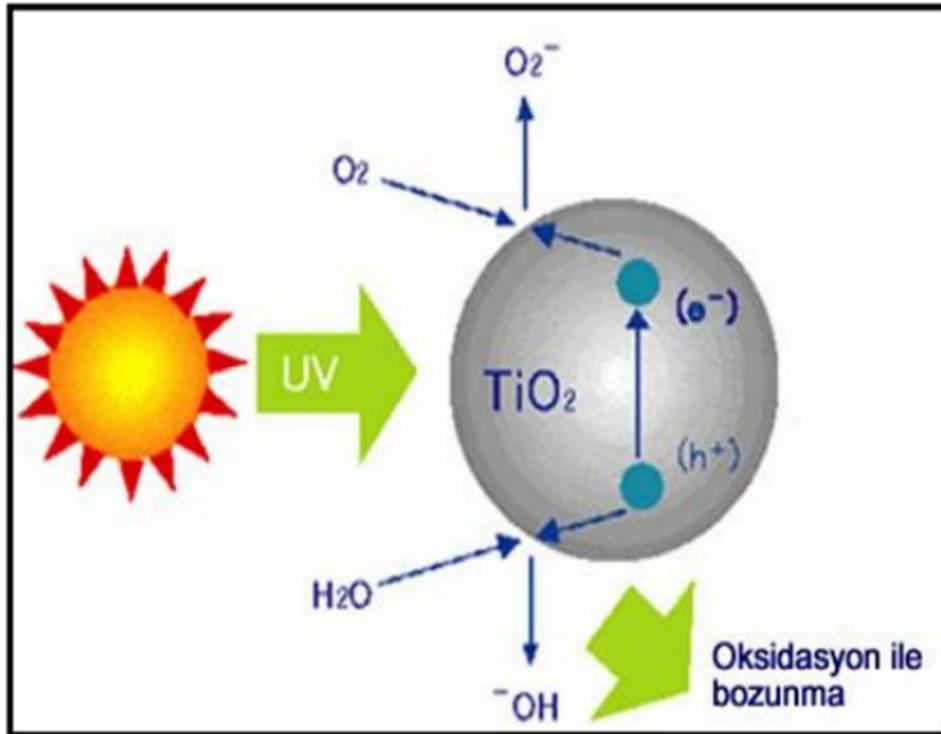
Karakteristik	Klor	Klor dioksit	Ozon	UV
Kullanılabilirlik / Maliyet	Düşük maliyetli	Düşük maliyetli	Yüksek maliyetli	Yüksek maliyetli
Koku giderme yeteneği	Yüksek	Yüksek	Yüksek	-
Homojenlik	Homojen	Homojen	Homojen	-
Yabancı madde ile etkileşimi	Organik maddeleri oksitler	Yüksek	Organik maddeleri oksitler	UV ışığı adsorbenti
Zehirlilik	Çok zehirli	Zehirli	Zehirli	Zehirli
Güvenlik	Yüksek	Yüksek	Kısmen	Düşük
Çözünürlük	Kısmen	Yüksek	Yüksek	-
Mikroorganizma ya etkisi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Ortam sıcaklığında etkisi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek

3. FOTOKATALİTİK – FOTOELEKTROKATALİTİK ARITMA

3.1. Fotokatalitik Arıtma

Doğal güneş ışığından sağlanan UV ışınları ile oksijen ve nanopartiküllerden oluşan özel bir kaplama arasında oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda yüzeydeki organik/inorganiklerin parçalanıp yok edilmesine fotokatalitik proses denilmektedir (Şekil 3.1).

Bir fotokatalitik reaktör sistemi istenmeyen kirleticileri uzaklaştırmak için bir foton enerji kaynağı içerir. Sistem foton enerji kaynağı yanında ışın dağıtıcı sistem ve foton enerjisinin taşındığı reaksiyon çemberinden oluşmaktadır. Reaksiyon çemberinden kirli su geçmekte ve burada foton enerjisiyle reaksiyona girerek kirletici derişimini azaltmaktadır.



Şekil 3.1: Fotokatalitik arıtmanın şematik gösterimi

Fotokatalitik proseslerin sudan organik ve inorganik kirleticilerin uzaklaştırılmasında etkin ve ucuz bir araç olduğu kanıtlanmıştır (Devipriya ve Yesodharan, 2004). Birçok metal oksidin yarı iletken olduğu bilinmektedir. Bunlar içerisinde fotokatalitik prosese en uygun aktif yarı iletkenin TiO_2 olduğu belirlenmiştir. TiO_2 , 3,2 eV'luk band aralığı enerjisine sahip olan ve 400 nm'den küçük dalga boylarında UV ışınlanması ile aktive edilen bir yarı iletkenidir. UV ışınlanması sırasında, TiO_2 yüzeyinde kimyasal reaksiyonları başlatma kapasitesine sahip elektronlar ve boşluklar oluşmaktadır (Yiğit, 2008).

Fotokatalitik bozunmada, ışık kaynağı olarak UV lambalarının yanı sıra güneş ışığından da yararlanılmaktadır. Güneş ışığı etkisiyle fotokatalizör varlığında kirleticilerin bozunumu ile ilgili en azından son 30 yıldır bilimsel araştırmalar gerçekleştirilmesine rağmen, prosesin endüstriyel ve ticari uygulamaları ve mühendislik projelendirme sistemleri yalnızca son yıllarda gelişme göstermiştir. Bu yöntemle su ve atık suların arıtımı, halen birkaç deneysel işletme ile sınırlıdır. Bu tesislere örnek olarak, Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde 1-6 m³/saatlik akış hızları ile işletilen tesisler örnek verilebilir (Balkaya ve Arslan, 2004).

Güneş ışığından yararlanarak sulardaki kirleticilerin bozunumu diğer arıtım teknolojileri ile kıyaslandığında, dikkate değer ölçüde düşük enerji gereksinimi ve yerinde arıtım imkanı gibi avantajlara sahiptir (Mehos ve Turchi 1993). Çeşitli araştırmacılar tarafından arazide pilot ölçekte gerçekleştirilen çalışmalarda, laboratuvar da UV lambası ile gerçekleştirilen fotokatalitik bozunma çalışmalarında elde edilen verimlere ulaşıldığı literatürden bilinmektedir. Bu çalışmalarda ayrıca, doğal ortamda katalizör varlığında güneş ışığı etkisiyle kirleticilerin bozunumunun yalnızca Akdeniz ülkeleri gibi bol güneş alan ülkelerde etkin olmadığı, güneşten az veya çok yararlanabilen tüm alanlarda etkili olduğu ifade edilmektedir (Balkaya ve Arslan, 2004).

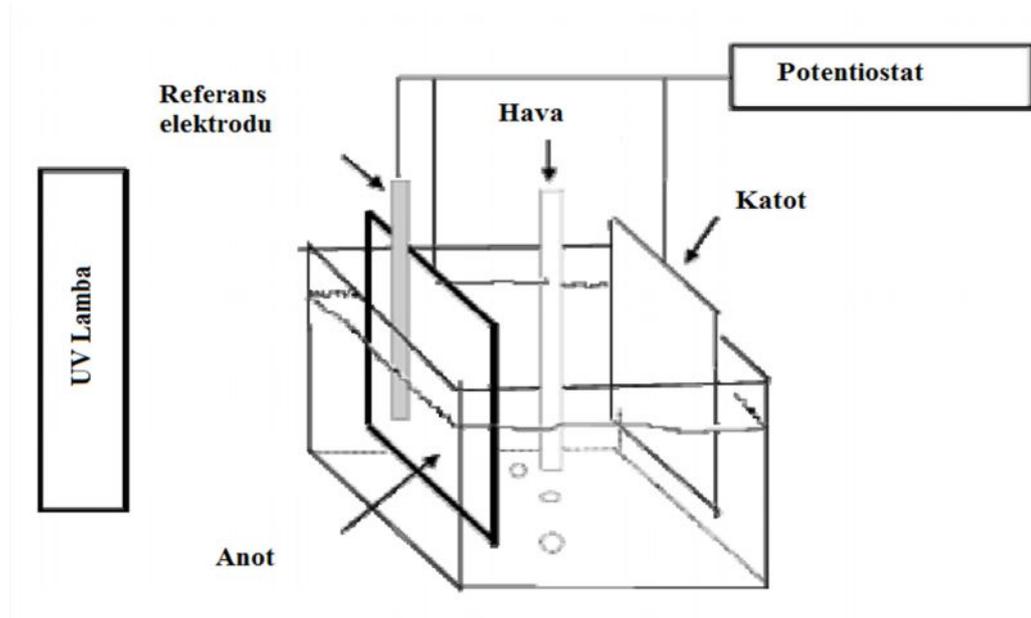
Şimdilerde en önemli çevre problemlerinden birisi atıksu arıtımıdır. J.Araña 2002'de gerçek bir atıksuya solar TiO_2 -fotokataliz uygulayarak organik maddenin fotokatalitik bozunmasını ozon ve bazı fosfat gibi bazı iyonlar varlığında incelemiştir. Kataliz olarak aktif karbon ve titanyum dioksit karışımını ve ozon kullanarak dezenfeksiyon süresinin 60 dakikadan daha az olduğunu gözlemlemiştir.

Ayrıca 24-48 saat içinde bakterilerin tekrar gözlenmemesi ve ek olarak toplam organik karbonun giderilmesi gözlenmiştir (Selçuk ve diğerleri, 2007).

UV ışığı ve yarı iletken partiküllerin varlığında kirleticilerin bozunumu yani fotokatalitik bozunma son yıllarda pek çok organik kirleticide olduğu gibi pestisit gideriminde de ümit verici bir yöntem olarak görünmektedir (Devipriya ve Yesodharan, 2004)

3.2. Fotoelektrokatalitik Arıtma

Fotokatalitik verimi artırmak için fotoelektrokatalitik (FEK) prosesi geliştirilmiştir. FEK prosesi temel olarak TiO_2 gibi fotokatalizörlerin elektrokimyasal arıtma sistemi içerisinde kullanıldığı bir fotokatalitik prosedir (Şekil 3.2) (Fujishima ve Honda, 1972).



Şekil 3.2: Fotoelektrokatalitik sistem

Son yıllarda yapılan çalışmaların hepsi (Kim ve Anderson, 1994; Pelegrinin ve diğerleri, 2000; Harper ve diğerleri, 2001; Li ve diğerleri, 2002) FEK prosesinin suların arıtılması ve dezenfeksiyonu hususunda fotokatalitik prosese göre çok daha verimli olduğunu göstermiştir. Ayrıca bazı araştırmacılar anot ve katot kompartımanlarını başka bir deyişle holler ve elektron reaksiyonlarını ayırarak FEK prosesinin çok amaçlı ve daha verimli kullanılabileceğini belirlemişlerdir (Vinodgopal ve diğerleri, 1994; Zaroni ve diğerleri, 2003). Daha ileriki çalışmalarda

(Selçuk ve diğeri; 2003, 2004) FEK prosesinde sol-jel nano teknolojisi ile elektrotlar üzerine immobilize edilmiş TiO_2 kullanmış ve sistemde oluşan hol ve elektronları (artı ve eksi yükler) ayrılarak FEK prosesini bir arıtma prosesi olarak geliştirmişlerdir. Hol ve elektronların ayrıldığı FEK prosesinde elde edilen sonuçlar fotokatalitik arıtmaya ve birleşik FEK sistemine göre çok daha yüksek verimler elde edilmiştir. Bunun yanında fotokatalitik sistemden çok farklı olarak, fotoanot kısmında klorür ve bromür iyonlarının oksitlenmesi sonucu bir dezenfektan olan klor ve brom oluştuğu tespit edilmiştir.

Sistemin fotoanot kısmında yapılan çalışmalar klorür ve bromür gibi halojenlerin oksitlenmesi sonucunda sistemde zararlı klorlu ve bromürlü bileşiklerin oluşabileceğini, geliştirilen bu prosesin uygulamaya geçmeden çok daha fazla araştırılması ve geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Selçuk ve diğeri, 2004).

Pinhedo 2005’de humik asidin elektrokimyasal ve fotoelektrokimyasal oksidasyonla bozunması ile ilgili yapmış olduğu çalışmada iki prosesin de humik asidin bozunmasında etkin olduğunu göstermiştir fakat elektrokimyasal oksidasyonda 180 dakikalık reaksiyon süresinde toplam organik karbonun %25’i giderilirken, aynı akım ve aynı reaksiyon süresinde TOK’un (Toplam Organik Karbon) % 65’inin giderildiği gözlenmiştir.

Fotokatalitik arıtma sisteminde kullanılan reaktörlerin geliştirilmesi ve solar fotoelektrokatalitik (FEK) arıtma sistemi olarak uygulanması çalışmaları henüz yapılmaktadır.

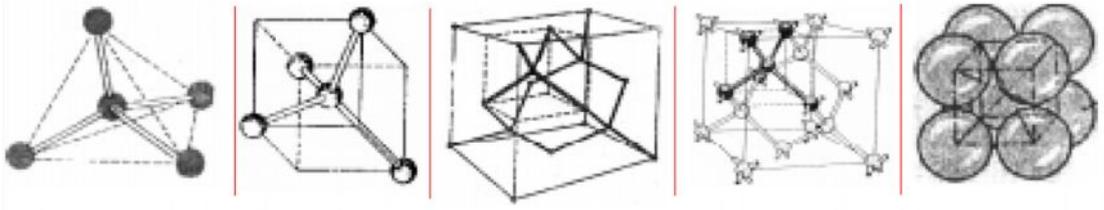
3.3.Yarı İletken Maddeler

Yarı iletken madde, elektrik iletkenliği bakımından, iletken ile yalıtkan arasında kalan maddelerdir. Son yörüngelerinde dört elektron bulduran maddelere yarı iletken denir.

Normal durumda yalıtkan olan bu maddeler ısı, ışık, manyetik etki veya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında bir miktar değerlik elektronlarını serbest hale geçirerek iletken duruma gelirler. Uygulanan bu dış etki veya etkiler ortadan kaldırıldığında ise yalıtkan duruma geri dönerler (Yazıcı, 2006).

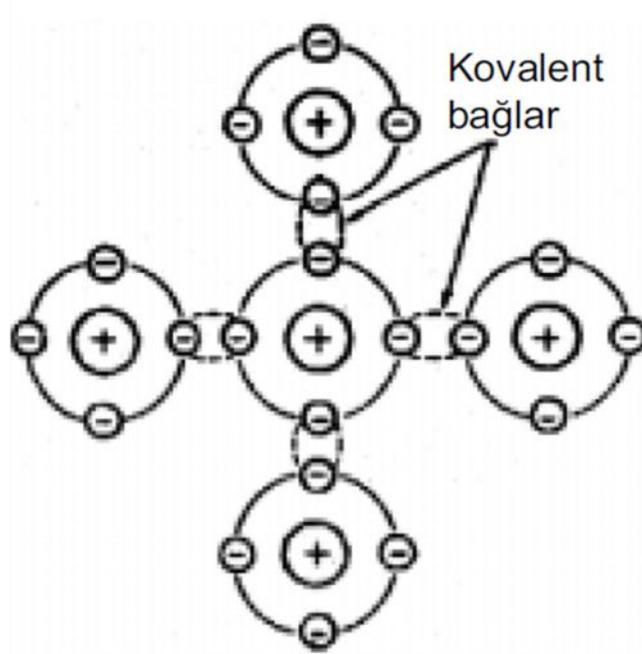
Yarı iletkenlerin değerlik yörüngelerinde dört elektron bulunur. Bu yüzden yarı iletkenler iletkenlerle yalıtkanlar arasında yer almaktadır. Yarı iletken malzemeler; iletkenlerden 10^{-10} defa az iletken, yalıtkanlara göre 10^{14} defa daha fazla iletkenlerdir (Mert, 2006).

