



**EVSEL ATIKSULARIN SOLAR VE UV IŒIĐINA  
DAYALI İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE  
DEZENFEKSİYONU**

**Burcu ŒENGÜL TOPAÇ**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL ATIKSULARIN SOLAR VE UV IŞIĞINA DAYALI  
İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE  
DEZENFEKSİYONU**

**Burcu ŞENGÜL TOPAÇ**

Prof.Dr. Ufuk ALKAN  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2016


**Her hakkı saklıdır.**

## TEZ ONAYI


Burcu ŞENGÜL TOPAÇ tarafından hazırlanan “Evsel Atıksuların Solar ve UV Işığına Dayalı İleri Oksidasyon Prosesleri ile Dezenfeksiyonu” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof.Dr. Ufuk ALKAN

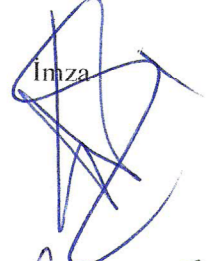
**Başkan :** Prof.Dr.Ufuk ALKAN  
Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye :** Prof.Dr.Ali Savaş KOPARAL  
Anadolu Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye :** Prof.Dr.Yücel TAŐDEMİR  
Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye :** Yrd.Doç.Dr.Arzu TEKSOY  
Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye :** Yrd.Doç.Dr.AŐkın BİRGÜL  
Bursa Teknik Üniversitesi  
Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.**

  
**Prof.Dr. Ali Osman DEMİR**  
Enstitü Müdürü  
13/05/2016

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
  - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
  - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
  - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

**23/04/2016**

**Burcu ŞENGÜL TOPAÇ**

## ÖZET

Doktora Tezi

### EVSEL ATIKSULARIN SOLAR VE UV IŞIĞINA DAYALI İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE DEZENFEKSİYONU

**Burcu ŞENGÜL TOPAÇ**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof.Dr. Ufuk ALKAN

Bu çalışmada, UV ve güneş ışığına dayalı ileri oksidasyon prosesleri ile evsel atıksulardan mikroorganizma giderimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan prosesler, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/TiO<sub>2</sub>, Solar/TiO<sub>2</sub> ve Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'dir. Deneyler, UV-C lambası, solar simülatör ve doğal güneş ışığı ile gerçekleştirilmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu (10 ve 65 mg/L), TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (solar için 75 ve 500 mg/L; UV için 1 ve 9 mg/L), pH (5 ve 7), AKM konsantrasyonu (0 mg/L ve 60 mg/L), organik madde konsantrasyonu (90 ve 430 mg/L) parametrelerinin ve karıştırmanın, evsel atıksu dezenfeksiyonuna etkisi incelenmiştir. Kullanılan test mikroorganizmaları, *E.coli* ve *B.subtilis* sporlarıdır. *B.subtilis* sporları, sadece UV ışığına dayalı proseslerde kullanılmıştır.

UV ışığına dayalı proseslerde, güneş ışığına dayalı proseslere göre daha fazla *E.coli* giderimi elde edilmiştir. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen en yüksek giderim değeri 3,60-log olup, UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen en yüksek giderim değeri 5,22-log'a ulaşmıştır. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen en yüksek giderim değeri 4,47-log olup, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen en yüksek giderim değeri 4,64-log'a ulaşmıştır.

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV/TiO<sub>2</sub> proseslerinin, *E.coli* gideriminde, *B.subtilis* sporları giderimine göre daha etkili olduğu görülmüştür. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, hem *E.coli* hem de *B.subtilis* sporları için, karıştırmalı şartlarda, karıştırmasız şartlara göre daha yüksek giderim verimlerine ulaşılmıştır. Saha çalışmalarında ise solar/TiO<sub>2</sub> prosesi kullanılmış ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve yüksek akış hızları ile daha fazla giderim elde edildiği saptanmıştır.

Sonuç olarak, UV ve güneş ışığına dayalı ileri oksidasyon proseslerinin evsel atıksu dezenfeksiyonunda etkili olduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Evsel atıksu, Dezenfeksiyon, Güneş ışığı, UV, İleri oksidasyon

**2016, xvi + 258 sayfa.**

## ABSTRACT

PhD Thesis

### DISINFECTION OF DOMESTIC WASTEWATERS BY UV AND SOLAR BASED ADVANCED OXIDATION PROCESSES

**Burcu ŞENGÜL TOPAÇ**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Prof.Dr. Ufuk ALKAN

In this study, the removal of microorganisms from domestic wastewaters by UV-based and solar-based advanced oxidation processes was investigated. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/TiO<sub>2</sub>, Solar/TiO<sub>2</sub> and Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes were studied within the scope of this study. Experiments were carried out with UV-C light, solar simulator and field solar light. The effects of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration (10 and 65 mg/L), TiO<sub>2</sub> concentration (75 and 500 mg/L for solar processes; 1 and 9 mg/L for UV processes), pH (5 and 7), suspended solid concentration (0 and 60 mg/L), organic matter concentration (90 and 430 mg/L) and mixing on domestic wastewater disinfection efficiency were examined. *E.coli* and *B.subtilis* spores were used as test microorganisms. *B.subtilis* spores were only used in UV-based processes.

Higher log removals were obtained by UV-based processes compared to solar-based processes. The highest log removal value obtained with solar/TiO<sub>2</sub> process was 3,60-log and the highest log removal value reached with UV/TiO<sub>2</sub> process was 5,22-log. The highest log removal value obtained with solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process was 4,47-log and the highest log removal value reached with UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process was 4,64-log.

It was shown that both UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/TiO<sub>2</sub> processes were more effective for *E.coli* removal than that for *B.subtilis* spores removal. Higher log removal values were obtained with mixing conditions for both *E.coli* and *B.subtilis* spores by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. Solar/TiO<sub>2</sub> process was also performed in the field and it was determined that higher log removals were obtained with high TiO<sub>2</sub> concentrations and high flow rates.

As a result, it was concluded that UV-based and solar-based advanced oxidation processes were effective on domestic wastewater disinfection.

**Key Words:** Domestic wastewater, Disinfection, Solar light, UV, Advanced oxidation

**2016, xvi + 258 pages.**



*Beni bugünlere getiren aileme..*

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, her zaman desteğini gördüğüm değerli hocam Prof.Dr. Ufuk ALKAN'a; tez izleme komitesindeki hocalarım Prof.Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA ve Prof.Dr. Ali Savaş KOPARAL'a; tez çalışmam süresince karşılaştığım problemlerin çözümünde bilgisini esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Arzu TEKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca, her birinin bilgisinden faydalandığım, beni yetiştiren, her zaman desteklerini gördüğüm Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çocukluğumdan beri maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana huzurlu ve mutlu bir ortam sağlayan, benim için her fedakarlığı yapan, her zaman yanımda olan, bana güç veren, babam Rafet ŞENGÜL'e, annem Ayla ŞENGÜL'e, kardeşim Gülizar ERDEM'e, eşi Sinan ERDEM'e, ailemizin en küçük üyesi Ahmet Burak ERDEM'e teşekkür ederim.

Bana her zaman her konuda destek olan, mikrobiyoloji bilgisini benimle paylaşan, laboratuvar çalışmalarımdayardımcı olan sevgili eşim Tuncay TOPAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmaları ve tez yazımı konusunda tecrübelerini benimle paylaşan, önerilerde bulunan, bu stresli dönemde bana destek olan değerli arkadaşım Gizem EKER'e ve uzun zaman görüşmesekte hep desteğini hissettiğim, motivasyonumu arttıran değerli arkadaşım Bilge TOKAT'a teşekkür ederim.

Ön denemelerimde bana yardımcı olan ve güzel sohbetlerini çok özlediğim Nesrin DENİZLİ'ye, saha çalışmalarımdayardımcı olan Ebru KARAKAŞLI'ya ve laboratuvar çalışmalarımdayardımcı olan bölümümüz lisans öğrencilerine teşekkür ederim.

Tez Projemi (KUAP-M-2012/51) destekleyerek bana maddi olanak sağlayan Uludağ Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na ve adımı buraya yazamadığım, bir şekilde bu tez çalışmasına katkısı bulunan herkese teşekkür ederim.

Burcu ŞENGÜL TOPAÇ  
23/04/2016



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	4
2.1. Evsel Atıksuların Özellikleri .....	4
2.1.1. Evsel Atıksuların Fiziksel Özellikleri .....	5
2.1.2. Evsel Atıksuların Kimyasal Özellikleri .....	8
2.1.3. Evsel Atıksuların Mikrobiyolojik Özellikleri .....	13
2.2. Atıksulardaki patojenler ve atıksulardan kaynaklanan hastalıklar .....	16
2.2.1. Bakteriyel patojenler .....	17
2.2.2. Viral patojenler .....	19
2.2.3. Protozoalar .....	20
2.2.4. Helmintler .....	21
2.2.5. İndikatör mikroorganizmalar .....	23
2.2.6. Uluslararası ve ulusal mikrobiyal standartlar .....	28
2.3. Atıksuların Dezenfeksiyonu .....	34
2.3.1. Atıksu dezenfeksiyonunun önemi .....	34
2.3.2. Dezenfeksiyon yöntemleri .....	35
2.3.2.1. Klasik yöntemler .....	35
2.3.2.2. İleri oksidasyon yöntemleri .....	40
2.3.3. UV ışığa dayalı yöntemler .....	54
2.3.3.1. UV ışığının özellikleri .....	54
2.3.3.2. UV ışığının elde edilmesi ve UV reaktörleri .....	55
2.3.3.3. UV ışığı prosesi .....	58
2.3.3.4. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi .....	59
2.3.3.5. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi .....	62
2.3.4. Güneş ışığına dayalı yöntemler ile dezenfeksiyon .....	66
2.3.4.1. Güneş ışığının özellikleri .....	66
2.3.4.2. Güneş ışığı prosesi (Solar dezenfeksiyon-SODIS) .....	71
2.3.4.3. Fotokatalitik yöntemler .....	73
2.3.4.3.1. Homojen fotokataliz (Fenton/Foto-fenton prosesleri) .....	73
2.3.4.3.2. Heterojen fotokataliz (Solar/TiO <sub>2</sub> ) .....	74
2.3.4.4. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi .....	76
2.3.4.5. Fotosensitizasyon .....	80
2.3.4.6. Solar reaktörler .....	82
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	84
3.1. Materyal .....	84
3.1.1. Sentetik evsel atıksuyun hazırlanması .....	84
3.1.2. Bulanıklık çözeltisinin hazırlanması .....	84
3.1.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan diğer kimyasal maddeler .....	85
3.1.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar .....	85
3.1.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan reaktörler ve ışık kaynakları .....	86

3.1.5.1. Sirkülasyonlu solar reaktör (laboratuvar ölçekli).....	86
3.1.5.2. CPC solar reaktör (pilot ölçekli) .....	88
3.1.5.3. UV reaktörü .....	90
3.1.5.4. Solar simülatör .....	90
3.1.6. İndikatör mikroorganizmaların seçimi .....	92
3.2. Yöntem .....	93
3.2.1. Bakteri süspansiyonlarının hazırlanması.....	93
3.2.2. Mikroorganizma sayılarının belirlenmesi ve mikroorganizmaların doğrulanması .....	95
3.2.3. Deneysel dizayn .....	96
3.2.4. Deneysel yöntem.....	101
3.2.4.1. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi .....	101
3.2.4.2. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi.....	101
3.2.4.3. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi.....	102
3.2.4.4. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesi .....	102
3.2.5. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin belirlenmesi.....	103
3.2.6. Hesaplamalar .....	103
3.2.6.1. UV dozunun hesaplanması .....	103
3.2.6.2. Aydınlanma süresinin hesaplanması .....	104
3.2.6.3. Kümülatif UV-A miktarının hesaplanması.....	104
3.2.6.4. Mikroorganizma gideriminin hesaplanması .....	105
3.2.6.5. İstatistiksel analizler .....	105
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	106
4.1. Güneş Işığına Dayalı Dezenfeksiyon Çalışmaları .....	106
4.1.1. Solar simülatör ile gerçekleştirilen solar/TiO <sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları.....	107
4.1.1.1. Etkili TiO <sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi.....	108
4.1.1.2. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine ait Box-Behnken deneysel dizayn sonuçları.....	110
4.1.1.3. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine TiO <sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi.....	124
4.1.1.4. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine pH'ın etkisi .....	127
4.1.1.5. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi.....	130
4.1.2. Solar simülatör ile gerçekleştirilen solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları.....	134
4.1.2.1. Etkili H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi .....	134
4.1.2.2. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları.....	136
4.1.2.3. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi.....	153
4.1.2.4. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine AKM konsantrasyonunun etkisi.....	155
4.1.2.5. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi.....	158
4.1.3. Sahada gerçekleştirilen solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ve solar/TiO <sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları..	161
4.2. UV Işığına Dayalı Dezenfeksiyon Çalışmaları.....	176
4.2.1. <i>E.coli</i> ile gerçekleştirilen UV/TiO <sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları .....	176
4.2.1.1. Etkili TiO <sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi.....	176
4.2.1.2. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine ait Box-Behnken deneysel dizayn sonuçları .....	178
4.2.1.3. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine TiO <sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi.....	191
4.2.1.4. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine pH'ın etkisi .....	193
4.2.1.5. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi .....	196
4.2.1.6. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisi .....	198
4.2.2. <i>B.subtilis</i> sporları ile gerçekleştirilen UV/TiO <sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları .....	203
4.2.3. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi ile <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları gideriminin karşılaştırılması..	205
4.2.4. <i>E.coli</i> ile gerçekleştirilen UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları .....	206

4.2.4.1. Etkili H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi .....	206
4.2.4.2. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları .....	207
4.2.4.3. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi .....	219
4.2.4.4. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine AKM konsantrasyonunun etkisi .....	222
4.2.4.5. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi .....	224
4.2.4.6. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisi.....	227
4.2.5. <i>B.subtilis</i> sporları ile gerçekleştirilen UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları ....	233
4.2.5.1. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisi.....	234
4.2.6. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi ile <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları gideriminin karşılaştırılması .	238
4.2.7. Uygulanan proseslerin karşılaştırılması .....	241
4.2.7.1. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ve UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması.....	241
4.2.7.2. Solar/TiO <sub>2</sub> ve UV/TiO <sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması .....	241
4.2.7.3. Solar/TiO <sub>2</sub> ve Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması.....	243
4.2.7.4. UV/TiO <sub>2</sub> ve UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması.....	245
4.2.7.5. UV/TiO <sub>2</sub> ve UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin <i>B.subtilis</i> sporları için karşılaştırılması .	247
5. SONUÇ .....	248
KAYNAKLAR.....	250
ÖZGEÇMİŞ.....	258

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
A	Absorbans
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Amonyum Azotu
N <sub>0</sub>	Başlangıç Mikroorganizma Sayısı
λ	Dalgaboyu
Fe <sup>+2,+3</sup>	Demir
ν	Frekans
N <sub>t</sub>	Herhangi Andaki Mikroorganizma Sayısı
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit
OH•	Hidroksil Radikali
Q	Işık Dozu
c	Işık Hızı
I	Işık Yoğunluğu
k	İnaktivasyon Katsayısı
μW/cm <sup>2</sup>	Mikrowatt/santimetrekare
mWs/cm <sup>2</sup>	Miliwattsaniye/santimetrekare
mJ/cm <sup>2</sup>	Milijoule/santimetrekare
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Nitrat Azotu
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Nitrit Azotu
h	Planck Sabiti
S	Sensitizer
S*	Uyarılmış Haldeki Sensitizer
<sup>1</sup> O <sub>2</sub>	Tekli (Singlet) Oksijen
O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Süperoksit İyonu
O <sub>2</sub> <sup>•-</sup>	Süperoksit Radikali
TiO <sub>2</sub>	Titanyum Dioksit
W/m <sup>2</sup>	Watt/metrekare
°K	Kelvin
°C	Santigrat
°N	Kuzey Enlemleri

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ATCC	American Type Culture Collection
SASP	Asitte Çözünebilir Küçük Spor Proteinleri
CPC	Birleşik Parabolik Kollektör
EPA	Çevre Koruma Ajansı
ÇOK	Çözünmüş Organik Karbon
DNA	Deoksiribonükleik Asit
SANDEC	Department of Water and Sanitation in Developing Countries
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

DPA	Dipikolinik Asit
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
FC	Fekal Koliform
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
HPC	Heterotrophic Plate Count
İOP	İleri Oksidasyon Prosesleri
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
CFU	Koloni Oluşturan Birim
CoA	KoenzimA
PTC	Konsantre Edici Kollektör
LED	Light Emitting Diode
ORP	Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli
OY	Optik Yoğunluk
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCA	Plate Count Agar
PET	Polietilen Tereftalat
PTFE	Politetrafluoroetilen
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
RNA	Ribonükleik Asit
SODIS	Solar Dezenfeksiyon
SF	Spor Foto Ürünleri
EAWAG	Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
TC	Toplam Koliform
TOK	Toplam Organik Karbon
TTC	2,3,5-Triphenyltetrazoliumchloride
TSA	Tryptic Soy Agar
US	Ultrasound
UV	Ultraviyole
VUV	Vakum Ultraviyole

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Evsel atıksuların bileşenleri.....	4
Şekil 2.2. Ham atıksulardaki katı maddelerin yaklaşık konsantrasyon dağılımı.....	6
Şekil 2.3. Enterik virüslerin su yolu ile taşınması .....	20
Şekil 2.4. Spor yapısı .....	27
Şekil 2.5. Hidroksil radikalının bazı karakteristik özellikleri .....	45
Şekil 2.6. Fotooksidasyon reaksiyonları .....	46
Şekil 2.7. TiO <sub>2</sub> katalizli UV oksidasyonunun şematik reaksiyon mekanizması .....	51
Şekil 2.8. Elektromanyetik güneş spektrumu .....	67
Şekil 2.9. Yeryüzüne ulaşan solar radyasyonun dağılımı .....	67
Şekil 2.10. İl bazlı güneş enerjisi potansiyel atlası.....	70
Şekil 2.11. Türkiye global radyasyon değerleri.....	70
Şekil 2.12. Türkiye güneşlenme süreleri.....	71
Şekil 2.13. Fotodinamik inaktivasyonun şekilsel gösterimi.....	81
Şekil 3.1. Sirkülasyonlu solar reaktör .....	87
Şekil 3.2. CPC solar reaktör .....	89
Şekil 3.3. UV reaktörü .....	90
Şekil 3.4. Solar simülatöre ait spektrum dağılımı .....	91
Şekil 3.5. Solar simülatör .....	92
Şekil 3.6. <i>E. coli</i> için büyüme eğrisi .....	94
Şekil 3.7. <i>E. coli</i> kolonileri.....	95
Şekil 3.8. <i>Bacillus subtilis</i> kolonileri .....	96
Şekil 4.1. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesi için etkili TiO <sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi .....	108
Şekil 4.2. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler.....	112
Şekil 4.3. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı .....	116
Şekil 4.4. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesinde logaritmik mikroorganizma giderimi için beklenen ve gözlenen değerlerin karşılaştırılması .....	120
Şekil 4.5. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesinde kalıntılar için normal olasılık dağılımı .....	121
Şekil 4.6. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesinde kalıntılar-model değerler grafiği .....	122
Şekil 4.7. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesinde logaritmik mikroorganizma giderimi için yanıt yüzeyi ve kontur grafiği .....	123
Şekil 4.8. KOİ: 90 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	125
Şekil 4.9. KOİ: 260 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	125
Şekil 4.10. KOİ: 260 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	126
Şekil 4.11. KOİ: 430 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	126
Şekil 4.12. KOİ: 90 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 287,5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'in prosese etkisi .....	128
Şekil 4.13. KOİ: 260 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 75 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'in prosese etkisi .....	129
Şekil 4.14. KOİ: 260 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 500 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'in prosese etkisi .....	129

Şekil 4.15. KOİ: 430 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 287,5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi .....	130
Şekil 4.16. TiO <sub>2</sub> : 75 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	131
Şekil 4.17. TiO <sub>2</sub> : 287,5 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	132
Şekil 4.18. TiO <sub>2</sub> : 287,5 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	132
Şekil 4.19. TiO <sub>2</sub> : 500 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	133
Şekil 4.20. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için etkili H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi .....	135
Şekil 4.21. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler .....	138
Şekil 4.22. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı.....	141
Şekil 4.23. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait çoklu model için standardize etkiler normal dağılım grafiği .....	143
Şekil 4.24. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait çoklu model için pareto grafiği.....	143
Şekil 4.25. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait logaritmik mikroorganizma giderimi için beklenen ve gözlenen değerlerin karşılaştırılması.....	145
Şekil 4.26. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar için normal dağılım grafiği.....	146
Şekil 4.27. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar-model değerler grafiği.....	146
Şekil 4.28. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait logaritmik mikroorganizma giderimi için ana etkiler-etkileşim grafiği.....	147
Şekil 4.29. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	153
Şekil 4.30. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	154
Şekil 4.31. KOİ: 430 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	154
Şekil 4.32. KOİ: 430 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	155
Şekil 4.33. KOİ: 90 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	156
Şekil 4.34. KOİ: 90 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	156
Şekil 4.35. KOİ: 430 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	157
Şekil 4.36. KOİ: 430 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	157
Şekil 4.37. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	158
Şekil 4.38. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	159
Şekil 4.39. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	159
Şekil 4.40. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	160
Şekil 4.41. Küçük koloniler (30 dk.- 90 dk.- 180 dk. - 240 dk.) .....	172

Şekil 4.42. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için etkili TiO <sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi.....	177
Şekil 4.43. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler.....	180
Şekil 4.44. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı.....	184
Şekil 4.45. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için beklenen ve gözlenen değerlerin karşılaştırılması...	187
Şekil 4.46. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar için normal olasılık dağılımı.....	188
Şekil 4.47. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar-model değerler grafiği.....	188
Şekil 4.48. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için yanıt yüzeyi ve kontur grafiği .....	190
Şekil 4.49. KOİ: 90 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	191
Şekil 4.50. KOİ: 260 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	192
Şekil 4.51. KOİ: 260 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	192
Şekil 4.52. KOİ: 430 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	193
Şekil 4.53. KOİ: 90 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi .....	194
Şekil 4.54. KOİ: 260 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi .....	194
Şekil 4.55. KOİ: 260 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 9 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi .....	195
Şekil 4.56. KOİ: 430 mg/L ve TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi .....	195
Şekil 4.57. TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	196
Şekil 4.58. TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	197
Şekil 4.59. TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	197
Şekil 4.60. TiO <sub>2</sub> : 9 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	198
Şekil 4.61. KOİ: 90 mg/L, pH:5 ve TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması.....	200
Şekil 4.62. KOİ: 90 mg/L, pH:7 ve TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması.....	200
Şekil 4.63. KOİ: 90 mg/L, pH:6 ve TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması.....	201
Şekil 4.64. KOİ: 260 mg/L, pH:6 ve TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması .....	201
Şekil 4.65. KOİ: 260 mg/L, pH:5 ve TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması .....	202
Şekil 4.66. KOİ: 260 mg/L, pH:7 ve TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması .....	202
Şekil 4.67. <i>B.subtilis</i> sporları ile gerçekleştirilen UV/TiO <sub>2</sub> deneylerinin karşılaştırılması .....	204
Şekil 4.68. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler .....	209



Şekil 4.69. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı .....	212
Şekil 4.70. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait mikroorganizma giderimi için ana etkiler-etkileşim grafiği.....	214
Şekil 4.71. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	220
Şekil 4.72. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	220
Şekil 4.73. KOİ: 430 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	221
Şekil 4.74. KOİ: 430 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	221
Şekil 4.75. KOİ: 90 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	222
Şekil 4.76. KOİ: 90 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	223
Şekil 4.77. KOİ: 430 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	223
Şekil 4.78. KOİ: 430 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	224
Şekil 4.79. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	225
Şekil 4.80. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	225
Şekil 4.81. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	226
Şekil 4.82. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi .....	226
Şekil 4.83. KOİ: 90 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi .....	231
Şekil 4.84. KOİ: 430 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi .....	231
Şekil 4.85. AKM: 0 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi.....	232
Şekil 4.86. AKM: 60 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi.....	232
Şekil 4.87. <i>B.subtilis</i> sporları ile gerçekleştirilen UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> deneylerinin karşılaştırılması .....	234
Şekil 4.88. KOİ: 90 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L için karıştırmanın etkisi .....	236
Şekil 4.89. KOİ: 430 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L için karıştırmanın etkisi .....	236
Şekil 4.90. AKM: 0 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L için karıştırmanın etkisi .....	237
Şekil 4.91. AKM: 60 mg/L ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 65 mg/L için karıştırmanın etkisi .....	237
Şekil 4.92. Karıştırmalı UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi ile <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları giderimi ....	240
Şekil 4.93. Karıştırmaz UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi ile <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları giderimi..	240

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Nihai BOI/BOI <sub>5</sub> oranı için tipik değerler.....	10
Çizelge 2.2. Çeşitli sularda azot formlarının relatif dağılımı.....	11
Çizelge 2.3. Evsel atıksuların bileşenleri.....	13
Çizelge 2.4. Evsel atıksularda bulunan mikroorganizmaların konsantrasyonları.....	14
Çizelge 2.5. Arıtılmamış atıksularda bulunan mikroorganizma konsantrasyonları ve enfeksiyöz dozları.....	15
Çizelge 2.6. İkincil arıtma çıkış suyunda yaygın olarak bulunan patojen seviyeleri.....	15
Çizelge 2.7. Su ile ilişkili hastalıkların sınıflandırılması.....	16
Çizelge 2.8. Patojenik bakteri türleri ve sebep olduğu hastalıklar.....	18
Çizelge 2.9. Bazı virüsler, sebep oldukları hastalıklar ve belirtileri.....	19
Çizelge 2.10. Bazı patojenik protozoa türleri, sebep oldukları hastalıklar, etkiledikleri organ ve bulunduğu kaynaklar.....	21
Çizelge 2.11. Bazı patojenik helmint türleri, sebep olduğu hastalıklar ve etkilediği organ.....	23
Çizelge 2.12. Kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre parametreler.....	29
Çizelge 2.13. Evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları.....	30
Çizelge 2.14. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması.....	31
Çizelge 2.15. Avrupa Birliği kentsel atıksu arıtma tesislerinden deşarj standartları.....	32
Çizelge 2.16. Arıtılmış atıksuların tarımda kullanılmasında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen mikrobiyolojik standartlar.....	33
Çizelge 2.17. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasında Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından önerilen mikrobiyolojik standartlar.....	33
Çizelge 2.18. Çeşitli arıtma proseslerinin bakteri giderim yüzdeleri.....	36
Çizelge 2.19. Atıksu dezenfeksiyonu için klor, klor dioksit, ozon ve UV radyasyonunun avantajları ve dezavantajları.....	38
Çizelge 2.20. Bazı türlerin oksidasyon potansiyelleri.....	44
Çizelge 2.21. İleri oksidasyon proseslerinin faza göre sınıflandırılması.....	48
Çizelge 2.22. İOP'lerin ışık enerjisi kullanımına göre sınıflandırılması.....	48
Çizelge 2.23. İOP teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları.....	53
Çizelge 2.24. PTC ve düz plaka reaktörlerin avantaj ve dezavantajları.....	83
Çizelge 3.1. Sentetik evsel atıksuyun bileşimi.....	84
Çizelge 3.2. UV-C ile gerçekleştirilen prosesler için kullanılan deneysel şartlar.....	97
Çizelge 3.3. Güneş ışığı ile gerçekleştirilen prosesler için kullanılan deneysel şartlar.....	97
Çizelge 3.4. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynı.....	98
Çizelge 3.5. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynı.....	99
Çizelge 3.6. Solar/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizayn.....	99
Çizelge 3.7. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizayn.....	100
Çizelge 3.8. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için deneysel dizaynı.....	100
Çizelge 3.9. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için deneysel dizaynı.....	100
Çizelge 4.1. Laboratuvarında gerçekleştirilen güneş ışığına dayalı dezenfeksiyon proseslerinde temas sürelerine karşılık gelen kümülatif UV-A dozları.....	108
Çizelge 4.2. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.....	110
Çizelge 4.3. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre elde edilen sonuçlar.....	111
Çizelge 4.4. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine ait kuadratik modelin ANOVA tablosu.....	117
Çizelge 4.5. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin ANOVA tablosu.....	118

Çizelge 4.6. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin son hali için hesaplanan regresyon katsayıları .....	119
Çizelge 4.7. Solar/TiO <sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin son hali için ANOVA tablosu...	119
Çizelge 4.8. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.....	136
Çizelge 4.9. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları.....	137
Çizelge 4.10. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait çoklu model için ANOVA tablosu.....	142
Çizelge 4.11. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait lineer model için hesaplanan regresyon katsayıları .....	144
Çizelge 4.12. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin ANOVA tablosu .....	144
Çizelge 4.13. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri .....	148
Çizelge 4.14. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi sonrası kalan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> değerleri.....	150
Çizelge 4.15. TiO <sub>2</sub> Fotokatalizi ile elde edilen sonuçlar.....	164
Çizelge 4.16. <i>B.Subtilis</i> sporları ile elde edilen sonuçlar.....	167
Çizelge 4.17. Farklı besiyerlerinde elde edilen sonuçlar .....	173
Çizelge 4.18. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.....	178
Çizelge 4.19. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre elde edilen sonuçlar .....	179
Çizelge 4.20. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine ait kuadratik modelin ANOVA tablosu.....	185
Çizelge 4.21. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine ait lineer + ikili etkileşim modeli için hesaplanan regresyon katsayıları .....	186
Çizelge 4.22. UV/TiO <sub>2</sub> prosesine ait lineer + ikili etkileşim modeli için ANOVA tablosu .....	186
Çizelge 4.23. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için yavaş ve hızlı karıştırma deney sonuçları .....	199
Çizelge 4.24. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi için hızlı ve yavaş karıştırma etkisinin karşılaştırılması .....	199
Çizelge 4.25. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi ile elde edilen sonuçlar .....	203
Çizelge 4.26. UV/TiO <sub>2</sub> prosesi ile <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları gideriminin karşılaştırılması.....	206
Çizelge 4.27. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.....	207
Çizelge 4.28. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları .....	208
Çizelge 4.29. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesine ait ANOVA tablosu.....	213
Çizelge 4.30. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ve sadece UV prosesleri için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri .....	215
Çizelge 4.31. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi sonrası kalan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> değerleri .....	218
Çizelge 4.32. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için karıştırmalı ve karıştırmaz deney sonuçları .....	227
Çizelge 4.33. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için karıştırmanın etkisinin karşılaştırılması .....	227
Çizelge 4.34. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (karıştırmaz) prosesi için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri .....	229
Çizelge 4.35. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (karıştırmaz) prosesi sonrası kalan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> değerleri.....	230
Çizelge 4.36. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi ile elde edilen sonuçlar.....	233
Çizelge 4.37. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için karıştırmalı ve karıştırmaz deney sonuçları .....	235
Çizelge 4.38. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için karıştırmanın etkisinin karşılaştırılması .....	235
Çizelge 4.39. Karıştırmalı ve karıştırmaz UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi ile <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları gideriminin karşılaştırılması .....	238
Çizelge 4.40. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için karıştırmalı şartlarda <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporlarının gideriminin karşılaştırılması.....	239

Çizelge 4.41. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi için karıştırmasız şartlarda <i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporlarının gideriminin karşılaştırılması.....	239
Çizelge 4.42. Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ve UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması.....	241
Çizelge 4.43. Solar/TiO <sub>2</sub> ve UV/TiO <sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması.....	242
Çizelge 4.44. Solar/TiO <sub>2</sub> ve Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması.....	244
Çizelge 4.45. UV/TiO <sub>2</sub> ve UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin <i>E.coli</i> için karşılaştırılması.....	246
Çizelge 4.46. UV/TiO <sub>2</sub> ve UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> proseslerinin <i>B.subtilis</i> sporları için karşılaştırılması.....	247



## 1.GİRİŞ

Günümüzde hızlı nüfus artışı, yaşam standartlarının yükselmesi, tüketimin artmasıyla birlikte evsel kaynaklı çevre kirlenmesi problemi giderek artmaktadır. Bu artışla birlikte su kaynaklarının kirlenme potansiyeli artmakta ve az olan su kaynakları daha da azalmaktadır. Bu sebeple atıksuyun, alıcı ortama deşarjından önce kirletici parametrelerinin, deşarj edildikleri alıcı ortamların kullanım özelliklerini engellemeyecek şekilde arıtılmaları gerekmektedir. Halk sağlığının korunabilmesi için atıksuların arıtılmasından sonra dezenfeksiyon işlemleri uygulanarak atıksuda bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmaların yok edilmesi de gerekmektedir.