Yarı iletkenler kristal yapıdadır. Yani atomları belirli bir sistemle sıralanmıştır. Bu yapı tekli kristal (mono kristal) ya da çoklu kristal (poli kristal) olabilmektedir (Şekil 3.3).



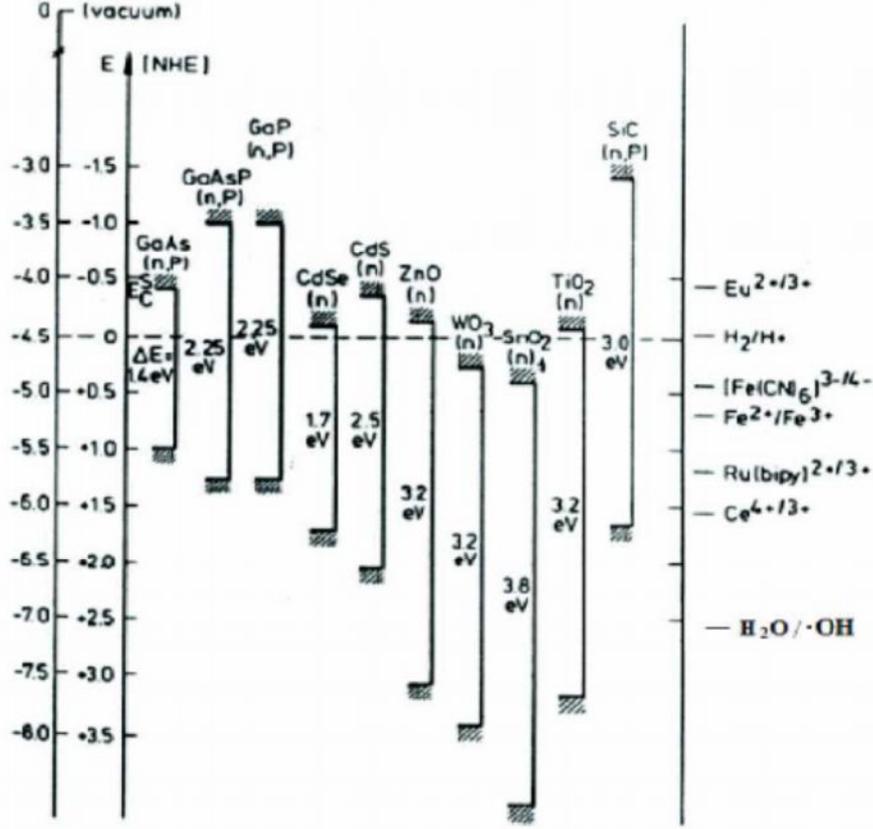
Şekil 3.3: Yarı iletkenlerin kristal yapısının üç boyutlu olarak gösterilmesi

Tüm yarı iletkenler son yörüngelerindeki elektron sayısını sekize çıkarma (8A elementlerine benzeme) çabasıdadırlar. Bu nedenle saf elementteki komşu atomlar son yörüngelerindeki elektronları kovalent bağ (Şekil 3.4) ile birleştirerek ortak kullanırlar. Atomlar arasındaki bu kovalent bağ elemente kristal özelliğini kazandırır (Sayılkan, 2007).



Şekil 3.4: Yarı iletkenlerde kovalent bağların gösterilişi

Fotokatalitik degradasyon sistemlerinde yarı iletken olarak genellikle metal oksit fotokatalizörler kullanılır. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi metal oksit yarı iletkenler diğer yarı iletkenlere kıyasla daha pozitif valens bandı potansiyellerine sahiptir.



Şekil 3.5: Bazı yarı iletkenlerin enerji değerleri (Yazıcı,2006)

Aynı maddenin degradasyonu, değişik yarı iletkenlerin kullanımı ile aynı koşullarda incelendiğinde TiO_2 'nin genellikle en yüksek aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. ZnO 'nun TiO_2 'ye bir alternatif olduğu düşünülmüştür; fakat ZnO yüzeyi üzerinde oluşan $Zn(OH)_2$ 'nin katalizörün aktivasyonuna etkisi nedeniyle uygun bir yarı iletken olmadığı görülmüştür. TiO_2 'nin korozyona dayanıklı oluşu, kararlı oluşu, ucuz oluşu ve $H_2O/OH\cdot$ çiftinin redoks potansiyelinin band aralığında bulunması TiO_2 'nin kullanışlı bir yarı iletken olmasını sağlar (Yazıcı, 2006).

3.4. TiO_2 Yarı İletkeni

TiO_2 ucuz, stabil olması ve sudaki zararlı organik bileşikleri UV ışınlanması altında oksijen, su ve CO_2 gibi zararsız bileşiklere dönüştürmesi nedeniyle literatürde en çok

tercih edilen yarı iletken maddedir. Ayrıca ABD ve Avrupa'nın içme suyunda dezenfeksiyon ve organik madde arıtımı amacıyla, TiO_2 yaygın olarak kullanılmaktadır (Yiğit, 2008).

Fotokatalitik degradasyon yöntemi için en uygun fotokatalizör TiO_2 'dir. TiO_2 'nin fotokatalizör olarak tercih edilmesindeki faktörler:

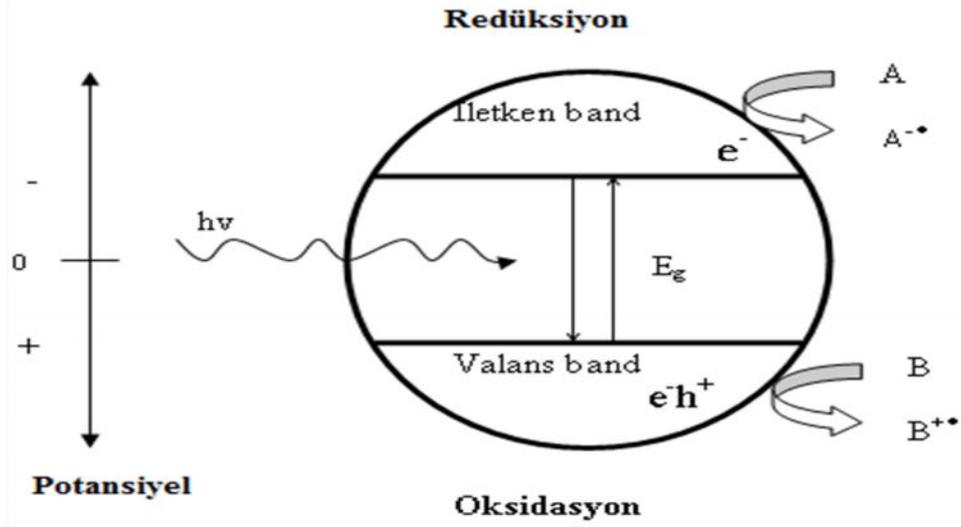
- TiO_2 'nin kimyasal ve fotokimyasal kararlılığı,
- Zehirsiz olması,
- Valans bant boşluğunun kuvvetli oksitleyici özelliğe sahip olması ve
- Ucuz olmasıdır.

Titanyum dioksit su dezenfeksiyonunda ileri oksidasyon süreçlerinde katalizör olarak kullanılır. TiO_2 anataz, rutil ve brokit olmak üzere üç farklı kristal yapıda bulunmaktadır. Optik özellikleri, donukluk ve dayanıklılıktan dolayı anataz ve rutil yapıda olanlar fotokatalitik amaçlı kullanılmaktadırlar (Selçuk ve diğerleri, 2007).

Titanyum dioksit genelde anataz formundadır ve ultraviyole ışık altında fotokatalizör olarak davranır. Titanyum dioksitin pozitif hollerinin güçlü yükseltgeyici potansiyeli suyu oksitleyerek hidroksil radikalini oluşturur. Aynı zamanda, direk olarak organik maddeyi ve oksijeni oksitleyebilir.

Fotokatalitik degradasyon sistemlerinde yarı iletken fotokatalizör olarak genellikle metal oksit bileşikleri kullanılır. Bunun nedeni, metal oksitlerin valans bantlarının diğer yarı iletken maddelere kıyasla daha pozitif olmasıdır. Yarı iletken metal oksitlerin holleri (h^+) tamamen pozitif oksidasyon potansiyeline sahip ve bütün kimyasal maddeleri oksitleyici bir özellikleri vardır. Suyun bir elektronla oksidasyonu sonucunda $OH\cdot$ radikalleri meydana gelir (Yiğit, 2008).

TiO_2/UV fotokatalitik oksidasyon prosesi temel olarak solar enerji ($h\nu$) ile TiO_2 yüzeyinde elektron (e^-) ve hol (h^+) çiftinin ayrılarak katalizör yüzeyindeki maddeler ile çeşitli reaksiyonlar vermesine dayanmakta ve temel olarak Şekil 3.6'da ifade edilmektedir.



Şekil 3.6: Fotokatalitik arıtma sistemlerinin genel mekanizması (A, indirgenebilir ve B, oksitlenebilir maddeler).

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi TiO_2 içerisinde bir çift halde bulunan hol (h^+) ve elektronlar (e^-) TiO_2 yüzey solar enerjiye ($h\nu$) maruz kaldığında elektron (e^-) iletken banda geçer ve hol valans bantta kalır. İletken banttaki elektron ve iletken bantta serbest kalan holler arasında meydana gelen denklemler aşağıda ifade edilmiştir.



Elektron reaksiyonları;



Hol reaksiyonları;



Fotokatalitik sistemler, güneş enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşümü olarak tanımlanabilir. Bu dönüşüm sırasında hidroksil radikali oluşur. Bu radikal çok güçlü bir oksitleyicidir ve sudaki pek çok organik kirletici maddelerle reaksiyona girerek

organik maddelerin CO₂'ye oksidasyonunda önemli rol oynar (Bekbölet ve Özköşemen, 1996). Buna karşın süspansiyon haldeki TiO₂'in sudan ayrılmasının zor olması ve solar enerjinin maksimum %10'unun TiO₂'in yüzeyinde absorblanması, TiO₂ bazlı fotokatalitik arıtma sistemlerinin dezavantajlarıdır (Palmer ve diğerleri, 2002; Shaphard ve diğerleri, 2002).

3.4.1. TiO₂'nin genel özellikleri ve kullanım alanları

Titanyum dioksit geçiş metal oksit ailesine ait bir üyedir. Toz halinde ve parlak-beyaz görünümündedir. 20. yüzyılın başlarında beyaz renkli boya için pigment olarak zehirli kurşun oksitlerin yerine TiO₂ kullanılmaya başlanmıştır ve bu da TiO₂'nin endüstriyel anlamda önemini arttırmıştır. Titanyum dioksit yılda 4 milyon tondan fazla üretilmektedir (Natura ve diğerleri, 1998). TiO₂ başta boya, plastik ve kağıt endüstrileri olmak üzere ilaç kaplama, gıda malzemeleri, kauçuk malzemeler, kozmetik, UV-cilt koruma ürünleri ve seramik kaplama gibi bir çok sektörde kullanılmaktadır.

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 (Yiğit, 2008).

Literatürde yapılan çalışmalarda TiO₂ nanopartiküllerinin çeşitli yüzeylere çok farklı kaplama metotları ile tutturularak kullanılması TiO₂ nanopartiküllerinin sudan tekrar ayrılması problemini ortadan kaldırdığı görülmüştür. Fakat immobilize edilmiş bu yüzeylerin hava ve su kirliliği uygulamasında TiO₂'nin sudan ayrılması problemini çözmesine rağmen TiO₂'nin solar enerjiyi kullanma potansiyelini azaltmıştır. (Vinodgopal ve diğerleri, 1994).

TiO₂ in sabitlenmesinden dolayı kirleticilerle temas alanı azalmakta ve böylece film halindeki TiO₂ süspansiyon haldeki TiO₂'e göre daha az etkin gibi görünmesine

rağmen solar dezenfeksiyonla beraber daha çok avantaja sahiptir. TiO_2 'in bakteriyel kirleticiler için dezenfeksiyon zamanını azaltma ve basit solar dezenfeksiyonda bozunamayan kimyasalları yok etme gibi avantajları vardır.

TiO_2 yarı iletkeninin diğer yarı iletkenlere göre üstün özellikleri olmasına rağmen, fotokatalitik aktivitesini etkileyen dezavantajı da vardır. TiO_2 partiküllerindeki elektron-boşluk çiftlerinin yeniden birleşme hızlarının yüksek olması fotokatalizör etkinliğinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, organik kirleticilerin TiO_2 katalizörü yüzeyinde oldukça düşük miktarlarda tutunması, fotokatalitik verimliliğin düşmesine neden olmaktadır.

Çeşitli yüzeylerde TiO_2 filmi oluşturmak kaplama ve aktivasyon olmak üzere iki adımda gerçekleşmektedir. İlk kaplama aşaması titanyumun çeşitli yüzeylere tutturulması ile gerçekleşirken ikinci aşamada ise yüzeylere tutturulmuş titanyumun oksitlenerek TiO_2 oluşturulmasıyla aktivasyonu gerçekleşmektedir. Bundan dolayı pek çok araştırma yüzey kaplama metotları geliştirilerek fotokatalitik arıtma veriminin iyileştirilmesine odaklanmıştır (Matthews ve diğerleri, 1988).

3.4.2. Kristal yapısı

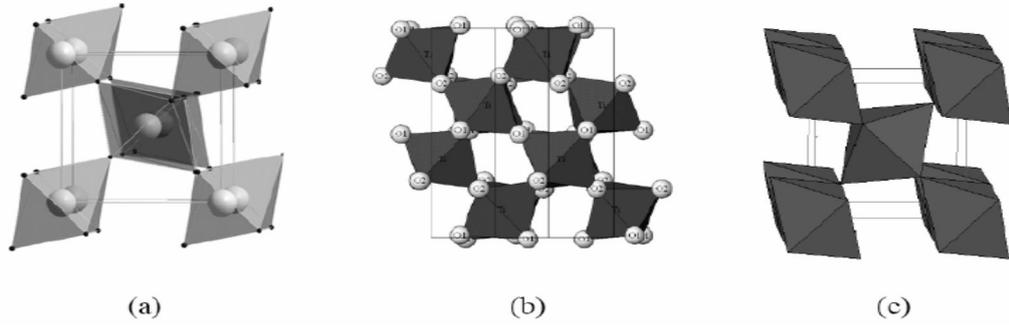
Titanyum dioksit başlıca üç farklı yapıda kristalleşmektedir. Bu kristal yapılar; kararlı bir faz olan rutil ve her ikisi de yarı kararlı polimorf fazlar olan anataz ve brokit şeklinde adlandırılır. Aslında TiO_2 için başka kristal yapılarda mevcuttur. Örneğin kotunit yapıdaki TiO_2 yüksek basınçta sentezlenip bilinen en sert polikristal materyaldir (Dubrovinsky ve diğerleri, 2001).

Her bir yarı kararlı kristal fazı için TiO_2 'nin $700^{\circ}C$ 'den yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması durumunda kararlı olan rutil kristal fazı elde edilir. Yapılan çalışmalara göre bazı araştırmacılar anataz fazı için, farklı sıcaklıklarda yapılan tavlama proseslerinde $700^{\circ}C$ üzerinde tüm anataz yapısının rutil fazına dönüştüğüne değinse de (Cerrato ve diğerleri, 1993) , H_2 'nin ortamda olduğu ısıl işlemde $500^{\circ}C$ 'nin anatazdan rutil faz geçişi için yeterli olduğu ileriye yıllar da ortaya çıkarılmıştır (Borodko ve diğerleri, 1999).

Titanyum dioksitin üç farklı fazı olmasına rağmen, sadece rutil ve anataz kristal yapıları TiO_2 'nin farklı uygulamalarında önemli bir rol oynamakta ve yüzey fiziği

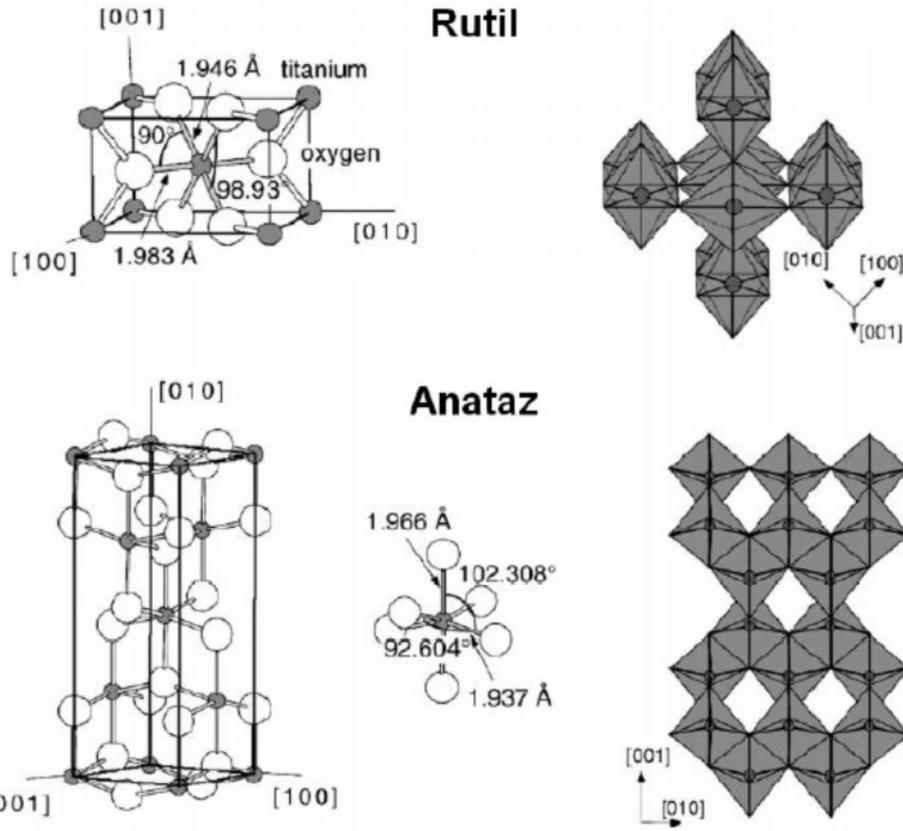
üzerine yapılan çalışmalarda kullanılmaları dolayısıyla da oldukça merak uyandırır bir hal almaktadırlar.

Şekil 3.7’de TiO₂ rutil, brokit ve anataz kristal yapıları Şekil 3.8’de rutil ve anatazın birim hücreleri yer almaktadır. Her iki kristal yapıda da, esas yapı bloğu titanyum atomlarından meydana gelmekte ve etrafının 6 oksijen atomu tarafından çevrelenerek oktahedral konfigürasyon oluşmaktadır. Bununla birlikte, her bir kristal yapı için, titanyum ve oksijen atomları arasındaki iki zincir oktahedron uzayda biraz daha uzundur.



Şekil 3.7: (a) Rutil (b) Brokit (c) Anataz

Rutil kristalinde ise komşu oktahedral <110> doğrultusu boyunca köşeyi paylaşarak uzun eksenle 90°’lik açılarla dizilim yaparlar (Şekil 3.7). Bu fazda titanyum atomlarına en yakın 2 komşu atom 0.296 nm, biraz daha uzak olan 8 komşu atom ise 0.357 nm uzaklıktadır. Buradan anlaşılacağı gibi normalde kristalde koordinasyon sayısı 6 olması gerekirken, çekirdeklenme aşamasında yeniden düzenlenen kristal yapısı Koordinasyon sayısını da etkilemektedir. Anatazda, köşe yüzeyleri oluşturan oktahedrali paylaşmakta olup bu yüzeyler birbirine bir alttaki oktahedral yüzeyinin kenarı ile bağlıdır. Bu yapıda titanyum atomuna en yakın 2 komşu atom 0.304 nm, diğer 4 komşu atom ise 0,3875 nm uzaklıkta olup toplam en yakın komşu atom sayısı 6’dır (Şekil 3.8). Titanyum dioksitin her üç kristal yapısında da, oktahedral dizilimi son derece düzenli üç katlı oksijen atomlarının varlığı ile sonuçlanır (Çolak, 2008).



Şekil 3.8: TiO₂ rutil ve anataz kristal yapılarının birim hücreleri

3.4. Nanopartikül Hazırlama

3.4.1. Sol-jel metodu

Sol-jel yöntemi, teknolojik öneme sahip olmasından dolayı birçok alanda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Sahip olduğu avantajlardan dolayı günümüzde kullanımı gittikçe artmaktadır. Sol-jel uygulamalarında “sol” kelimesi sıvı içindeki katı kolloidal parçacıkları, “jel” ise katı ve sıvı faz arasındaki fazı sembolize eder (Brinker ve Scherer, 1990).

Sol-jel yöntemi metallerin ve tarihi eserlerin korozyona karşı korunması, polimer ve porselen gibi malzemelerin kimyasallara ve neme karşı dayanıklılığının artırılması, gaz geçirgenliğinin (CO₂, O₂ gibi) azaltılması, yüzey sertliği ve dayanımının artırılması, plastik ve camların buğulanma ve buzlanmaya karşı korunması gibi otomotiv, gıda, beyaz eşya, cam, elektronik ve telekomünikasyon sahalarında

günümüzde yan olarak pek çok kullanım alanına sahiptir (Woters ve diğerleri, 2004; Boztoprak ve arkadaşları, 2007).

Literatürde farklı sol-gel hazırlama teknikleri kullanılmıştır. Literatürde farklı sol-jel hazırlama teknikleri taraması yapıp sol-jel hazırlama yöntemleri araştırılmış ve aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

3.4.1.1. TiO₂ nanopartikül (NP) hazırlama yöntemleri

- a. TiCl₄ ile NP Hazırlama
- b. Tetra – isopropylorthotitanate ile NP hazırlama
- c. Titanium (IV) isopropoxide ile NP hazırlama
- d. Ti (IV) n - butoxide ile NP hazırlama
- e. Tetrabutyl titanate ile NP hazırlama
- f. Ti(OBu₄) ile NP hazırlama
- g. Ticari veya koloidal TiO₂ ile NP hazırlama-kaplama

a. TiCl₄ NP Hazırlama

1. Manyetik karıştırıcıda etanolün içine 1/10 oranında TiCl₄ damla damla eklenir. Oluşturulan sol oda sıcaklığında 48 saat karıştırılır (Zhang ve diğerleri, 2007).

2. Bir miktar SDS [Sodyum dodesil sülfat - CH₃(CH₂)₁₁OSO₃Na (%99)], distile su ve üre [H₂NCONH₂ (%98)] ile karıştırılır. Çözelti karıştırılırken TiCl₄(%99'luk) eklenir (çözeltilerin mol cinsinden oranları; TiCl₄: SDS: Distile su: Üre = 1: 2: 30: 60'tır). Karışım şeffaflaşmaya kadar 1 saat boyunca 40 °C'de karıştırılır. Çözeltinin pH'ı 2,2'ye gelinceye kadar ısıtılır ve sonra hemen otoklava alınarak hidrotermal sıcaklıkta 48 saat ısıtılır. pH oranı; 90°C'de 5,6; 120°C' de 8,52; 150'de 9,12 ve 180°C' de 10,6 olmalıdır. Sol-jel reaksiyonu 24 saat sonra durdurulur ve pH'ı ölçülür (Kao ve diğerleri, 2007).

b. Tetra - isopropylorthotitanate ile NP hazırlama

1. Mol cinsinden oranları "Tween 80: Isopropanol: Asetik asit: TIPT = 1: 45: 6: 1" olacak şekilde; isopropanol içerisinde Polyoxyethylene Sorbitan Monooleate (Tween 80) çözünür. Karışıma asetik asit ilave edilir. Çözelti karıştırılmaya

devam ederken, çözeltiye Tetraisopropyl orthotitanate (TIPT-[Ti(C₃H₇O)₄]) eklenir (Choi ve diğerleri, 2006).

2. TIPT, distile su, hidroklorik asit ve etanol ile karıştırılır. TIPT'nin çözelti içerisindeki konsantrasyonu 0,4 M'dır. Mol cinsinden oranlar "TIPT: H₂O: HCl = 1: 0,82: 0,13" olmalıdır. Hazırlanan sol ilk kullanımdan önce oda sıcaklığında 2 gün bekletilir (Millon ve diğerleri, 2007).

c. Titanyum (IV) isopropoxide (TIP) ile NP hazırlama

1. 0 °C' de 18,6 ml TIP ile 35,8 ml asetik asit karıştırılır. 395 ml distile su bu çözeltiye damlatılarak ilave edilir ve 1 saat boyunca karıştırıcıda karıştırılır. Sonrasında çözelti 30 dakika titreşime tabi tutulur. Daha sonra da 5 saat boyunca karıştırılır (TiO₂ çözeltisi elde edilene kadar) (Venkatachalam ve diğerleri, 2007).

2. 150 ml distile suya 15 ml TIP ve 1 ml nitrik asit eklenir. Sonra çözelti oda sıcaklığında veya 80 °C' de 3 gün boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılır (Lam ve diğerleri, 2007).

3. 5 dakika boyunca karıştırılmış olan 10 ml etanol ve 1,8 ml %35'lik HCl içerisine 5 ml TIP ilave edilir. Ekleme işleminden sonra karışım oda sıcaklığında 120 dakika boyunca karıştırılır. % 2'lik Metil selüloz çözeltisi oluşturulur. Sonra iki çözelti birbirine eklenerek oda sıcaklığında karıştırılır (Habibi, M. Nasr-Esfahani, 2007).

4. 4,65 ml isopropanol içerisine 1,6 ml titanyum isopropoxide eklenir. Çözelti 60 °C'de 10 dakika karıştırılır. Daha sonra 5,15 ml asetik asit ilave edilir ve 15 dakika daha 60 °C'de karıştırılır. 12 ml metanol eklenerek 2 saat boyunca çözelti karıştırılır (Hemissi ve diğerleri, 2009).

5. 500 ml distile suya 5 ml asetik asit ve 3,5 ml nitrik asit (HNO₃) eklenir. Daha sonra 25 ml TIP damla damla ilave edilir. Karışım manyetik karıştırıcıda 80 °C' de 30 dakika boyunca karıştırılır. Oluşturulan TiO₂ kolloidi 2 saat boyunca karıştırılır (Yuranova ve diğerleri, 2006).

d. Titanyum (IV) n- butoxide ile NP hazırlama

Kobalt asetat tetrahidrat, 20 ml etanol ve 1 ml distile sudan oluşmuş karışımda çözünür ve 10 dakika boyunca 80 °C'de karıştırılır. Oda sıcaklığına kadar soğutulan çözeltiliye; Titanyum (IV) butoxide ve sonra 0,1 ml HNO₃, sonra da birkaç damla asetil aseton ilave edilir. Karışım 2 saat boyunca karıştırılır (Subramanian ve diğerleri, 2008).

e. Tetrabutyl titanat ile NP hazırlama

8,2 ml etanol içine 1 ml tetrabutyl titanat (TBT) ve 0,8 ml akrilik asit ilave edilir. Bu karışım 10 dakika oda sıcaklığında (18 °C) karıştırılır. Daha sonra karışım, 1 ml nitrik asit ve 39 ml distile sudan oluşan ve pH'ı 1 olan 70 °C'deki sıcak çözeltiliye yavaşça eklenir. Sonrasında yeni oluşan çözelti 3 saat boyunca 70 °C'de bekletilir. pH = 7 olacak şekilde düzeltme yapılır (Mao ve diğerleri, 2005).

f. Ti(OBu₄) ile NP hazırlama

10 ml Ti(OBu₄), 10 ml alkol içerisinde çözünür ve titreşim uygulanarak karışım haline getirilir. 5 ml su yavaşça karışıma ilave edilir ve oda sıcaklığında 2 saat boyunca karıştırılır. Çözeltinin pH'ı 3 olmalıdır. Son olarak çözelti 24 saat oda sıcaklığında tutulur (Yang ve diğerleri, 2006).

g. Ticari TiO₂ ile NP hazırlama - kaplama

TiO₂ Degussa P25 Powder

Hazırlanan cam materyaller; 5 g/L'lik TiO₂ Degussa P25 çözeltisine yarım saat arayla 3 defa batırılır. Daha sonra kurumaya bırakılır. En son olarak distile suyla yıkanır.

4. MATERYAL METOT

4.1. Sol – Jel Hazırlama Yöntemleri

Sol-jel hazırlamada kullanılan kimyasallar: Titanyum(IV)tetraisopropoxide (Ti[OCH(CH₃)₂]₄, %97'lik, Merck) , Titanyum tetraklorit (TiCl₄, %99'luk, Merck) , isopropanol (C₃H₈O, Merck), etanol (C₂H₆O, Merck) , asetik asit (CH₃COOH, Merck), nitrik asit (HNO₃, Merck), Degussa P25

4.1.1. I. Yöntem

İlk yöntemde TiCl₄ kullanılarak TiO₂ NP hazırlanmıştır. TiCl₄/Etanol oranı 1/10 olacak şekilde, etanolün içine damla damla TiCl₄ ilave edildi (Ör: 300 ml etanol, 30ml TiCl₄). Oluşturulan sol-jel oda sıcaklığında 48 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı.

4.1.2. II. Yöntem

4,65 ml isopropanol içerisine 1,6 ml titanyum isopropoxide damla damla ilave edildi. Karışım 60 °C' de 10 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Sonra 5,15ml asetik asit ilave edilerek 60 °C' de 15 dakika daha karıştırıldı. Son olarak 12ml metanol çözeltiliye ilave edildi ve oluşan karışım 2 saat karıştırıldı.

4.1.3. III. Yöntem

160 ml distile su içerisine 1,5 ml nitrik asit eklendi. Sonra 15 ml titanyum IV-isopropoxide damla damla ilave edildi. Oluşan çözelti oda sıcaklığında 2 gün boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.

4.1.4. IV. Yöntem

500 ml distile su içerisine 25 ml titanyum isopropoxide yavaş yavaş ilave edildi. Karışıma ilk önce 5 ml asetik asit, daha sonra 3,5 ml nitrik asit eklendi. Oluşturulan

çözelti 80 °C’ de yarım saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Daha sonra karışım oda sıcaklığında 2 saat daha karıştırıldı.

Bu dört yöntemle hazırlanan bütün sol-jellerin pH’ları çok düşüktür. Bu yüzden hazırlan soler diyaliz membranlara (Şekil 4.1) dolduruldu ve membranlar distile su dolu kaptaki bekletilerek pH dengelemesi yapıldı. Solerinin pH’ları yaklaşık 2,7 olduktan sonra membranlardan çıkarıldı.