Kentleşme ve nüfus artışı ile su kaynaklarına ihtiyacın artması sonucunda arıtılmış atıksuların geri kazanımı önem kazanmış ve alternatif bir su temin kaynağı haline gelmiştir. Ayrıca, atıksu geri kazanımı, yüzeysel sulara deşarj edilecek atıksuların miktarının azalmasını sağladığı içinde önem taşımaktadır. Geri kazanılmış atıksular, tarımsal sulamada, park ve bahçe sulamada, soğutma ve proses suyu olarak endüstride, yeraltı suyu beslemede, gölet ve havuzlarda, balık üretim tesislerinde ve yangın söndürme, araç yıkama gibi farklı amaçlarla kullanılabilir. Geri kazanımda, kullanım amacına uygun ve çevre ve insan sağlığı için güvenli su kalitesinin sağlanması temel hedeftir. Hatta, kullanım amacının ne olduğuna bakılmaksızın, en kritik arıtım amacı patojen inaktivasyonudur. Bu nedenle, bir veya birden fazla teknolojiyi kullanarak gerçekleştirilen dezenfeksiyon uygulamaları, geri kazanımda önemli bir bölümü oluşturmaktadır (Anonim 2012, Miller 2006).

WHO raporlarına göre, 50'den fazla ülkede kolera vakaları rapor edilmektedir. Sadece ishal vakaları, her yıl 1,5 milyon insanın ölümünden sorumludur. Salgınların % 58'inin veya yılda 842 000 ölüm vakasının, güvensiz su temini ve yetersiz hijyene dayandığı tahmin edilmektedir. Özellikle, gelişmekte olan ülkelerde, beş yaş altındaki 361 000 çocuğun ölümünden sorumludur. Bu hastalıkların çoğu, güvenli su kaynaklarına erişimin sağlanması ve daha iyi ve yeterli hijyen ve sanitasyon uygulamaları ile önlenir. Tüm bu anlatılanlar değerlendirildiğinde, dezenfeksiyonun önemi ortadadır (Anonim 2016).

Giderek artan çevre kirliliği ile mücadele, şüphesiz ki, 21.yüzyılda, en temel amaçlardan biridir. Farklı kaynaklarla kirlenmiş suların detoksifikasyonu ve dezenfeksiyonu için, toplum tarafından artan talep ve oldukça ağır yasal düzenlemelerin uygulanmaya başlanması, son yıllarda, yeni ve daha etkili su arıtma teknolojilerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. İnsan kaynaklı kirleticiler içeren sular, birçok durumda, biyolojik yöntemler, adsorpsiyon veya flokülasyon, filtrasyon, klorlama, ozonlama gibi klasik fiziksel ve kimyasal yöntemlerle etkili bir biçimde arıtılabilmektedir. Bunun yanında, bazı durumlarda, bu prosesler istenen seviyelerde arıtım sağlamakta yetersiz kalabilmektedir. Temiz, sağlıklı ve yeşil bir çevreye sahip olmak için, taşınması güvenli, ekonomik ve doğa dostu yaklaşımların araştırılmasına acil ihtiyaç vardır. Herşeyden önemlisi, uygulanan arıtma yöntemi, hiçbir durumda, çevreye zararlı olmamalıdır. Klasik yöntemlerin yüksek maliyet, kanserojenik ve mutajenik yan ürün oluşumu, eğitilmiş eleman gereksinimi gibi dezavantajlarının yanında, altyapısı yeterli olmayan az gelişmiş ülkelerde uygulanmaları güç olduğundan alternatif yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Oldukça dirençli maddelerin gideriminde etkili olmaları, farklı ve ucuz oksidanların kullanılabilirliği, güneş ışığı ile uygulanabilirlikleri ve dolayısıyla enerji maliyetinin düşük olması gibi avantajları, ileri oksidasyon proseslerini (İOP), su arıtımında etkili ve yeni yöntemler olarak öne çıkarmaktadır (Litter 2005, Rengifo-Herrera ve ark. 2007, Ameta ve ark. 2013).

Son yıllarda, atıksularda bulunan çeşitli kirleticilerin ve mikroorganizmaların gideriminde ileri oksidasyon proseslerinin kullanımı üzerine yapılan çalışmalar hızla artmıştır. Bununla birlikte, teknik ve ekonomik nedenlerle, tam ölçekli uygulamaların sayısı hala azdır. İOP'lerin oksitleme kapasitesi, oksidan (ozon, hidrojen peroksit) veya katalist (demir, yarı iletkenler) gibi maddeler ile radyasyon (lambalar veya güneş ışığı) arasındaki reaksiyonlar sonucu oluşan hidroksil radikallerinden kaynaklanmaktadır (Rizzo 2010).

Ancak, çeşitli oksidan, katalist ve lambaların kullanımı ve bazı proseslerin belirli şartlar altında gerçekleştirilmesi gerekliliği (fenton ve foto-fenton proseslerinde asidik pH'ın sağlanması gibi), işletim maliyetini önemli derecede arttırmaktadır. Enerji maliyetini

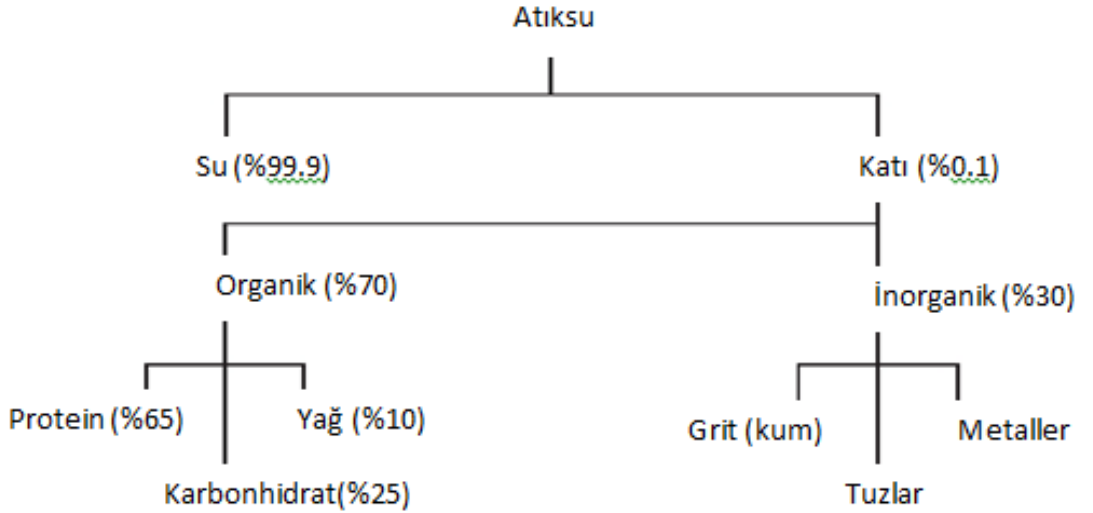
azaltmak amacıyla, güneş ışığına dayalı ileri oksidasyon proseslerinin kullanımı son yıllarda öne çıkmıştır (Rizzo 2010).

Bu tez çalışmasının amacı, evsel atıksuların ileri oksidasyon prosesleri ile dezenfeksiyonunun incelenmesidir. Çalışma kapsamında seçilen prosesler, UV/TiO<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, solar/TiO<sub>2</sub> ve solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'dir. Çalışma iki aşamalı olarak planlanmış ve tüm prosesler, hem UV lambası ile hem de güneş ışığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan test mikroorganizmaları, *E.coli* [Gram (-) bakteri] ve dirençli bir tür olan *Bacillus Subtilis* sporlarıdır. Sentetik evsel atıksu hazırlanarak (ham evsel atıksuları ve arıtma tesisi çıkış sularını temsil edecek şekilde), seçilen proseslerin, mikroorganizma giderme verimleri değerlendirilmiştir. Çeşitli parametreler değiştirilerek, her prosesin, mikroorganizma giderimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Evsel Atıksuların Özellikleri

Evsel atık sular askıda, kolloidal ve çözülmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. İklimsel şartlar, yaşam standartları ve kültürel alışkanlıklar atık su özelliğini önemli ölçüde etkiler. Şehir kanalizasyon şebekesine endüstriyel atık suların girişi, mevcut evsel atık su özelliklerini oldukça değiştirir. Konsantrasyonlar, kişi başına günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak da değişir. Dolayısıyla atık su özellikleri sadece şehirden şehire değil, ele alınan her bir yerleşim birimi için, mevsimsel hatta saatlik değişkenlik gösterir. Atıklar çok büyük oranda karbon, azot, fosfor gibi organik besinlerden (Şekil 2.1) ve yüksek konsantrasyonda mikroorganizmalardan oluşmaktadır. Bunlar hemen bozunmaya yatkın olup, kanallardan akarken bile biyolojik bozunmaları devam eder. Böylece zaman içinde atık suyun bazı özellikleri de değişmektedir (Arceivala 2002).



Şekil 2.1. Evsel atıksuların bileşenleri (Mara 2004)



### 2.1.1. Evsel Atıksuların Fiziksel Özellikleri

Atıksuların fiziksel karakteristiklerinden en önemlisi, toplam katı içeriği olup, diğer parametreler arasında bulanıklık, renk, sıcaklık, iletkenlik, yoğunluk ve özgül ağırlık, koku ve partikül büyüklük dağılımı sayılabilir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

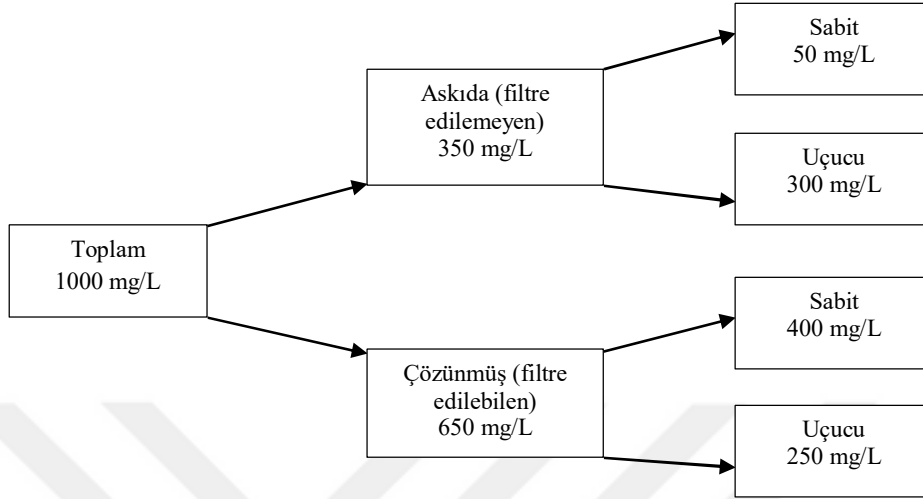
**Katılar:** Atıksular, iri parçalardan koloidal maddelere kadar, çeşitli katı maddeler içerirler (Tchobanoglous ve ark. 2004) ve çözünmüş gazlar dışında, su içinde bulunan tüm kirleticilerin, suyun katı yüküne katkısı vardır. Atıksulardaki katılar, (a) boyutlarına göre, (b) kimyasal özelliklerine göre ve (c) çökebilirliklerine göre, farklı şekillerde sınıflandırılabilirler (Sperling 2007).

Boyutlarına göre sınıflandırma, en pratik sınıflandırma çeşididir. Belirli bir gözenek çapına sahip filtre kağıdından geçebilen küçük boyuttaki partiküller çözünmüş katılar (filtre edilebilir katılar); daha büyük boyutta olup, filtreden geçemeyen ve filtre üzerinde tutulan partiküller ise askıda katılar (filtre edilemeyen katılar) olarak tanımlanır. Çözünmüş katıların çapı  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$ 'den küçük, askıda katıların çapı  $10^0$   $\mu\text{m}$ 'den büyüktür. Bunların arasında, koloidal katılar yer alır. Koloidal katıların büyük kısmı, çözünmüş olarak değerlendirilir (Sperling 2007). Çözünmüş katılar ile koloidal katılar arasındaki ayırım tam olarak yapılamamakta ve bu durum, arıtma proseslerinin dizaynında ve arıtma tesisi performans analizlerinde karmaşaya sebep olmaktadır. Arıtılmamış atıksularda ve ön çökeltim çıkış sularında, koloidal katı sayısı, tipik olarak  $10^8 - 10^{12}/\text{ml}$  aralığındadır (Tchobanoglous ve ark. 2004).

Katılar, kimyasal özelliklerine göre, uçucu ve sabit olmak üzere ikiye ayrılırlar. Katılar,  $550$   $^{\circ}\text{C}$ 'de yakıldığında, organik kısım okside olur ve buharlaşır. Kalan kısım ise, okside olmayan inert kısımdır. Uçucu katılar, katıdaki organik kısmın, uçucu olmayan (sabit) katılar ise, inorganik veya mineral kısmın değeridir (Sperling 2007).

Katılar, çökebilirliklerine göre, çökebilene ve çökemeyene olmak üzere iki grupta toplanırlar. Çökebilene katılar, imhoff hunisinde, 1 saatte çöken katıların hacmidir ve ml/L olarak ifade edilir. Kalan kısım ise, çökemeyen katılardır (Sperling 2007).

Şekil 2.2’de ham atıksulardaki katıların yaklaşık dağılımı (konsantrasyon olarak) gösterilmiştir (Sperling 2007).



**Şekil 2.2.** Ham atıksulardaki katı maddelerin yaklaşık konsantrasyon dağılımı (Sperling 2007)

**Partikül Büyüklük Dağılımı:** Atıksuda toplam askıda katı maddeleri oluşturan partiküllerin yapısı hakkında daha fazla bilgi edinebilmek için, partikül boyutları ölçülerek, partikül büyüklük dağılımı analizleri yapılabilir. Partikül boyutu, çeşitli proseslerin (sedimentasyon, filtrasyon, dezenfeksiyon) arıtma verimlerinin değerlendirilmesinde önem taşır. Klor ve UV dezenfeksiyonunun verimliliği, partikül boyutuna bağlı olduğundan, bu konu çok daha önemli hale gelmiştir. Biyoparçalanabilir organik maddelerin dönüşüm hızı da, partikül boyutuna bağlıdır. Atıksulardaki partikül boyutlarını belirlemek için, yaygın olarak kullanılan yöntemler, seri filtrasyon, mikroskopik inceleme ve elektronik partikül sayımıdır (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Bulanıklık:** Suyun, ışığı geçirebilme özelliğinin ölçüsüdür. Atıksu ve doğal suların, kolloidal ve askıda katı maddeler bakımından kalitesini belirleyen bir parametredir. Kolloidal maddeler, ışığı absorblar veya dağıtırlar ve böylece ışığın suya geçişini engellerler. Sıvı içinde hava kabarcıklarının bulunmasının, yanlış okumalara sebep olabileceği de mutlaka gözönüne alınmalıdır. Genellikle, arıtılmamış atıksular için, bulanıklık ve toplam askıda katı madde konsantrasyonu arasında bir ilişki yoktur. Ancak, çöktürülmüş veya filtre edilmiş aktif çamur prosesi ikincil çıkış sularında, bulanıklık ve

toplam askıda katı madde konsantrasyonu arasında bir ilişkiden söz edilebilir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Renk:** Atıksular genellikle açık kahverengi-gri bir renge sahiptir. Ancak, toplama sistemi içerisinde taşınma süresi arttıkça ve anaerobik şartlar geliştikçe, atıksuyun rengi, griden koyu griye ve siyaha döner. Rengi siyah olduğunda, atıksu, genellikle septik olarak tanımlanır. Bazen endüstriyel atıksularda, evsel atıksuların rengini değiştirebilmektedir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Absorbans ve Geçirgenlik (%T):** Absorbans, belirli bir dalgaboyunda, bir çözelti içindeki bileşenler tarafından absorbe edilen ışık miktarıdır. Absorbans değeri, spektrofotometre ile ölçülür ve ölçümler tipik olarak 254 nm'de gerçekleştirilir. Atıksu arıtma tesislerinde, çeşitli proseslerden çıkış sularının absorbans değerleri de değişkenlik gösterir. Örneğin, 254 nm'de tipik absorbans değerleri, ön çökeltim çıkış suları için, 0,55-0,30/cm, ikincil çökeltim çıkış suları için 0,35-0,15/cm, ters ozmoz çıkış suları için ise 0,05-0,01/cm'dir. (Tchobanoglous ve ark. 2004).

% geçirgenlik ise, bir çözülden geçebilen ışık miktarıdır. Atıksu içinde bulunan ve ışık absorblayan veya dağıtan tüm maddeler, ışık geçirgenliğini etkiler. Özellikle, UV dezenfeksiyonu sistemlerinin dizaynında ve değerlendirilmesinde, atıksuyun filtre edilmeden ve filtre edildikten sonra ışık geçirgenliğinin ölçülmesi önem taşır. % geçirgenliği etkileyen maddeler arasında, inorganik bileşikler (bakır, demir vb.), organik bileşikler (organik boyalar, humik maddeler, benzen ve toluen gibi konjuge halkalı bileşikler) ve askıda katı maddeler sayılabilir. Bu maddelerden en önemlisi, demirdir. Çözünmüş demir, UV ışığını doğrudan absorbe eder. Ayrıca, askıda katılar, bakteri kümeleri ve diğer organik maddeler üzerine adsorbe olup, UV ışığının partiküle nüfuz etmesini ve partikül içinde bulunan mikroorganizmaların inaktivasyonunu engeller. Demir tuzlarının kullanıldığı arıtma proseslerinden sonra, UV dezenfeksiyonu uygulanıyorsa, demir dozajının kontrolü son derece önemlidir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Sıcaklık:** Sıcaklık, kimyasal reaksiyonlar ve reaksiyon hızları, sucul hayat ve suyun faydalı kullanımını üzerinde farklı etkiler gösterdiğinden oldukça önemli bir parametredir. Genellikle atıksu sıcaklığı, kış aylarında hava sıcaklığından daha yüksektir. Yaz aylarında ise hava sıcaklığından daha düşüktür. Çıkış sularının sıcaklığı, bölgeye ve mevsime göre, giriş sularının sıcaklığından daha yüksek veya daha düşük olabilir (Dağ 2002, Tchobanoglous ve ark. 2004).

**İletkenlik:** Elektriksel iletkenlik, değeri toplam çözülmüş katı konsantrasyonunun bir ölçüsüdür ve atıksuların sulama amacıyla kullanıma uygunluğunun belirlenmesinde önemli bir parametredir. Sulama amacıyla kullanılacak atıksuların tuzluluğu, elektriksel iletkenliği ölçülerek tahmin edilebilir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Yoğunluk ve Özgül Ağırlık:** Yoğunluk, çökeltim tankları, klor temas tankları ve diğer arıtma ünitelerinde, yoğunluk farkları oluşmasına sebep olduğundan önemli bir parametredir. Fazla miktarda endüstriyel atık içermeyen evsel atıksuların yoğunluğu, aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğu ile aynıdır. Yoğunluk ve özgül ağırlık sıcaklığa bağlıdır ve atıksudaki toplam katı konsantrasyonu ile değişir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Koku:** Atıksuda bulunan organik maddelerin bozulmasıyla oluşan gazlar kokuya neden olmaktadır. Havalandırmaz ortamda kalan atıksu kısa süre içerisinde septik hale gelir. Septik suyun en belirgin kokusu hidrojen sülfür gazının meydana getirdiği kokudur. Amonyak, amin ve diaminler, organik sülfürler, klor, merkaptanlar, skatol, yağlar, petrol ve organik çözücüler de atıksuyun kokmasına neden olur (Dağ 2002, Tchobanoglous ve ark. 2004).

### **2.1.2. Evsel Atıksuların Kimyasal Özellikleri**

Atıksulardaki kimyasal bileşenler, inorganik ve organik olmak üzere ikiye ayrılırlar. İnorganik bileşenler, nutrientler, metal olmayan bileşenler (klorür, azot, fosfor, alkalinite, klorür, sülfür), metaller ve gazları kapsar. Organik bileşenler ise, agregat ve özel kirleticiler olarak sınıflandırılırlar ve her ikisi de, atıksuların arıtımı, bertarafı ve yeniden kullanımını açısından büyük öneme sahiptir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**pH:** Atıksudaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun parametresidir. Atıksuyun pH değeri biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinin belirlenmesinde önemlidir. İçme suyunun pH değeri 6-8 arasında, deniz suyunun 8, doğal suların 7 ve evsel atıksuyun ise 7-8 arasındadır (Dağ 2002). Alıcı ortama deşarj edilecek arıtılmış atıksular için izin verilen pH, genellikle, 6,5-8,5 aralığında değişmektedir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Organik madde:** Evsel atıksulardaki organik madde, protein bileşikleri (%40), karbonhidratlar (%25-50), yağ-gres (%10) ve üre,surfaktan,pestisit, fenol ve diğer maddelerden (az miktarlarda) oluşmaktadır. Organik madde, boyut ve forma göre, partikül ve çözünmüş, parçalanabilirliğe göre ise inert ve biyoayrışabilir olarak ikiye ayrılır (Sperling 2007). Evsel atıksuyun yapısı oldukça karmaşıktır ve içindeki tüm maddelerin analizlenmesi imkansızdır. Organik madde miktarının belirlenmesi için, direkt ve endirekt metotlar kullanılmaktadır. Endirekt metotlar (BOİ, nihai BOİ, KOİ) oksijen tüketiminin ölçümüne dayanırken, direkt metotlar (TOK) ile organik karbon ölçümü yapılmaktadır (Mara 2004, Sperling 2007).

**Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ<sub>5</sub>):** Atıksudaki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu sırasında mikroorganizmalar tarafından kullanılan çözünmüş oksijenin miktarıdır. Biyokimyasal oksidasyon yavaş bir işlemdir ve teorik tamamlanma süresi sonsuzdur. Evsel atıksular için, pratik olarak, 20 günde stabilizasyonun tamamlandığı kabul edilir. 20 günlük bir süre içerisinde (nihai BOİ), oksitlenme % 95-99 tamamlanır, test için kullanılan 5 günlük sürede (BOİ<sub>5</sub>) ise oksitlenme % 60-70 arasında gerçekleşir. Nihai BOİ ve BOİ<sub>5</sub> dönüşüm faktörlerinin tipik aralıkları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Atıksu arıtma tesislerinin dizaynı, nihai BOİ değerlerine göre yapıldığından, bu faktörler önem taşır (Dağ 2002, Sperling 2007).

**Çizelge 2.1.** Nihai BOİ/BOİ<sub>5</sub> oranı için tipik değerler (Sperling 2007)

Atıksu	Nihai BOİ/BOİ <sub>5</sub>
Yüksek konsantrasyonlu evsel atıksu	1,1-1,5
Düşük konsantrasyonlu evsel atıksu	1,2-1,6
Birincil çıkış suyu	1,2-1,6
İkincil çıkış suyu	1,5-3,0

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): KOİ testi atıksuların organik madde içeriğini ölçmek için yapılmaktadır. Oksitlenebilen organik madde kimyasal oksitleyici olan potasyum dikromat kullanılarak ölçülmekte ve bu sırada, ortamdaki hemen hemen tüm organik maddeler, su ve karbondioksit dönüşmektedir. Bir atıksuyun KOİ'si genel olarak BOİ'sinden daha yüksektir. Çünkü biyolojik olarak oksitlenemeyen birçok bileşik kimyasal olarak oksitlenebilmektedir. KOİ testi 3 saatte yapılabilirken, BOİ testi 5 gün içinde sonuçlanmaktadır. Bu nedenle KOİ ile BOİ arasında bağlantı kurulabilir. Aradaki bağlantı bir kere belirlendiğinde KOİ ölçümleri atıksu karakterizasyonunda, atıksuyun biyoparçalanabilirliğinin ve uygulanacak arıtma prosesinin belirlenmesinde kullanılabilir. Ham evsel atıksular için, KOİ/BOİ<sub>5</sub> oranı 1,7-2,4 aralığında değişir. KOİ/BOİ<sub>5</sub> oranı düşükse (<2,5-3,0), atıksudaki biyoparçalanabilir kısım fazladır ve biyolojik arıtma uygulanabileceğinin göstergesidir. KOİ/BOİ<sub>5</sub> oranı yüksekse (>3,5-4,0), atıksudaki inert kısım fazladır ve fizikokimyasal arıtımın daha uygun olacağını gösterir (Dağ 2002, Mara 2004, Sperling 2007).

Toplam organik karbon (TOK): Karbondioksit formunda açığa çıkan karbonun bir cihaz ile doğrudan ölçülmesi esasına dayanır. Arıtılmamış atıksular için, BOİ/TOK oranı, 1,2-2,0 aralığında değişir (Tchobanoglous ve ark. 2004, Sperling 2007).

Teorik oksijen ihtiyacı (TeOİ): Organik maddenin tamamen su ve karbondioksit dönüşmesi için, kimyasal formülünden yola çıkarak hesaplanan oksijen miktarıdır. Açıkça görülmektedir ki,

$$\text{TeOİ} > \text{KOİ} > \text{nihai BOİ} > \text{BOİ}_5 \quad (\text{Mara 2004})$$

Klorürler: Evsel atıksularda, klorürlerin belli başlı kaynağı insan idrarıdır ve kişi başına günde 6 gram klorür içerir. Su sertliğinin yüksek olduğu yörelerde, su yumuşatıcılarının kullanılması ile büyük miktarda klorür atıksuya karışmaktadır. Klasik arıtma yöntemleri

ile büyük oranlarda giderilemediğinden, alıcı ortamda yüksek miktarda klorür konsantrasyonlarının bulunması, alıcı ortamın atıksu deşarjına maruz kaldığının bir göstergesidir (Dağ 2002, Tchobanoglous ve ark. 2004).

**Alkalinite:** Çeşitli elementlerin (kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi), hidroksit, karbonat, bikarbonatları ile amonyak, atıksuda alkaliniteye sebep olmaktadır. Atıksu genelde alkalidir.

**Azot:** Atıksudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Azot yeterli olmadığı durumlarda, atıksuyun arıtılması için azot ilavesi gerekebilir. Evsel atıksuda azot biyolojik arıtım için gerekli miktarda vardır. Alıcı ortama deşarj edilen arıtılmış suda azot varsa, alıcı ortamda hem oksijen tüketimine hem de ötrifikasyona sebep olabilir. Atıksudaki azot başlıca, proteinli maddelerden ve üreden kaynaklanmaktadır. Bakteriler tarafından parçalanan bu bileşikler amonyak oluşumuna sebep olurlar. Oksijenli bir ortamda bakteriler amonyağı nitrit ve nitrata oksitlerler. Nitrat azotu atıksudaki azot bileşiklerinin son oksidasyon kademesidir (Dağ 2002). Çizelge 2.2’de farklı sularda azot formlarının dağılımı görülmektedir (Sperling 2007).

**Çizelge 2.2.** Çeşitli sularda azot formlarının relatif dağılımı (Sperling 2007)

<b>Ortam</b>	<b>Hakim azot formu</b>
Ham atıksu	Organik azot - Amonyak
Bir akarsudaki yeni kirlilik	Organik azot - Amonyak
Bir akarsudaki orta dönem kirlilik	Organik azot – Amonyak – Nitrit (düşük konsantrasyonda)- Nitrat
Bir akarsudaki eski kirlilik	Nitrat
Arıtma tesisi çıkış suyu (Nitrifikasyon yok)	Amonyak
Arıtma tesisi çıkış suyu (Nitrifikasyon var)	Nitrat
Arıtma tesisi çıkış suyu (Nitrifikasyon-denitrifikasyon var)	Tüm azot formlarının düşük konsantrasyonları

Ham evsel atıksuda, baskın azot formları, organik azot ve amonyaktır. Organik azot, amino gruplarını, yani protein, üre ve amino asitleri ifade eder. Amonyak ise, organik azotun ilk parçalanma ürünlerindedir ve üreden hızlıca hidrolize edilir. Organik azot ve

amonyak, toplam Kjeldahl azotu olarak ifade edilir. Evsel atıksudaki toplam Kjeldahl azotunun çok büyük kısmı fizyolojik kökenlidir. Atıksu arıtma tesisi giriş sularında diğer azot formları daha az öneme sahiptir (Sperling 2007).