Şekil 4.1: Diyaliz membran

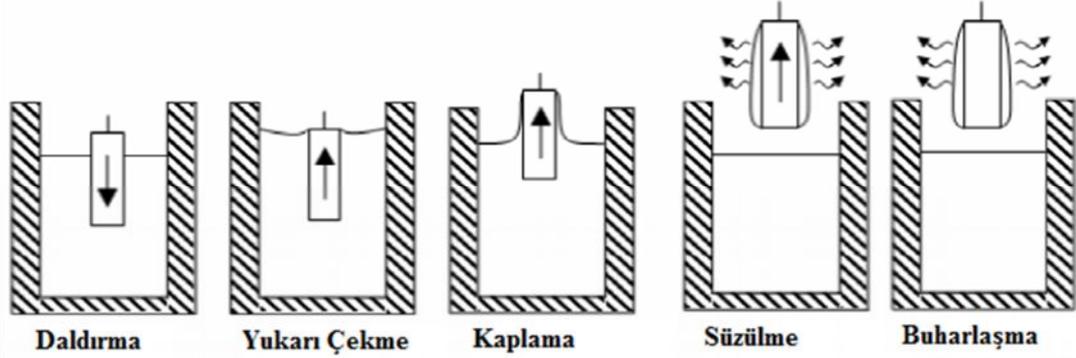
4.1.5. Degussa

Dört yöntemin dışında ticari TiO₂ olan Degussa P25 ile nanopartikül hazırlandı. 1 L distile suya, 5 g degussa P25 ilave edildi. Oluşan degussa P25 çözeltisi manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.

4.2. Film Kaplama

Kaplama yöntemi olarak daldırmalı kaplama tekniği (Şekil 4.2) kullanıldı. Yöntem, bir cam taşıyıcının hazırlanan sol içerisinde belli bir hızda daldırılıp aynı hızda geri çıkarılması yoluyla film kaplanması işlemidir. İlk olarak 4 cm x 6 cm boyutunda ve 0,5 cm kalınlığındaki cam levhalar yıkandı. Yıkanan camlar saf sudan geçirildikten sonra etanole batırılıp kurumaya bırakıldı. Dört yöntemle hazırlanan soler ve degussa solü daldırma işleminin kolayca yapılabileceği kaplara kondu. Daha sonra

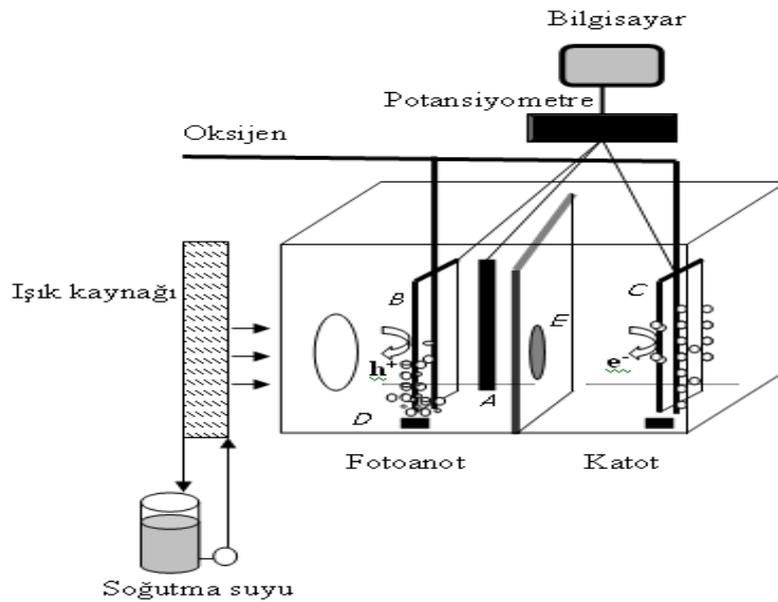
camlar her bir sole ayrı ayrı daldırılıp 5 saniye sonra geri çıkartıldı. Yarım saat oda sıcaklığında kuruduktan sonra tekrar daldırıldı ve bu işlem 3 defa tekrarlandı. Tüm işlem tamamlandıktan sonra kaplanmış cam levhalar, bağlanamayan TiO₂ partiküllerinin uzaklaştırılması için saf su ile yıkandı.



Şekil 4.2: Daldırma ile kaplama tekniği şematik gösterimi

4.3. Filmlerin FEK Özelliklerinin Belirlenmesi

Daldırma çekme yöntemi ile kaplama yapıldıktan sonra TiO₂ NP ile kaplı cam levhalar FEK reaktör sistemi (Şekil 4.3) içerisinde ve farklı elektrik potansiyeli altında bir elektrolit çözeltisi içerisinde kullanılarak filmler üzerindeki fotoakım ölçüldü. Elektrolit çözeltisi olarak 0,05 M sodyum sülfat (Na₂SO₄) kullanıldı. Sisteme hava vermek için küçük akvaryum pompası kullanıldı.



Şekil 4.3: Deneyde kullanılan FEK reaktör sistemi

4.4. Bakteriyolojik Deneyler

4.4.1. Besi yeri hazırlama ve sayım yöntemi

Besi yerleri mikroorganizmaların geliştirilmesi için hazırlanmış ortamlardır. Bunlar, mikroorganizmaların geliştirilmesi, izolasyon, sayım, klinik örneklerin incelenmesi, gıda, su ve çevre kontrolleri, biyolojik ürünlerin elde edilmesi, antibiyotik ve vitamin analizleri, endüstriyel analizler vb. gibi çok farklı amaçlara yönelik olabilir.

Escherichia coli (*E.coli*) gelişimi için deneylerde hem sıvı hem de katı besiyerleri kullanıldı. Sıvı besiyeri olarak Nutrient Broth (Merck) kullanıldı. Distile su içerisinde çözünen Nutrient Broth 5 ml olarak steril tüplere kondu ve otoklavda 121 °C'de 15 dakika sterilize edildi. Kullanım zamanı gelene kadar Nutrient Broth dolu tüpler buzdolabında saklandı.

Bu deneyde yüzeye yayma yöntemi ile kültürel sayım metodu kullanıldı. Katı besiyeri olarak VRB (Violet Red bile) Agar (Merck) kullanıldı. 1 L distile suda 39,5 g VRB agar çözülerek, manyetik karıştırıcıda kaynayanaya kadar yavaş yavaş karıştırıldı. Yaklaşık 2 dakika boyunca kaynatıldı. Kaynatma işi bittikten sonra agar soğumaya bırakıldı. 45 °C'ye soğutulduktan sonra steril petrilere yaklaşık 15 – 20 ml olacak şekilde döküldü. Agar donduktan sonra petrilere poşetlere ters çevrilerek dizildi. Kullanılana kadar buzdolabında bekletildi.

Dilüsyon sıvılarından 100 µl alınarak hazırlanan besiyerinin üzerine döküldü ve steril drigalski özesi ile yayıldı. Öze her kullanımdan önce etanolle steril edildi. Ekim yapılan petrilere 15 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra 35,5 – 37 °C'de 24 saat inkübe edildi. Daha sonra petrilere üzerindeki koloniler sayıldı ve sonuçlar cfu/ml (cfu:colony forming unit) cinsinden kaydedildi.

4.4.2. Dilüsyon hazırlanışı ve *E.coli* geliştirilmesi

Kültürel sayım yapılacak bir örneğin ml'sinde binlerce hatta milyonlarca mikroorganizma bulunabilir. Bu durum dikkate alınarak, genellikle incelenecek sıvı örneğin uygun seri dilüsyonları hazırlanır. Dilüsyon hazırlama, mikrobiyolojik yönden incelemeye alınan orijinal örnek içindeki mikroorganizma sayısının belli oranlarda sulandırılarak daha aza indirilmesini amaçlayan bir işlemdir. Bu amaçla kullanılan sıvılara dilüsyon sıvısı denir (Akçay, 2010).

Bu tez çalışmasında dilüsyon sıvısı olarak %0,85'lik NaCl (Sigma-Aldrich) çözeltisi kullanıldı.

Bütün deney tüpleri, deneylerin yapıldığı kaplar, pipetler ve pipet uçları kullanılmadan önce otoklavda 121 °C'de 15 dakika steril edildi.

İçerisinde 5 ml Nutrient Broth (sıvı besi yeri) bulunan steril tüpe hazır *E.coli* kültüründen 100 µl ekim yapıldı. Ekim yapılan tüp, *E.coli* 'nin gelişmesi için, etüvde (Termal PID Kontrollü Sterilizatör) 35,5 – 37 °C arası sıcaklıkta bir gün inkübe edildi ve bir gün sonra etüvden alınıp deney yapmak için kullanıldı. Her deney yapımında aynı işlem bir gün önceden tekrarlandı.

4.5. Deneyler

4.5.1. Fotokatalitik dezenfeksiyon

İlk olarak tampon çözelti içeren distile su ve TiO₂ (Degussa P25) içeren su ile deney yapıldı. Cam kaba 50 ml distile su kondu ve tampon çözeltisi olarak 0,0625 ml K₂HPO₄ eklendi. Başka bir cam kaba 50 ml distile su ve 50 mg Degussa P25 (Degussa 1 g/L olacak şekilde) kondu. Her iki kaba da bir gün önceden hazırlanmış olan saf kültürden 10⁵ – 10⁶ cfu/ml mikroorganizma olacak şekilde aşı yapıldı. Daha sonra kaplar 18 dakika boyunca Atlas Suntest XLS+ güneş simülatöründe (Şekil 4.4) arıtmaya tabi tutuldu. Deney boyunca güneş simülatörünün içine yerleştirilen manyetik karıştırıcı sayesinde, balık kullanılarak kaplarda homojen karışım sağlandı. UV ışığını direk alabilmeleri için kapların üstüne kuvars cam kondu. Belirli zaman aralıklarında cihaz durdurularak her iki kaptan da numuneler alınarak seyreltmeler yapıldı ve katı besi yerine ekim yapıldı.



Şekil 4.4: Güneş Simülatörü

4.5.2. Fotokatalitik dezenfeksiyona anyon ve katyon etkisi

Cam kaplara 50'şer ml distile su, 50'şer mg TiO₂ (Degussa P25) eklendi ve 10⁵ – 10⁶ cfu/ml mikroorganizma olacak şekilde saf kültürden aşılama yapıldı. Daha sonra kalsiyum (Ca) ilavesi için 1 M kalsiyum klorür (CaCl₂.2H₂O; Sigma Aldrich) çözeltisinden sırasıyla 20, 40, 120, 200 ve 400 mg/L Ca içerecek şekilde CaCl₂ eklendi.

Klorür (Cl) ilavesi için 1 M sodyum klorür (NaCl; Sigma-Aldrich) çözeltisinden yukardaki gibi hazırlanan kaplara sırasıyla 20, 40, 120, 200 ve 400 mg/L Cl içerecek şekilde NaCl eklendi.

Magnezyum (Mg) ilavesi için 1 M magnezyum sülfat(MgSO₄.7H₂O; Merck) çözeltisinden yukardaki gibi hazırlanan kaplara sırasıyla 20, 40, 120, 200 ve 400 mg/L Mg içerecek şekilde MgSO₄ eklendi.

E.coli, anyon ve katyon eklenen numuneler, üzeri kuvars camla kapatılarak Suntest cihazına kondu ve 18 dakika boyunca 250 W/m² şiddetinde UV ışığı altında karıştırılarak belirli aralıklarla *E.coli* ölçümü yapıldı.

4.5.3. Fotokatalitik arıtmaya karbonat etkisi

İki tane cam kaba 50'şer ml distile su kondu. Her iki kaptaki suyun pH'ı ölçüldü. Sonra kaplardan birindeki suyun pH'ı 1 N Sodyumbikarbonat (NaHCO_3) ile 9'a getirildi. Daha sonra iki kaptaki suyun pH'ları asit ve baz çözeltileri yardımıyla sırasıyla 5, 6, 7 ve 8'e ayarlandı (her bir pH değeri için ayrı kaplarda deney yapıldı). pH ayarlaması yapılan NaHCO_3 'lü suya ve distile suya 50 mg degussa ilave edildi. Saf kültürden $10^5 - 10^6$ cfu/ml *E.coli* içerecek kadar numunelere aşı yapıldı. Kaplara karışma işleminin sağlanması için manyetik balık kondu ve üzerleri kuvars camla kapatıldı. 18 dakika boyunca Suntest güneş simülatöründe tutuldu. Belirli aralıklarla 1'er ml alınarak *E.coli* ölçümü yapıldı.

4.5.4. İmmobilize TiO_2 filmler ile fotokatalitik dezenfeksiyon

Daha önce dört farklı yöntemle hazırlanan sol-jeller ile camlar kaplanmıştı. Kaplı camlar, nanopartiküllerin daha iyi cama tutunması için 50°C 'de 1 saat tutuldu. Önceki deneylerde yapıldığı gibi cam kaplara 50'şer ml distile su kondu ve $10^5 - 10^6$ cfu/ml mikroorganizma içerecek miktarda saf kültürden aşı yapıldı. Her kaba kaplanmış bir cam ve manyetik balık kondu. Şahit için yikanıp etanole batırılıp çıkartılan kaplanmamış cam levha kullanıldı. Kaplanmış cam levhaların etkisini daha iyi anlayabilmek için kapların üstüne UV ışığını mevcut şiddetinden daha az geçiren normal cam kapaklar kapatıldı. Son olarak Suntest güneş simülatöründe 240 dakika 250 W/m^2 UV ışığına maruz bırakıldı. Belirli aralıklarda kaplardan 1'er ml alınarak dilüsyon sıvısıyla seyreltmeler yapıldı ve seyreltilmiş numunelerden ekim yapıldı.

Cam levhaların etkilerini daha iyi görebilmek için aynı deneyler IV. yöntem ve degussa ile kaplanmış camlar ve şahit için 25 ml distile su konularak tekrar yapıldı.

4.5.5. İçme ve şebeke suyunda fotokatalitik dezenfeksiyon

İlk yapılan şahit ve degussa deneylerinde distile su kullanılmıştı. Aynı deneyler içme suyu ve şebeke suyu ile de yapılmıştır.

İçme suyu ve şebekeye verilen yeraltı suyunun özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. İçme suyundan iki cam kaba 50'şer ml kondu. Kaplardan birine tampon çözeltisi olarak 0,0625 ml K_2HPO_4 , diğerine 50 mg degussa kondu.

Şebeke suyunda klor bulunduğu için deney yapılmadan önce 1 saat boyunca havalandırma işlemine tabi tutuldu. Bu işlemden sonra iki cam kaba 50'şer ml şebeke suyu kondu. Birine 0,0625 ml K₂HPO₄, diğerine 50 mg degussa eklendi.

Tablo 4.1: İçme ve yeraltı suyunun karakteristiği

Parametre	Birim	İçme Suyu	Yeraltı Suyu
Alüminyum	µg/L	6,5	-
Demir	µg/L	27,5	90
Amonyum	mg/L	< 0,2	0,065
Klorür	mg/L	2,5	3,81
Sodyum	mg/L	3,1	-
Oksitlenebilirlik	mg/L	1	-
Sülfat	mg/L	1,2	-
İletkenlik	µs/cm	34,1	483
pH	-	7,25	7,9
Toplam Organik Karbon	mg/L	0,52	0,32
Toplam Sertlik	mg/L CaCO ₃	0,4	284
Koku	-	Uygun	-
Renk	-	Uygun	-
Bulanıklık	-	Uygun	0,49 NTU
Tat	-	Uygun	-

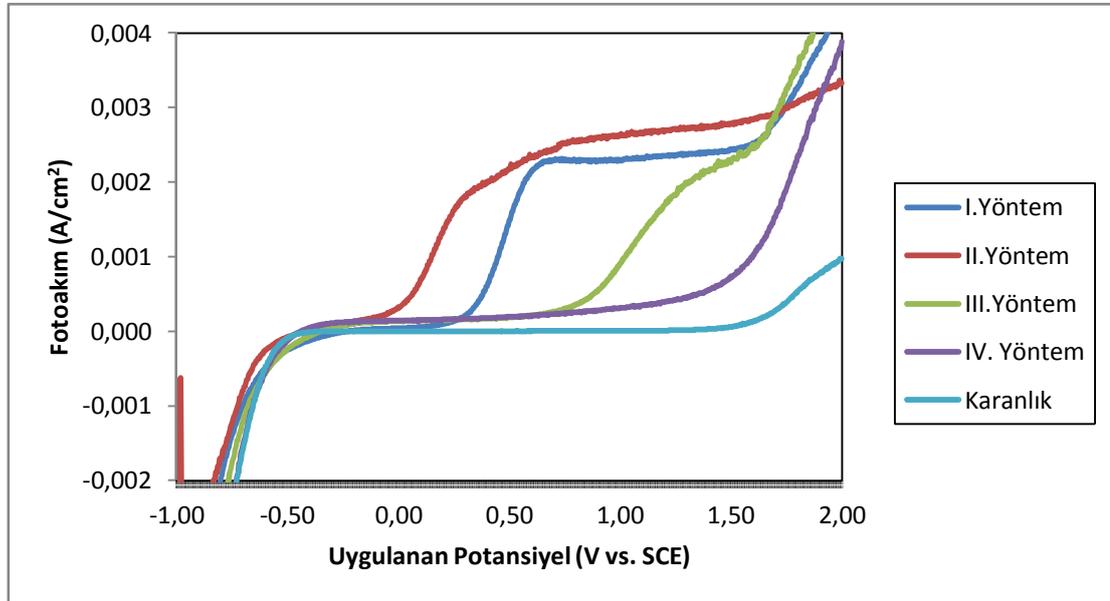
Her dört kaba da bir gün önceden hazırlanmış olan saf kültürden 10⁵ – 10⁶ cfu/ml mikroorganizma olacak şekilde aşı yapıldı. Daha sonra kaplar 18 dakika boyunca Suntest cihazında 250 W/m² şiddetinde UV ışığında bekletildi. Belirli zaman aralıklarında cihaz durdurularak dört kaptan da numuneler alınarak seyreltmeler yapıldı ve o seyreltmelerden katı besi yerine ekim yapıldı.

5. BULGULAR

5.1. 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 deyişle kendini temizleme ve antibakteriyel etkisinin daha fazla olması beklenir.

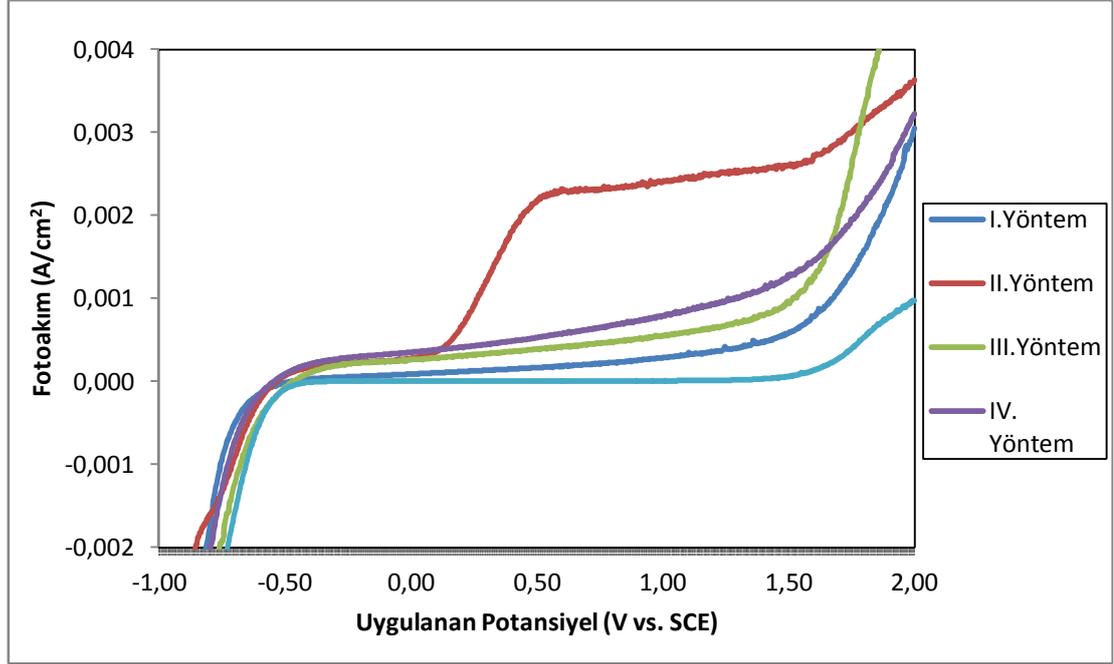
Şekil 5.1’de oda sıcaklığında kaplanmış filmlerde fotoakım eğrileri verilmiştir. En iyi fotoakım filmlerdeki partikül çapı, film kalınlığı ve en önemlisi kalsinasyon sonrası film içerisindeki kristal yapıya ve kristal yapıların oranına bağlı olarak değişebilir. Bu çalışmada oda sıcaklığı ve diğer sıcaklıklarda elde edilen yüksek fotoakım değerlerinin kristal yapı ile ilgili olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 5.1: Oda sıcaklığında kaplanmış filmlerde fotoakım

Deneylerde 50 °C’de tutulan filmler kullanılmıştır. Şekil 5.2’den görüleceği gibi en yüksek fotoakım II. yöntemle ile hazırlanan TiO₂ nano filmlerinde gözlenmiştir. Fakat sıfır potansiyelde 3. ve 4. metot ile hazırlanan TiO₂ nano filmleri de yaklaşık

olarak eşit bir fotoakım oluşturmuştur. En düşük fotoakım ise 1. metot ile hazırlanan TiO₂ nano filmlerinde elde edilmiştir.



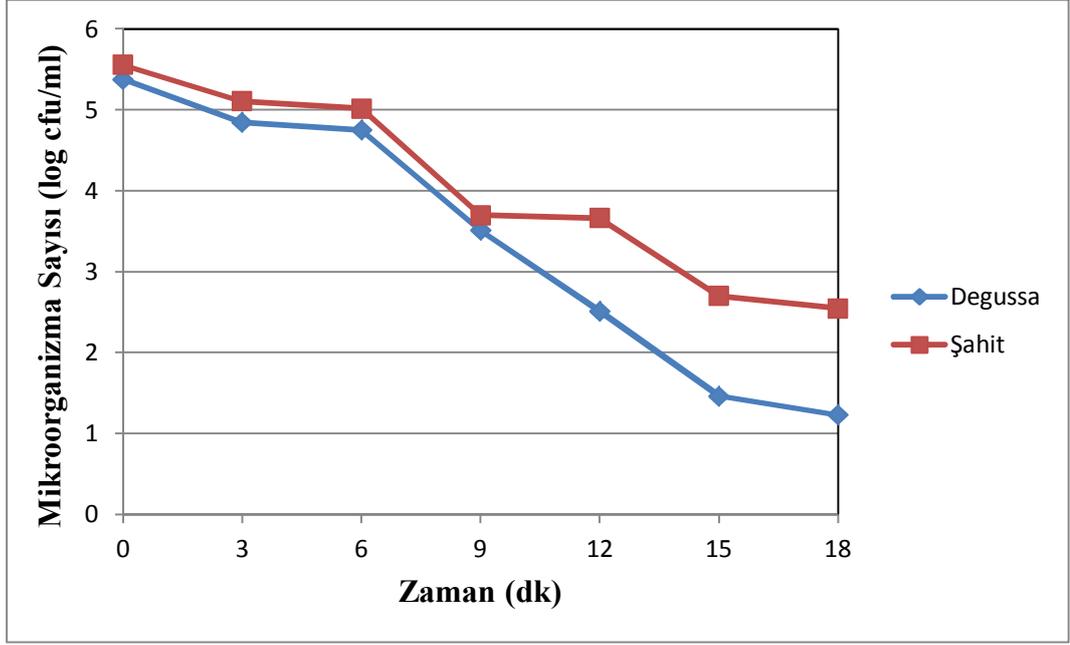
Şekil 5.2: 50 °C de tutulan kaplı filmlerde fotoakım

5.2. Ticari TiO₂ (Degussa P25) İle Dezenfeksiyon

Yapılan bazı çalışmalar TiO₂ varlığında, solar dezenfeksiyonun veriminin arttığını göstermektedir (Rincon ve Pulgarin, 2004). Degussa P25, ticari olarak satılan ve en verimli TiO₂ fotokatalizörüdür. Bundan dolayı ilk yapılan çalışmada TiO₂ (Degussa P25) ve tampon içeren (şahit) numune UV ışığı altında dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.1'de ve bu sonuçlar kullanılarak çizilen grafik Şekil 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Degussa ile distile suyun *E.coli* 'ye karşı mikrobiyal etkisi

Zaman(dk)	<i>E.coli</i> (cfu/ml)	
	Şahit	Fotokatalitik Dezenfeksiyon
0	3,6 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁵
3	1,3 x 10 ⁵	7,0 x 10 ⁴
6	1,0 x 10 ⁵	5,6 x 10 ⁴
9	5,0 x 10 ³	3,3 x 10 ³
12	4,6 x 10 ³	3,3 x 10 ²
15	5,0 x 10 ²	2,9 x 10 ¹
18	3,5 x 10 ²	1,7 x 10 ¹



Şekil 5.3: Degussalı sudaki ve distile sudaki *E.coli* 'nin gelişimi

Elde edilen verilere bakıldığında UV ışığının şiddetinden dolayı her iki numunede de mikroorganizma sayısında düşüş olmuştur. Fakat degussa *E.coli* üzerinde daha etkili olmuştur ve şahit numuneden daha fazla mikroorganizmayı etkisiz hale getirmiştir.

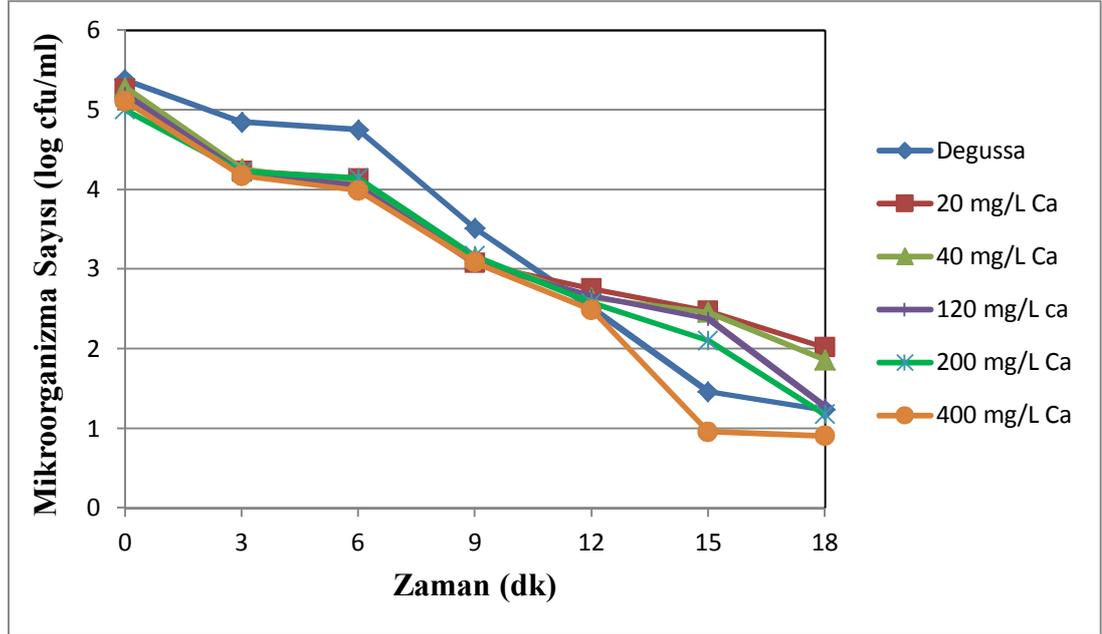
5.3. Fotokatalitik Arıtmaya Kalsiyumun Etkisi

Metalik iyonlar ve metalik bileşikler belli derecede sterilizasyon etkisi göstermektedir (Meilert ve diğerleri, 2005). Havadaki veya su içindeki oksijenin bir kısmı metal katalizör yardımıyla aktif oksijene dönüşmekte ve bu aktif oksijen hem organiklerin çözünmesinde hem de patojenlerin inaktivasyonunda önemli rol oynamaktadır. Böylece, metal iyonları TiO_2 'in FK aktivitesini artırarak TiO_2 partiküllerine antibakteriyel özellik sağlayabilirler. (Yang ve diğerleri, 2003).

Bir önceki sonuçta fotokatalitik arıtmanın şahide göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sonrasında degussa içeren numunelere farklı miktarlarda $CaCl_2$ çözeltisi eklenerek; TiO_2 (Degussa P25) ile dezenfeksiyonun değişip değişmediğine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de, tablodaki verilerle çizilen grafik de Şekil 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Farklı miktarlarda Ca⁺² ilavesinin *E.coli* gelişimine etkisi

Zaman (dk)	<i>E.coli</i> (cfu/ml)					
	Degussa P25	20 mg/L Ca ⁺²	40 mg/L Ca ⁺²	120 mg/L Ca ⁺²	200 mg/L Ca ⁺²	400 mg/L Ca ⁺²
0	2,4 x 10 ⁵	1,9 x 10 ⁵	1,9 x 10 ⁵	1,6 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁵
3	7,0 x 10 ⁴	1,7 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁴	1,6 x 10 ⁴	1,7 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁴
6	5,6 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁴	1,1 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁴	9,6 x 10 ³
9	3,3 x 10 ³	1,2 x 10 ³	1,4 x 10 ³	1,2 x 10 ³	1,5 x 10 ³	1,2 x 10 ³
12	3,3 x 10 ²	5,7 x 10 ²	4,4 x 10 ²	4,6 x 10 ²	3,8 x 10 ²	3,1 x 10 ²
15	2,9 x 10 ¹	3,0 x 10 ²	2,9 x 10 ²	2,4 x 10 ²	1,3 x 10 ²	9,0 x 10 ⁰
18	1,7 x 10 ¹	1,0 x 10 ²	7,3 x 10 ¹	1,9 x 10 ¹	1,5 x 10 ¹	8,0 x 10 ⁰



Şekil 5.4: Farklı miktarlarda Ca ilavesinin *E.coli* gelişimine etkisinin zamana göre değişimi

Elde edilen verilere bakıldığında, 20, 40, 120 ve 200 mg/L Ca içeren CaCl₂ çözeltisi ilaveleri, degussanın antimikrobiyal aktivitesini olumsuz yönde etkilerken, 400 mg/L Ca içeren numune degussanın etkisini biraz daha arttırmıştır. Şekil 5.4'e bakıldığı zaman Ca miktarları arttıkça mikroorganizma ölümünün de arttığı görülmektedir.

5.4. Fotokatalitik Dezenfeksiyona Klorürün Etkisi

Selçuk ve diğerlerinin (2004) yaptığı çalışmada düşük miktarda klorürün elektrolit etkisi ile fotokatalitik arıtmanın arttığı görülmüştür. TiO₂ içerisinde UV ışığı ile serbest hale gelen elektron, yüzeyde kullanılmadığı durumda tekrar hol (+ yük) ile

birleşir. Az miktarda Cl⁻, elektrolit görevi yaparak elektron kullanımını, dolayısı ile fotokatalitik arıtma verimini arttırabilir. Cl⁻'nin fazla olması durumunda, oluşan hollar veya OH* radikali Cl⁻ ile reaksiyona girer ve Cl* radikalini oluşturur. Cl* daha zayıf oksitleyicidir ve fotokatalitik verimi düşürür.