**Fosfor:** Evsel atıksularda, fosfor, inorganik (polifosfatlar ve ortofosfatlar) ve organik fosfatlar şeklinde bulunur. İnorganik fosfatlar, deterjanlar vb. kimyasal ürünlerden kaynaklanmakta olup, organik fosfatlar, fizyolojik kökenlidir. Tipik evsel atıksularda, ortofosfatların hakim formu,  $HPO_4^{-2}$ 'dir. Deterjanlardaki fosfor, evsel atıksuda bulunan fosforun, yaklaşık % 50'sini oluşturur. Atıksudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Alıcı ortama deşarj edilen arıtılmış atıksuda fosfor varsa, alıcı ortamda ötrifikasyona sebep olabilir (Dağ 2002, Sperling 2007).

**Kükürt:** Sülfat iyonu doğal olarak atıksuda mevcuttur. Sülfatlar, kimyasal olarak, anaerobik (oksijensiz) koşullarda, bakteriler tarafından sülfürlere ve hidrojen sülfüre ( $H_2S$ ) indirgenir. Daha sonra  $H_2S$  biyolojik olarak sülfürik asite oksitlenir (Dağ 2002).

**Ağır metaller ve zehirli bileşikler:** Nikel, kuşun, krom, kadmiyum, çinko, bakır ve cıva gibi ağır metaller ve oluşturdukları bileşikler mikroorganizmalar için zehirlidir. Bu nedenle atıksuyun biyolojik arıtımı safhasında sorunlar yaratırlar. Evsel atıksularda ağır metaller ve zehirli elementler bulunmaz (Dağ 2002).

**Gazlar:** Evsel atıksularda bulunan gazlar; azot, oksijen,  $CO_2$ ,  $H_2S$ , amonyak ve metandır. Çözünmüş oksijen, aerobik mikroorganizmaların ve diğer aerobik canlıların solunumu için gereklidir. Atıksulardaki oksijen miktarı, mikroorganizmaların oksijen tüketimi sebebi ile çok düşüktür. Atıksuda bulunan organik maddelerin anaerobik parçalanmasının yan ürünlerinden biri metan gazıdır. Bu gaz çabuk alev alan ve patlama tehlikesi olan bir gazdır.  $H_2S$  gazının ise toksik etkisi çok fazladır (Dağ 2002).

Atıksudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak atıksuyu, zayıf, orta ve kuvvetli olarak sınıflandırmak mümkündür. Çizelge 2.3'de evsel atıksuların fiziksel ve kimyasal bileşenlerinin, farklı kuvvette atıksulardaki konsantrasyonları görülmektedir.



**Çizelge 2.3.** Evsel atıksuların bileşenleri (Tchobanoglous ve ark. 2004)

Kalite Parametresi	Birim	Konsantrasyon		
		Kuvvetli	Orta	Zayıf
Toplam Katı Madde	mg/l	1230	720	390
Çözünmüş Toplam Katı Madde	mg/l	860	500	270
Toplam Askıda Madde	mg/l	400	210	120
Çökebilir Madde	ml/l	20	10	5
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/l	350	190	110
Toplam Organik Karbon	mg/l	260	140	80
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/l	800	430	250
Toplam Azot	mg/l	70	40	20
Organik Azot	mg/l	25	15	8
Serbest Amonyak	mg/l	45	25	12
Nitrit	mg/l	0	0	0
Nitrat	mg/l	0	0	0
Toplam Fosfor	mg/l	12	7	4
Organik Fosfor	mg/l	4	2	1
İnorganik Fosfor	mg/l	8	5	3
Klorür	mg/l	90	50	30
Sülfat	mg/l	50	30	20
Yağ-Gres	mg/l	100	90	50
Uçucu Organik Bileşikler	µg/l	> 400	100-400	< 100

### 2.1.3. Evsel Atıksuların Mikrobiyolojik Özellikleri

Atıksuların deşarjı sonucu, yüzeysel sular ve yeraltı suları mikroorganizmalarla kontamine olmakta ve çeşitli kaynaklar aracılığıyla taşınarak hastalıklara neden olmaktadır. Evsel atıksularda bulunan başlıca organizma grupları şunlardır:

**Bakteriler:** Tek hücreli organizmalardır. Farklı büyüklük ve şekillerde bulunurlar. Organik madde stabilizasyonundan sorumlu olan başlıca organizma grubudur. Bazı bakteriler patojenik olup, bağırsak hastalıklarına sebep olurlar.

**Arkiya:** Temel hücre bileşenleri ve boyut bakımından bakterilere benzerler. Hücre duvarı, hücre materyali ve RNA kompozisyonu bakterilerden farklıdır. Anaerobik proseslerde

önem taşırlar. Ekstrem sıcaklık ve kimyasal kompozisyon şartları altında da ortamda bulunurlar.

**Algler:** Klorofil içeren ototrofik fotosentetik organizmalardır. Su kaynaklarında oksijen üretiminde ve çeşitli arıtma proseslerinde önem taşırlar. Göl ve rezervuarlarda aşırı çoğalmaları, su kalitesinin bozulmasına sebep olur. Algler normalde arıtılmamış atıksularda bulunmazlar, ancak bazı proseslerden çıkış sularında (stabilizasyon havuzları gibi) bulunabilirler.

**Fungi:** Aerobik, çok hücreli, fotosentetik olmayan, heterotrofik organizmalardır. Organik maddenin ayrıştırılmasında önem taşırlar. Düşük pH şartları altında çoğalabilirler.

**Protozoa:** Hücre duvarı bulunmayan tek hücreli organizmalardır. Çoğunluğu, aerobik veya fakültatifdir. Bakteri, alg ve diğer organizmaları tüketerek beslenirler. Biyolojik arıtımda, farklı mikroorganizma grupları arasında denge sağlarlar. Bazıları patojeniktir.

**Virüsler:** Genetik materyal ve protein yapılardan oluşan, parazitik organizmalardır. Patojeniktirler ve su ve atıksu arıtımında giderilmeleri oldukça güçtür.

**Helmintler:** Evsel atıksularda bulunan helmint yumurtaları çeşitli hastalıklara sebep olur (Sperling 2007).

Evsel atıksularda bulunan mikroorganizmaların muhtemel konsantrasyonları Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te, ikincil arıtma çıkış sularında yaygın olarak bulunan patojen seviyeleri ise Çizelge 2.6'da verilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Evsel atıksularda bulunan mikroorganizmaların konsantrasyonları (Tchobanoglous ve ark. 2004)

Kalite Parametresi	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Koliform	adet/100 ml	$10^6-10^8$	$10^7-10^9$	$10^7-10^{10}$
Fekal Koliform	adet/100 ml	$10^3-10^5$	$10^4-10^6$	$10^5-10^8$
<i>Cryptosporidium</i> oocysts	adet/100 ml	$10^{-1}-10^0$	$10^{-1}-10^1$	$10^{-1}-10^2$
<i>Giardia lamblia</i> cysts	adet/100 ml	$10^{-1}-10^1$	$10^{-1}-10^2$	$10^{-1}-10^3$

**Çizelge 2.5.** Arıtılmamış atıksularda bulunan mikroorganizma konsantrasyonları ve enfeksiyöz dozları (Tchobanoglous ve ark. 2004)

Organizma	Ham atıksudaki konsantrasyon <sup>b</sup> , EMS/100 ml	Enfeksiyöz doz, organizma sayısı <sup>c</sup>
Bakteri:		
Toplam koliform	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	
Fekal koliform <sup>a</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>10</sup>
<i>Clostridium perfringens</i>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	1-10 <sup>10</sup>
Enterococci	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	
Fekal streptococci	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>	
Shigella	10 <sup>0</sup> -10 <sup>3</sup>	10-20
Salmonella	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup> -10 <sup>8</sup>
Protozoa:		
<i>Cryptosporidium parvum</i> osistleri	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup>	1-10
<i>Entamoeba histolytica</i> osistleri	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>1</sup>	10-20
<i>Giardia lamblia</i> sistleri	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	<20
Helmint:		
Yumurtalar	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>0</sup>	1-10
Virüs:		
Enterik virüs	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	1-10
Kolifaj	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	

<sup>a</sup> Escherichia coli (enteropatojenik)

<sup>b</sup> Nüfusa göre değişkenlik gösterir.

<sup>c</sup> Organizmanın serotip veya türüne ve bireyin genel sağlık durumuna göre değişir.

**Çizelge 2.6.** İkincil arıtma çıkış suyunda yaygın olarak bulunan patojen seviyeleri (Uygulanan arıtma prosesine göre sayılar değişecektir.) (Anonim 2002)

Patojen mikroorganizma	Seviye
Bakteri	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup> organizma/100 ml
Virüs	10 <sup>1</sup> -10 <sup>4</sup> virüs/L
Protozoa	10 <sup>1</sup> -10 <sup>4</sup> osist/L
Helmint	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup> yumurta/L

## 2.2. Atıksulardaki patojenler ve atıksulardan kaynaklanan hastalıklar

Su ile ilişkili hastalıklar, sudaki bir durumun veya kalite ve miktarındaki değişimlerin doğrudan veya dolaylı olarak, insan sağlığı üzerinde neden olduğu, hastalık, sakatlık, bozukluk gibi önemli ve yaygın ters etkiler olarak tanımlanabilir (Grabow 2002). Su ile ilişkili hastalıkların sınıflandırılmasında, taşınım mekanizmalarına göre gruplandırma yapılması oldukça kullanışlıdır ve buna göre hastalıklar 4 grup altında toplanır. Çizelge 2.7’de bu gruplar tanımlanmış ve temel özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.7.** Su ile ilişkili hastalıkların sınıflandırılması (Maier ve ark. 2000, Sperling 2007)

Mekanizma	Nedeni	Taşınım şekli	Başlıca hastalıklar	Önleme stratejisi
Su kaynaklı hastalıklar	Fekal materyal ile kontamine olmuş suyun ağız yolu ile alınması	Fekal-oral yol	İshal ve dizanteri Enterik ateş (tifo,paratifo) Çocuk felci Hepatit A Leptospiroz Trişüriyaz	Kontamine olmuş suyun kullanımından kaçınma ve içme suyunun arıtılması ve korunması
Su hijyeni ile ilgili hastalıklar	Dışkı orijinli organizmaların su yetersizliği ve kötü hijyen sebebi ile göz ve cilt teması veya ağız yolu ile alınması	Farklı fekal-oral yollar (besin, kötü hijyen) Su azlığı ve kötü hijyen sonucu oluşan şartlar ile taşınım Fekal olmayan yol	İshal ve dizanteri Enterik ateş (tifo,paratifo) Çocuk felci Hepatit A Leptospiroz Trişüriyaz Bulaşıcı cilt ve göz hastalıkları (trahom,mantar enfeksiyonu,uyuz)	Yeterli miktarda su temini Kişisel, ev ve su hijyeninin teşvik edilmesi
Su canlıları ile ilgili hastalıklar	Su içinde bulunan veya yaşam döngüsünün bir kısmında sucul organizmalarda bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmaların su veya solunum ile insana ulaşması	Ağız veya cilt yolu ile taşınım Solunum ile taşınım	Legionella Şistozomiyaz Gine kurdu Klonorkiyaz Fasiolopsiyaz Paragonimiyaz	Kontamine olmuş su ile temastan kaçınma Su kaynaklarının dışkı ile bulaşmasının önlenmesi Atıksu bertarafında uygun çözümlerin benimsenmesi Ara konakçılar ile mücadele
Vektörler ile ilgili hastalıklar	Su etrafında yaşayan böcekler ve sinekler	İnsan ve hayvanların böcekler tarafından ısırılması	Sıtma Sarı humma Uyku hastalığı Filaryaz	Vektörler ile mücadele Böceklerin bulunduğu alanların imha edilmesi Bu alanlardan kaçınma Kişisel korunma (sprey,ağ vb.)

Hastalık yapan mikroorganizmalar, patojenler olarak adlandırılırlar. Evsel atıksularda bulunan patojenlerin sayısı, büyük değişimler gösterir ve nüfusun sosyo-ekonomik durumuna, coğrafik konuma, sağlık koşullarına, uygulanan arıtma proseslerine ve tarıma dayalı sanayilerin bulunup bulunmamasına bağlıdır. Evsel atıksularda bulunan patojenik mikroorganizmalar, bakteriler, helmintler, protozoalar ve virüsler olmak üzere 4 grupta toplanabilirler (Sperling 2007).

### 2.2.1. Bakteriyel patojenler

Sağlıklı bir insanın dışkıında farklı türde çok sayıda bakteri bulunur. İnsan dışkısı, gram başına yaklaşık  $10^{12}$  bakteri içerir. Dışkının bakteriyel içeriği, yaş ağırlığın yaklaşık % 9'udur. Atıksulardaki bakteriler, 4 gruba ayrılabilir:

1. Gram-negatif fakültatif anaerobik bakteriler (*Aeromonas*, *Plesiomonas*, *Vibrio*, *Enterobacter*, *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Shigella* vb. )
2. Gram-negatif aerobik bakteriler (*Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter* vb.)
3. Gram-pozitif spor oluşturan bakteriler (*Bacillus* vb.)
4. Gram- pozitif spor oluşturmayan bakteriler (*Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Rhodococcus* vb.) (Bitton 2011)

İnsanların bağırsaklarında zararsız bakterilerin birçok türü mevcuttur ve rutin olarak dışkıya geçmektedir. Hastalığa yakalanmış bireylerin dışkılarında patojenik bakteriler de olduğundan, evsel atıksu patojenik ve patojenik olmayan bakterinin oldukça çeşitli türlerini ve konsantrasyon aralığını içermektedir. Evsel atıksularda en yaygın olan bakteriyel patojen *Salmonella* cinsidir. *Salmonella* grubu insanlarda ve hayvanlarda hastalığa yol açabilen çok çeşitli türleri içermektedir. *Salmonella typhi*'nin neden olduğ, tifo ateşi, çok ciddi ve şiddetli bir hastalıktır. *Salmonella* ile ilişkilendirilen en yaygın hastalık salmonellosis diye tanımlanan gıda zehirlenmesidir. *Shigella* daha nadir bir bakteri cinsi olup basilli dizanteri veya basur olarak bilinen bağırsak hastalığına neden olmaktadır. Dizanterinin su kaynaklı salgınlarına yüzme alanlarında ve atıksuyun karıştığı içme suyu kaynaklarında rastlanmıştır (Crook 1998, Maier ve ark. 2000).

Ham atıksulardan izole edilen diğer bakteriler arasında, *Vibrio*, *Mycobacterium*, *Clostridium*, *Leptospira* ve *Yersinia* türleri sayılabilir. Sıkça bildirilen ve bilinmeyen nedenlerden oluşan su kaynaklı bağırsak ve mide iltihaplarında, ajanın bakteriyel olabileceğinden şüphelenilmektedir. Bu hastalığın olası kaynağı normalde non-patojenik olarak nitelendirilen belirli gram-negatif bakterilerdir. Bunlar, yeni doğanları etkileyebilen ve gastrointestinal salgılarından sorumlu enteropatojenik *Escherichia coli*'yi ve *Pseudomonas*'ın belirli türlerini içermektedir. *Campylobacter jejuni*'nin insanlarda bir çeşit bakteriyel ishale neden olduğu tespit edilmiştir. Bu organizmanın hayvanlarda da hastalıklara neden olduğu ve insanlarda su kaynaklı hastalık salgılarından sorumlu etiyolojik ajan olduğu iyi bilinmektedir (Crook 1998).

Bazı patojenik bakteri türleri ve sebep olduğu hastalıklar Çizelge 2.8'de verilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Patojenik bakteri türleri ve sebep olduğu hastalıklar (Bitton 2011)

Bakteri türü	Hastalık	Kaynağı	Etkilediği organ
<i>Salmonella typhi</i>	Ateşli tifo	İnsan dışkısı	Gastrointestinal
<i>Salmonella paratyphi</i>	Ateşli paratifo	İnsan dışkısı	Gastrointestinal
<i>Shigella</i>	Basilli dizanteri	İnsan dışkısı	Bağırsak
<i>Vibrio cholerae</i>	Kolera	İnsan dışkısı	Gastrointestinal
Patojenik <i>E.coli</i>	Gastroenterit	İnsan dışkısı	Gastrointestinal
	Hemolitik üremik sendromu		
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterit	İnsan/hayvan dışkısı	Gastrointestinal
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterit	İnsan/hayvan dışkısı	Gastrointestinal
<i>Legionella pneumophila</i>	Akut solunum hastalıkları (Lejyoner hastalığı)	Isıl olarak zenginleştirilmiş sular	Akciğerler
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tüberküloz	İnsan solunum sıvıları	Akciğerler
<i>Leptospira</i>	Leptospiroz (weil's hastalığı)	Hayvan dışkısı/üre	Genel
Fırsatçı bakteriler	Değişken	Doğal sular	Gastrointestinal

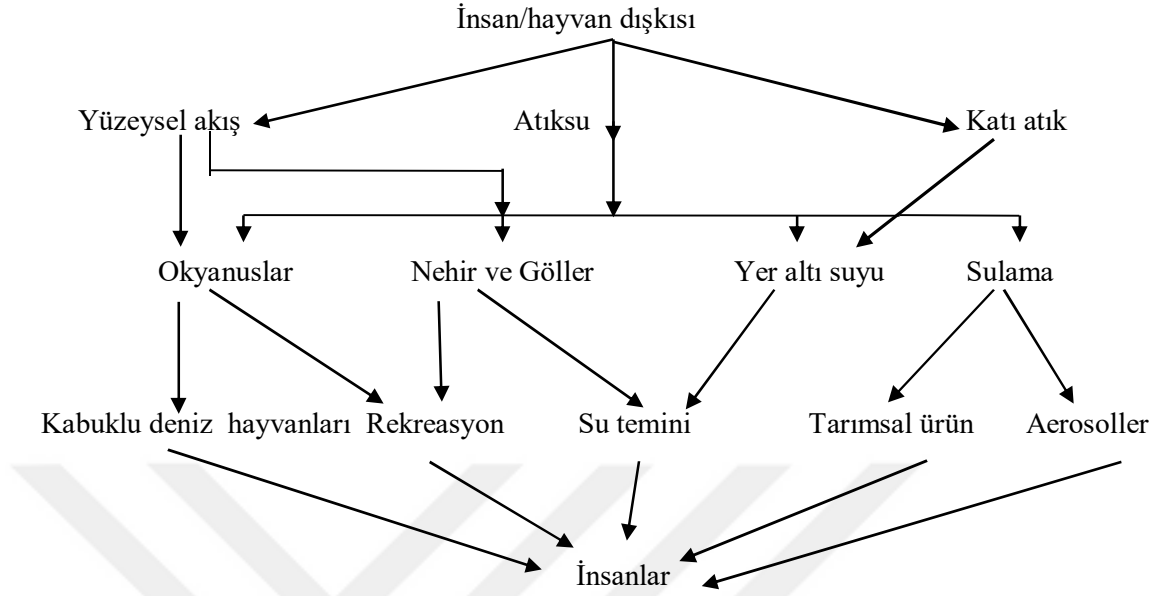
### 2.2.2. Viral patojenler

Su ve atıksular yaklaşık 140 farklı enterik virüs ile kontamine hale gelebilirler. Bu virüsler insan vücuduna ağız yolu ile girerler, gastrointestinal sistemde çoğalırlar ve enfekte olmuş kişilerin dışkıları ile de büyük miktarlarda atılırlar. Enterik virüslerin çoğu kolay tespit edilemeyen enfeksiyonlara sebep olur. Cilt döküntüsü, gastroenteritis, ateş, solunum enfeksiyonları, konjunktivit gibi geniş bir alandaki hastalıklardan sorumludurlar. Non-polio enterovirüslerin, U.S.'de yılda 10-15 milyon semptomatik enfeksiyona neden olduğu bildirilmiştir. Sularda bulunan ve insanlar için patojen olan enterik virüsler ve bunların neden olduğu hastalıklar Çizelge 2.9'da verilmiştir (Bitton 2011).

**Çizelge 2.9.** Bazı virüsler, sebep oldukları hastalıklar ve belirtileri (Bitton 2011)

Virüs grubu	Tür sayısı	Hastalık veya belirtileri
Poliovirüs	3	Aseptik menenjit
Echovirüs	34	Aseptik menenjit, solunumla ilgili hastalık, isilik, ateş, ishal, perikardit, miyokardit
Coxsackievirüs A	23	Herpangina, menenjit, solunumla ilgili hastalık, ateş, felç
Coxsackievirüs B	6	Miyokardit, perikardit, menenjit, solunumla ilgili hastalık, isilik, ateş, irsi kalp hastalığı, plörodini, nefrit
Yeni Enterovirüs türü	4	Menenjit, solunum ile ilgili hastalıklar,
Hepatitis A virüsü (HAV)		Hepatit
Hepatitis E virüsü (HEV)		Hepatit
Norwalk virüs	1	Gastroenterit
Rotavirüs	4	Gastroenterit
Reovirüs	3	Solunum ile ilgili hastalıklar
Adenovirüs	41	Solunum ile ilgili hastalıklar, konjunktivit, gastroenteritis
Astrovirüs	5	Gastroenterit

Enterik virüslerin su kaynaklı taşınımı Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Enterik virüslerin su yolu ile taşınması (Bitton 2011)

### 2.2.3. Protozoalar

Protozoa türlerinden, özellikle, *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora*, *Entamoeba histolytica* ve *Giardia lamblia*, çok küçük yaştaki çocuklar, yaşlı, kanser tedavisi gören insanlar ve AIDS hastalarını içeren bireylerin bağışıklık sistemi üzerinde önemli etkileri bulunduğundan büyük endişe kaynağıdır. Enfeksiyon, osistler ve sistlerle kontamine olmuş suyun tüketimi sonucu ortaya çıkmaktadır. *Cryptosporidium parvum* ve *Giardia lamblia* cinslerinin insan dışı kaynaklarının da çevrede mevcut olduğu özellikle bilinmelidir. Ayrıca, mevcut olan her osist ve sist hastalığına neden olmamaktadır. Bu mikroorganizmalardan kaynaklanacak olası riskin belirlenmesi için infektivite çalışmalarının yapılması gerekmektedir.



1993 yılında Milwaukee’de gerçekleşen kriptosporidiyoz salgınında 400 000 insanın hasta olduğu ve diğer 10 eyalette meydana gelen siklosporiyaz salgınları, patojenik protozoa kaynaklı hastalıkların önemini belirtmektedir. İnsanlarda ve hayvanlarda yapılan yoğun çalışmalara rağmen kriptosporidiyoz için etkili bir tedavi bulunamamıştır (Roberts ve Janovy 1996). *Cryptosporidium parvum* osistleri ve *Giardia lamblia* sistleri çevresel şartlara en dayanıklı olan formlardır. Bu organizmalar neredeyse atıksuların tamamında bulduklarından ve klor gibi konvansiyonel dezenfeksiyon tekniklerinin kullanımının bunların inaktivasyonunda ya da yok edilmesinde etkili bir yöntem olmadığından büyük bir endişe kaynağıdır. Fakat UV dezenfeksiyonunun *Cryptosporidium parvum* osistleri ve *Giardia lamblia* sistlerinin inaktivasyonunda oldukça etkili olduğu bulunmuştur (Tchobanoglous ve ark. 2004).

Bazı protozoalar, sebep olduğu hastalıklar ve protozoaların kaynakları Çizelge 2.10’da verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Bazı patojenik protozoa türleri, sebep oldukları hastalıklar, etkiledikleri organ ve bulunduğu kaynaklar (Bitton 2011)

<b>Türü</b>	<b>Hastalık ve etkilediği organ</b>	<b>Kaynağı</b>
<i>Giardia lamblia</i>	Giyardiyaz (mide-bağırsak)	İnsan/hayvan dışkısı
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amipli dizanteri (mide-bağırsak)	İnsan dışkısı
<i>Acanthamoeba castellani</i>	Amipli meningoensefalit (Merkezi sinir sistemi)	Toprak ve su
<i>Naegleria gruberi</i>	Amipli meningoensefalit (Merkezi sinir sistemi)	Toprak ve su
<i>Balantidium coli</i>	Dizanteri, ülser (mide-bağırsak)	İnsan dışkısı
<i>Cryptosporidium</i>	İshal, kilo kaybı, mide bulantısı, ateş	İnsan/hayvan dışkısı
<i>Cyclospora</i>	Birbirini izleyen ishal kabızlık	Dışkı, bulaşmış sebze ve meyve
<i>Microsporidia</i>	Kronik ishal, su ve kilo kaybı	Dışkı

#### 2.2.4. Helmintler

Helmint terimi solucanların tamamını tanımlamak için kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri’nde atıksu arıtma tesislerinde, sanitasyon ve gıda işleme uygulamalarında sağlanan iyileştirmelerin bir sonucu olarak helmintlerin neden olduğu salgınlar son yüzyılda önemli ölçüde düşmüştür. Buna rağmen, helmintlerin yaygın

olduğu ülkelerden ABD'ye yaşanan göçlerin artması sonucu solucanların atıksularla ve özellikle biyokatırlarla taşınması hala büyük bir endişe kaynağı olarak kalmaya devam etmektedir. Özellikle küçük ve parazit olmayan nematodlar içilmeye hazır suların içeriğinde bile bulunmaktadır. Helminthler dünya çapında insanlarda hastalığa neden olan birincil organizmalardır. Helminthlerin yaydığı hastalıklara maruz kalan insanların sayısı 4,5 milyar olarak tahmin edilmektedir (Roberts ve Janovy 1996).

Helminthlerin çoğu üç büyük bölüme ayrılmaktadır: Nematod (yuvarlak solucan), Platyhelminth (yassı solucan), Annelida (halkalı solucanlar). İnsanlarda meydana gelen hastalıkların büyük kısmı nematodlardan ve yassı solucanlardan kaynaklanırken, halkalı solucanlar konak hücrenin yüzeyinde yaşamaktadır (ektoparazitik). Uzun yuvarlak solucan *Ascaris lumbricoides*, kamçılı solucan *Trichuris trichiura*, kancalı solucan *Necator americanus* ve *Ancylostoma duodenale* ve iplik solucanı *Strongyloides stercoralis*, Nematod grubunun patojenik organizmalarını oluşturmaktadır. *Ascaris lumbricoides*, dünya üzerinde 1,5 milyar insanda hastalığa neden olan en yaygın parazit olarak değerlendirilmektedir (Roberts ve Janovy 1996, Crompton 1999, Maier ve ark. 2000).

Yassı solucanların oluşturduğu grup, bağırsak kurdu *Taenia saginata* (sığır tenyası), *Taenia solium* (sığır tenyası) ve *Schistosoma* cinslerini içermektedir. *Taenia saginata* insanlarda en çok bulunan tenya türü olup enfekte sığır ürünlerinin yenilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Kan şeritleri olarak da bilinen *Schistosoma mansoni*, *S. haematobium* ve *S. japonicum* yaprak solucanları tıp yönünden trematod sınıfının önemli üyeleridir. Dünya çapında 200 milyondan fazla solucan hastalığı bu trematodlardan kaynaklanmıştır (West ve Olds 1992).

Helminthlerin insanlarda enfeksiyona neden olma aşaması değişmektedir. Bazılarında ya yetişkin organizma safhasında ya da larva döneminde gerçekleşirken diğer türlerde ise yumurta halindeyken oluşmaktadır. Atıksuda çoğunlukla yumurta halinde bulunurlar. Helminth yumurtalarının boyutları 10  $\mu\text{m}$ 'den başlayıp 100  $\mu\text{m}$ 'ye kadar çıkmakta ve bunlar atıksudan sedimantasyon, filtrasyon ya da stabilizasyon havuzları gibi arıtma prosesleriyle giderilebilmektedir. Fakat bazı helminth yumurtaları çevresel şartlara oldukça dayanıklı olup klasik atıksu ve çamur dezenfeksiyon işlemleri sonrasında

arıtılmadan çıkışa geçebilirler. Örneğin, klor dezenfeksiyonu ve mezofilik anaerobik çürütme prosesi çoğu helmint yumurtasının inaktivasyonunda etkili değildir. Çalışmalar, *Ascaris* yumurtalarının oksidasyon havuzlarının dibindeki sedimentlerde 10 yıla kadar yaşayabildiğini göstermiştir (Tchobanoglous ve ark. 2004). Bazı helmint türlerinin sebep olduğu hastalıklar ve kaynakları Çizelge 2.11’de verilmiştir.

**Çizelge 2.11.** Bazı patojenik helmint türleri, sebep olduğu hastalıklar ve etkilediği organ (Bitton 2011)

<b>Türü</b>	<b>Hastalık</b>	<b>Etkilediği organ</b>
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Kancalı kurt	Mide-bağırsak
<i>Necator americanus</i>	Kancalı kurt	Mide-bağırsak
<i>Trichuris trichiura</i>	Kamçılı kurt (trişüriyaz)	Bağırsak
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Askariyazis (çocuklarda bağırsak tıkanması)	İnce bağırsak
<i>Taenia solium</i>	Domuz tenyası	Mide-bağırsak
<i>Taenia saginata</i>	Sığır kurdu	Mide-bağırsak
<i>Schistosoma mansoni</i>	Şistozomiyaz	Karaciğer,mesane

### 2.2.5. İndikatör mikroorganizmalar

Bir su mikrobiyolojik olarak incelendiğinde amaç, patojenlerin varlığını endekslemek değil, onların sağlık riskini oluşturabilecek sayıda olabilme potansiyelini belirlemektir. Bunun için indikatör bakteriler kullanılır. İndikatör mikroorganizmalar fekal bulaşmanın bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Test edilecek materyalde bulunmaları, o materyale herhangi bir yolla dışkının bulaştığını, dolayısıyla orada bağırsak kökenli patojen mikroorganizmaların da bulunabileceğini gösterir (Alkan 2010).