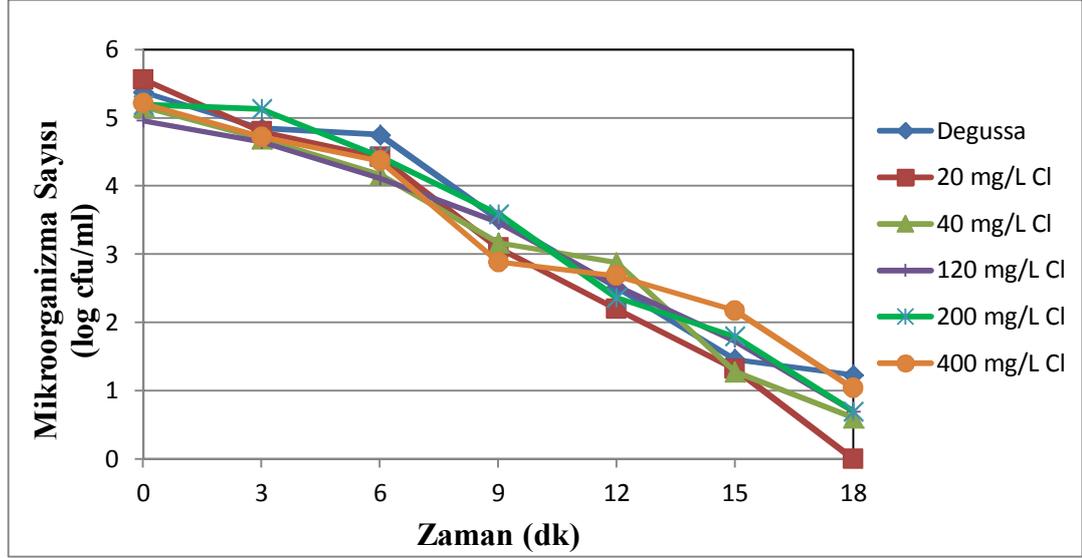
Klorürün gerçekleştirdiği reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



Bu çalışmada, TiO₂ içeren numunelere farklı miktarlarda klorür içeren NaCl çözeltisi eklenerek; TiO₂'nin *E.coli* üzerindeki etkisinin değişip değişmediğine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'de, tablodaki verilerle çizilen grafik de Şekil 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.3: Farklı miktarlarda Cl⁻ ilavesinin *E.coli* gelişimine etkisi

Zaman (dk)	<i>E.coli</i> (cfu/ml)					
	Degussa P25	20 mg/L Cl ⁻	40 mg/L Cl ⁻	120 mg/L Cl ⁻	200 mg/L Cl ⁻	400 mg/L Cl ⁻
0	2,4 x 10 ⁵	3,7 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁵	9,1 x 10 ⁴	1,6 x 10 ⁵	1,6 x 10 ⁵
3	7,0 x 10 ⁴	6,4 x 10 ⁴	5,0 x 10 ⁴	4,6 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁵	5,3 x 10 ⁴
6	5,6 x 10 ⁴	2,7 x 10 ⁴	1,5 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁴	2,7 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁴
9	3,3 x 10 ³	1,3 x 10 ³	1,5 x 10 ³	3,0 x 10 ³	3,9 x 10 ³	7,7 x 10 ²
12	3,3 x 10 ²	1,6 x 10 ²	7,6 x 10 ²	3,5 x 10 ²	2,3 x 10 ²	4,9 x 10 ²
15	2,9 x 10 ¹	2,1 x 10 ¹	1,9 x 10 ¹	5,4 x 10 ¹	6,3 x 10 ¹	1,5 x 10 ²
18	1,7 x 10 ¹	1,0 x 10 ⁰	4,0 x 10 ⁰	5,0 x 10 ⁰	5,0 x 10 ⁰	1,1 x 10 ¹



Şekil 5.5: Farklı miktarlarda Cl ilavesinin *E.coli* gelişimine etkisinin zamana göre değişimi

Degussalı suya NaCl çözeltisi ilave edildiğinde, degussanın antimikrobiyal etkisinin arttığı görülmüştür. Fakat eklenen NaCl çözeltisi miktarıyla, antimikrobiyal etki arasında ters orantı olduğu saptanmıştır. Yani en düşük NaCl çözeltisi ilavesinde en fazla mikroorganizma ölümü gerçekleşmiştir.

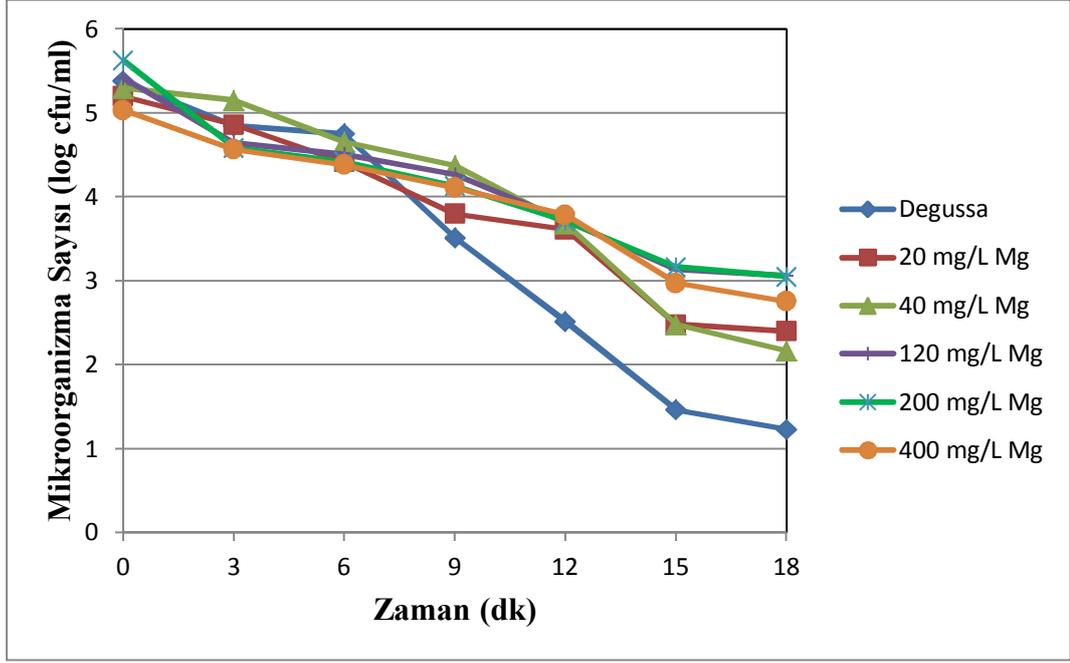
Bu çalışmada düşük Cl değerinde fotokatalitik dezenfeksiyon verimi artmış, yüksek Cl değerinde ise azalmıştır.

5.5. Fotokatalitik Dezenfeksiyona Magnezyumun Etkisi

TiO₂ (Degussa P25) içeren numunelere farklı miktarlarda Mg⁺² eklenerek sertlik iyonunun fotokatalitik dezenfeksiyona etkisi araştırılmıştır. Elde edilen veriler Tablo 5.4'te ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.4: Farklı miktarlarda Mg⁺² ilavesinin *E.coli* gelişimine etkisi

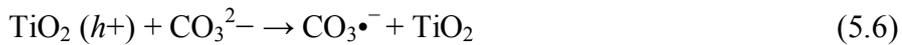
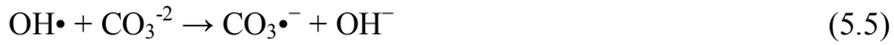
Zaman (dk)	<i>E.coli</i> (cfu/ml)					
	Degussa P25	20 mg/L Mg ⁺²	40 mg/L Mg ⁺²	120 mg/L Mg ⁺²	200 mg/L Mg ⁺²	400 mg/L Mg ⁺²
0	2,4 x 10 ⁵	1,6 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁵	2,6 x 10 ⁵	4,2 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁵
3	7,0 x 10 ⁴	7,2 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁵	4,4 x 10 ⁴	3,9 x 10 ⁴	3,7 x 10 ⁴
6	5,6 x 10 ⁴	2,6 x 10 ⁴	4,5 x 10 ⁴	3,2 x 10 ⁴	2,7 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁴
9	3,3 x 10 ³	6,3 x 10 ³	2,4 x 10 ⁴	1,9 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁴
12	3,3 x 10 ²	4,1 x 10 ³	4,8 x 10 ³	5,3 x 10 ³	5,2 x 10 ³	6,1 x 10 ³
15	2,9 x 10 ¹	3,0 x 10 ²	3,0 x 10 ²	1,4 x 10 ³	1,5 x 10 ³	9,4 x 10 ²
18	1,7 x 10 ¹	2,5 x 10 ²	1,5 x 10 ²	1,2 x 10 ³	1,1 x 10 ³	5,7 x 10 ²



Şekil 5.6: Farklı miktarlarda Mg ilavesinin *E.coli* gelişimine etkisinin zamana göre değişimi

MgSO₄ çözeltisi ilavesi, degussanın antimikrobiyal aktivitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Degussa tek başına suya eklendiğinde mikroorganizma sayısında 4 log'luk bir azalma gözlenirken, MgSO₄ ile birlikte suya ilave edildiğinde mikroorganizma sayısında 2 log ile 3 log arasında bir azalma görülmüştür.

5.6. Fotokatalitik Dezenfeksiyona Karbonat İyonlarının Etkisi



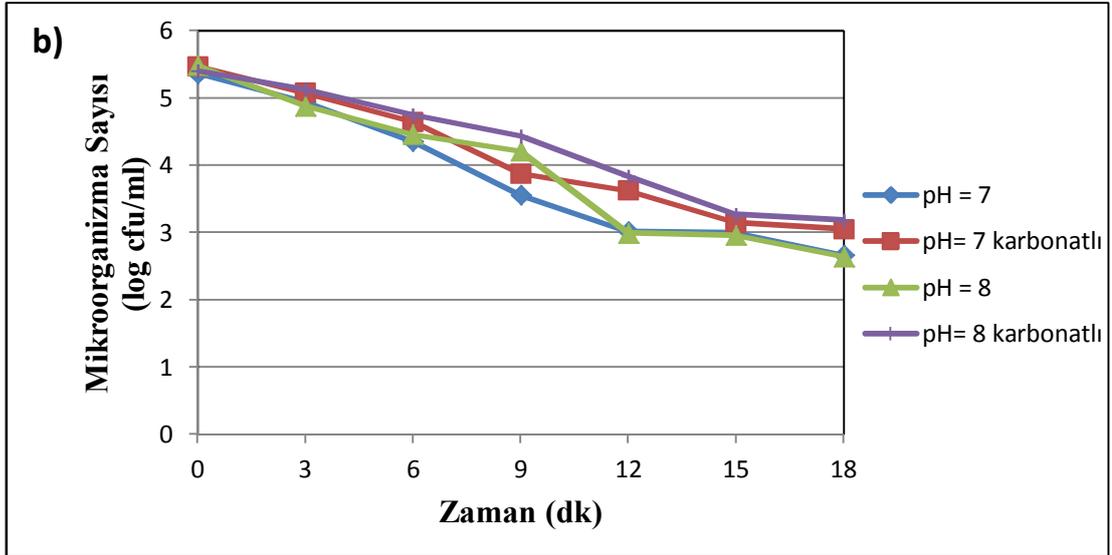
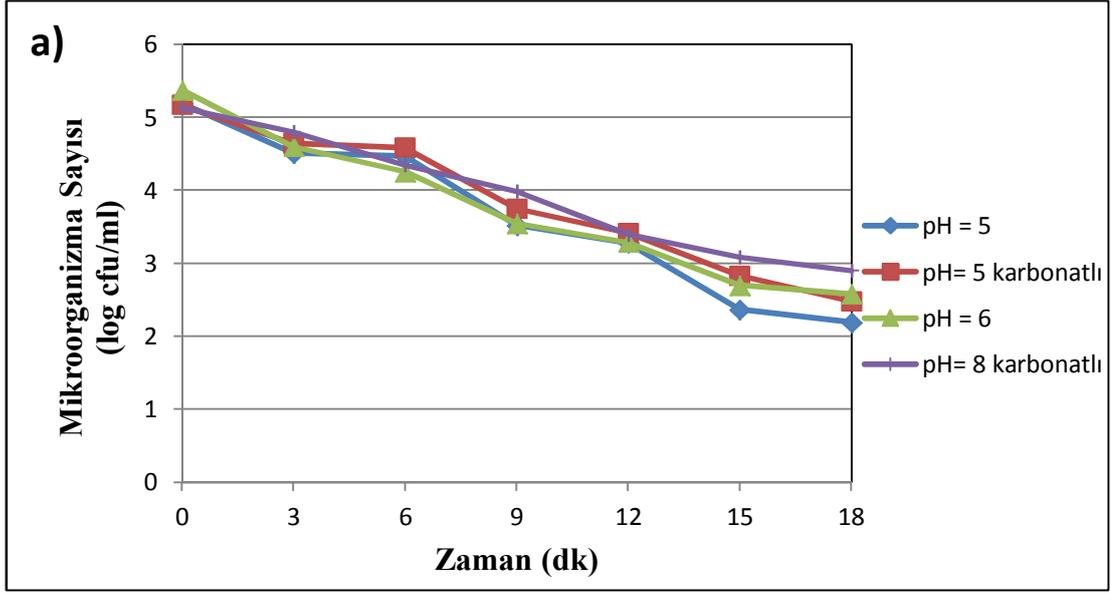
HCO₃⁻ ve CO₃⁼, OH* ile veya holler ile reaksiyona girerek HCO₃* ve CO₃* radikallerini oluşturur. Karbonat iyonları bir nevi radikal çöpçüsüdür ve oluşan karbonat radikallerinin oksidasyon/dezenfeksiyon verimi OH* radikaline göre çok düşüktür.

2004 yılında yapılan bir çalışmada, güneş ışığı altında dezenfeksiyon yapılmış, pH 7'den 4'e düşürüldüğünde 2 saat içinde %99'luk *E.coli* giderim verimi elde edilmiştir. pH'ın TiO₂ yüzeyindeki elektostatik yüke etkisinin olduğu belirtilmiştir (Rincon ve Pulgarin, 2004).

Diğer deneylerden farklı olarak degussanın antimikrobiyal etkisinin pH'la ve NaHCO₃ çözeltisi ile nasıl değiştiğine bakılmıştır. Tablo 5.5'de pH 5, 6, 7 ve 8'de NaHCO₃'lü degussalı sudaki ve sadece degussalı sudaki *E.coli* üzerindeki etkileri verilmiştir. Tablodaki verilerden yararlanılarak Şekil 5.7'de karbonatın degussanın *E.coli* dezenfeksiyonuna etkisinin grafikleri gösterilmiştir.