Rekreasyonel sularda fekal kirliliğin göstergesi olabilecek ideal indikatör organizma özellikleri şunlardır:

1. Atıksularda ve kirli sularda patojenler olduğunda bulunmalıdır.
2. Kirli olmayan suda bulunmamalıdır.
3. İndikatör sayısı patojenlerden daha fazla olmalıdır.
4. İndikatör sayısı ile kirlilik seviyesi arasında bir ilişki olmalıdır.
5. Suda patojenler kadar uzun yaşamalı ve dezenfeksiyona aynı direnci göstermelidir.
6. Her tür suya uygulanabilir olmalıdır.
7. En basit laboratuvar testiyle en kısa zamanda ve güvenilir olarak belirlenmelidir.

8. Sabit karakteristiklere sahip olmalı ve sürekli değişmemelidir.
9. Suda çoğalmamalıdır (Alkan 2010).

Şu anda hiçbir indikatör bu özelliklerin hepsine sahip değildir. Ancak bu özelliklerin en çoğuna sahip olan organizma indikatör olarak kullanılır. Bu çerçeve altında su kalitesinin belirlenmesinde indikatör olarak kullanılabilen çeşitli mikroorganizmalar bulunmaktadır (Alkan 2010). Bu organizmalar ve çeşitli özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

**Toplam koliform ve fekal koliformlar:** Koliform grubunu oluşturan bakteriler; tamamı aerobik veya fakültatif anaerobik olan, gram negatif, spor oluşturmayan, çubuk şeklinde, laktozdan 35°C’ de 48 saat içerisinde gaz ve asit oluşturan bakteriler olarak tarif edilir. Koliformlar dışında çok az bakteri laktozu metabolize edebilir. Toplam ve fekal koliformları birbirinden ayıran özellik fekal koliformların 44,5 ± 0,5 °C sıcaklıkta çoğalabilme yeteneğidir. Toplam koliformlar *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* ve *Citrobacter* türlerinden oluşmaktadır. Fekal koliformlar ise *E.coli* ve *Klebsiella* türlerinden oluşmaktadır.

Fekal koliformlar, toplam koliform grubundan daha spesifik dışkı indikatörüdür. Bununla birlikte fekal koliform testleri daha popüler olarak kullanılmaya başlandıktan sonra toplam koliformlarınkine benzer sorunlar ortaya çıkmıştır. İnsanlar ve sıcak kanlı hayvanlardan kaynaklanmayan kirlilik durumlarında bile fekal koliform sayılarında artışlar gözlenmiştir. Bu artışın *Klebsiella* türünden dolayı meydana geldiği belirlenmiştir. Bu yüzden araştırmacılar genel olarak fekal koliform testleri yerine direk *E. coli* ve *Klebsiella* testlerinin ayrı ayrı kullanılmasını önermişlerdir. Günümüzde birçok ülkede toplam veya fekal koliformlar yerine *E. coli* tercih edilmektedir (Alkan 2010).

**Fekal streptococci:** Kanalizasyon kirliliğinde indikatör olarak *Fecal streptococci* geniş biçimde kullanılmaktadır. *S.faecalis* ve *S.faecium* türleri enterococci grubunu oluşturur. *Fecal streptococci* özellikle koliformlar ile birlikte kullanıldığından akarsuların, göllerin ve deniz sistemlerinin çalışılmasında geçerli kirlilik indikatörleridir. Bugüne kadar yürütölen epidemiyolojik çalışmalar *Fecal streptococcus* (*Enterococcus*) grubunun rekreasyonel suların sağlık açısından kalitesini belirlemede indikatör olarak

kullanılmasını desteklemektedir. EPA çalışmalarında, tatlı su rekreasyonel bölgeleri su kalitesini belirlemede *E.coli* kullanılmasını ve deniz sularının kalite değerlendirmesinde standart *Enterococcus*' un tek olarak kullanılmasını önermiştir. Enfeksiyon sayısı ile *Enterococcus* grubu yoğunluğunun en iyi korelasyonu sağladığı tespit edilmiştir (Alkan 2010).

**Clostridium perfringens:** *Clostridium perfringens* gram pozitif, anaerobik, sporlu, çubuk şeklinde, dayanıklı, kalıcı bir bakteri olup normal bağırsak bakterilerindedir. Dışkı içerisinde *E.coli* bakterilerine göre daha düşük sayıda bulunurlar. Organizmanın indikatör olarak kullanımını etkileyen önemli faktörler:

1. Tutarlı olarak normal insan dışkılarından elde edilebilir.
2. Sporları uzun yaşar.
3. Çoğalma için anaerobik ortam gereklidir.

Anaerobik büyüme gereksinimi, kırsal ve akuatik çevrelerde çoğalabilmeyi kısıtlar ki bu, fekal indikatör organizmalar için istenen bir özelliktir. Ama bu sınırlama organizmanın sayımı ve teşhisini güçleştirir (Alkan 2010).

**Heterotrofik Bakteri Sayısı:** HBS karbon ve enerji eldesini organik bileşiklerden sağlayan aerobik ve fakültatif anaerobik bakterileri kapsamaktadır. HBS grubunda bulunan gram-negatif cinsler, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Klebsiella*, *Flavobacterium*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia*, *Acinetobacter*, *Proteus*, *Alcaligenes*, *Enterobacter* ve *Moraxella*'dır. Bu grubun bazı üyeleri *Aeromonas*, *Flavobacterium* gibi fırsatçı patojenler olmakla birlikte halk sağlığına etkileri konusunda fazla bilgi mevcut değildir. İçme suyundaki HBS seviyesi 1 CFU/ml ile 10<sup>4</sup> CFU/ml arasında olabilir ve bu miktar sıcaklık, bakiye klor ve asimile edilebilir organik madde miktarı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. HBS tekrar kullanılan atıksulardaki patojenlerin giderimini gösteren en iyi indikatördür (Alkan 2010).

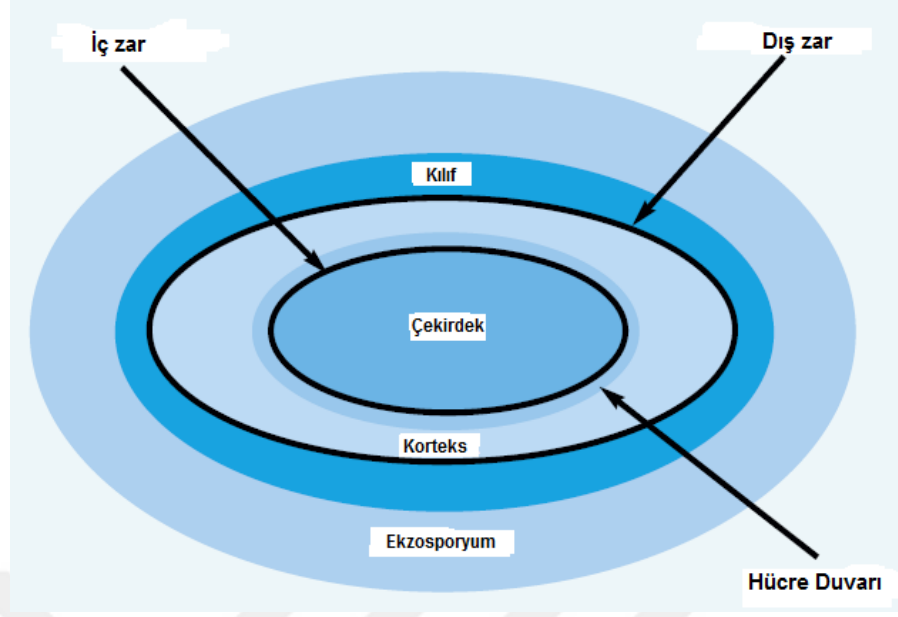
HBS içme suyu arıtımında aşağıdaki amaçlar için kullanılır:

1. Arıtma tesisinde dezenfeksiyon dahil bazı proseslerin değerlendirilmesi.
2. Arıtılmış suyun dağıtımı ve depolanması sırasında mikrobiyal kalitesinin izlenmesi.
3. Arıtma ve dağıtım sistemindeki yüzeylerde bakteriyel çoğalmanın tespiti.
4. Dağıtım sırasında arıtılmış suda bakteriyel çoğalma potansiyelinin belirlenmesi.

**Bakteriyel sporlar:** Aerobik sporlar, non-patojenik, sucul ortamlarda yaygın olan, parazitik protozoa sistlerinden daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan ve çevresel sularda çoğalmayan organizmalardır. Ayrıca, basit, ucuz ve oldukça hızlı analizlerle saptanabilirler. Dezenfeksiyon veriminin ve *Cryptosporidium* ve *Giardia* sistlerinin giderimi açısından arıtma tesisi performansının değerlendirilmesinde, *Bacillus* sporlarının, surrogate olarak kullanımı önerilmiştir. Aerobik spor oluşturan bacilli'ler, yüzeysel ve arıtılmış sularda, *C.perfringens*'e göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Yüzeysel sularda, yüksek konsantrasyonlarda bulduklarından ve çıkış sularında da bulduklarından, 5-log'a kadar giderim verimlerinin hesaplanmasına olanak sağlarlar. İçme suyu kalitesinin değerlendirilmesinde, *Cryptosporidium* ve *Giardia*'nın indikatörü olarak önerilmişlerdir (Bitton 2011).

- *Bacillus subtilis* sporları: *Bacillus* cinsi, *Bacillaceae* familyasına dahil olup, Gram pozitif (bazı türleri değişken), aerobik veya fakültatif anaerobik, spor oluşturan, çubuk şeklinde bakterilerdir. Çoğunlukla mezofilik olmakla birlikte, psikrofilik ve termofilik türleri de vardır. Endospor oluştururlar. Vejetatif hücreler 0,5×1,2 µm ile 2,5×10 µm çapındadır. *Bacillus* cinsinin koloni morfolojisi çeşitlilik gösterir. Geneli beyaz veya krem renkli kolonilere sahiptir. Bazı türlerinde sarı, pembe, portakal rengi ve siyah renklerde pigmentli kolonilere de rastlanır. Birçok türü bulunan *Bacillus*'lara toprak, su ve çeşitli gıdalarda rastlanmaktadır.

Elliyeye yakın türü ihtiva eden *Bacillus*'larda, endosporun hücre içindeki yeri farklı olabilir. Spor hücre merkezinde veya uçta olabilir. Vejetatif hücreden daha dar olabildiği gibi, daha geniş de olabilir. Sporu kimyasal ajanlara veya diğer çevresel faktörlere karşı koruyan spor kılıfı, 25'ten fazla çapraz bağlı polipeptidten oluşmuştur. Sporlar elips şeklinde, 1,5 µm uzunluğunda ve 0,7 µm çapındadırlar. Bakteri süspansiyonu pastörize edilerek, ortamda sadece sporların kalması ve vejetatif hücrelerin giderimi sağlanabilir (Şengül 2009). Bir sporun yapısı Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Spor yapısı (Şengül 2009)

*B.subtilis* sporları, evsel atıksu veya arıtılmamış içme suyu gibi ortamlarda bulunmaktadır. Zor şartlarda canlı kalabilirler ve laboratuvar ortamında uzun periyotlarda saklanabilirler. Birçok fiziksel ve kimyasal faktöre dirençlidirler. Bu karakteristikleri ile, su bileşimindeki varyasyonlardan etkilenmeyecekleri için UV dezenfeksiyonunda etkilenme potansiyeli azalacaktır. Bu nedenlerle *B.Subtilis* sporları UV dezenfeksiyonu çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şengül 2009).

## 2.2.6. Uluslararası ve ulusal mikrobiyal standartlar

31.12.2004 tarihli ve 25687 nolu Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği'ne göre kıta içi yüzeysel suların kalitelerine göre yapılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir;

- Sınıf I : Yüksek kaliteli su,  
Sınıf II : Az kirlenmiş su,  
Sınıf III : Kirli su,  
Sınıf IV : Çok kirlenmiş su olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda belirtilen kalite sınıflarına karşılık gelen suların aşağıdaki su kullanım alanları için uygun olduğu kabul edilmektedir.

a) Sınıf I – Yüksek kaliteli su;

- 1) Yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu temini,
- 2) Rekreatyonel amaçlar (yüzme gibi vücut teması gerektirenler dahil),
- 3) Alabalık üretimi,
- 4) Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı,
- 5) Diğer amaçlar.

b) Sınıf II – Az kirlenmiş su;

- 1) İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu temini,
- 2) Rekreatyonel amaçlar,
- 3) Alabalık dışında balık üretimi

Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre parametreler Çizelge 2.12'de verilmiştir. Evsel nitelikli atıksu kaynaklarından doğrudan ve/veya kentsel arıtma tesislerinden arıtılmış olarak çıkan suların alıcı ortama deşarjında istenen standart değerler yine bu yönetmelik ile belirlenmiş olup, bu değerler Çizelge 2.13'de verilmiştir. Çizelge 2.14' de ise sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması verilmiştir.



**Çizelge 2.12.** Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre parametreler (Anonim 2004)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
<b>Genel Şartlar</b>				
Sıcaklık (°C)	≤ 25	≤ 25	≤ 30	> 30
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0 dışında
İletkenlik (µS/cm)	< 400	400-1000	1001-3000	> 3000
Renk	RES 436 nm: 1,5 RES 525 nm: 1,2 RES 620 nm: 0,8	RES 436 nm: 3 RES 525 nm: 2,4 RES 620 nm: 1,7	RES 436 nm: 4,3 RES 525 nm: 3,7 RES 620 nm: 2,5	RES 436 nm: 5 RES 525 nm: 4,2 RES 620 nm: 2,8
<b>A) Oksijenlendirme Parametreleri</b>				
Çözünmüş oksijen (mg O <sub>2</sub> /L)	> 8	6-8	3-6	< 3
Oksijen doygunluğu (%)	90	70-90	40-70	< 40
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) (mg/L)	< 25	25-50	50-70	> 70
Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI <sub>5</sub> ) (mg/L)	< 4	4-8	8-20	> 20
<b>B) Nutrient (Besin Elementleri) Parametreleri</b>				
Amonyum azotu (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/L)	< 0,2	0,2-1	1-2	> 2
Nitrit azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N/L)	< 0,002	0,002-0,01	0,01-0,05	> 0,05
Nitrat azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L)	< 5	5-10	10-20	> 20
Toplam kjeldahl-azotu (mg/L)	0,5	1,5	5	> 5
Toplam fosfor (mg P/L)	< 0,03	0,03-0,16	0,16-0,65	> 0,65
<b>C) İz Elementler (Metaller)</b>				
Cıva (µg Hg/L)	< 0,1	0,1-0,5	0,5-2	> 2
Kadmiyum (µg Cd/L)	≤ 2	2-5	5-7	> 7
Kurşun (µg Pb/L)	≤ 10	10-20	20-50	> 50
Bakır (µg Cu/L)	≤ 20	20-50	50-200	> 200
Nikel (µg Ni/L)	≤ 20	20-50	50-200	> 200
Çinko (µg Zn/L)	≤ 200	200-500	500-2000	> 2000
<b>D) Bakteriyolojik Parametreler</b>				
Fekal koliform (EMS/100 mL)	≤ 10	10-200	200-2000	> 2000
Toplam koliform (EMS/100 mL)	≤ 100	100-20000	20000-100000	> 100000
Tehlikeli maddeler	Tehlikeli maddeler ve bu tabloda verilmeyen diğer kirleticiler konuyla ilgili ülke envanteri (referans değerler) oluşturulduktan sonra, 1 Ocak 2015'den itibaren değerlendirilecektir.			

**Çizelge 2.13.** Evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları (Anonim 2004)

Sınıf 1: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 5-120 Kg/Gün Arasında, Nüfus =84- 2000

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT	KOMPOZİT
		NUMUNE 2 SAATLİK	NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/L)	50	45
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	180	120
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	70	45
pH	-	6-9	6-9

\* Köyler için tabloda verilen deşarj limitleri için en az %60 arıtma verimi uygulanacaktır

Sınıf 2: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 120-600 Kg/Gün, Nüfus = 2000-10000

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT	KOMPOZİT
		NUMUNE 2 SAATLİK	NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/L)	50	45
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	160	110
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	60	30
pH	-	6-9	6-9

Sınıf 3: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 600-6000 Kg/Gün'den Büyük, Nüfus=10000-100000

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT	KOMPOZİT
		NUMUNE 2 SAATLİK	NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/L)	50	45
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	140	100
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	45	30
pH	-	6-9	6-9

Sınıf 4: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 6000 Kg/Gün'den Büyük, Nüfus > 100000

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT	KOMPOZİT
		NUMUNE 2 SAATLİK	NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> )	(mg/L)	40	35
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	120	90
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	40	25
pH	-	6-9	6-9

Eşdeğer Nüfusun Ne Olduğuna Bakılmaksızın Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan) ve Stabilizasyon Havuzları Sistemiyle Biyolojik Arıtma Yapan Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri İçin

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT	KOMPOZİT
		NUMUNE 2 SAATLİK	NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ <sub>5</sub> ) (ÇÖZÜNMÜŞ)	(mg/L)	75	50
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	180	120
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	200	150
pH	-	6-9	6-9

\* Köyler için tabloda verilen deşarj limitleri yada parametreler için en az %60 arıtma verimi uygulanacaktır.

**Çizelge 2.14.** Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (Anonim 2004)

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi <sup>a</sup>	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi <sup>b</sup>
<b>Sınıf A</b>				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri<sup>l</sup></i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma <sup>c</sup> -Filtrasyon <sup>d</sup> -Dezenfeksiyon <sup>e</sup>	-pH=6-9 -BOI <sub>5</sub> < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 mL <sup>g,h</sup> -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L <sup>i</sup>	-pH: Haftalık -BOI <sub>5</sub> : Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b)Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri<sup>m</sup></i>				
<i>b-Girişi kısıtlı sulama alanları</i>				
<i>c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
<b>Sınıf B</b>				
a)Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma <sup>c</sup> -Dezenfeksiyon <sup>e</sup>	-pH=6-9 -BOI <sub>5</sub> < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL <sup>g,j,k</sup> -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L <sup>i</sup>	-pH: Haftalık -BOI <sub>5</sub> : Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
b)Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler				
c)Otlak hayvanları için mera sulaması				
<b>Açıklamalar:</b>				
<i>-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır.</i>				
<i>-Püskürtmeli sulama yapılıyor ise AKM &lt; 30 mg/L olmalıdır.</i>				
<i>-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.</i>				
<i>-Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.</i>				

a-Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir.

b-Su kaynaklarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konulmuş bir sınırlamadır.

c-İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırmalı lagünleri vb içerebilir.

d-Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.

e-Dezenfektan olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz.

f-Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.

g-7günlük ortalama değerleri karakterize eder.

h-Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

i-Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir.

j-Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

k-Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir.

l-İleri arıtma uygulanmalıdır.

m-Halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemle geçirilen ürünlerdir.

Avrupa'da kentsel (evsel+evsel olmayan) atıksu arıtma tesislerinden alıcı ortamlara deşarj edilecek sular için gerekli standartlar, 21.05.1991 tarihli Avrupa Konseyi Direktifi 91/271/EEC ile düzenlenmiştir. Kentsel atıksu arıtma tesislerinden alıcı ortamlara deşarj edilecek sular için gerekli standartlar Çizelge 2.15'te verilmiştir.

**Çizelge 2.15.** Avrupa Birliği kentsel atıksu arıtma tesislerinden deşarj standartları (Sperling 2007)

Parametre	Konsantrasyon	Minimum azalma	Not
BOİ <sub>5</sub>	25 mg/L O <sub>2</sub>	70-90 %	
KOI	125 mg/L O <sub>2</sub>	75 %	
Toplam askıda katı madde	35 mg/L	90%	>10000 kişi
	60 mg/L	70%	2000-10000 kişi
	150 mg/L	-	Havuz çıkış suları
Toplam azot	10 mg/L		>100000 kişi
	15 mg/L	70-80 %	10000-100000 kişi
Toplam fosfor	1 mg/L		>100000 kişi
	2 mg/L	80%	10000-100000 kişi

Arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı olarak yeniden kullanılmasında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından önerilen mikrobiyolojik standartlar Çizelge 2.16 ve Çizelge 2.17'de verilmiştir.

**Çizelge 2.16.** Arıtılmış atıksuların tarımda kullanılmasında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen mikrobiyolojik standartlar<sup>(a)</sup> (Anonim 1989)

Kategori	Yeniden kullanım şartları	Maruz kalan grup	Bağırsak nematodları (yumurta/L) <sup>(b)</sup> (aritmetik ortalama)	Fekal koliform (FK/100 ml) <sup>(c)</sup> (geometrik ortalama)
A	Spor alanları, parklar, pişmeden yenen ürünlerin sulanması <sup>(d)</sup>	Çalışanlar, tüketiciler, halk	≤1	≤1000 <sup>(d)</sup>
B	Tahıl ürünleri, endüstriyel ürünler, otlaklar ve ağaçların sulanması <sup>(e)</sup>	Çalışanlar	≤1	önerilmemiş
C	Çalışanlar ve halk maruz kalmıyorsa kategori B'deki ürünlerin yerel sulaması	Hiç kimse	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil

- (a) Özel durumlarda yerel epidemiyolojik, sosyokültürel ve çevresel faktörler gözönüne alınmalıdır ve standartlar buna göre modifiye edilmelidir.  
(b) *Ascaris* ve *Trichuris* türleri ve kancalı kurtlar  
(c) Sulama dönemi boyunca  
(d) Halkın doğrudan temasının olduğu çim alanlarda daha sıkı standartlara (≤ 200 FK/100 mL) uyulmalıdır.  
(e) Meyve ağaçlarının sulanması durumunda sulama meyvelerin toplanmasından iki hafta önce durdurulmalıdır ve hiçbir meyve yerden alınmamalıdır.

**Çizelge 2.17.** Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasında Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından önerilen mikrobiyolojik standartlar<sup>(a)</sup> (Anonim 2012)

Yeniden kullanım kategorisi ve tanımı	Mikrobiyolojik standart
Kentsel geri kullanım	
Halkın erişimi sınırlandırılmamış	0 fekal koliform/100 ml <sup>(9,10)</sup>
Halkın erişimi sınırlandırılmış	≤ 200 fekal koliform/100 ml <sup>(9,13,14)</sup>
Tarımsal amaçlı kullanım	
Doğrudan tüketilen ürünler	0 fekal koliform/100 ml <sup>(9,10)</sup>
İşlenmiş ürünler	≤ 200 fekal koliform/100 ml <sup>(9,13,14)</sup>
Tüketim amaçlı olmayan ürünler	≤ 200 fekal koliform/100 ml <sup>(9,13,14)</sup>
Gölet	
Halkın girişi sınırlandırılmamış	0 fekal koliform/100 ml <sup>(9,10)</sup>
Halkın girişi sınırlandırılmış	≤ 200 fekal koliform/100 ml <sup>(9,13,14)</sup>
Endüstriyel kullanım	≤ 200 fekal koliform/100 ml <sup>(9,13,14)</sup>
Çevresel kullanım (yapay sulak alan)	≤ 200 fekal koliform/100 ml <sup>(9,13,14)</sup>
Yeraltı suyu besleme	Bölgeye ve kullanıma bağlı
İçme suyu akiferlerine enjeksiyon ile yeraltı suyu besleme	0 toplam koliform/100 ml <sup>(9,10)</sup>

- (9) Son 7 gün içinde elde edilen bakteriyolojik sonuçların medyan değerleri. Membran filtrasyonu veya çoklu tüp uygulanabilir.  
(10) Örneklerin hiçbirinde, fekal koliform veya toplam koliform sayısı 14/100 ml'yi geçmemelidir.  
(13) Örneklerin hiçbirinde, fekal koliform sayısı 800/100 ml'yi geçmemelidir.  
(14) Bazı stabilizasyon havuzlarında, dezenfeksiyon uygulanmadan bu değer karşılanabilir.

## 2.3. Atıksuların Dezenfeksiyonu

### 2.3.1. Atıksu dezenfeksiyonunun önemi

#### *a) Güvenli içme ve kullanma suyu temini*

Atıksu arıtımının temel hedeflerinden biri de, atıksulardaki patojenlerin öldürülmesi ve yeniden çoğalmanın kontrol edilmesidir. Atıksulardaki patojenlerin giderimi halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Çünkü, kontamine suların çeşitli amaçlarla kullanılması sonucu, hastalık yapıcı mikroorganizmalar insanlara ulaşarak hastalıklara sebep olmaktadır. WHO ve UNICEF'e göre kirlenmiş içme suyu ve hijyen yetersizliği, hergün yaklaşık 4500-5000 çocuğun ölümüne neden olmaktadır ve dünyada, hala 1 milyar insan güvenli içme suyuna ulaşmada sıkıntı çekmektedir. Atıksu dezenfeksiyonu, güvenli suyun kullanımı için çok önemlidir ve arıtılmış atıksularda veya bu suların deşarj edildiği alıcı ortamlarda, bakteri popülasyonunda meydana gelen hızlı artış (yeniden çoğalma), dezenfektanların etkili bir şekilde kullanımı ile önlenir (Block 2000, Anonim 2007).

#### *b) Sulama suyu olarak kullanımı*

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu'na göre (FAO), dünya çapında kullanılan tatlı suların %70'ini tarım tüketmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise, kullanılabilir tatlı sular için bu değer %95'in üstüne çıkmaktadır. Bir kişi için günlük içme suyu ihtiyacının 2-4 L olduğu düşünülürse, bir kişinin günlük besin ihtiyacını karşılamak için ihtiyaç duyulan su miktarının 2000-5000 L olduğu çoğunlukla unutulmaktadır. Dünyada ekili alanların %80'i yağmur suyu ile beslense de, FAO sulamaya dayalı tarımda keskin bir artış olacağını öngörmektedir. Sulama amacıyla kullanılan yüzeysel sular veya depolanmış yağmur suyu, fitopatojenik bakteri ve mantarları bünyesinde bulundurmaktadır (Malato ve ark. 2009). Fitopatojenlerin giderilmesi, tarım ürünleri ve yüzeysel suların kontaminasyonunun önlenmesi için, arıtılmış suların sulamada kullanımdan önce dezenfeksiyonu önemlidir.

## 2.3.2. Dezenfeksiyon yöntemleri

### 2.3.2.1. Klasik yöntemler

Dezenfeksiyon, yaygın olarak, (a) kimyasal maddeler (b) fiziksel yöntemler (c) mekanik yöntemler (d) radyasyon kullanımı ile gerçekleştirilir.

**(a) Kimyasal maddeler:** Dezenfektan olarak kullanılan kimyasal maddeler arasında klor ve bileşikleri, brom, iyot, ozon, fenol ve fenolik bileşikler, alkoller, ağır metaller, boyalar, sabun ve sentetik deterjanlar, kuaterner amonyum bileşikleri, hidrojen peroksit, perasetik asit, çeşitli asit ve alkaliler sayılabilir. Bunların arasında, oksitleyici kimyasallar, en yaygın kullanılan dezenfektanlardır ve klor, tüm dünyada en çok tercih edilen dezenfektandır. Klor ve klor bileşikleri de evsel atıksuların dezenfeksiyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, atıksuların klorlanması karmaşık bir işlemdir; çünkü, dezenfektan etkinliğinin sürekliliğini sağlamak güçtür. Yapılan çalışmalarda, evsel atıksuyun kompleks ve sürekli değişim gösteren bileşimi, değişken ve önceden öngörülemeyen sonuçların alınmasına sebep olmuştur (Block 2000). Brom ve iyotta, atıksu dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır.

Ozon, oldukça etkili bir dezenfektan olup, kalıntı bırakmamasına rağmen, kullanımını giderek artmaktadır. Ozon, klora göre, iki kat daha güçlü bir oksidandır. Oksitleme reaksiyonu hızlı bir şekilde gerçekleşir ve bakteri ve virüs inaktivasyonunda oldukça etkilidir. Fekal koliformlar, bazı virüslere göre, ozona karşı, daha fazla direnç gösterirler. Bazı araştırmacılar tarafından, UV radyasyonu ve ozonu tek olarak kullanılmaktansa, birlikte kullanmanın, maliyet açısından daha verimli olacağı ortaya konmuştur (Block 2000).

pH < 3 veya pH > 11 olan sular pek çok bakteri için toksiktir ve patojen inaktivasyonunda kullanılabilir (Tchobanoglous ve ark. 2004).

**(b) Fiziksel yöntemler:** Isı, ışık ve ses dalgaları bu grupta sayılabilir. Suyun kaynatılması, spor oluşturmeyen, hastalık yapıcı bakterilerin büyük kısmını gidermektedir. Isı ile dezenfeksiyon, içecek ve süt endüstrilerinde yaygın olarak kullanılsa da, büyük hacimlerdeki atıksuların dezenfeksiyonu için fizibil değildir. Güneş ışığı da,

elektromanyetik spektrumun UV kısmı sayesinde, iyi bir dezenfektandır. Oksidasyon havuzlarında ortaya çıkan mikroorganizma ölümü de, güneş ışığına maruz kalma sonucu gerçekleşmektedir. Su ve atıksu dezenfeksiyonunda, ultraviyole radyasyonu yayan özel lambalar başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Prosesin verimi, ışınların su içine nüfuz etmesine bağlıdır. Bakteri ve virüs gideriminde oldukça etkili olan bu yöntemin en büyük dezavantajı, suyun içinde bulunan çeşitli partiküllerin ve organik maddenin, ışığı absorbe ederek veya dağıtarak proses verimini düşürmesidir (Block 2000).

**(c) Mekanik yöntemler:** Atıksu arıtımında, bakteri ve diğer organizmalar mekanik yöntemlerle giderilebilir. Bu yöntemler ve giderim verimleri Çizelge 2.18’de verilmiştir. İlk 4 yöntem, fiziksel olarak ele alınabilir. Atıksuların dezenfekte edilmesi amacıyla doğal proseslerin kullanıldığı birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi stabilizasyon havuzlarının kullanımınıdır. Bu havuzlardaki mikroorganizma inaktivasyonu, su içerisindeki çözülmüş oksijen konsantrasyonuna bağlıdır. Ayrıca UV-A ve UV-B radyasyonu da inaktivasyonu artırır. Diğer bir yaklaşım da, atıksuların yapay sulak alanlar kullanılarak dezenfekte edilmesidir. Bu yöntem, ham atıksuların dezenfeksiyonunda kullanılabilir gibi, stabilizasyon havuzları çıkış suları için ek arıtım amacıyla da kullanılabilir (Block 2000).

**Çizelge 2.18.** Çeşitli arıtma proseslerinin bakteri giderim yüzdeleri (Tchobanoglous ve ark. 2004).

Proses	% Giderim
Kaba Izgaralar	0-5
İnce Izgaralar	10-20
Kum Tutucu	10-25
Ön çökeltim	25-75
Kimyasal Çökeltim	40-80
Damlatmalı Filtre	90-95
Aktif Çamur	90-98
Arıtılmış Atıksuların Klorlanması	98-99,999



**(d) Radyasyon:** Radyasyonun en önemli türleri, elektromanyetik, akustik ve partikül radyasyondur. Gamma ışınları, kobalt-60 gibi radyoizotoplardan yayılmaktadır. Penetrasyon gücü nedeni ile, su ve atıksu dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır. Yüksek enerjili ışın demeti ile, atıksu ve çamur dezenfeksiyonu konusunda çalışmalar yapılmış olsa da, tam ölçekli uygulamalar yoktur (Tchobanoglous ve ark. 2004).

#### **Dezenfektanların etki mekanizması:**

Dezenfektan etkilerinin açıklanmasında 5 farklı mekanizmadan söz edilebilir. Bunlar;

- (a) Hücre duvarı hasarı
- (b) Hücre geçirgenliğinin değişmesi
- (c) Protoplazmanın koloidal yapısının değişmesi
- (d) DNA veya RNA'nın değişmesi
- (e) Enzim aktivitesinin inhibisyonudur.

Hücre duvarı hasarı, hücre çözülmesine ve ölüme neden olur. Penisilin gibi bazı maddeler, bakteriyel hücre duvarı sentezini inhibe ederler.

Fenolik bileşikler, deterjan gibi maddeler sitoplazmik membranın geçirgenliğini değiştirirler. Bu maddeler, membranın seçici geçirgenliğini tahrip ederek, azot, fosfor gibi hayati nutrientlerin kaçırılmasına neden olurlar.

Isı, radyasyon ve asit veya alkali maddeler, protoplazmanın koloidal yapısını değiştirirler. Isı etkisi ile hücre proteinleri koagüle olur. Asit ve bazlar ise, proteinleri denatüre ederek, öldürücü bir etki oluşturur.

UV radyasyonu, bazı DNA iplikçiklerinin kırılmasına ve çift bağların oluşmasına sebep olur. UV fotonları, DNA veya RNA tarafından absorblandığında, RNA'daki urasillerden veya DNA'daki timinlerden, kovalent dimerler oluşur. Çift bağların oluşmasıyla, replikasyon durur, organizma çoğalamaz ve inaktive olur.

Klor gibi oksitleyici maddeler, enzimlerin kimyasal düzenini değiştirip, enzimleri inaktive eder (Tchobanoglous ve ark. 2004).

#### **Klasik yöntemlerin avantaj ve dezavantajları:**

Çizelge 2.19'da klasik yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanların avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

**Çizelge 2.19.** Atıksu dezenfeksiyonu için klor, klor dioksit, ozon ve UV radyasyonunun avantajları ve dezavantajları

<b>KLOR</b>	
<b>Avantajlar</b>	<b>Dezavantajlar</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. İyi yapılandırılmış teknoloji</li> <li>2. Etkili dezenfektan</li> <li>3. Klor kalıntısı gözlenebilir ve belirli bir düzeyde korunabilir.</li> <li>4. Bileşik klor kalıntıları amonyak eklemesi ile de sağlanabilir.</li> <li>5. Mikrop öldürücü klor kalıntıları uzun iletim hatlarında korunabilir.</li> <li>6. Koku kontrolü ve dezenfeksiyon tesisi su sistemleri gibi destek kullanımlar için kimyasal sistemin elverişliliği.</li> <li>7. Sülfürü oksitler</li> <li>8. Nispeten ucuz</li> <li>9. Klor gazından daha güvenli olduğu düşünülen kalsiyum ve sodyum hipoklorit olarak bulunur</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tesis çalışanları ve halk için bir tehdit olabilcek tehlikeli kimyasallar; sıkı güvenlik ölçümleri kullanılmalıdır.</li> <li>2. Diğer dezenfektanlarla karşılaştırıldığında nispeten daha uzun temas süresi gerektirir.</li> <li>3. Birleşik klor, koliformlar için kullanılan düşük dozlarda, bazı sist,spor ve virüsleri inaktive etmede yetersiz</li> <li>4. Arıtılmış atıksuyun kalıntı zehirliliği deklorinasyon ile azaltulmalıdır.</li> <li>5. Dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumu</li> <li>6. Klor temas kaplarından uçucu organik bileşiklerin çıkışı</li> <li>7. Demiri, magnezyumu ve diğer inorganik bileşikleri oksitleyerek, dezenfektan tüketimi</li> <li>8. Çeşitli organik bileşikleri oksitleme (dezenfektanı tüketir)</li> <li>9. Arıtılan atıksuyun toplam çözünmüş katı değeri artar</li> <li>10. Atık suyun klorür içeriği artar.</li> <li>11. Asit oluşumu; atıksuyun pH'sı alkalinite yetersizse azalır.</li> <li>12. Arttırılmış güvenlik düzenlemeleri</li> <li>13. Kimyasal temizleme aktiviteleri gerekebilir.</li> </ol>
<b>KLORDİOKSİT</b>	
<b>Avantajlar</b>	<b>Dezavantajlar</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Etkili dezenfektan</li> <li>2. Birçok virüsler, sporlar, sistler ve osistlerin inaktivasyonunda klordan daha etkilidir.</li> <li>3. Biyosidal özellikleri pH tarafından etkilenmez</li> <li>4. Uygun üretim koşulları altında halojen içerikli dezenfektan yan ürünleri oluşturulmaz.</li> <li>5. Sülfürü oksitler</li> <li>6. Kalıntı sağlar</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sabit değıldir, yerinde üretilmelidir</li> <li>2. Demiri, magnezyumu ve diğer inorganik bileşikleri oksitler(dezenfektan tüketir)</li> <li>3. Çeşitli organik bileşikleri oksitler.</li> <li>4. Klorit veya klorat gibi yan ürünlerin oluşumu</li> <li>5. Halojen içerikli dezenfektan yan ürünlerinin oluşma potansiyeli</li> <li>6. Güneş ışığında ayrışır</li> <li>7. Kokuların oluşumuna neden olabilir</li> <li>8. Arıtılmış atıksuyun toplam çözünmüş katı değeri artar.</li> <li>9. İşletme ücretleri yüksek olabilir (örneğin klorit ve klorat için test edilmelidir)</li> </ol>

**Çizelge 2.19.** Atıksu dezenfeksiyonu için klor, klor dioksit, ozon ve UV radyasyonunun avantajları ve dezavantajları (devamı)

<b>OZON</b>	
<b>Avantajlar</b>	<b>Dezavantajlar</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Etkili dezenfektan</li> <li>2. Birçok virüsler, sporlar, sistler ve osistlerin inaktivasyonunda klordan daha etkilidir.</li> <li>3. Biyosidal özellikleri pH tarafından etkilenmez</li> <li>4. Klordan daha kısa temas süresi</li> <li>5. Sülfürü oksitler</li> <li>6. Daha az yer gerektirir</li> <li>7. Çözünmüş oksijene katkıda bulunur.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dezenfeksiyonun başarılı olup olmadığını anlamak için hemen ölçüm yapılamaması</li> <li>2. Kalıntı etkisi yok</li> <li>3. Koliform organizmalar için kullanılan küçük dozlarda bazı virüslerin, sporların, sistlerin inaktivasyonunda daha az etkili</li> <li>4. Dezenfektan yan ürünlerinin oluşumu</li> <li>5. Demiri, magnezyumu ve diğer inorganik bileşikler oksitler (dezenfektan tüketir)</li> <li>6. Çeşitli organik bileşikler oksitler (dezenfektan tüketir)</li> <li>7. Kullanılmayan gaz arıtma gerektirir</li> <li>8. Güvenlik endişeleri</li> <li>9. Oldukça korozif ve toksik</li> <li>10. Yoğun enerji</li> <li>11. Nispeten pahalı</li> <li>12. İşletim ve bakımı hassas</li> </ol>
<b>UV RADYASYONU</b>	
<b>Avantajlar</b>	<b>Dezavantajlar</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Etkili dezenfektan</li> <li>2. Kalıntı toksisite yok</li> <li>3. Birçok virüsler, sporlar, sistlerin inaktivasyonunda klordan daha etkilidir.</li> <li>4. Dezenfeksiyon için kullanılan dozda yan ürün oluşumu yok</li> <li>5. Arıtılmış atıksuyun toplam çözünmüş katı düzeyini arttırmaz</li> <li>6. NMDA gibi dirençli organik bileşenlerin parçalanmasında etkili</li> <li>7. Kimyasal dezenfektanların kullanımıyla karşılaştırıldığında gelişmiş güvenlik</li> <li>8. Klor dezenfeksiyonundan daha az yer gerektirir</li> <li>9. Yüksek dozlarda uygulanırsa, bazı organik bileşiklerin konsantrasyonunu azaltmak için UV ışınları kullanılabilir.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dezenfeksiyonun başarılı olup olmadığını anlamak için hemen ölçüm yapılamaması</li> <li>2. Kalıntı etkisi yok</li> <li>3. Koliform organizmalar için kullanılan küçük dozlarda bazı virüslerin, sporların, sistlerin inaktivasyonunda daha az etkili</li> <li>4. Yoğun enerji kullanımı</li> <li>5. UV sisteminin hidrolik tasarımı kritik</li> <li>6. Nispeten pahalı</li> <li>7. Düşük basınçlı düşük yoğunluklu lambalar kullanıldığında daha çok UV lambası gerekir</li> <li>8. Düşük basınçlı düşük yoğunluklu lambalar asit yıkaması gerektirir</li> </ol>

### 2.3.2.2. İleri oksidasyon yöntemleri

**İleri Oksidasyonun Tanımı:** İleri oksidasyon prosesleri atıksularda bulunan ve biyolojik olarak parçalanması zor olan organik bileşiklerin daha basit son ürünlere oksitlenmesini sağlayan proseslerdir. İleri oksidasyonda, belirli bir bileşiğin veya bileşik grubunun tümüyle okside olması zorunlu değildir. Birçok durumda, bileşiğin toksisitesini azaltmak veya biyolojik arıtmaya uygun hale getirmek için kısmi oksidasyon yeterli olmaktadır. Oksidasyon, oluşan son ürünlere göre 4 grupta karakterize edilebilir:

- ✓ *Ön parçalanma:* Ana bileşiğin yapısal değişimini ifade eder.
- ✓ *Kabul edilebilir parçalanma (etkisizleştirme):* Ana bileşiğin yapısının toksisitesinde azalmayla birlikte değişimini ifade eder.
- ✓ *İleri parçalanma (mineralizasyon):* Organik karbonun CO<sub>2</sub>'e dönüşümüdür.
- ✓ *İstenmeyen parçalanma:* Ana bileşiğin yapısının değişimiyle toksisitesinin artışıdır (Rice 1996).

İleri oksidasyon proseslerinde çok yüksek oksidasyon hızlarına sahip oksitleyici radikallerin üretiminin başarılması durumunda tam olarak kirleticilerin stabilizasyonu mümkün olabilmektedir. İleri oksidasyon prosesleri, oksijen, ozon, klor gibi klasik oksitleyiciler ile okside olmayan bileşiklerin parçalanması için, güçlü bir oksidan olan hidroksil radikalının (OH•) oluşturulması ve kullanılmasına dayanır. Ortamdaki çözülmüş bileşenler ile reaksiyona giren hidroksil radikali, bu bileşenler tamamen mineralize olana kadar, bir dizi oksidasyon reaksiyonu gerçekleştirir. Seçici olmayan ve normal sıcaklık ve basınçta da çalışabilen hidroksil radikali, herhangi bir grup veya sınıf sınırlaması olmaksızın, ortamdaki tüm maddeleri oksitleme yeteneğindedir (Singer ve Reckhow 1999).

**İleri Oksidasyonun Mekanizması ve Serbest Radikal Oluşumu:** Serbest radikaller, paylaşılmamış elektron içeren moleküller ya da atomlardır. Radikal sembollerinde bulunan noktalar (A• gibi) bu paylaşılmamış elektronu ifade etmektedir. Bazı radikaller kararlı ve uzun ömürlü iken (en yaygın örneği oksijen-O<sub>2</sub>); birçok radikal yüksek reaktifliğe sahip ve kısa ömürlüdür (Christophersen ve ark. 1991).

En önemli serbest radikaller, oksijenden oluşan radikallerdir. Reaktif oksijen türleri, çeşitli serbest radikallerin oluştuğu serbest radikal zincir reaksiyonlarını başlatabilirler.  $Fe^{+3}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$  ve  $Mo^{+5}$  gibi geçiş metalleri de ortaklanmamış elektronlara sahip oldukları halde serbest radikal olarak kabul edilmezler, fakat serbest radikal oluşumunda önemli rol oynarlar. Serbest radikaller pozitif yüklü (katyon), negatif yüklü (anyon) veya elektriksel olarak nötral olabilirler (Altınışık 2000).

Serbest radikaller genellikle paylaşılmamış elektronlarını bir diğeri ile eşleştirmek eğilimindedirler ve bu eksik elektronu kazanabilmek için başka bir molekül ile reaksiyona girerler.  $e^-$  kazanımı, başka bir molekülden  $e^-$  alınarak gerçekleşirse, bu molekül radikale dönüşür (Reaksiyon 2.1) ve böylece kendi kendine ilerleyen bir reaksiyon dizisi başlamış olur (Reaksiyon 2.2). Çünkü hala ortamda çifti olmayan elektronlar mevcuttur.



Eğer bir radikal paylaşılmamış elektronunu ikinci bir radikal ile eşleştirirse, reaksiyon zinciri sonlanır ve iki radikalde birbirinin etkisini yok eder (Reaksiyon 2.3).



(Christophersen ve ark. 1991).

Oksijenden oluşan başlıca reaktif türler aşağıda açıklanmıştır:

a) *Singlet oksijen*: Solduğumuz oksijen ( $^3O_2$ ) temel seviyededir; yani en düşük enerji seviyesindedir, enerji olarak uyarılmış değildir. Serbest radikaldir; ya da daha doğru bir ifade ile, iki paylaşılmamış elektronu bulunduğu bir radikaldir.

Elektronların dönüş yönlerini tanımlayan (+) ve (-) spinleri vardır. En dış orbitallerindeki elektron çifti paralel spinli olan moleküller ( $\uparrow\uparrow$ ) triplet seviyededir. En dış orbitallerindeki elektron çifti zıt spinli olan moleküller ( $\uparrow\downarrow$ ) singlet seviyededir. Temel (triplet) seviyedeki oksijenin paylaşılmamış iki elektronu paralel spinli olduğundan, bu durum, birçok

molekül ile reaksiyona izin vermez. Yani triplet oksijen reaktif değildir. Ancak, enerji ile aktive edilerek, reaktif oksijen türlerine dönüştürülür.

Eğer triplet oksijen eşleşmemiş elektronlarından birinin spin yönünü tersine çevirebilecek enerjiyi absorblarsa, singlet hale dönüşür.  $^1\text{O}_2$  şeklinde gösterilen singlet oksijen zıt spinli elektron çiftine sahiptir ve eşleşmemiş elektronu olmadığı için serbest radikal olmasa da, oldukça reaktiftir.

•O – O• triplet oksijen ( $\uparrow\uparrow$ ) temel seviye

enerji ↓

O – O: singlet oksijen ( $\uparrow\downarrow$ ) reaktif

Başka bir ifade ile;  $^3\text{O}_2 + \text{enerji} \rightarrow ^1\text{O}_2$

Singlet oksijenin fazla enerjisini vererek triplet seviyeye dönüşü zıt spinlerce engellendiğinden, singlet oksijen daha uzun ömürlüdür. Triplet seviyeye dönebilmesi için fazla enerjisini başka bir moleküle vermesi gerekir (Christophersen ve ark. 1991).

Singlet oksijen, doğal biyolojik reaksiyonlar sonucunda ve ışık enerjisinin absorbe edilmesiyle gerçekleşen fotosensitizasyon prosesleriyle oluşmaktadır. Aldığı enerjiyi çevreye dalga enerjisi şeklinde verip yeniden oksijene dönebilir (Altınışık 2000). Su içinde 3-5  $\mu\text{s}$ 'lik ömrü ile singlet oksijenin oluştuğu noktadan potansiyel hedefe difüzyonunun 0.1  $\mu\text{m}$  bir mesafe ile sınırlı olduğu bilinmektedir (Manjon ve ark. 2008).

*b) Süperoksit anyonu:* Moleküler oksijenin bir elektron alarak indirgenmesi sonucu oluşur. Kazandığı ekstra elektron nedeniyle negatif yüklüdür ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ). Süperoksit radikali hem oksitleyici hem indirgeyici özelliğe sahiptir.

•O — O• (triplet oksijen) ( $\downarrow\downarrow$ ) (taban hali)

↓ monovalent indirgenme

•O — O: (süperoksit)

Süperoksit radikalinin kendisi direkt olarak zarar vermez. Bu radikal anyonun asıl önemi; singlet oksijen, peroksinitrit gibi türlerin öncüsü olmasından ve geçiş metalleri iyonlarının indirgeyicisi olmasından kaynaklanmaktadır.

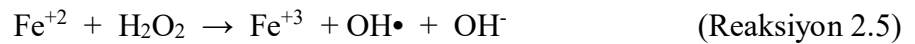
Geçiş metalleri ile süperoksit arasındaki reaksiyonlarda, bu anyon, yükseltgen değil, indirgen olarak görev alır. Bir elektronunu vererek metal iyonunu indirger ve indirgenen metal iyonunun, hidrojen peroksit ile reaksiyona girmesi sonucunda hidroksil radikali oluşur. Süperoksit anyonu hidroksil radikali ile de reaksiyona girerek singlet oksijen oluşturmaktadır (Christophersen ve ark. 1991, Altınışık 2000).



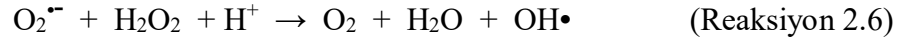
c) *Hidrojen peroksit*: Yapısında paylaşılmamış elektron içermediğinden radikal özelliği taşımaya da, reaktif oksijen türleri (ROS) kapsamına girer ve serbest radikal biyokimyasında önemli bir rol oynar. Hidrojen peroksidin oksitleyici bir tür olarak bilinmesinin nedeni, demir, bakır gibi metal iyonlarının varlığında hidroksil radikalinin öncüsü olarak davranmasıdır.  $\text{Fe}^{+2}$  veya diğer geçiş metallere varlığında Fenton reaksiyonu sonucu, süperoksit radikalinin ( $\text{O}_2^{\bullet -}$ ) varlığında Haber-Weiss reaksiyonu sonucu en reaktif ve zarar verici serbest oksijen radikali olan hidroksil radikali ( $\text{OH}\bullet$ ) oluşturur (Christophersen ve ark. 1991, Altınışık 2000).

d) *Hidroksil radikali*: Hidroksil radikali ( $\text{OH}\bullet$ ), Fenton reaksiyonu ve Haber-Weiss reaksiyonu sonucu hidrojen peroksitten oluşmaktadır. Ayrıca suyun yüksek enerjili iyonize edici radyasyona maruz kalması sonucunda oluşur.

Metal iyonları ile hidrojen peroksidin tepkimesinden, hidroksil radikali ve hidroksit iyonu açığa çıkar. Bu reaksiyon Fenton reaksiyonu olarak bilinir. Metal iyonu, peroksidin oksijen-oksijen bağının kırılmasında rol oynar. Pekçok hücrede bulunan, demir, bakır vb. metaller, bu reaksiyonu katalizleyebildiğinden, biyolojik sistemler için önemlidir.



Haber-Weiss reaksiyonunda ise;



(Christophersen ve ark. 1991, Altınışık 2000).

Suda hidroksil radikalleri 4 farklı mekanizma ile oluşur. Bunlar; ekleme, hidrojen çıkarma, elektron transferi ve radikal etkileşimidir (Ameta ve ark. 2013).

Çizelge 2.20’de bazı reaktif oksijen türlerinin ve çeşitli oksidantların oksidasyon potansiyelleri verilmiştir.

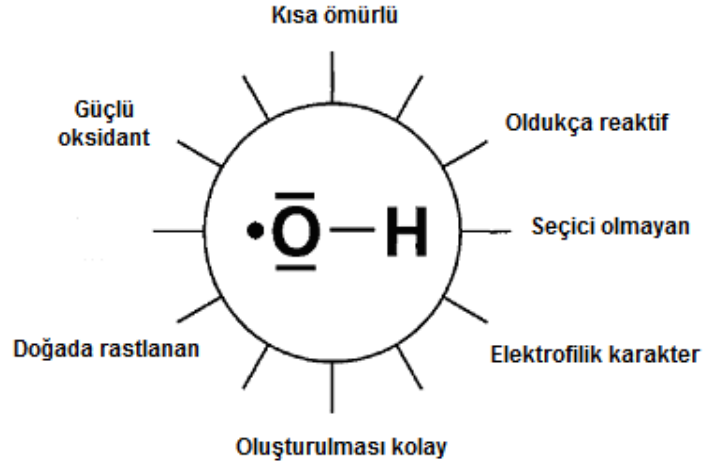
**Çizelge 2.20.** Bazı türlerin oksidasyon potansiyelleri (Şengül 2009)

<b>Tür</b>	<b>Oksidasyon Potansiyeli (V)</b>
Flor	3,03
Hidroksil radikali	2,80
Singlet (tekli) oksijen	2,42
Ozon	2,07
Hidrojen peroksit	1,78
Perhidroksil radikali	1,70
Permanganat	1,68
Hipobromöz asit	1,59
Klordioksit	1,57
Hipokloröz asit	1,49
Klor	1,36

Tablodan da görüldüğü gibi, hidroksil radikali flordan sonra en güçlü oksidanttır. Bu radikal, ozondan daha hızlı biçimde birçok organik bileşiği oksitleyebilmektedir (Parsons 2004). Hidroksil radikallerinin yarılanma süreleri yaklaşık  $10^{-9}$  saniyedir. Hidroksil radikalleri hemen hemen hiç organik madde ayrımı yapmadan oksidasyon reaksiyonuna girerek, uygun reaksiyon şartlarında kirletici organik maddenin tamamen mineralizasyona uğramasını,  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  gibi son ürünlerin oluşmasını sağlamaktadır (Şengül ve Çokay 2006). İleri oksidasyon proseslerinin temel amacı, su içerisinde hidroksil radikallerinin oluşumunu sağlamaktır. Hidroksil radikali dirençli organiklerin



gideriminde etkili olduğu gibi, mikroorganizma inaktivasyonunda da etkilidir (Oppenländer 2003). Hidroksil radikalinin bazı karakteristik özellikleri Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** Hidroksil radikalinin bazı karakteristik özellikleri (Şengül 2009)

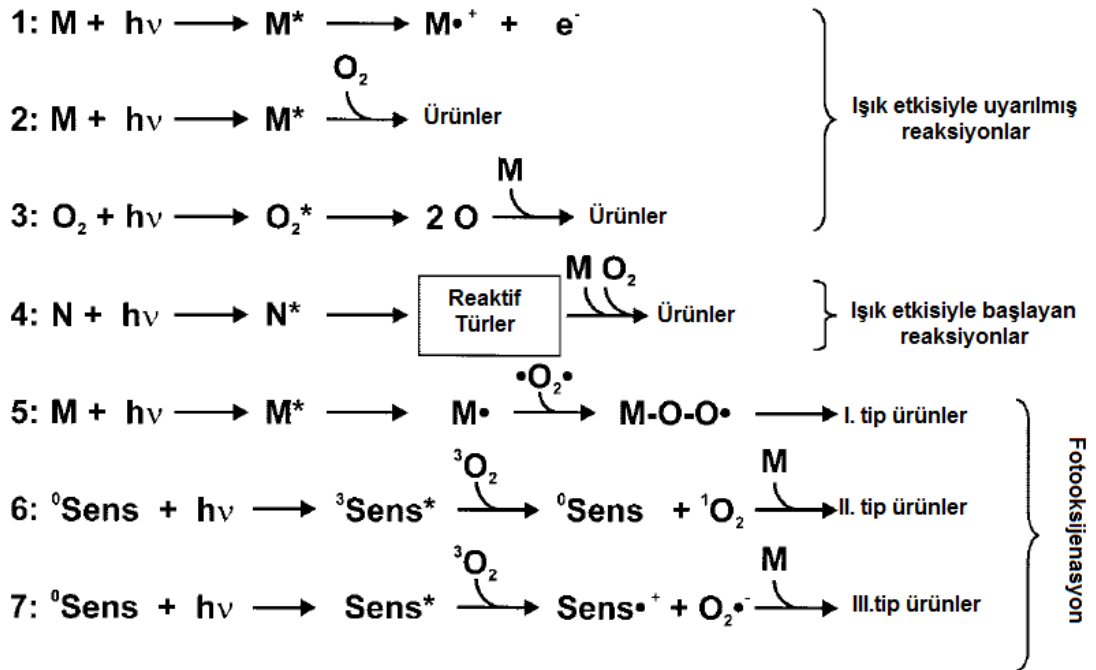
**Fotooksidasyon Reaksiyonları:** İleri oksidasyon proseslerinin temeli, güneş ışığı gören yüzeysel sulara veya dünya atmosferinde meydana gelen doğal ışık reaksiyonlarına dayanmaktadır. İleri oksidasyon proseslerinde ışık veya UV ışınları bir katalist görevi görmez. Çünkü, bir molekül tarafından absorplanmış fotonun enerjisi, o molekülü uyarılmış hale getirmede kullanılır. Böylece fotonun enerjisi harcanmış olur ve foton kaybolur. Görünür ışık veya UV ışınları etkisiyle gerçekleşen prosesler fotooksidasyon prosesleri olarak adlandırılır ve 3 gruba ayrılır:

- a) **Işık etkisiyle uyarılmış reaksiyonlar:** Elektromanyetik radyasyonun absorpsiyonu sonucu moleküllerin (M) fotoiyonizasyonudur. Elektronik olarak uyarılmış substrat molekülünden ( $M^*$ ) ortama bir elektron verilmesiyle radikal katyonu oluşur ( $M^{*+}$ ). Işık etkisiyle uyarılmış reaksiyonlar, genellikle, bir bileşiğin, UV veya görünür ışık altında, oksijen ile reaksiyonlarını kapsar. Böyle bir tepkimede, önce substrat molekülü (M) uyarılmış hale geçer. Ardından, uyarılmış molekülden ( $M^*$ ) oksijene elektron transferi gerçekleşir. Ayrıca, vakum ultraviyole ile moleküler oksijenin reaksiyonları da bu gruptadır.
- b) **Işık etkisiyle başlayan reaksiyonlar:** Ne substrat (M) ne de oksijen molekülü elektronik olarak uyarılmıştır. Substrat molekülü (M), başka bir molekülün (N)

uyarılmasıyla ortaya çıkan reaktif türle, ki bu çoğunlukla bir radikaldır, reaksiyona girer. İleri oksidasyon prosesleri bu tip fotooksidasyona dayanmaktadır. İOP'lerde radikal oluşumunu gerçekleştiren yardımcı oksidan (N) hidrojen peroksit veya ozon olabilir. VUV oksidasyonunda ise, farklı olarak, suyun kendisi elektronik olarak uyarılmaktadır.

c) *Fotooksjenasyon reaksiyonları:* Bu reaksiyonlar oldukça komplekstir. Birbiriyle rekabet eden reaksiyonlar, farklı oksijenli ürünlerin ortaya çıkışına öncülük eder. Fotokimyasal olarak oluşmuş radikallerin veya radikal iyonlarının, moleküler oksijen ile reaksiyonundan 1.tip ürünler oluşur. 2. tip ürünler ise, sensitize edilmiş fotooksidasyon reaksiyonlarında singlet oksijen yoluyla oluşur. Fotosensitizer görevi gören birçok bileşik mevcuttur. Bunların en yaygını, ışık absorblayan organik boyalardır. Fotosensitizerler, reaksiyonda tükenmeyen, elektron veya enerji transferini sağlayan maddelerdir. Süperoksit anyonu ile, substrat molekülü arasındaki tepkimelerden ise 3. tip ürünler oluşur (Oppenländer 2003).

Fotooksidasyon reaksiyonları Şekil 2.6'da özet halinde verilmiştir.



Şekil 2.6. Fotooksidasyon reaksiyonları (M ve N: substrat, sens: fotosensitizer) (Oppenländer 2003)

### **İleri Oksidasyon Proseslerinin Avantaj ve Dezavantajları:**

İleri oksidasyon proseslerinin avantajları şunlardır:

1. Organiklerin tümüyle mineralizasyonu (uygun şartlar sağlandığında)
2. Dayanıklı maddelerin giderimi
3. Konvansiyonel proseslerle kombinasyon kolaylığı (Ray ve ark. 2006)
4. Kısmi oksidasyon gerçekleşse bile ortaya kolay parçanabilir yan ürünlerin çıkması
5. Oksidan seçiminde farklı alternatifler (Oppenländer 2003)

Tüm bu özellikler ileri oksidasyon proseslerinin çevre mühendisliğindeki önemini ortaya koymaktadır.

İleri oksidasyon proseslerinin dezavantajları ise şunlardır:

1. Genellikle ilk yatırım maliyetleri diğer teknolojilere göre daha yüksektir.
2. Suyun optik özelliklerinin artırılması amacıyla ön arıtım gerekli olabilir.
3. Quartz kılıfların yüzeyinde UV absorplayıcı film oluşumu ortaya çıkabilir ve bu kirlenme ortama ulaşan UV radyasyonunda azalmaya neden olabilir.
4. Ömrü azalan UV lambalarının belirli aralıklarla değiştirilmesi gerektiğinden, ek bir maliyet ortaya çıkacaktır (Oppenländer 2003).