Tablo 5.5: Farklı pH'larda sadece degussanın ve NaHCO₃ içeren degussanın *E.coli* gelişimi üzerindeki etkisi

Zaman (dk)	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8	
	Distile Su+ Degussa P25	NaHCO ₃ 'lü Su + Degussa P25	Distile Su+ Degussa P25	NaHCO ₃ 'lü Su + Degussa P25	Distile Su+ Degussa P25	NaHCO ₃ 'lü Su + Degussa P25	Distile Su+ Degussa P25	NaHCO ₃ 'lü Su + Degussa P25
0	1,6 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁵	1,4 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁵	2,9 x 10 ⁵	3,0 x 10 ⁵	2,5 x 10 ⁵
3	3,2 x 10 ⁴	4,4 x 10 ⁴	4,0 x 10 ⁴	6,3 x 10 ⁴	8,8 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁵	7,6 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁵
6	2,9 x 10 ⁴	3,8 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁴	2,3 x 10 ⁴	4,4 x 10 ⁴	2,9 x 10 ⁴	5,6 x 10 ⁴
9	3,3 x 10 ³	5,6 x 10 ³	3,5 x 10 ³	9,7 x 10 ³	3,6 x 10 ³	7,5 x 10 ³	1,6 x 10 ⁴	2,7 x 10 ⁴
12	1,9 x 10 ³	2,6 x 10 ³	1,9 x 10 ³	2,5 x 10 ³	1,0 x 10 ³	4,2 x 10 ³	9,9 x 10 ²	6,9 x 10 ³
15	2,3 x 10 ²	6,7 x 10 ²	5,0 x 10 ²	1,2 x 10 ³	9,8 x 10 ²	1,4 x 10 ³	9,1 x 10 ²	1,9 x 10 ³
18	1,6 x 10 ²	3,0 x 10 ²	3,8 x 10 ²	8,0 x 10 ²	4,6 x 10 ²	1,1 x 10 ³	4,4 x 10 ²	1,5 x 10 ³



Şekil 5.7: Fotokatalitik dezenfeksiyona karbonat iyonlarının etkisi a) pH=5 ve pH=6
b) pH=7 ve pH=8

Düşük pH değerlerinde yani pH 5 ve 6 değerlerinde suda $H_2CO_3^*$ yoğun bulunurken HCO_3^- çok az bulunmaktadır. pH 7 ve 8'de ise tek karbonat iyonu HCO_3^- bulunmaktadır.

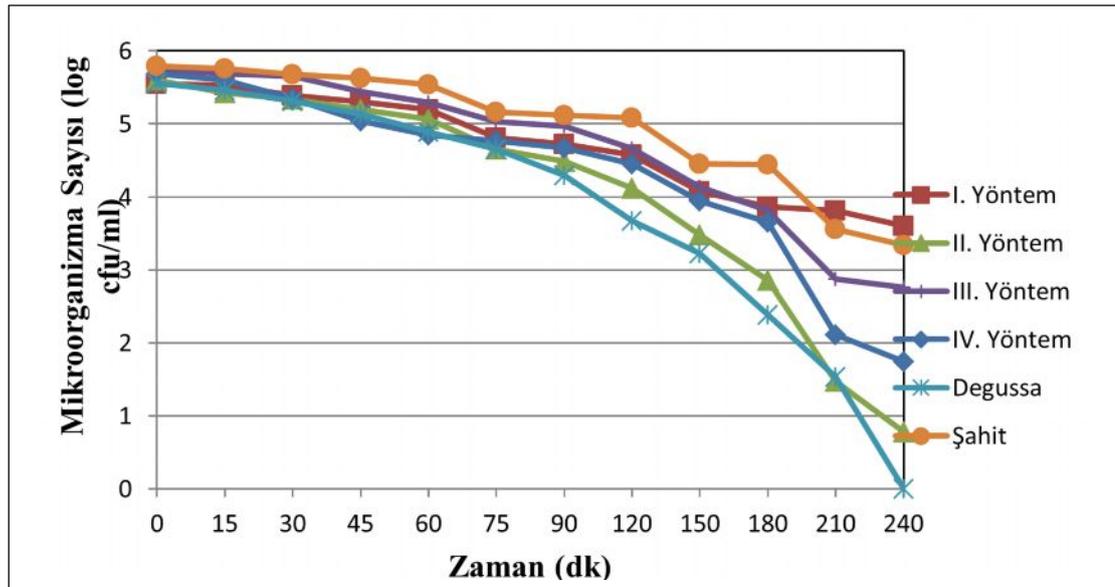
Çalışmada pH 5 ve 6'da karbonat ilave edilmiş suda fotokatalitik dezenfeksiyon verimi değişmemiştir. Yani $H_2CO_3^*$ iyonu literatürde olduğu gibi fotokatalitik verimi fazla etkilememiştir. Fakat pH 7 ve 8'de HCO_3^- içeren suda yaklaşık 10 kat daha fazla *E.coli* bakterisi gözlenmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarda gözlemlendiği gibi HCO_3^- iyonunun etkisinden kaynaklandığı tahmin edilmiştir.

5.7. Kaplanmış TiO₂ (İmmobilize) Deneyleri

Dört farklı sol-jel yöntemiyle ve TiO₂ (Degussa P25) ile kaplanan cam levhalarla yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 5.6'da verilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak kaplı filmlerin *E.coli* aktivitesi üzerindeki etkisinin grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.6: Farklı yöntemlerle kaplanmış filmlerin *E.coli* aktivasyonuna etkisi

ZAMAN (dk)	I. Yöntem (50 °C)	II.Yöntem (50 °C)	III.Yöntem (50 °C)	IV.Yöntem (50 °C)	Degussa P25 (50 °C)	Şahit (50 °C)
0	3,5 x 10 ⁵	4,0 x 10 ⁵	5,5 x 10 ⁵	4,9 x 10 ⁵	3,6 x 10 ⁵	6,2 x 10 ⁵
15	3,4 x 10 ⁵	2,7 x 10 ⁵	4,9 x 10 ⁵	4,0 x 10 ⁵	2,9 x 10 ⁵	5,7 x 10 ⁵
30	2,4 x 10 ⁵	2,2 x 10 ⁵	4,5 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁵	4,8 x 10 ⁵
45	2,0 x 10 ⁵	1,6 x 10 ⁵	2,8 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁵	1,4 x 10 ⁵	4,2 x 10 ⁵
60	1,6 x 10 ⁵	1,2 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁵	7,1 x 10 ⁴	7,8 x 10 ⁴	3,4 x 10 ⁵
75	6,5 x 10 ⁴	4,5 x 10 ⁴	1,1 x 10 ⁵	5,9 x 10 ⁴	4,5 x 10 ⁴	1,5 x 10 ⁵
90	5,3 x 10 ⁴	3,1 x 10 ⁴	9,3 x 10 ⁴	4,7 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁵
120	3,8 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁴	4,7 x 10 ⁴	2,8 x 10 ⁴	4,8 x 10 ³	1,2 x 10 ⁵
150	1,2 x 10 ⁴	3,0 x 10 ³	1,4 x 10 ³	8,9 x 10 ³	1,7 x 10 ³	2,8 x 10 ⁴
180	7,3 x 10 ³	7,2 x 10 ²	6,5 x 10 ³	4,6 x 10 ³	2,4 x 10 ²	2,8 x 10 ⁴
210	6,5 x 10 ³	3,0 x 10 ¹	7,6 x 10 ²	1,3x 10 ²	3,4 x 10 ¹	3,7 x 10 ³
240	3,4 x 10 ³	6,0 x 10 ⁰	5,7 x 10 ²	5,6 x 10 ¹	1,0 x 10 ⁰	2,2 x 10 ³



Şekil 5.8: Kaplanmış filmlerin *E.coli* üzerindeki etkisinin zamana göre grafiği

En yüksek fotoakım II.yöntemde gözlenmiştir. Buna bağlı olarak immobilize deneylerde II. yöntem, diğer üç yönteme göre *E.coli* üzerinde daha fazla antimikrobiyal etki göstermiştir. Degussa kaplı camlarda da yine aynı etki gözlenmiş olup, mikroorganizma sayısında 5 logluk bir azalma meydana gelmiştir.

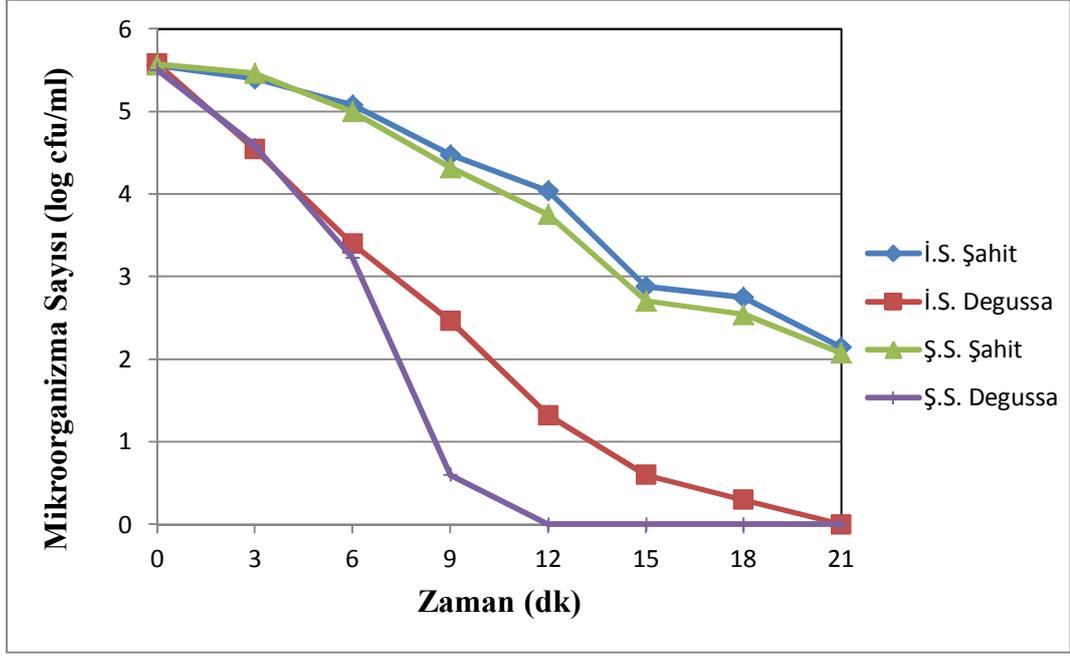
Literatürde bu alanda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sol-jel yöntemi ile TiO₂ hazırlama metotlarında, metoda bağlı olarak TiO₂ partikül çapı, film kalınlığı, film optik ve morfolojik özellikleri değişmektedir. Bu farklılıklar aynı şekilde TiO₂ filmlerinin verimini de değiştirmektedir (Selçuk ve diğerleri, 2004). Bu çalışmada filmlerin bu özellikleri araştırılmamıştır.

5.8. İçme ve Şebeke Suyu Deneyleri

Distile su ile yapılan deneyler günlük hayatta içtiğimiz şişe suyu ve evlerde kullandığımız şebeke suyu ile tekrar yapıldı. Bu deneylerin sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.7’de verilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak Şekil 5.9’da, *E.coli* miktarının zamanla değişimini veren grafik çizilmiştir.

Tablo 5.7: İçme ve şebeke suyunda degussanın *E.coli* üzerindeki etkisi

ZAMAN (dk)	İçme Suyu Şahit	İçme Suyu Degussa	Şebeke Suyu Şahit	Şebeke Suyu Degussa
0	$3,6 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	$3,7 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$
3	$2,5 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$	$2,9 \times 10^5$	$3,9 \times 10^4$
6	$1,2 \times 10^5$	$2,5 \times 10^3$	$1,0 \times 10^5$	$1,7 \times 10^3$
9	$3,0 \times 10^4$	$2,9 \times 10^2$	$2,1 \times 10^4$	$4,0 \times 10^1$
12	$1,1 \times 10^4$	$2,1 \times 10^1$	$5,7 \times 10^3$	< 1
15	$7,6 \times 10^2$	$4,0 \times 10^0$	$5,1 \times 10^2$	< 1
18	$5,6 \times 10^2$	$2,0 \times 10^0$	$3,5 \times 10^2$	< 1
21	$1,4 \times 10^2$	< 1	$1,2 \times 10^2$	< 1



Şekil 5.9: İçme ve şebeke suyunda degussanın *E.coli* üzerindeki etkisi

İçme sularında uygulama açısından, içme suyu ve Denizli Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Kampüsü yeraltı suyu (şebeke suyu) numunelerine $3,5 \times 10^5$ cfu/ml *E.coli* içerecek şekilde bakteri ekimi yapılmış 50 mg/L TiO_2 (Degussa P25) eklenmiş ve TiO_2 içermeyen numuneler materyal – metot kısmında özetlendiği şekilde suntest cihazında UV ışığı altında dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmuştur.

Şekil 5.9 ve Tablo 5.7’den görüldüğü gibi her iki su kaynağında TiO_2 içermeyen numunelere göre, degussa P25 TiO_2 içeren numunelerde 9. dakikadan itibaren tüm reaksiyon sürelerinde yaklaşık 100 kat daha az *E.coli* bakterisi gözlemlenmiştir. Degussa P25, içme suyuna göre, şebeke suyunda daha fazla antimikrobiyal aktivite göstermiştir.

Daha önce belirtildiği gibi belli bir anyon miktarı fotokatalitik sistemde e^-h^+ yarı birleşmesini engellemekte ve sistemde daha fazla radikal oluşumuna sebep olmaktadır. Fazla miktarda anyon ise OH^* radikalini tükettiğinden fotokatalitik dezenfeksiyon verimini düşürmektedir (Rincon ve Pulgarin, 2004). Bundan dolayı yeraltı suyunda fotokatalitik dezenfeksiyon veriminin fazla olması yeraltı suyunda fazla miktarda bulunan anyondan kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada ticari TiO₂ (Degussa P25) ve 4 farklı sol-jel metodu ile hazırlanmış nanofilmler kullanılarak fotokatalitik dezenfeksiyon verimi, fotokatalitik dezenfeksiyon işlemine anyon ve katyon etkisi araştırılmış, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Dört farklı sol-jel metodu kullanılarak cam yüzeyinde film oluşturulmuş, film kurutma sıcaklığına göre Fotoelektrokatalitik sistemde fotoakım ölçülmüş ve tüm kurutma sıcaklıklarında II.yöntem ile en yüksek fotoakım değerleri elde edilmiştir. Filmleri yapısal ve morfolojik özellikleri bu çalışmada araştırılmamış olup ayrıca araştırılması gerekmektedir.

En yüksek antimikrobiyal etkiyi, en yüksek fotoakımın elde edildiği yöntemin göstermesi gerektiği bilinmektedir. İmmobilize (kaplanmış TiO₂) sistemlerle yapılan *E.coli* giderim deneylerinde en yüksek verimi yine II.yöntem (en yüksek fotoakımın gözlemlendiği yöntem) göstermiştir.

Dezenfeksiyon için *E.coli* bakterisi kullanılmış, suntest cihazında ışık şiddetinin düşük değerlere indirilememesi nedeniyle bu çalışmada fotokatalitik dezenfeksiyon işlemi 20 dakika civarında kısa sürede sonuçlanmıştır. Konu içerisinde anlatılan literatüre benzer olarak bu çalışmada da Degussa P25 ile hazırlanan süspansiyon çözeltisinde ve filmde, sol-jel metotları ile hazırlanan filmlere göre çok daha yüksek fotokatalitik dezenfeksiyon verimi elde edilmiştir.

Süspansiyon halde kullanılan TiO₂ (Degussa P25) ile 2x10⁵ cfu/ml *E.coli* bakteri sayısı 18 dakika sonra 1,7x10¹ cfu/ml'ye düşmüştür. Yüksek ışık şiddetinden dolayı aynı sürede şahit numunede *E.coli* sayısı 3,5x10² olarak bulunmuştur. Sonuç olarak yüksek ışık şiddetinde bile TiO₂'nin (Degussa P25) dezenfeksiyon verimini 20 kat artırdığı görülmüştür.