**İleri Oksidasyon Proseslerinin Çeşitleri:** İleri oksidasyon prosesleri, reaktif oksijen türlerinin, özellikle hidroksil radikallerinin oluşumuna dayanan ve bu türler aracılığı ile hedef kirleticilerin gideriminin gerçekleştirildiği oksidasyon prosesleridir. Şimdiye kadar yapılan araştırma-geliştirme çalışmaları, su ve atıksu arıtımına yönelik olsa da, ileri oksidasyon prosesleri, yer altı suyu arıtımı, toprak remediasyonu, çamur şartlandırma, ultra saf su eldesi, koku kontrolü ve uçucu organik bileşiklerin giderimi gibi farklı alanlarda da uygulamalar bulmaktadır. Arıtım amacına ve arıtılacak suyun özelliklerine bağlı olarak, tek olarak kullanılabilecekleri gibi, diğer fizikokimyasal ve biyolojik proseslerle birlikte de uygulanabilirler (Klavarioti ve ark. 2009).

İOP'ler prosesin gerçekleştiği faza göre homojen (UV/O<sub>3</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/OH<sup>-</sup>, elektron demeti ile arıtım) ve heterojen prosesler (UV/yarı iletken uygulamaları, UV/sabitlenmiş Fe<sup>+2</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) olarak sınıflandırılabileceği gibi (Çizelge 2.21), ışık

enerjisinin kullanımına göre de fotokimyasal ve fotokimyasal olmayan prosesler olarak sınıflandırılabilirler (Çizelge 2.22).

**Çizelge 2.21.** İleri oksidasyon proseslerinin faza göre sınıflandırılması (Landi ve Naddeo 2010)

Reaksiyon	Enerji	OH• oluşum mekanizması	İOP
Homojen	Işık	Kimyasal ve fotokimyasal	UV + ozon
			UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
			Foto-fenton
	Işık + Ses dalgaları (Ultrasound-US)	Kimyasal, sonokimyasal ve fotokimyasal	US + UV
			US + UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	US	Sonokimyasal	US + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
			US + ozon
----	Kimyasal	Ozon	
		Ozon + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
-----	Elektrokimyasal	Fenton	
Heterojen	Işık	Kimyasal ve fotokimyasal	Elektro-fenton
			UV + TiO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>
	UV + TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		
	Işık + US	Kimyasal ve sonokimyasal	UV + TiO <sub>2</sub> + US

**Çizelge 2.22.** İOP'lerin ışık enerjisi kullanımına göre sınıflandırılması (Klavarioti ve ark. 2009)

Fotokimyasal Prosesler	Fotokimyasal Olmayan Prosesler
UV/O <sub>3</sub>	Yüksek pH'ta ozonlama (O <sub>3</sub> /OH <sup>-</sup> )
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
UV/O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fenton (Fe <sup>+2</sup> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
Vakum ultraviyole (VUV) fotolizi	Elektrokimyasal oksidasyon
Foto-fenton (UV/Fe <sup>+2</sup> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Yüksek enerjili elektron demeti ile artırım
Fotokatalitik oksidasyon	Kavitasyon Hidrodinamik Akustik (sonoliz veya sonikasyon)
Fotosensitize oksidasyon	γ-radyolizi
Fotokatalitik ozonlama	Hidrotermal oksidasyon prosesleri Islak hava oksidasyonu Süper kritik su oksidasyonu Subkritik su oksidasyonu

**Yüksek pH'ta ozonlama:** Ozon, sulu ortamda stabil değildir. Ozon suya eklendiğinde, farklı radikallerin oluşumu ile sonuçlanan, kompleks bir reaksiyon zincirine girer. Ozonlama prosesi, yüksek pH'ta uygulandığında, hidroksil radikallerinin oluşum hızı artar. Ortamdaki bileşiklerin parçalanması, hem ozonun kendi oksitleyiciliği ile, hem de alkali ortamda oluşan çeşitli radikallerin oksitleyiciliği ile gerçekleşir (Bekbölet 2010, Landi ve Naddeo 2010).

**UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi:** Hidroksil radikalleri elde etmenin en kolay ve en yaygın yolu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bağlarının fotoliz ile kırılmasıdır (Parsons 2004). UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, UV ışınının enerjisi, hidrojen peroksit molekülünü, iki hidroksil radikale (OH•) parçalar (Reaksiyon 2.7) (Singer 1999).



Bu proste, 254 nm'de ışık veren düşük basınçlı civa buharlı lambaların kullanımı yaygındır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin 254 nm'de molar absorpsiyon katsayısı sadece 19.6 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>'dir. Dolayısıyla, kirletici konsantrasyonu ve hedef kimyasalın UV absorbansındaki artış, proses verimini düşürmektedir. Düşük molar absorpsiyon katsayısı nedeniyle, yeterli miktarda radikal oluşturabilmek için, yüksek konsantrasyonda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'ye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin yüksek konsantrasyonları, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in tükenmesine sebep olarak, verimi düşürmektedir (Bekbölet 2010, Tünay ve ark. 2010).

**Fenton/Foto-fenton prosesleri:** Klasik fenton prosesi, bir veya birden fazla oksitleyici madde (hidrojen peroksit ve/veya oksijen) ile bir katalistin (metal tuzları veya oksitleri, genellikle demir) kullanımını kapsar. Foto-fenton prosesinde ise, güneş ışığı veya başka bir ışık kaynağı da prosese dahil olur. Gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda, organik bileşikleri okside edebilen bir dizi serbest radikal oluşur. Hidroksil radikali, pek çok ileri oksidasyon prosesinde olduğu gibi oluşan serbest radikallerin en önemlisidir (Parsons 2004).

Fenton prosesinde, asidik ortamda, çözülmüş Fe(II) ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> arasındaki reaksiyon sonucu, Fe(II), Fe(III)'e okside olur (Reaksiyon 2.8).



Açığa çıkan hidroksil radikali iki reaksiyona girebilir. Ortamdaki Fe(II)'yi, Fe(III)'e yükseltgeyebilir (Reaksiyon 2.9) ve ortamdaki organik maddeyi oksitler (Reaksiyon 2.10 ve Reaksiyon 2.11).



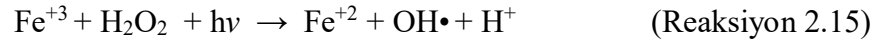
Fe<sup>+3</sup> ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> arasında da reaksiyon meydana gelir (Reaksiyon 2.12). Ancak reaksiyon hızı daha düşüktür. Bu nedenle demir sistem içerisinde daha çok +3 formundadır.



Hidrojen peroksitin fotolizi sonucu hidroksil radikali oluşmaktadır (Reaksiyon 2.13). Reaksiyon 2.14'de görüleceği üzere, hidroksil radikalleri (OH•) hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ile etkileşime girerek inhibitör etkisi yapmaktadırlar.



Uygun dalga boyunda ışık uygulandığında, hidroksil radikali oluşumunu katalize eder (Reaksiyon 2.15) ve bu proses foto-fenton prosesi olarak adlandırılır.



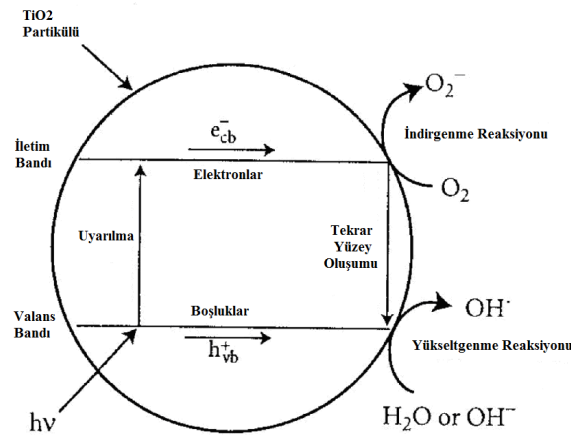
Böylece, demir +2 ve +3 oksidasyon seviyelerinde döngü halindedir (Şengül 2009).

Fenton prosesi, OH• oluşumunda oldukça etkilidir. Genellikle demir iyonu konsantrasyonundaki artış ile parçalanma hızı artar. Ancak bu artış çok fazla olursa, ortamda kullanılmayan demir tuzları kalacağından, suyun toplam çözünmüş katı madde

içeriğinde artış meydana gelir ve bu da istenmeyen bir durumdur (Gogate ve Pandit 2004). Ayrıca,  $Fe^{+2}$ ,  $H_2O_2$ , hidroperoksil radikali ve halojenlerin (varsa), ortamda aşırı miktarda bulunması, hidroksil radikali sönmüleyicisi olarak rol oynar (Litter 2005).

Literatürde, fenton ve foto-fenton proseslerinde en yüksek giderim veriminin pH 2.8-3 civarında gerçekleştiği bildirilmiştir. Ancak, prosten sonra pH'ın artırılması gerekliliği çamur oluşumuna sebep olmaktadır. Bunun yanında, son yıllarda nötral pH'ta yapılan ve iyi sonuçların elde edildiği birçok çalışma mevcuttur.

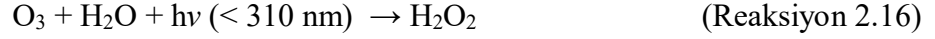
**TiO<sub>2</sub> Fotokatalizi (Heterojen fotokataliz):** UV radyasyonu ( $\lambda < 400$  nm) ve yarı iletken partiküllerin (TiO<sub>2</sub> gibi) varlığında kirleticilerin bozunması birçok organik kirletici ve toksik madde bozunmasında önemli bir yoldur. Hidroksil radikalleri fotokatalitik bir sistemde oluşan başlıca oksidanlardır. Heterojen fotokataliz reaksiyon süreci Şekil 2.7'de verilmiştir. UV enerjisi, metal elektronlarını valans bandından, iletken banta harekete geçirir ve valans bandında elektron boşlukları oluşurken, iletken bantta fazla elektronlar ortaya çıkar. Bu boşluklar ve fazla elektronlar daha sonra oksijen ve su ile metal yüzeyinde indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarına uğrar. İndirgenme (redüksiyon) reaksiyonunda, kısa ömürlü süperoksit iyonu ( $O_2^-$ ) oluşturmak üzere, iletim bantındaki fazla elektronlar ile sudaki çözülmüş oksijen reaksiyon verir. Oksidasyon (yükseltgenme) reaksiyonunda, su veya hidroksit iyonları, hidroksil radikallerine okside edilir (Şengül 2009).



**Şekil 2.7.** TiO<sub>2</sub> katalizli UV oksidasyonunun şematik reaksiyon mekanizması (Şengül 2009)

Ortaya çıkan hidroksil radikali, süperoksit anyonu gibi türler hem organik madde oksidasyonunda hem de bakteri inaktivasyonunda çok etkilidir (Şengül 2009).

**O<sub>3</sub>/UV ve O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV prosesleri:** Ozonun sulu çözeltisinin fotolizi, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> üretiminin indirekt yoludur.



Reaksiyon 2.10, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, hidroksil radikali oluşumunun gerçekleştiği net reaksiyonu göstermektedir. O<sub>3</sub>/UV ve O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV prosesleri, farklı oksidatif mekanizmaları içermektedir. Bunlar, UV-C fotolizi, ozon ile oksidasyon, hidrojen peroksit ile oksidasyon ve UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oksidasyonudur. Ozon, UV bölgesinde güçlü bir absorplayiciliğe sahiptir ve 254 nm’de molar absorpsiyon katsayısı 3300 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>’dir. O<sub>3</sub>/UV prosesinde, ortama H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenmesiyle, ozon dekompozisyonu, dolayısıyla radikal oluşumu artar. Bu proseslerin en büyük dezavantajı, UV radyasyonu kullanımı ve sürekli ozon üretimine bağlı olarak, yüksek işletim maliyetidir (Tünay 2010).

**Ultrasonik kavitasyon(US):** Sıvı bir ortama ultrasonik dalgalar uygulandığında, akustik kavitasyon sonucu, ekstrem sıcaklık ve basınç oluşur. Bunun sonucunda, çözgen termoliz ve OH• ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oluşumu meydana gelir. Sadece sonoliz prosesi ile parçalanma hızınının, diğer ileri oksidasyon proseslerine göre çok yavaş olduğu bulunmuştur. Bu durum, oldukça kısa olan temas sürelerine dayandırılmaktadır. Son çalışmalar, kabul edilebilir parçalanma hızlarına ulaşmak için, 5-6 saatlik temas sürelerini önermektedir. Sonolitik prosesin verimi, O<sub>3</sub> veya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile birlikte kullanılmasıyla arttırılabilir (Landi ve Naddeo 2010).

Çizelge 2.23’de yaygın olarak kullanılan İOP teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.



**Çizelge 2.23. İOP teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları (Landi ve Naddeo 2010)**

<b>İOP</b>	<b>Avantaj</b>	<b>Dezavantaj</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oksitleme gücü yüksek</li> <li>- Çeşitli organik ve inorganikleri giderebilir</li> <li>- Arıtma prosesi ile suya başka kimyasallar karışmaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yüksek ekipman ve işletim maliyeti</li> <li>- Ön arıtma gerekebilir</li> <li>- Enerji ve maliyet ağırlıklı proses</li> <li>- Ozon üretimi sebebiyle toksisite ve yangın tehlikesi potansiyeli</li> </ul>
<b>O<sub>3</sub>/UV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Su arıtımında yüksek verim</li> <li>-O<sub>3</sub> veya UV'den daha etkili</li> <li>-Dezenfeksiyon etkisi</li> <li>-hidroksil radikali üretiminde, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'den daha etkili</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enerji ve maliyet ağırlıklı proses</li> <li>- Bulanıklık, UV ışığı girişini engelleyebilir</li> <li>- Ön ve son klorlama ile kullanılırsa, THM ve HAA oluşma potansiyeli artar</li> </ul>
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-UV radyasyonu dezenfektan olarak kullanılır</li> <li>-Tam ölçekli içme suyu arıtımı uygulamaları mevcut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidroksil radikali oluşturmada, O<sub>3</sub>/UV'ye göre, stokiyometrik olarak daha az verimli</li> <li>- Bulanıklık, UV ışığı girişini engelleyebilir</li> </ul>
<b>O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Su arıtımında yüksek verim</li> <li>-O<sub>3</sub> veya UV'den daha etkili</li> <li>-Dezenfeksiyon etkisi</li> <li>-Remediasyon uygulamaları var</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bromat oluşturma potansiyeli</li> <li>- Enerji ve maliyet ağırlıklı proses</li> </ul>
<b>TiO<sub>2</sub>/UV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Yüksek dalgaboylarında uygulanabilir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Askıda halde uygulanmışsa, katalistin ayrılması gerekir</li> <li>- Katalist aktivitesinin hızlı bir şekilde kaybolma ihtimali</li> </ul>
<b>US</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Düşük yatırım maliyeti ile basit ve esnek dizayn</li> <li>-Kimyasal kirleticilerin degradasyonu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uzun temas süresi</li> <li>- Enerji tüketimi</li> <li>- Ultrasound prob tüketimi</li> <li>- Su bulanıklığının artması</li> </ul>
<b>Fenton prosesi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Enerji ağırlıklı proses değildir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tam ölçekli uygulama yok</li> <li>- pH ayarlama gereksinimi işletme maliyetini arttırır</li> <li>- Demiri çözelti içinde tutabilmek için düşük pH'ta çalışılmalı</li> <li>- Demir ayırma sistemi gerekir</li> </ul>

### 2.3.3. UV ışığına dayalı yöntemler

#### 2.3.3.1. UV ışığının özellikleri

UV ışınları, elektromanyetik spektrumda, 100-400 nm dalgaboyları aralığında olup, X-ışınları ile görünür ışık arasındaki bölgede yer alır. Vakum UV (100–200 nm); UV-C (200–280 nm); UV-B (280–315 nm), ve UV-A (315–400 nm) olmak üzere 4 gruba ayrılır. Su dezenfeksiyonu açısından en önemli kısım, 220-280 nm aralığındaki UV-C bölgesidir (Chen ve ark. 2006).

Işık kaynağından üretilmiş elektromanyetik radyasyon, belirli bir enerjiye sahiptir ve enerji miktarı, birtakım faktörlere bağlıdır.

Denklem 2.1, (Planck-1901), ışık frekansı ve dalga boyuna göre üretilecek enerjiyi tanımlar:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

E: radyasyon kuantumu, joule

h: Planck sabiti,  $6,63 \cdot 10^{-34}$  j.s

v: frekans,  $s^{-1}$

c: ışık hızı  $\approx 3,0 \cdot 10^{17}$  nm/s

$\lambda$ : dalgaboyu, nm

Pek çok kimyasal bağı kırmak için, en az 167 kJ'luk enerjiye ihtiyaç duyulur. Yaygın olarak kullanılan, düşük basınçlı, civa buharlı UV lambaları, 254 nm dalgaboyunda ve  $1,2 \cdot 10^{15} s^{-1}$ 'lik frekans ile, 470 kJ/Einstein'lik enerji yayar.

Orijinal (nötr) haldeki bir molekül, ışık kaynağından elektromanyetik enerji absorbladıktan sonra, molekül bağları uyarılmış hale dönüştürülür ve fiziksel ve kimyasal prosesler termodinamik olarak mümkün hale gelir. Uyarılmış halde, molekül, daha etkili bir elektron alıcısı veya vericisi olur (Singer 1999).

UV radyasyonunun etkilerini değerlendirirken diğer önemli bir ilişki de, Beer-Lambert kanunudur (Denklem 2.2)

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \varepsilon \ell c \quad (2.2)$$

I: birim zamanda sistemden geçen ışık miktarı, watt

I<sub>0</sub>: birim zamanda üretilen monokromatik ışık miktarı, watt

ε: molar ekstinksiyon katsayısı (molar absorplayıcılık), hacim/mol/uzunluk

ℓ: ışık kaynağından sisteme olan uzaklık, uzunluk

c: konsantrasyon, mol/hacim

A: absorbans

İçme suyu UV uygulamalarında, Beer-Lambert'in modifiye edilmiş şekli olan aşağıdaki formül kullanılır (Denklem 2.3). Çünkü, kompleks içme suyu matrisi içerisinde, tek bir kimyasal konsantrasyonundan bahsetmek imkansızdır.

$$A = \alpha \ell \quad (2.3)$$

α: absorbans katsayısı = 2,303(A/ℓ)

Çok renkli sulara 254 nm'de UV absorbansı 0,100 ve 0,800 cm<sup>-1</sup> (α = 0,23-1,84) arasında olacaktır. Arıtılmış yüzeysel sular ve yer altı suları, 0,005 ve 0,050 cm<sup>-1</sup> (α = 0,01-0,12) aralığında değişen daha düşük absorbanslara sahiptirler. Genel bir kural olarak, belirli bir su örneği için α değeri 0,43'ü aşarsa, başarılı bir UV dezenfeksiyonu için ön arıtmaya gereksinim duyulacaktır (Singer 1999).

### 2.3.3.2. UV ışığının elde edilmesi ve UV reaktörleri

Tipik olarak, UV radyasyonu, bir elektrik arkının, civa buharından geçirilmesi ile elde edilir. UV ışığının elde edilmesinde, düşük basınçlı civa buharlı lambalar, düşük basınçlı yüksek çıkışlı civa buharlı lambalar ve orta basınçlı civa buharlı lambalar yaygın olarak

kullanılmaktadır. LED lambalar, xenon lambaları, UV lazerleri ve metal halojen lambalarda, UV ışığının elde edilmesinde kullanılabilir (Singer 1999, Anonim 2006, Chen ve ark. 2006).

Düşük basınçlı lambalar, dezenfeksiyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılırlar ve klasik floresan lambalarının çalışmasına benzerler. Düşük basınçlı lambalar, yaklaşık  $10^{-5}$  atm basınçta civa buharı içerir ve optimum 40-50 °C'lik yüzey çalışma sıcaklığına ihtiyaç gösterir. Oluşan ışık enerjisinin % 85'i, 254 nm dalgaboyunda olup (monokromatik), elektriğin, ışığa dönüşümü % 35-40 kadardır. Lambanın, kullanım süresi 7500-8800 saat civarındadır. Bu süreyi kısaltan faktörler, lambayı çok sık açıp kapama, yüksek akım ve voltaj değişimleridir (Singer 1999, Anonim 2006).

Orta basınçlı lambalarda, daha yüksek ışık yoğunluğu çıkışı sağlamaları sebebi ile popülerlik kazanmaktadırlar. Bunlar, yüksek basınçta (1-10 atm) ve daha yüksek sıcaklıklarda (500-800 °C) çalışırlar. Enerjileri yüksek olduğundan, orta basınçlı bir lamba, 25 düşük basınçlı lambanın potansiyeline sahiptir. Bu lambalardan yayılan spektrum daha geniş bant aralığındadır. Maksimum ışık çıkışında çalıştırıldıklarında, ömürleri, 2000-5000 saat kadardır.

Orta basınçlı sistemleri kullanarak belirli bir UV dozu yaymak için gereken güç, buna eşdeğer düşük basınçlı bir sisteme göre daha yüksektir. Orta basınçlı bir sistemde daha az sayıda lamba bulunduğundan, ekipman, lambanın yerleştirilmesi ve temizlik maliyetleri düşük basınçlı sistemlere göre daha azdır (Singer 1999).

Herhangi bir lamba tarafından yayılan ışık yoğunluğu, birim alandaki fotonların fonksiyonudur ve birimi  $mW/cm^2$ 'dir. Basit bir UV lambasının ışık yoğunluğu, ya uygun dalgaboylu filtre ile radyometre kullanarak elektriksel olarak, ya da bir aktinometre ile kimyasal olarak doğrudan ölçülebilir. Lamba enerjisi ne kadar fazlaysa, üretilen atık ısı miktarı o kadar büyük olacaktır (Singer 1999).

UV reaktörlerinin dizaynında amaç, mikroorganizma inaktivasyonu için gereken UV dozunu etkin bir şekilde sağlamaktır. UV reaktörleri, genellikle açık ve kapalı kanallar şeklinde üretilirler. Kanallar içerisinde, UV lambaları, lamba kılıfları, sıcaklık ve UV sensörleri bulunur. Bazı reaktörlerde, kılıf üzerinde tortu birikimini engellemek için özel temizleme sistemleri de bulunur (Anonim 2006).

UV reaktörleri için temel dizayn parametresi, piston akımlı olmalıdır. Akış yönündeki dağılım minimum tutulmalıdır. Bu, reaktör uzunluğuna göre, küçük bir enine kesit alanının sağlanmasıyla gerçekleştirilebilir. Reaktörde uniform olmayan UV ışık yoğunluğunun önüne geçmek için, yeterli karışmayı sağlamak amacıyla akış yönünde dikey türbülans gereklidir. Lambanın ucunda UV şiddeti, merkeze göre belirgin şekilde azdır. Bu etki, uzun lambalı sistemlerde az olsa da, reaktör içinde türbülansı sağlamak (özellikle seriler halindeki lamba dizileri arasında) yeterli dezenfeksiyon sağlayacaktır. UV dezenfeksiyon reaktörlerinin dizaynında, akış, askıda katılar, başlangıç mikroorganizma sayısı, partikül yoğunluğu, UV absorban katsayısı (suyun UV ihtiyacının bir ölçüsü), inaktivasyon hız sabiti (UV radyasyonuna mikrobiyal duyarlılığın ölçüsü) ve ihtiyaç duyulan inaktivasyon %'si gerekli olan temel verilerdir.

Lambalar iki şekilde yerleştirilebilir: dairesel (kontakt) dizayn ve eş eksenli dizayn. Dairesel dizaynda, su kanalına daldırılmış kuvars kılıflar içine konmuş, birbirine yakın UV lambaları arasından su akar. Eş eksenli dizaynda, UV ışığını geçiren saydam ince duvarlı PTFE (politetrafluoroetilen) veya kuvars borular arasından su akar. PTFE ve kuvars farklı UV ışığı geçirgenliğine sahip olduğundan, boru malzemesi, ışık dozunu etkiler. Dairesel dizaynlar daha çok tercih edilir.

UV radyasyonunun en önemli avantajı, suyun, reaktör içindeki bekleme süresinin saniyeler olmasıdır. Böylece, büyük reaktörler inşa etmek ve boru döşemek için para harcanmaz. Ayrıca, hidrolik eğim bozulmaz. Çünkü, UV lambaları düz şekilde yerleştirilebilir ve yük kaybı ihmal edilebilir (Singer 1999).

### 2.3.3.3. UV ışığı prosesi

UV-C radyasyonu, içme suyu ve ikincil arıtma çıkış sularının dezenfeksiyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. UV ışınının dezenfeksiyon mekanizması, klor ve ozon gibi kimyasal dezenfektanların mekanizmasından oldukça farklıdır. Kimyasal dezenfektanlar, mikroorganizmanın hücre yapısına zarar vererek veya yok ederek, böylece metabolizma, biyosentez ve çoğalma ile girişimde bulunarak mikroorganizmaları inaktive ederler. UV radyasyonu ise, fotokimyasal reaksiyonlar dizisi başlatarak, hücrenin DNA ve/veya RNA'sına zarar verir veya değiştirir. Bu zarar, o kadar kuvvetlidir ki, hücre artık çoğalamaz ve inaktive olur (Chen 2006).

Nükleik asitler, 240 ve 280 nm dalga boylarındaki ışık enerjisini absorbe eden en önemli absorblayıcılardır. Üreme için önemli genetik bilgileri taşıyan DNA ve RNA'larda meydana gelen tahribatlar mikroorganizmanın yok olmasına neden olmaktadır. Meydana gelen bu tahribat primidin moleküllerindeki dimerizasyonun sonucudur (Ateşli 2006).

Nükleik asit hasarları içerisinde primidin dimerlerinin oluşumu; spiral kopmaları, DNA-DNA çapraz bağlarının veya DNA-protein bağlarının oluşumuna göre 1000 kat daha fazla oranda gerçekleşmektedir. Pirimidin dimeri ve diğer nükleik asit hasarları mikroorganizmanın replikasyonunu engellemektedir ancak mikroorganizmanın solunum ve diğer metabolik fonksiyonlarına zarar vermemektedir. Oksidatif hasar meydana getirerek, hücre metabolizmasını engelleyen ve hücre ölümüne neden olan UV dozları, nükleik asite zarar veren ve DNA replikasyonunu önleyen UV dozlarından çok daha yüksektir (Anonim 2006).

Atıksuların UV dezenfeksiyonunun tipik uygulamalarında, 4 log'a kadar koliform giderimlerini gerçekleştirebilmek için, 15-30 mWs/cm<sup>2</sup>'lik dozlar uygulanmaktadır. Yer altı sularından bakteri gideriminde de kullanılmaktadır. 4-log'luk viral inaktivasyon için ise, 40-80 mWs/cm<sup>2</sup>'lik dozlara gereksinim duyulmaktadır. UV dozunun günlük doğrulamaları, her UV ünitesi üzerindeki UV sensörleri ile gerçekleştirilir. UV sensör kalibrasyonu, periyodik olarak MS-2 bakteriyofaj biyosinama metodu ile yapılır (Singer 1999).

#### 2.3.3.4. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi, organik ve inorganik gideriminde ve dezenfeksiyonda etkin şekilde kullanılmaktadır. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, 254 nm dalgaboyunda ışık veren düşük basınçlı civa lambaları kullanılmaktadır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 200-300 nm arasındaki UV radyasyonunu absorbladığından, solar UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin kullanımı geçmişte tercih edilmemiştir. Ancak son yıllarda literatürdeki çalışmaların sayısı hızla artmıştır.

UV-C radyasyonu, tek başına, çeşitli kimyasal bileşiklerin oksidasyonu amacıyla geniş çapta çalışılmıştır. Bu proses, direkt fotolize dayandığından, genellikle, İOP olarak değerlendirilmez. Ortama H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi ile, 254 nm dalgaboyundaki ışık, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin ayrışmasını sağladığından ve oluşan hidroksil radikalleri de ilave bir oksidasyon yolu ortaya koyduğundan, proses geliştirilmiş olmaktadır. UV-C radyasyonunun dezenfeksiyonda kullanımı 1916'lara dayanırken, UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi, dezenfeksiyonda bu kadar yaygın kullanılmamıştır (Pablos ve ark. 2013).

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde UV ışını DNA'yı tahrip ederken, kimyasal dezenfektanlar hücre membranına, proteinlerin taşınması ve enzim sistemlerine zarar verirler (Malato ve ark. 2009).

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin su ve oksijene ayrışması sonucu, kalıntı dezenfektandan kaynaklanan yeni bir kirlilik ortaya çıkmamaktadır. Diğer ileri oksidasyon proseslerinde ise (foto-fenton ve TiO<sub>2</sub> fotokatalizi gibi), dezenfeksiyon sonrasında, pH'ın değiştirilmesi veya katalistin ortamdan uzaklaştırılması için ilave proseslere ihtiyaç duyulabilmektedir (Lopez ve ark. 2011).

Suda bulunan partiküller, bulanıklık ve doğal hidroksil tüketicileri (karbonatlar) gibi faktörler UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesini olumsuz yönde etkilemektedirler. Proses verimi ayrıca UV ve hidrojen peroksit dozu, pH ve suyun karakteristiği gibi faktörlere bağlıdır. Dezenfektana maruz kalma süresine bağlı olan UV dozunun artışı ile verim de artmaktadır. Oksidasyon için gerekli hidrojen peroksit konsantrasyonu sudaki organik madde konsantrasyonuna bağlıdır. Ancak optimum dozun üstündeki konsantrasyonlarda

daha fazla giderim elde etmek mümkün değildir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin UV ışınını absorblama özelliğinden dolayı optimum dozun dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Eğer fazla miktarda kullanılırsa hidrojen peroksit HO<sub>2</sub> radikalini meydana getirerek hidroksil radikalinin oluşumunu azaltır.

Sudaki karbonat (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) ve bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) iyonları hidroksil radikallerinin tükenmesine neden olmakta ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin verimini düşürmektedir. Hidroksil iyonu ile karbonatın reaksiyonu sonucu oluşan karbonat radikali oksidant özelliği gösterse de oksidasyon potansiyeli hidroksil radikaline göre oldukça düşüktür (Wang ve ark. 2000).

Literatür incelendiğinde, atıksu dezenfeksiyonu açısından, genellikle atıksuların yeniden kullanımına yönelik çalışmalarda, mikroorganizma giderimi ele alınmıştır. Ahn ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, sadece UV radyasyonu uygulayarak 30 dakikalık temas süresinde koliform giderimi sağlamışlar ve artan konsantrasyonlarda hidrojen peroksit ilavesiyle, temas süresinin kısalarak, atıksuyun geri kullanımı için istenilen koliform standartlarına ulaşıldığını gözlemlenmişlerdir. 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesiyle, 6 dakikalık temas süresinde, tüm koliformlar inaktive edilmiştir.