Çalışmada, suda önemli iki sertlik iyonu olarak bulunan Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının TiO₂'nin dezenfeksiyon verimine etkisi araştırılmıştır. 0 – 400 mg/L aralığında farklı

Ca^{+2} kullanılarak kalsiyum ve magnezyum iyonunun fotokatalitik *E.coli* dezenfeksiyonuna etkisi incelenmiştir. 200 mg/L Ca^{+2} konsantrasyonuna kadar Ca^{+2} iyonunun TiO_2 'nin (Degussa P25) fotokatalitik dezenfeksiyon verimini değiştirmediği, fakat 400 mg/L Ca^{+2} kullanılan numunede 15. dakikadan itibaren yaklaşık 7 kat daha fazla *E.coli* dezenfeksiyonu gerçekleşmiştir.

Mg^{+2} iyonu ise 120 ve 200 mg/L Mg^{+2} konsantrasyonları hariç tüm kullanılan konsantrasyonlarda TiO_2 'nin dezenfeksiyon verimini artırmıştır. 400 mg/L Mg^{+2} konsantrasyonunda 15 dakika sonrasında 3 kat daha fazla dezenfeksiyon gerçekleşmiştir.

Çalıřmada, karbonat iyonları ve sularda önemli anyon olan Cl^- iyonunun TiO_2 'nin (Degussa P25) dezenfeksiyon verimine etkisi incelenmiřtir. Ca^{+2} iyonunun aksine 18 dakikalık reaksiyon sonrası, dūřuk Cl^- konsantrasyonlarında (0 – 200 mg/L) TiO_2 'nin dezenfeksiyon verimi bir miktar artmıř, yūksək Cl^- konsantrasyonunda (400 mg/L) ise çözeltide yaklaşık aynı oranda dezenfeksiyon verimi elde edilmiřtir.

Bir radikal tūketicisi olan HCO_3^- iyonu beklendięi gibi TiO_2 'nin (Degussa P25) dezenfeksiyon verimini 6 – 10 kat arasında dūřürmüřtür. pH 8'de HCO_3^- içeren suda TiO_2 'nin *E.coli* dezenfeksiyon verimi $4,4 \times 10^2$ 'den $1,5 \times 10^3$ 'e dūřmüřtür.

Çalıřmada içme suyu ve yeraltı suyu kullanılarak TiO_2 (Degussa P25) ile dezenfeksiyon iřlemi gerçekleřtirilmiřtir. Su kaynaklarında çok daha yūksək *E.coli* dezenfeksiyonu gerçekleřmiřtir. HCO_3^- konsantrasyonu yeraltı suyunda daha yūksək olmasına raęmen, muhtemelen yeraltı suyunun iletkenlik etkisinden dolayı, yeraltı suyunda daha yūksək oranda *E.coli* dezenfeksiyonu olmuřtur. 12. dakikada řahit numuneye gōre TiO_2 ile 1000 kat daha fazla dezenfeksiyon gerçekleřtięi tespit edilmiřtir. řahit numunede 9 dakika sonra $3,0 \times 10^4$ cfu/ml olarak bulunan *E.coli* sayısı, 50 mg/L TiO_2 içeren yeraltı suyunda 40 cfu/ml olarak bulunmuřtur.

KAYNAKLAR

- Akçay B. T.;** Metal Katkılı Dolgulu Kolon ve UV Kolon Kullanılarak Escherichia Coli Ve Staphylococcus Aureus Dezenfeksiyonu; Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı; 2010
- Akçay M.U., İnan H., Yiğit Z.;** İçme Suyunda Dezenfeksiyon Yan Ürünleri ve Kontrolü; 7.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam ve Teknoloji; 2007.
- Akman Y., Ketenoğlu O., Evren H., Kurt L., Düzenli S.,** Çevre Kirliliği(Çevre Biyolojisi), Palme Yayıncılık, Ankara, 2000.
- Aksoy B., Aydın M., Yıldız S.,** Klor Dioksit Teknolojisinde Kullanılan Sodyum Kloritin Kararlılığının Araştırılması, SAÜ Fen Edebiyat Dergisi, 2009.
- Alıcı Ö.,** Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler Fatih Üniversitesi Tıp Fakültesi,İnfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Ankara, 2007.
- Alkan U. ,** Çevre Mikrobiyolojisi Ders Notları, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2005.
- Aydın K.,** Ultraviyole Işımları ile Suların Dezenfeksiyonu, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2009.
- Balkaya N. ve Arslan A.,** Sulu Çözeltilerdeki Pestisitlerin Güneş Işığı Etkisiyle Bozunumu, Ekoloji Dergisi, 14, 53:18-24; 2004.
- Barrett, Sylvia; Hwang, Cordelia,** Occurrence of NDMA in Drinking Water: A North American Survey, 2001-2002. Amercian Water Works Associatio n Annual Conference, 2003.
- Bekbölet M. ve Özkösemen G.,** A preliminary investigation on the photocatalytic degradation of a humic acid, Water Science Research, 33:189-194, 1996.
- Boztoprak Y., Kahraman V., Kayaman A., Güngör A.,** Sol-jel Tekniğiyle Kapalanan Polikarbonatların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2007.
- Brinker C.J., Scherer G.W.;** Sol-Gel Science, Academic Press, San Diego, 1990.

- Choi H, Stathatos E ve Dionysion D.,** Applied Catalysis B: Enviromental 63, 60-67, 2006.
- Çınar,Ö.,** Çevre Kirliliği ve Kontrolü, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- Çolak Z.,** Anodik Oksidasyon Yöntemi ile Üretilen Titanyum Oksit Nanotüplerin Hidrojen Algılama Özelliklerinin İncelenmesi, Gebze, 2008.
- Devipriya S. ve Yesodharan S.,** Photocatalytic degradation of pesticide contaminants in water, Solar energy materials and solar cells 86/3: 309-348, 2004.
- Fujishima, A. ve Honda, K.,** Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode, Nature, 238, 37-38; 1972.
- G.Cerrato, L. Marchese ve C. Morterra,** Applied Surface Science, 70/71, 200–205, 1993.
- Gerecke, A. C. and David L. Sedlak,** Precursors of N-nitrosodimethylamine in natural waters. Environ. Sci. Technol. 37, 1331-1336, 2003.
- Graham JE, Andrews SA, Farquhar GJ, Meresz O.,** Factors affecting NDMA formation during drinking water treatment. In: Proceedings of the 1995 Water Quality Technology Conference. Denver, CO, American Water Works Association, 1996.
- Gül Ş. ,** Atık Suların Dezenfeksiyonu, Atıksu Arıtma Sistemleri, Uygulamaları ve İşletilmeleri Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, Adana, 1994
- Habibi M.H, Nasr-Esfahani M.,** Dyes and Pigments 75, 714–722, 2007.
- Harper, J.C., Egerton, T.A., Curtis, T.P. ve Gunlazardi, J.,** Effect of catalyst type on the kinetics of the electrochemical disinfection of water inoculated with E-coli, Journal of Applied Electrochemistry, 31:623-628, 2001.
- Hemissi M, Amardja-Adnani H ve Plenet J.C.,** Current Applied Physics 9, 717-721, 2009.
- Hısım S., Ayan N.,** İçme Sularının Dezenfeksiyonunda Kullanılan Klorun İnsan Sağlığına Etkileri Ve Dezenfeksiyon Esnasında Oluşan Klorlanmış Yan Ürünlerin Tayini, Antalya, 2005.
- İTATS,** İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği, T.C. Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete, No:25730, Ankara, 2005.

- Kao L H, Chien Hsu T ve Lu H.Y.**, Journal of Colloid and Interface Science 316, 160-167, 2007.
- Kim, D.H. ve Anderson, M.A.**, Photoelectrocatalytic degradation of formic acid using a porous TiO₂ thin-film electrode, Environmental Science Technology, 28:479-483, 1994.
- L. S. Dubrovinsky, N. A. Dubrovinskaia, V. Swamy, J. Muscat, N. M. Harrison, R. Ahuja, B. Holm, B. Johansson**, Nature, 410, 2001.
- Lam R. C. W, Leung M.K.H, Leung D.Y.C, Virijmoed L.L.P, Yam W.C ve Ng S.P**, Solar Energy Materials and Solar Cells 91, 54-61, 2007.
- Li, X.Z., Li, F.B., Fan, C.M. ve Sun, Y.P.**, Photoelectrocatalytic degradation of humic acid in aqueous solution using a Ti/ TiO₂ mesh photoelectrode, Water Research, 36, 2215-2224, 2002.
- Mao L.Q, Li O, Dang H ve Zhang Z.**, Materials Research Bulletin 40, 201-208, 2005.
- Matthews, R.W.**, Solar-Electric Water Purification Using Photocatalytic Oxidation with TitaniumOxide as a Stationary Phase, Solar Energy 38, 405-413, 1988.
- Mehos MS, Turchi CS**, Field Testing Solar Photocatalytic Detoxification on TCE-Contaminated Groundwater. Environ. Prog. 12:194-199; 1993.
- Meilert K.T., D. Laub, J. Kiwi;** J. Moleculer Cataly. A:Chemical, 2005.
- Metcalf & Eddy**, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 2004.
- Millon C, Riassetto D, Berthome G, Roussel F ve Langlet M**, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 189, 334-348, 2007.
- Minear R.A., Amy G.A.**, Disinfection by-products in water treatment. The chemistry of their formation and control, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1996.
- Muslu, Y.**, Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Temel Prosesler, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.
- Natura NC., Funaga N., No MG.**, Thin Solid Films, 1998.
- Özkütük N.**, Mikrodalga ve Ultraviyole ile Dezenfeksiyon Uygulamaları, Kullanım Alanları Genel Özellikleri, 2005
- Öztürk M., Saral A.;** Kimyasal Temel İşlemler; Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi; Ocak 2004.

- Palmer, P.L., Eggins, B.R. ve Coleman, H.M.**, The Effect of Operational Parameters on the Photocatalytic Degradation of Humic Acid, *Journal of Photochemistry and Photobiology A.*, 2002.
- Pelegri, R., Reyes J., Duran, N., Zamora, P.P. ve De Andrade, A.R.**, Photoelectrocatalytic Degradation of Lignin, *Journal of Applied Electrochemistry*, 30:953-8, 2000.
- Pinhedo L., Pelegri R., Bertazzoli R., Motheo A.J.**, Photoelectrochemical Degradation Of Humic Acid On A $(\text{TiO}_2)_{0.7}(\text{RuO}_2)_{0.3}$, Dimensionally Stable Anode, *Applied Catalysis B: Environmental*, 2005.
- Qian L., Hinestroza J.P.**, *J. Textile & Apparel, Technical and Management*, 2004.
- Rincon Angela-Guiovana, Pulgarin Cesar;** Effect of pH, inorganic ions, organic matter and H_2O_2 on *E. coli* K12 photocatalytic inactivation by TiO_2 Implications in solar water disinfection, 2004.
- Rook, J.J.**, Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Waters, *Water Treatment and Examination* 23, 234-243, 1974.
- Samsunlu, A.**, Çevre Mühendisliği Kimyası, SAM-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul, 1999.
- Selçuk H., Sene J.J. ve Anderson M.A.**, Photoelectrocatalytic Humic Acid Degradation Kinetics and Effect of pH, Applied Potential and Inorganic Anions, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 78:979-984, 2003.
- Selçuk H.**, Sol-gel nano particles coating and UV activation methods for the photoactive titanium dioxide film, *Advanced Oxidation Processes Conference*, 7-9, Çin-Yunanistan, 2006.
- Selçuk H., Yiğit Z., İnan H.;** 7. Ulusal Çevre Mühendisliği kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji; Su Arıtımında Nanopor Titanyum Dioksitin Fotokatalitik/Fotoelektrokatalitik Proseslerinde Kullanılması, 2007.
- Selçuk, H., J.J.Sene, M. Bekbölet, H.Z. Sarıkaya, M.A. Anderson.**, *J. Appl. Electrochem.*, 34 653-658, 2004.
- Shaphard, G.S., Stockenstrom, S., deVilliers, D., Engelbrecht, W.J. and Wessels, G.F.**, Degradation of microcystin toxins in a falling film photocatalytic reactor with immobilized titanium dioxide catalyst, *Water Research*:140-146, 2002.
- Subramanian M, Vijayalakshmi S, Venkataraj S ve Jayavel R.**, *Thin Solid Films* 516, 3776-3782, 2008.

- Şengül, F. ve Müezzinoğlu, A.**, Çevre Kimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir, 1993.
- Temiz, A.**, Genel Mikrobiyoloji Uygulama Teknikleri, Hatiboğlu Yayınevi, Ankara, 1996.
- U.S. EPA.**, Integrated Risk Information System. Office of Research and Development (ORD), National Center for Environmental Assessment; <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/search.htm>, 2002.
- Uslu, O., Türkman, A.**, Su Kirliliği ve Kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi-I, Ankara, 1987.
- Venkatachalam N, Palanichamy M ve Murugesen V.**, Materials Chemistry and Physics 104, 454-459, 2007.
- Vinodgopal, K., Stafford, U., Gray, K. A. ve Kamat, P.V.**, Electrochemically assisted photocatalysis, 2. The role of oxygen and reaction intermediates in the degradation of 4- chlorophenol on immobilized TiO₂ films, Journal of Physical Chemistry, 98:6797-6803, 1994.
- Woters M.E.L., Wolfs D.P., Van der Linde M.C., Hovens J.H.P., Tinnemans A.H.A.**; Transparent UV Curable Antistatic Hybrid Coatings on Polycarbonate Prepared by the Sol-Gel Method, **Progress in Organic Coatings**, 51, 312-320, 2004.
- Y. G. Borodko, L. Ioffe, T. Halachev, P. Bosch, A. Cuan, I. N. Ivleva, Y. M. Shulga**, Materials Chemistry and Physics, 58, 199-203, 1999.
- Yang F., F.S. Hong, W.J. You, C. Liu, F.Q. Gao, C. Wu, P. Yang**, Biol. Trace Elem. Res. **110**, 179-190, 2006.
- Yavich A.A., Lee K.-H., Chen K.-Ch., Pape L., Masten S.J.**, Evaluation of biodegradability of NOM after ozonation, Wat. Res. 38, 2839-2846, 2004.
- Yazıcı Ö.**, Katekolün Fe⁺³ İyonları ile Katkılandırılmış TiO₂ Beraberindeki Fotokatalitik Degradasyon Kinetiğinin İncelenmesi, İstanbul, 2006.
- Yiğit Z.**, Fotokatalitik Arıtmanın Doğal Organik Madde Karakterizasyonu ve Dezenfeksiyon Yan Ürünlerine Etkisi, 2008.
- Yuranova T, Mosteao R, Bandara J, Laub D ve Kiwi J.**, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 244, 160-167, 2006.

Zanoni, M.V.B, Sene, J. J. ve Anderson, M. A., Photoelectrocatalytic degradation of remazol brilliant orange 3R on titanium dioxide thin-film electrodes, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 157:55-63, 2003.

Zhang X., L. Lei, *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2) 827-833, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Yasemin

Soyadı: CEYHAN

T.C. Kimlik No: 50509460492

Doğum Tarihi: 04.04.1986

Doğum Yeri: Aliğa - İZMİR

Adres: Yunus Emre Mah. 6459 Sokak Armağan Apt. No:16 D:18 Kınıklı/DENİZLİ

Lisans Üniversite/Bölüm: Uludağ Üniversitesi – Çevre Mühendisliği

Cep Tel: 0555 858 65 42

e-posta Adresi: yceyhanuludag@hotmail.com