Hüyük madde içeren yüzeysel sularda UV ve UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dezenfeksiyonu proseslerinin bakteri giderimine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, organik madde içeren yüzeysel sularda UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin etkili olduğu ortaya konmuştur (Alkan ve ark. 2007).

Souza ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, kentsel ikincil çıkış sularının UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile fotokimyasal arıtımını çalışmışlar ve bu suların yeniden kullanıma uygun hale getirilmesinde bu prosesin kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Gerçek bir AAT'den alınan çıkış suyuna, UV-C radyasyonu ve düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu (5 mg/L) uygulanmış ve çeşitli parametreler (dezenfeksiyon indikatörleri, mikrokirletici konsantrasyonları, fizikokimyasal parametreler ve toksisite) izlenmiştir. Kullanılan UV-C lambasının UV yoğunluğu, 8,04 mW/cm<sup>2</sup>'dir. Çalışmada kullanılan mikroorganizmalar, *E.coli*, sülfid indirgeyen clostridia sporları (SSRC) ve iki farklı faj türüdür (SOMCPH ve CB390PH). Suyun KOİ değeri, 52 ± 4 mg/L'dir. Bazı denemelerde



atıksuya mikrokirletici olarak atrazin eklenmiştir. Dezenfeksiyon deneylerinde, çıkış suyu örneklerine, 0,1 mg/L atrazin eklenerek veya eklenmeden, tek başına UV radyasyonu ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (5 mg/L) uygulanmıştır. Deneyle maksimum 60 dk. sürdürülmüştür. Ancak, 0,5, 1, 2, 3, 4 ve 5. dk.'larda örnekler alınmıştır.

5 dakika sonunda (2412 mJ/cm<sup>2</sup> doza karşılık gelir), seçilen tüm indikatörlerin inaktive oldukları gözlenmiştir. *E.coli*, SOMCPH ve CB390PH oldukça hızlı bir şekilde inaktive olmuş, SSRC ise biraz daha fazla direnç göstermiştir. Kullanılan prosese bağlı olmaksızın (UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+atrazin), tüm indikatör mikroorganizmaların 5 dakika sonunda sıfırlandığı görülmüştür. Ayrıca, her mikroorganizma türü için, üç farklı prostesten elde edilen inaktivasyon katsayıları arasındaki farklar çok küçüktür (Örneğin *E.coli* için; UV-k:0,0045; UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-k:0,0044; UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+atrazin-k:0,0047). UV ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> arasındaki sinerjistik etkinin, UV fotolizindekine benzer sonuçlar ortaya çıkardığı görülmektedir. Bu nedenle, dezenfeksiyona, UV radyasyonunun katkısının, OH• radikalinden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir (Souza ve ark. 2013).

Atrazin sadece SSRC'nin inaktivasyon hızını etkilemiş ve düşürmüştür. Bu durum atrazin moleküllerinin UV-absorbansına bağlanmış olup, bu moleküller, SSRC'yi inaktive etmek için gereken UV radyasyonu miktarını azaltmıştır. Diğer organizmalar UV-C radyasyonuna daha az dirençli olduklarından, bu etki onlar için geçerli değildir (Souza ve ark. 2013).

Mamane ve ark. (2007), 0,78 mW/cm<sup>2</sup> yoğunluğunda UV radyasyonu ile *E.coli* sayısının 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeren örneklerde 15 dk sonunda ve 25 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeren örneklerde ise 7,5 dakika sonunda minimum sayıya ulaştığını bildirmiştir.

Xie ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada ise, arazi şartlarında, AAT ikincil çıkış suları üzerinde UV ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kombinasyonunun etkisini saptamak için, bir ileri oksidasyon sistemi hazırlanmış ve 6 aydan fazla sürede farklı akış hızlarıyla beslenmiştir. Kullanılan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları, 0, 13 ve 26 mg/L'dir. Sistem giriş ve çıkışından periyodik olarak su örnekleri alınmış ve HPC, TC, FC analizleri yapılmıştır. UV+26 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile farklı akış hızlarında HPC ve FC için 4-log'tan fazla giderim sağlanmıştır.

Pablos ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, çeşitli fotokimyasal dezenfeksiyon yöntemlerini (UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV-A/TiO<sub>2</sub>, UV-A/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), hem bakteriyel inaktivasyon hem de sularda yaygın bulunan mikrokirleticilerden olan farmasötiklerin oksidasyonu açısından değerlendirmişlerdir. UV-C'ye dayalı prosesler bakteri inaktivasyonunda yüksek verim göstermişlerdir. Ancak, bakterilerde oluşan hasar geri dönebilmekte, yeniden çoğalma gerçekleşebilmektedir. UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile kullanıldığında ise, yeniden çoğalma ortadan kalkmakta; ancak, farmasötiklerin tam eliminasyonu sağlanamamaktadır.

UV-A/TiO<sub>2</sub> prosesinde ise, bakteri inaktivasyonu için daha uzun süre gerekse de, farmasötikler tamamen giderilmiştir. Ayrıca, hidroksil radikallerine dayanan oksidasyon mekanizması da, bakterilerdeki hasarı geri döndürülemez hale getirmiştir. UV-A/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde ise, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi bakteri inaktivasyonunu arttırmıştır. Çünkü, hidroksil radikalleri ile zayıflayan hücre duvarı, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin hücre içine difüze olmasına olanak sağlar. Ancak, bu proses ile de farmasötiklerin tam eliminasyonu sağlanamamıştır.

Çalışmada kullanılan UV-C lambanın gücü 0.11 W (7,80 W/m<sup>2</sup>)'tır. Deneylede deiyonize su (18,2 MΩ cm) ve sentetik evsel atıksu (TOK:15 mg/L) kullanılmıştır. Mikroorganizma olarak *E.coli* seçilmiştir ve başlangıç bakteri konsantrasyonu 10<sup>3</sup> CFU/ml'dir (ikincil çıkış sularında bulunan tipik değer). Kullanılan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu 100 mg/L'dir. Sadece UV radyasyonu uygulandığında, hem deiyonize suda hem de evsel atıksuda, tam *E.coli* inaktivasyonu için gereken süre hemen hemen aynıdır. Bu durum, UV-C fotonlarının DNA tarafından doğrudan absorpsiyonuna dayanan inaktivasyon mekanizmasının, suyun kimyasal bileşimine duyarlı olmadığını ortaya koymaktadır (Pablos ve ark. 2013).

### **2.3.3.5. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi**

Son yıllarda, farklı su matrislerinde, TiO<sub>2</sub>'ye dayalı solar fotokatalitik dezenfeksiyona yönelik pekçok çalışma yapılmış ve bu prosesin başarısı kanıtlanmıştır. Kalıntı dezenfektan etkisinin ortaya konmasıyla da bu ilgi daha da artmıştır. Bu kalıntı etkisi,

TiO<sub>2</sub>'ye dayalı solar fotokatalitik dezenfeksiyonunu, kalıntı dezenfektan etkisi göstermeyen, UV-C fotolizinin önüne geçirmiştir. Bununla birlikte, solar fotokatalizin yüksek UV-B dozları (10 000 mJ/cm<sup>2</sup>) ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları (250-1000 mg/L) gerektirmesi, düşük ışık dozlarının kullanıldığı klasik UV-C uygulamalarını daha çekici hale getirmektedir. Bir diğer fotokatalitik dezenfeksiyon alternatifi ise, daha düşük ışık dozları ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının kullanıldığı, UV-C/TiO<sub>2</sub> kombinasyonudur (Shang ve ark. 2009).

TiO<sub>2</sub> fotokatalizi ile yapılan dezenfeksiyon çalışmaları, genellikle içme suyu eldesi için güneş ışığı kullanılarak ya da UV-A ışığı (>315 nm) veren lambalarla gerçekleştirilmiştir. Dezenfeksiyonda, UV-C (254 nm) ve TiO<sub>2</sub> arasındaki sinerjistik etkinin değerlendirildiği çalışmaların sayısı azdır (Gerrity ve ark. 2008).

Gerrity ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, içme suyunda, TiO<sub>2</sub>/UV-C fotokatalizinin virüs giderimine etkisini laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli olarak değerlendirmişlerdir. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda, yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının (100-1000 mg/L) bulanıklığı artırması sebebiyle UV geçirgenliği ve inaktivasyonun azaldığını, ancak düşük TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında (1 mg/L) virüs inaktivasyonunun sınırlı olarak gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır. Pilot ölçekli çalışmalarda ise yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında bile hızlı bir dezenfeksiyon sağlanmıştır. Bu durum reaktör konfigürasyonuna ve viral adsorpsiyona dayandırılmıştır.

Benabbou ve ark. (2007), içme suyunda, *E.coli* K12'nin TiO<sub>2</sub> fotokatalizi ile inaktivasyonunu farklı UV dalgaboylarında (UV-A, UV-B, UV-C) incelemişlerdir. Tüm dalgaboyları için yaklaşık olarak aynı yoğunlukta ışık (3,6 – 4,0 mW/cm<sup>2</sup>) ve 0,25 g/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu kullanılan çalışmada, UV-C radyasyonu uygulandığında bakteri sayısının 20 dakikada sıfırlandığını; UV-B ve UV-A uygulandığında ise, sırasıyla 60 dakika ve 90 dakikada toplam inaktivasyonun gerçekleştiğini ve böylece TiO<sub>2</sub> fotokatalizinde UV-C'nin UV-A ve UV-B'den daha etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, UV-C fotolizi, UV-C fotokatalizinden daha etkilidir. Çünkü ortamda bulunan TiO<sub>2</sub> partikülleri, bakterileri ışıktan koruyarak, proses üzerinde olumsuz etki yapmaktadır.

Daneshvar ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, UV/TiO<sub>2</sub> prosesinin, içme suyundan *Pseudomonas aeruginosa* gideriminde etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer çalışmalarla benzer şekilde, artan TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun başlangıçta inaktivasyonu arttırdığı gözlenmiş; fakat, konsantrasyon daha da arttırıldıkça proses verimi düşmüştür.

UV-C dezenfeksiyonundan sonra bazı bakterilerin hasar görmüş DNA'larında fotoreaktivasyon veya karanlıkta onarım meydana gelebilmekte ve dolayısıyla dezenfeksiyon verimi düşmektedir. Shang ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, UV-C dezenfeksiyonu sırasında ortama TiO<sub>2</sub> ilavesinin fotoreaktivasyon ve karanlıkta onarımı baskıladığını ortaya koymuşlardır. Bakteri türü, sıcaklık, tuzluluk, UV kaynağı, UV dozu, UV yoğunluğu değiştirildiğinde de, baskılayıcı etkinin kalıcı olduğunu gözlemlenmiştir. Bu etki, muhtemelen, UV/TiO<sub>2</sub> dezenfeksiyonu sırasındaki radikal hücumu ve/veya mikromolar seviyede kalıntı oksidan (hidrojen peroksit) oluşumu ile ilişkilidir. TiO<sub>2</sub> ile modifiye edilmiş UV-C dezenfeksiyonu, su dezenfeksiyonunda, yeni bir alanı temsil etmektedir. Ancak, çok az miktarda TiO<sub>2</sub> ile baskılanma etkisi sağlanamamaktadır. Süspansiyondaki çok miktarda TiO<sub>2</sub>, UV-C'yi absorbe ederek veya yansıtarak ve mikroorganizmaları ışıktan koruyarak, dezenfeksiyonu olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, kullanılacak miktarın doğru seçilmesi önemlidir.

Shang ve ark. (2009), yeniden onarımı değerlendirdikleri çalışmada, seyreltilmiş *E.coli* ve fekal koliform süspansiyonlarına, 1 mg/L TiO<sub>2</sub> ve 12 mJ/cm<sup>2</sup> UV dozu uygulamışlardır. Sadece UV radyasyonu uygulandığında, fotoreaktivasyon gerçekleşmiş ve UV radyasyonundan sonraki bakteri sayıları 1-2 saat içinde 20 katına ulaşmıştır. TiO<sub>2</sub>'nin eklenmesiyle fotoreaktivasyon önemli ölçüde baskılanmıştır.

0,1 mg/L TiO<sub>2</sub>'nin bile, UV radyasyonunun dezenfeksiyon verimini, çok az da olsa etkilediğini belirtmişlerdir. Konsantrasyonun 10 mg/L'ye çıkarılmasıyla fotoreaktivasyon tamamen durmuş, fakat inaktivasyon verimi önemli ölçüde azalmıştır. 1 mg/L TiO<sub>2</sub> için UV transmisyonu %92 iken; 10 mg/L TiO<sub>2</sub> için UV transmisyonu %46'dır (Shang ve ark. 2009).

Ryu ve ark. (2008), 1 mg/L TiO<sub>2</sub> ve düşük basınçlı UV-C lambası kullanarak 40 mJ/cm<sup>2</sup>'den düşük dozlarda *Cryptosporidium parvum*'un fotokatalitik inaktivasyonunun gerçekleştiğini vurgulamışlardır.

Rubio ve ark. (2013b), yapay deniz suyunda yaptıkları çalışmada, UV-C/TiO<sub>2</sub> prosesinin dezenfeksiyon verimini değerlendirmişlerdir. Çalışmada TiO<sub>2</sub> sabitlenerek kullanılmıştır. 40 mJ/cm<sup>2</sup>'nin altında UV dozları uygulamışlardır. Sadece UV radyasyonu uygulandığında *Corynebacterium stations* ve *Alteromonas* türlerinde 3-log'luk giderim elde etmek için uygulanan UV dozları, 18,7 ve 37,6 mJ/cm<sup>2</sup> iken; fotokatalitik dezenfeksiyon uygulanmasıyla dozlar, 13,1 ve 25,9 mJ/cm<sup>2</sup>'ye düşmüştür. Bu durum enerji tasarrufu açısından önemlidir.

Hem UV dezenfeksiyonu, hem de fotokataliz suyun kimyasal bileşiminden etkilenmektedir. Deniz suyunda bulunan çeşitli iyonlar, özellikle klorürler, İOP uygulamalarında fiziksel ve kimyasal girişime neden olmaktadır. Klorür iyonları, radikallerle reaksiyona girerek, tükenmelerine sebep olabilecekleri gibi, katalist yüzeyindeki aktif bölgelerin bloke olmasına da sebep olabilmektedir. Karbonat ve bikarbonat iyonları da radikallerin tükenmesine sebep olmaktadır (Rubio ve ark. 2013b).

Venieri ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, % 0,8'lik sodyum klorür çözeltisinden ve atıksu arıtma tesisi çıkış sularından *Enterococcus faecalis* gideriminde, UV-C/TiO<sub>2</sub>, UV-A/TiO<sub>2</sub> ve solar/TiO<sub>2</sub> proseslerinin dezenfeksiyon verimini değerlendirmişlerdir. Kullanılan TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları, 200-1500 mg/L aralığında olup, temas süresi yaklaşık 2 saat seçilmiştir. Atıksuyun KOİ ve ÇOK değerleri sırasıyla, 26 ve 7,8 mg/L'dir. Bu çalışmada, sodyum klorür çözeltisinde, UV-A'nın (200 mg/l TiO<sub>2</sub> varlığında bile), UV-C'den daha az etkili olduğu görülmüştür. UV-A/TiO<sub>2</sub> prosesi ile *E.faecalis*'in tam inaktivasyonu 90 dakika sonra bile sağlanamamıştır. UV-C radyasyonu kullanılan fotolitik veya fotokatalitik (200 mg/l TiO<sub>2</sub> varlığında) proseslerde ise, sadece 6 dakika sonra bakteriler sıfırlanmıştır. Gerçek atıksuda ise, sadece UV-C radyasyonu uygulanmış olup, 3 dakika içinde popülasyonun tam inaktivasyonu sağlanmıştır.

## 2.3.4. Güneş ışığına dayalı yöntemler ile dezenfeksiyon

### 2.3.4.1. Güneş ışığının özellikleri

Güneş 1,4 milyon km çapıyla dünyanın 110 katı büyüklüğünde ve dünyadan  $1,5 \times 10^{11}$  m uzaklıkta yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 °K olup iç bölgelerindeki sıcaklığın  $8 \times 10^6$  °K ile  $40 \times 10^6$  °K arasında değiştiği tahmin edilmektedir (Varınca ve Gönüllü 2006).

Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim gösterir.

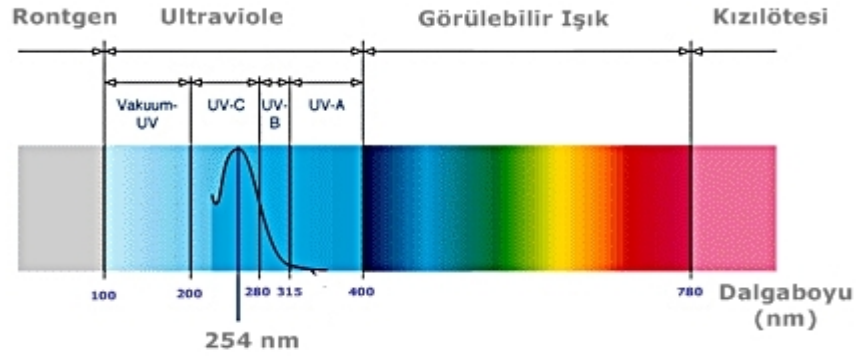
Güneş ışınlarının dalga boyları  $0,1-3 \mu\text{m}$  arasında değişir. Dalga boyu azaldıkça, ışımının frekans ve enerjisi artar. Güneşten gelen ışın enerjisinin % 9'u mor ötesi (ultraviyole) bölgede, % 45'i görünür ışık (visible) bölgesinde ve geri kalan % 46'sı kırmızı altı (infrared) bölgede yer alır (Abuşka 2014). Yayınlanan bu dalga boylarının sıralı görünümü de elektromanyetik güneş spektrumu olarak isimlendirilir (Şekil 2.8).

**UV-C :** Dalga boyu 280 nm'den daha az olan ultraviyole radyasyondur. UV radyasyonun en tehlikeli kısmı olup, tamamı atmosferdeki ozon ve oksijen tarafından emilir.

**UV-B :** Dalga boyu 280–315 nm arasında olan ultraviyole radyasyondur. Atmosferdeki stratosferik ozonun konsantrasyonuna bağlı olarak değişik oranlarda yer yüzeyine ulaşır. Uzun süre maruz kalındığında tüm canlılar için zararlı etkiye sahiptir.

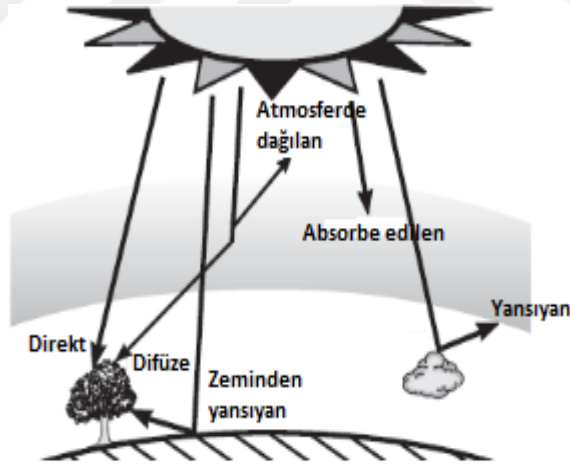
**UV-A :** Dalga boyu 315–400 nm arasında olan ultraviyole radyasyondur. UV-A stratosfer tabakasını geçerek yere kadar ulaşır (Anonim 2015b).

**Görünür ışık:** Dalga boyu 400-700 nm arasında olan radyasyondur. İnsan gözünün algılayabildiği aralıktır.



**Şekil 2.8.** Elektromanyetik güneş spektrumu (Anonim 2015a)

Dünyaya ulaşan global radyasyon, direkt ve difüze radyasyonun toplamıdır. Direkt radyasyon, hiçbir dağılım ve emilmeye uğramadan atmosferi geçebilen radyasyondur. Difüze radyasyon ise dağılıma uğrayarak yere ulaşabilen radyasyondur. Güneş radyasyonu hava molekülleri, aerosoller gibi parçacıklar ve su damlacıkları nedeniyle atmosferde dağılır. Dağılarak yere ulaşabilen güneş radyasyonu ise yer yüzeyine çarparak tekrar dağılıma uğramaktadır (Şekil 2.9.) (Anonim 2015c).



**Şekil 2.9.** Yeryüzüne ulaşan solar radyasyonun dağılımı (Anonim 2015c)

Dünya yüzeyine ulaşan solar radyasyon, bölgeye, saate, atmosferik şartlara (bulut tabakası, aerosol içeriği, ozon tabakası), dünya/güneş uzaklığına göre değişim göstermektedir. Bu faktörler aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1. Atmosfer: Ultraviyole radyasyon atmosfer tarafından hem emilmekte hem de dağıtılmaktadır. UV-C radyasyonunun tamamı yüksek atmosferdeki oksijen ve ozon

molekülleri tarafından emilmektedir. UV-B radyasyonunun büyük bir kısmı stratosferik ozon tarafından emilirken ancak çok az bir kısmı yer yüzeyine kadar ulaşabilmektedir. UV-A radyasyonunun tamamı ise yere kadar ulaşabilmektedir.

2. Güneşin açısal yüksekliği: Zenith açısı olarak da bilinen güneşin açısal yüksekliği, yerin normali ile güneş arasındaki açıdır ve aynı zamanda güneşin yüksekliğini de verir. Solar radyasyon en yüksek değerlere dik güneş açılarındadır. Güneşin açısal yüksekliği enleme, mevsime ve zamana bağlıdır. Bu bilgi ışığında, ekstrem radyasyon tropik bölgelerde, yaz mevsiminde ve öğle vaktinde gözlenmektedir.

3. Yükseklik: Deniz seviyesinden itibaren yüksekliğin artması ile yutucu parametrelerin etkisi azaldığı için, yere ulaşan radyasyon miktarı da artmaktadır.

4. Bulutlar: Radyasyon bulutsuz ve açık günlerde daha fazla miktarda yere ulaşır. Bulutlar genellikle yere ulaşan ultraviyole radyasyonu azaltmaktadırlar.

5. Yüzey yansımaları (albedo): Yere ulaşan ultraviyole radyasyonun bir kısmı yer yüzeyi tarafından emilirken, bir kısmı da yüzey tarafından yansıtılmaktadır. Yüzeyin cinsine göre bu yansımalar miktarlarında değişimler gözlenmektedir. Doğal bitki örtüsü, toprak ve su, yere ulaşan ultraviyole radyasyonun %10'undan daha az bir miktarını yansıtılmaktadır. Diğer taraftan, taze kar gelen ultraviyole radyasyonun %80'ini yansıtılmaktadır. Bu nedenle açık kış günlerinde, kar yüzeyindeki yansımalar dolayısıyla, ultraviyole radyasyonda yazın göre daha fazla miktarlarda artış gözlenmesi mümkündür. Kumdan %25 oranında yansıyan ultraviyole radyasyon, özellikle sahillerde aşırı düzeyde ultraviyole radyasyon değerlerinin görülmesine neden olmaktadır (Anonim 2015b, Anonim 2015c).

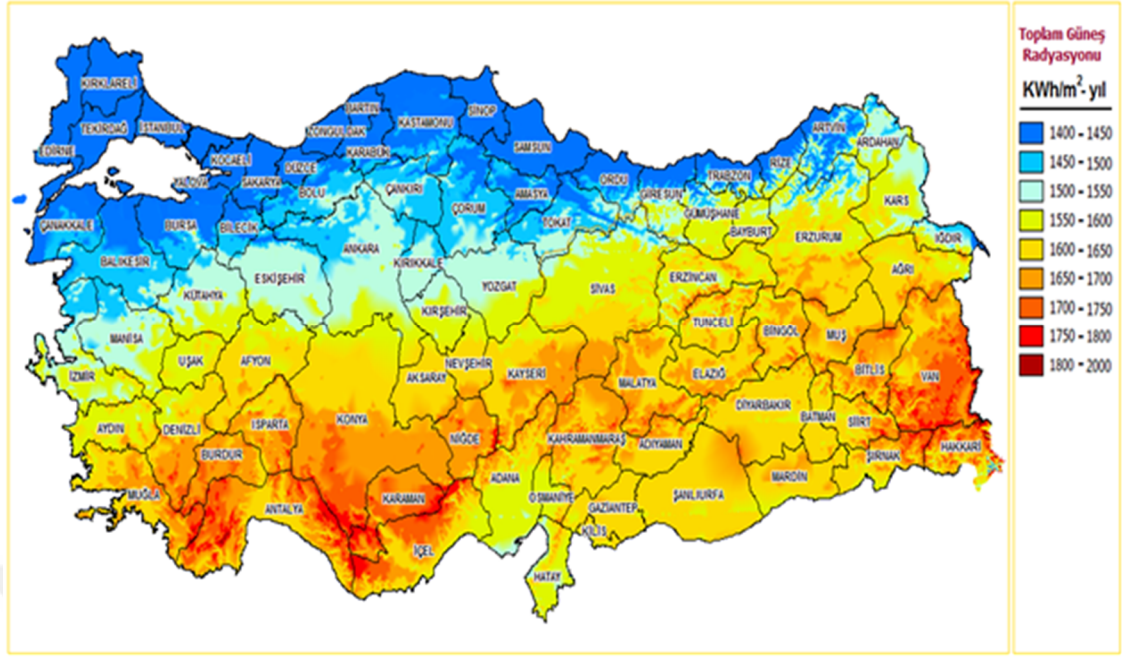
6. Enlem derecesi ve mevsimsel değişimler: Güneş ışığını en iyi alan bölge 15-35 °N enlemlerindeki kuşaktır (Afrika ve Güney Asya). Bulut örtüsü sınırlıdır ve yılda 3000 saatin üzerinde güneş ışığı almaktadır. Bu bölgede, gelen solar radyasyonun %90'ı direkt radyasyondur. Ekvatorial kuşakta (0-15 °N) atmosferik nem ve bulutluluk fazla olduğundan, radyasyon dağılmaktadır. Bu bölgede mevsimsel değişimler etkili olmadığından, yıl boyunca global solar radyasyon yoğunluğu hemen hemen aynı kalmaktadır. Ülkemizde bulunduğu 35-45 °N enlem kuşağında, gelen radyasyon büyük ölçüde dağılım göstermekte ve ışık şiddeti azalmaktadır. Bulutluluk ve atmosferik kirlilik global solar radyasyon yoğunluğunun azalmasında etkilidir (Acra 1990).



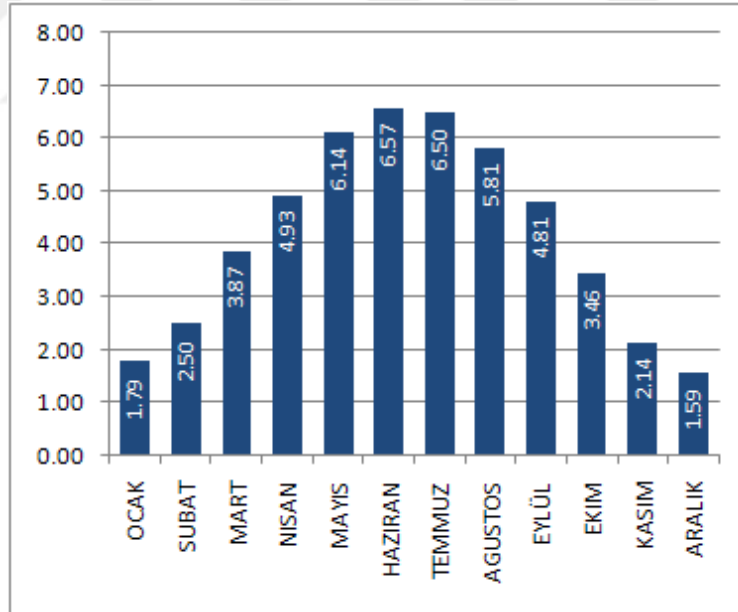
Güneş enerjisi günümüzde konut ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi (ısıtma-soğutma), yemek pişirme, sıcak su temin edilmesi ve yüzme havuzu ısıtılmasında, tarımsal teknolojide, sera ısıtması ve tarım ürünlerinin kurutulmasında, sanayide, güneş ocakları, güneş fırınları, pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu uygulamalarında, ulaşım-iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik üretiminde kontrollü olarak kullanılmaktadır (Varınca ve Gönüllü 2006).

**Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli:** Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde (DMI) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olarak tespit edilmiştir. Türkiye, yıllık 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Genel olarak Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları sırası ile Haziran ve Aralık olmaktadır (Varınca ve Gönüllü 2006).

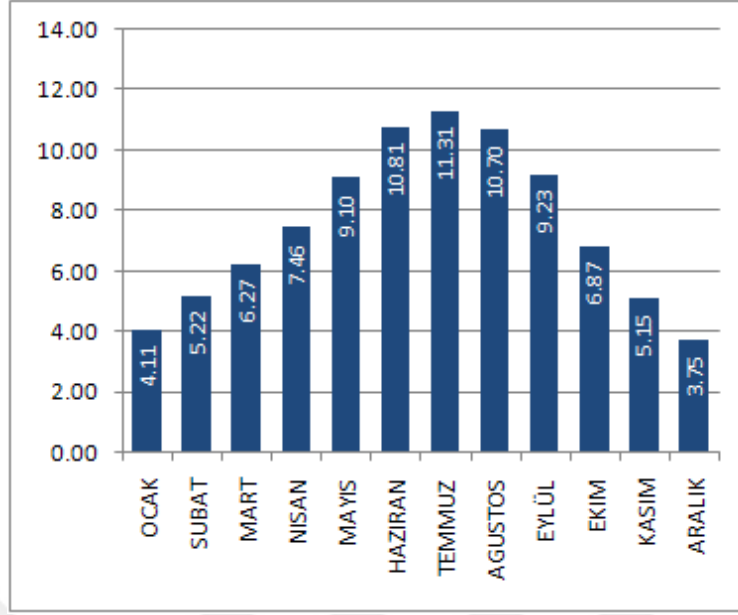
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) 2008 yılında hazırlanmıştır. Türkiye'nin yıl içerisinde gelen güneş ışığının güneş enerjisi potansiyeli atlası Şekil 2.10'da, Türkiye'nin aylara göre global radyasyon değerleri Şekil 2.11'de ve güneşlenme süreleri Şekil 2.12'de verilmiştir (Anonim 2008).



Şekil 2.10. İl bazlı güneş enerjisi potansiyel atlası (Anonim 2008)



Şekil 2.11. Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün) (Anonim 2008)



**Şekil 2.12.** Türkiye güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2008)

#### 2.3.4.2. Güneş ışığı prosesi (Solar dezenfeksiyon-SODIS)

Güneş ışığı, suda bulunan mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkiye sahiptir. Güneş ışığı ile mikroorganizma inaktivasyonu, sıcaklık ve radyasyonun sinerjistik etkisi ile gerçekleşmektedir. UV-B radyasyonunun, bakteriyel DNA tarafından doğrudan absorblanması, ciddi hasarlara veya inaktivasyona sebep olmaktadır. Termal inaktivasyon, su sıcaklığı 50 °C'nin üzerine çıktığında gerçekleşmektedir. Mikrobiyal yaşam formları için en tahrip edici dalgaboyları, 320-400 nm (UV-A bölgesi) aralığındadır. Güneş ışığının inaktivasyon etkisinin % 70'inden, UV-A ve görünür ışık sorumludur. Bu aralıktaki ışık ile uyarılmış hale gelen fotosensitizerler ya doğrudan biyomoleküllerle etkileşirler, ya da oksijen ile tepkimeye girerek reaktif oksijen türlerini oluşturmaktadırlar. Fotosensitizerler, ekzojen (humik maddeler vb.) veya endojen (sitokrom, flavin) olabilir. Ekzojen olarak ortaya çıkmış kısa ömürlü reaktif oksijen türleri (OH• gibi) membrana hasar verirken, uzun ömürlü olanları (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gibi) hücre içine difüze olmaktadır. Endojen olarak ortaya çıkmış uzun ömürlü reaktif oksijen türleri doğrudan hücreye zarar vermekte (lipid peroksidasyonu gibi) veya hücre içinde kısa ömürlü türlerin oluşumuna sebep olmaktadır. OH•, hücresel biyomoleküllerle etkileşerek ciddi hasarlara neden olmaktadır (Wegelin ve Meierhofer 2002, Spuhler ve ark. 2010).

UV-A radyasyonu, suda bulunan patojenler üzerinde öldürücü etkiye sahiptir. Bu patojenler, insan gastrointestinal sisteminde yaşadıklarından, ağır çevresel şartlara iyi adapte olamazlar. Bu nedenle, bu patojenler, çevrede bulunan diğer organizmalara göre, güneş ışığına daha hassastırlar (Wegelin ve Meierhofer 2002).

Güneş ışınları ile içme suyu dezenfeksiyonu (SODIS) içme suyunun kalitesinin iyileştirilmesi için basit bir yöntemdir. Açık hava ve iklim koşulları gerektirir. SODIS uygulamasında, şişe, gökyüzünün açık veya %50'den az bulutlu olduğu bir zamanda 6 saat süreyle güneş altında tutulur. Gökyüzü % 100 bulutlu ise şişe ardarda iki gün boyunca güneşte bekletilir. Suda yüzen partiküller güneş ışınlarının sudaki yoğunluğunu azaltır ve mikroorganizmaları ışıklardan korur. SODIS en fazla 30 NTU bulanıklıkta berrak suyu gerektirir. SODIS büyük miktarlarda suyun arıtılması için uygun değildir. Bu dezavantajlar SODIS uygulamalarını sınırlandırmaktadır (Wegelin ve Meierhofer 2002).

SODIS ile aşağıdaki mikroorganizmaların etkisiz hale getirildiği saptanmıştır:

- Bakteriler: *Escherichia coli* (*E.coli*), *Vibrio cholera*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhi*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella paratyphi*
- Virüsler: *Bacteriophage f2*, *rotavirus*, *encephalomyocarditis virüs*
- Maya ve küfler: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum*

(Alkan 2010)

Farklı mikroorganizmaların güneş ışığına dirençlerini değerlendirirken, *E.coli* referans mikroorganizma olarak kabul edilmiştir. Çünkü, yapılan pek çok çalışmada *E.coli* model mikroorganizma olarak kullanılmıştır. *Vibrio cholera* dışındaki, gram-negatif bakteriler, güneş ışığına karşı *E.coli* ile benzer hassaslığa sahiptir. *Pseudomonas aeruginosa* ve *Enterobacter cloacae*, *E.coli*'nin inaktivasyonu için ihtiyacı olan UV enerjisinin yarısına ihtiyaç duyar. *Shigella* ve *Salmonella*'nın inaktivasyonu *E.coli*'ye göre daha kolaydır. Enterococci türleri ve *Bacillus subtilis* gibi gram-pozitif bakterilerin inaktivasyonu daha zordur (Malato ve ark. 2009).

### 2.3.4.3. Fotokatalitik yöntemler

#### 2.3.4.3.1. Homojen fotokataliz (Fenton/Foto-fenton prosesleri)

Literatürde, fenton ve foto-fenton prosesleri ile yapılan çalışmalar, toksik madde giderimine yöneliktir. İşletimi esnasındaki bazı kısıtlamalar sebebiyle, bu alandaki literatür sınırlı olsa da, foto-fenton prosesi, klasik dezenfeksiyon yöntemlerine alternatif olarak kullanılabilir bir prosesdir. Son yıllarda, foto-fenton prosesinde, özellikle, güneş ışığının kullanıldığı dezenfeksiyon çalışmalarına rastlanmaktadır (Malato ve ark. 2009, Gomez ve ark. 2012).

Rubio ve ark. (2013a) yaptıkları çalışmada, saf su, göl suyu ve yapay deniz suyunda, UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV-C/foto-fenton proseslerinin dezenfeksiyon verimlerini karşılaştırmışlardır. 4,9 W'lık UV-C lambası kullanılmıştır. Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonu 1 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu 10 mg/L olarak seçilmiştir. En yüksek bakteri giderimini UV-C/foto-fenton prosesi ile elde etmişlerdir. UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde de, foto-fentona yakın sonuçlar elde edilmiştir. Saf suda inorganik iyonlar bulunmadığı için, inaktivasyon hızı, diğer sulara göre daha yüksektir.

Gomez ve ark. (2012), rezorsinol (doğal organik madde için model olarak kullanılmıştır) ve NaCl içeren distile suda yaptıkları çalışmada, foto-fenton prosesinin bakteriyel inaktivasyonun gerçekleşmesinde oldukça hızlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu proses ile, *E.faecalis* konsantrasyonunda 5-log'luk azalma sağlanmıştır. Çalışmada diğer tüm uygulanan prosesler içinde (UV-A/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sadece UV-A, sadece H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV-A/Fe<sup>+2</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>), foto-fentonun en yüksek dezenfeksiyon verimini sağlaması, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin hızlı bir şekilde tüketilerek hidroksil radikali oluşumunun artışına dayandırılmıştır.

Rincon ve Pulgarin (2007b) düşük hidrojen peroksit ve Fe<sup>+3</sup> konsantrasyonlarında, pH 6,5 civarında fenton prosesi ile bakteriyel inaktivasyonun gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bu araştırmacılar başka bir çalışmalarında gölden aldıkları suya foto-fenton dezenfeksiyonunu uygulamışlar (10 ppm Fe<sup>+2</sup>, 10 ppm H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, nötral pH) ve *E.Coli* giderimini incelemişlerdir. Olumlu sonuçlar bildirilmiş olsa da, ortamdaki Fe<sup>+2</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının izlenmesi, nötral şartlarda ortamda ne kadar demir kaldığının ve

bunun fenton reaksiyonunu ne kadar katalizlediğinin mutlaka izlenmesi gerekir (Malato ve ark. 2009).

Fenton ve foto-fenton ile dezenfeksiyonda karşılaşılan ilk problem, kirleticiler ve ligandlar arasındaki hidroksil radikali rekabetidir. Ligandlar çözeltide demirin devamlılığını sağlarlar. Organik ligandlar oksitlendiği takdirde, nötral pH'ta çözelti içerisinde demir kalmaz. Diğer bir problem ise pH'tır. Düşük pH fenton prosesleri için önemlidir. Oysa ki, pH 3 civarında, pek çok mikroorganizma, ek bir arıtmaya gerek olmadan yok olmaktadır (Malato ve ark. 2009).

#### **2.3.4.3.2. Heterojen fotokataliz (Solar/TiO<sub>2</sub>)**

Bugüne kadar, TiO<sub>2</sub> fotokatalizinin bakteri öldürücü etkisinin ortaya konduğu pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu bakteriyel patojenlerin özellikle *E.coli*'nin giderimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, virüs, alg, mantar, protozoa, bakteriyel sporlar ve toksinler üzerinde TiO<sub>2</sub> fotokatalizinin etkisi de araştırılmıştır (Robertson ve ark. 2005).

Literatürdeki fotokatalitik dezenfeksiyon çalışmalarının çoğu, deney çıktılarına açıkça etkilemeyen, pH 5-8 aralığında yürütülmüştür. Herrera-Melian ve ark. (2000), evsel atıksulardan koliform bakteri ve *S.faecalis*'in fotokatalitik giderimini inceledikleri çalışmada, nötral pH'ta (pH 7,8) sadece ışık uygulaması ve TiO<sub>2</sub> fotokatalizi arasında önemli bir fark bulunmadığını, ancak pH'ın 5'e indirilmesiyle TiO<sub>2</sub> fotokatalizinde inaktivasyon hızının arttığını bildirmişlerdir. Diğer taraftan, Watts ve ark. (1995) ikincil çıkış sularındaki koliform bakteri ve poliovirüs gideriminin pH 5-8 aralığında değişmediğini bildirmişlerdir. Yine Rincon ve Pulgarin (2004a), saf suda gerçekleştirdikleri çalışmada, pH 4-9 aralığında *E.coli* inaktivasyon hızında, herhangi bir değişim gözlenmediğini bildirmişlerdir.

Optimum katalist konsantrasyonu ile ilgili olarak farklı yazarlar tarafından, çeşitli sonuçlar bildirilmiştir. CPC teknolojisini kullanan çalışmalarda, farklı araştırmacılar, 50

mg/L, 100 mg/L gibi optimal katalist konsantrasyonu değerlerini bildirmişlerdir (Malato ve ark. 2009).

Matsunaga ve ark. (1985) fotokimyasal sterilizasyon kavramını ilk defa bildirmişlerdir. *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae* ve *E.coli* giderimine, Pt/TiO<sub>2</sub> partiküllerinin etkisini inceledikleri çalışmada, metal halojen lamba ile 60-120 dakika ışık uygulanması sonucu tam sterilizasyonun gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Bazı çalışmalar güneş ışığı ile, bazıları da UV lambaları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda uygulanan UV yoğunlukları arasında büyük farklılıklar vardır ve başlangıç konsantrasyonu, pH vb. deneysel faktörlerde değişkenlik gösterdiğinden, UV yoğunluğunun etkisinin doğrudan değerlendirilmesi zordur. Ancak, bazı çalışmalar ortaya koymuştur ki, artan UV yoğunluğu ile, mikrobiyal giderim oranı artmaktadır (Robertson ve ark. 2005).

TiO<sub>2</sub> fotokatalizine, mikrobiyal başlangıç konsantrasyonu açısından bakılacak olursa, ilk bakteri konsantrasyonu arttıkça, inaktivasyon için gerekli olan süre uzayacaktır (Robertson ve ark. 2005).

Herrera Melian ve ark. (2000), hem güneş ışığı hem de UV lambası kullanarak, evsel atıksularda, koliform bakteriler ve *Streptococcus faecalis*'in fotokatalitik giderimini incelemişlerdir. Nötral pH'ta, TiO<sub>2</sub> fotokatalizi ile sadece UV ışığı (güneş ışığı veya lamba ile) uygulanması arasında önemli bir fark gözlememişler, ancak, pH 5'e düşürüldüğünde TiO<sub>2</sub> fotokatalizi ile inaktivasyon hızının arttığını bildirmişlerdir.

Fotokatalitik inaktivasyon mekanizması henüz tam olarak açıklanamamıştır. Bazı araştırmacılara göre, stoplazmik membranın lipid peroksidasyonu sonucunda respirasyon gibi fonksiyonlar engellenmiş olur. Diğer bir gruba göre, fotoinaktivasyon prosesinin ilk basamağı, bir bariyer görevi gören hücre duvarının hasar görmesi ve bozulmasıdır. Bunun sonucunda fotokataliz ile oluşan reaktif türlerin sitoplazmik membrana penetrasyonu gerçekleşir. İkinci basamak ise, sitoplazmik membranın zarar görmesidir. Potasyum iyonları, proteinler ve RNA kaybı ile ölüm gerçekleşir. KoenzimA (CoA)

dimerizasyonunun, respirasyonu inhibe ederek hücre ölümüne neden olduğu da ileri sürülmüştür.

Fotokatalitik dezenfeksiyonu etkileyen faktörler; ışığın kesikli veya sürekli olarak uygulanması, ışık yoğunluğu, dezenfeksiyon süresi, sıcaklık, pH, oksijen, bulanıklık, TiO<sub>2</sub>'nin partikül halinde veya sabitlenmiş halde uygulanması ve konsantrasyonu, TiO<sub>2</sub>'in kristalin formu (anataz, rutil) şeklinde sıralanabilir. Dünyanın farklı bölgelerinde fotokatalitik dezenfeksiyon ile ilgili laboratuvar çalışmaları sürdürülmektedir. Askıda ve sabitlenmiş TiO<sub>2</sub> partikülleri ile pek çok çalışma yapılmış ve sabitlenmiş TiO<sub>2</sub> ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Son yıllarda, proses verimini arttırmak için farklı iyonlar ile TiO<sub>2</sub> partiküllerinin doyurulması yaygın olarak uygulama bulmaktadır (Malato ve ark. 2009).

#### **2.3.4.4. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi**

Dünya yüzeyine ulaşan solar radyasyon UV-B spektrumundan küçük miktarda ve UV-A spektrumunun büyük kısmını içermektedir. UV-C dünyaya ulaşmadığından, hidrojen peroksit fotolizi ile hidroksil radikali oluşumunda, solar enerji, UV-C'ye göre yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, su dezenfeksiyonunda, güneş ışığı ve hidrojen peroksitin kullanımını günümüze kadar sınırlıydı. Mekanizması tam olarak çözülememiş olsa da, mikroorganizma inaktivasyonunda güneş ışığı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> arasındaki sinerjistik etkiyi gösteren kanıtlar mevcuttur (Polo-Lopez ve ark. 2011). Ancak, dezenfeksiyon sırasında, organik madde içeriğinde önemli bir azalma gerçekleşmediği bildirilmiştir (Rodríguez-Chueca ve ark. 2014).

Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, güneş ışığı ve düşük konsantrasyonda hidrojen peroksit kullanılmakta ve bu da, dezenfeksiyon prosesinin düşük maliyetli olması anlamına gelmektedir. Ayrıca, dezenfeksiyon esnasında, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, su ve oksijene ayrıştığından, tekrar kirlenmeye sebep olmamakta ve pH ayarlamasına da ihtiyaç duyulmamaktadır (Polo-Lopez ve ark. 2011).



Rodríguez-Chueca ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada, evsel atıksulardan *E.faecalis* ve *E.coli* gideriminde, solar foto-fenton prosesinin verimliliğini incelemişler ve bu çalışmanın bir bölümü olarak solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesini uygulamışlardır. CPC reaktör kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, sentetik evsel atıksuya uygulanan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları 5, 10, 20, 25 ve 50 mg/L'dir ve pH 5 olarak seçilmiştir. Örnekler, güneş ışığı altında 4 saat bırakılmıştır. 5 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu dışındaki tüm konsantrasyonlar ile *E.coli* sayısı sıfırlanmıştır. En yüksek *E.coli* giderimi 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile sağlanmıştır. *E.faecalis* giderimi *E.coli*'ye göre daha yavaştır ve sadece 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile bakteri sayısı sıfırlanmıştır. Bakteri yaşamı üzerinde sadece H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin oksidatif etkisinin (karanlık kontrol-50 mg/L için), her iki tür içinde oldukça düşük olduğu görülmüştür. Deneyler boyunca pH, çözülmüş oksijen ve ÇOK ölçümleri yapılmış ve pH'ın 5 civarında kaldığı görülmüştür. ÇOK değerlerinde azalma gözlenmemiştir. Deney sonunda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonundaki azalma %10'dan az olarak tespit edilmiştir.

Bir diğer kontrol deneyinde, karanlıkta CPC reaktörde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilmeden sadece sirkülasyonun etkisi değerlendirilmiş ve her iki bakteri türünde de önemli bir azalma gözlenmemiştir. Karanlıkta sıcaklık 25 °C'den 44 °C'ye arttırılarak sıcaklığın *E.coli* giderimine etkisi incelenmiş ve bakteri yaşamı üzerinde olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Bu sonuçlara dayanarak, termal ve mekanik etkilerin ihmal edilebileceği ortaya konmuştur (Rodríguez-Chueca ve ark. 2014).

Gerçek atıksuda yapılan denemelerde ise, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi 20 ve 50 mg/L için uygulanmış ve her iki konsantrasyonunda tüm bakterilerin giderimini sağladığı ortaya konulmuştur. Ayrıca, solar/20 ve 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin, solar foto-fenton prosesine göre de, daha hızlı inaktivasyon sağladığı görülmüştür (Rodríguez-Chueca ve ark. 2014).

Bichai ve ark. (2012), solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin verimliliğini, gerçek atıksuda, 5 ve 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> için (pH 7,5) pet şişelerde ve CPC reaktörde denemişler ve 5 saat sonunda *E.coli* inaktivasyonunun gerçekleştiğini, 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> CFU/ml olan bakteri sayısının 2 CFU/ml'ye düştüğünü bildirmişlerdir.

Polo-López ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, saf su ve sentetik atıksuda solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin *Fusarium equiseti* sporları giderimindeki verimliliğini CPC reaktörler kullanarak değerlendirmişler ve hem saf suda, hem de atıksuda 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ile inaktivasyonun gerçekleştiğini ve klamidospore sayısının saf suda 2 saatte, atıksuda 5 saatte sıfırlandığını bildirmişlerdir. Bu sonuca göre, CPC sistemlerinde düşük hidrojen peroksit konsantrasyonlarının uygulanması, dirençli mikroorganizmaların gideriminde iyi bir alternatif olabilir. Çalışmadaki pH değeri sentetik atıksu için, 8,1-9,0 (başlangıç ve çıkış değerleri) aralığındadır. Sıcaklık ise 39 °C'ye kadar yükselmiştir. Yine bu araştırmacılar tarafından, *Fusarium solani* sporlarının 50 mg/L'den düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları ile giderildiği bildirilmiştir.

Sichel ve ark. (2009), saf suda *Fusarium solani* sporlarının solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ve CPC reaktörler ile giderimini inceledikleri çalışmada pH 7,5'ta 5-50-100 ve 500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarını kullanmışlardır. 250 ml'lik cam reaktörlerde yapılan ön denemelerde, sadece ışık kullanılarak 0,7-log giderim elde edilirken, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi ile 2,7-log giderim elde edilerek spor sayısı sıfırlanmıştır. 5 mg/L için 5 saatte sayı sıfırlanırken, 500 mg/L için 2 saatte bu değere ulaşılmıştır. CPC reaktörler kullanıldığında ise, 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi ile 2,6-log giderim sağlanmıştır.

Garcia-Fernandez ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, saf suda 2,5, 5 ve 10 mg/L konsantrasyonlarını denemişler ve 10 mg/L'nin *E.coli* gideriminde en etkili konsantrasyon olduğunu ve daha düşük kümülatif ışık dozu ile bakteri sayısının sıfırlandığını bildirmişlerdir.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fotolizi 300 nm'den küçük dalgaboylarında gerçekleşir. Dünya yüzeyine deniz seviyesinde ulaşan ışık spektrumu 290 ile 3000 nm dalga boyu arasında değişmektedir. Ancak, dünyaya ulaşan, 290 - 300 nm arasındaki dalgaboyları, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fotolizi ile hidroksil radikali oluşturmada sınırlı kalır. Bu nedenle, UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi, bir ileri oksidasyon prosesi olarak yaygın şekilde kullanılırken, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin bir dezenfeksiyon yöntemi olarak çok fazla üstünde durulmamıştır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve yakın UV bölgesindeki ışığın birlikte giderim etkisi ilk defa 1977'de faj T7 için bildirilmiştir. O zamandan beri, su dezenfeksiyonunda solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin kullanımı ile ilgili literatüre çok az katkı

yapılmıştır ve bu prosesin, *E.coli*, *Streptococcus mutans*, *Fusarium solani* ve *Fusarium equiseti* gibi çeşitli mikroorganizmaların giderimindeki etkisi ortaya konmuştur (Lopez ve ark. 2011).

Bununla birlikte bu proses aynı anda gerçekleşen 3 farklı mekanizma ile hücre ölümüne sebep olabilir:

- ✓ Direkt fotoinaktivasyon
- ✓ İçsel Fenton ve Haber-Weiss reaksiyonları:  $H_2O_2$  moleküllerinin, membrandan hücreye difüzyonu sonucu,  $H_2O_2$ 'nin hücre içi konsantrasyonu artar. Ardından, bu moleküller, hücre içi serbest veya kolay ayrılabilen demir ile Haber-Weiss reaksiyonları sonucu hidroksil radikali oluştururlar.
- ✓ UV-A radyasyonu baskısı altında meydana gelen katalaz ve superoksit dismutaz inaktivasyonu, hücre içinde  $H_2O_2$  artışına sebep olur (Agullo-Barcelo ve ark. 2013).

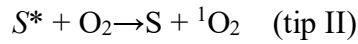
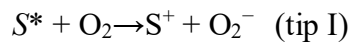
Eleren ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, humik madde içeren yüzeysel sularda *E.coli* ve *B.subtilis* sporlarının solar ışık ve solar/ $H_2O_2$  prosesleri ile giderimini incelemişlerdir. Tüm deney şartları için 60 dk. sonunda elde edilen giderimlerin *E.coli* için 3,6-log ile 6,5-log ve *B.subtilis* sporları için 3,3-log ile 4,0-log arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Solar/ $H_2O_2$  prosesinin, *E.coli* gideriminde oldukça etkili olduğunu, ancak, *B.subtilis* sporları gideriminde, ortama  $H_2O_2$  eklenmesinin, solar ışık ile elde edilen giderime göre çok büyük bir artış sağlamadığını belirtmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada, UV-A ışığı (lamba) ve hidrojen peroksinin birlikte kullanımının, 120 dakikada, *E.faecalis*'in toplam inaktivasyonunu sağladığı gözlenmiştir. İlk 80 dakikada, hidrojen peroksit, bakteri gideriminden sorumlu tek değişkendir. 80 dakika sonunda ise, hidrojen peroksit ile temas sonucu hasar görmüş hücrelere UV-A ışığının etki etmesi sonucu, tam giderim sağlanmıştır (Gomez ve ark. 2012).

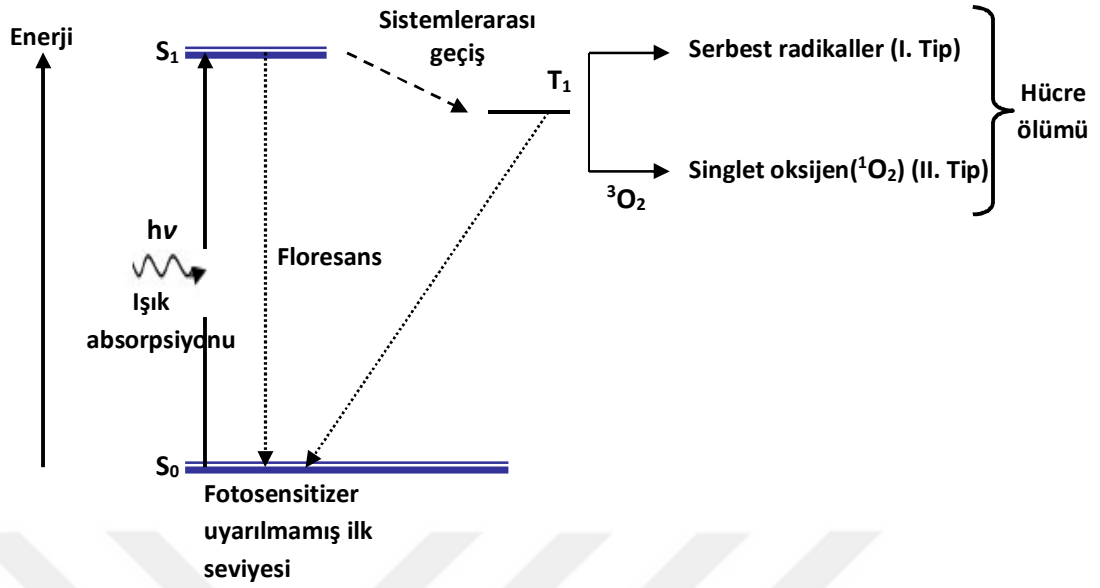
### 2.3.4.5. Fotosensitizasyon

Fotosensitizasyon, hedeflenen hücrelerin, sensitizer ve ışığın reaksiyonu sonucu ortaya çıkan sitotoksik ürünler aracılığıyla elimine edilmesi olarak tanımlanmaktadır. (Şekil 2.13) Fotosensitizasyon mekanizmasının ilk adımı, sensitizer tarafından ışığın absorpsiyonudur. Böylece sensitizer taban halinden singlet hale geçmektedir ve yarı ömrü  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  sn aralığındadır. Uyarılmış singlet sensitizer ya tekrar taban haline düşmektedir (fluoresans), yada sistemlerarası değişime uğrayarak uyarılmış triplet sensitizer haline gelmektedir. Bu durumda yarı ömrü  $10^{-3}$  sn'dir. Yüksek kuantum verimli ve uzun yarı ömürlü triplet sensitizer kullanımı ile hücre yıkımı daha etkili gerçekleşmektedir (Luksiene 2005).

İkinci aşama ise triplet hale geçmiş sensitizer'ın oksijen ile reaksiyona girmesidir. İki çeşit reaksiyon gerçekleşebilmektedir. Uyarılmış hale geçen sensitizer moleküler oksijen ile reaksiyona girerek, elektron transferi yoluyla süperoksit anyonu (Tip I) veya enerji transferi yoluyla singlet oksijen oluşturmaktadır (Tip II). Aşağıdaki reaksiyonlarda görüldüğü gibi, Tip I reaksiyonlarda sensitizer oksitlenirken, Tip II reaksiyonlarda sensitizer taban haline dönmektedir ve bu nedenle, Tip II reaksiyonlar aslında fotokatalitik reaksiyonlardır (Rengifo-Herrera ve ark. 2007).



$S^*$ : uyarılmış haldeki sensitizer



**Şekil 2.13.** Fotodinamik inaktivasyonun şekilsel gösterimi ( $h\nu$ : ışık enerjisi,  $S_0$ : Fotosensitizer uyarılmamış ilk seviyesi,  $S_1$ : Fotosensitizer uyarılmış singlet hali,  $T_1$ : Fotosensitizer uyarılmış triplet hali) (Alkan 2010)

Manjon ve ark. (2008) dezenfeksiyonda singlet oksijenin hidroksil radikaline göre avantajlarını şöyle bildirmişlerdir:

- 1-  $^1O_2$  daha duyarlı bir oksitleyicidir.
- 2-  $TiO_2$ 'ye göre 10-100 kat daha az sensitizer yüklemesi gerektirir ki, maliyet azalır.
- 3-  $TiO_2$  ile uygulamalarda hidroksil radikali oluşumu için UV-A gerekirken,  $^1O_2$  oluşturulmasında hem UV hemde görünür ışık kullanılır.

Fotosensitizasyon ile oluşan sitotoksik ürünler, etkilerini oksidatif hasar ile göstermekte ve hücrelerin birden çok bölgesinde yıkıma neden olmaktadır. Fotodinamik inaktivasyon mikroorganizmaları iki yolla inaktive eder:

- DNA'nın hasar görmesi: Farklı yapılarıdaki fotosensitizerler ile uygulamaların ardından, gram (-) ve gram (+) türlerde, hem tekli hem de çiftli DNA iplikçiklerinin kopması veya plazmid sarmal parçasının yok olması şeklinde etkiler gözlenmiştir. Çiftli iplikçiklerin arasına nüfuz edebilen fotosensitizerlerin daha kolay hasar verdiği kanıtlanmıştır. Guanin, en kolay okside olan kısımdır. Ancak, DNA hasarı çeşitli mekanizmalarca onarılabilir ve bu yüzden bazı araştırmacılara göre DNA hasar görse de, hücre ölümüne neden olmaz. Yine de, çok etkili bir DNA onarım mekanizmasına sahip olan *D. radiodurans*'ın bu yöntem ile kolayca inaktive edilebildiği bildirilmiştir.

- Sitoplazmik membranın hasar görmesi: Hücre içeriği dışarıya sızar veya membran taşıma sistemleri ve enzimler inaktive edilir. Hücre membranında meydana gelen hasarın lipid peroksidasyonu ve protein hasarı yolu ile olduğu gözlenmiştir. Hücre dışı membranı hasarını sitoplazmik membranın parçalanması veya biyokimyasal fonksiyonların kaybı takip etmektedir (Navntoft ve Araujo 2007, Alkan 2010).

Fotoreaktif boyaların mikroorganizma inaktivasyonu ile toksik bileşikler ve organik madde oksidasyonundaki etkinliği yıllardan beri bilinmektedir. Dezenfeksiyonda yaygın olarak kullanılan boyalar, metilen mavisi, rose bengal, porfirinler, akridinler, fitalosiyaninlerdir. Fotodinamik inaktivasyonun en büyük dezavantajı, bu boyaların ışık altında solmalarıdır. Solma sonucu, absorbansları azaldığı için proses verimi de düşmektedir. Sıcaklık, pH, oksijen konsantrasyonu, sensitizer konsantrasyonu ve maksimum absorpsiyon, aydınlanma süresi ve dozu gibi faktörler mikrobiyal inaktivasyonun hızını ve hassasiyetini etkilemektedir (Alkan 2010).

#### **2.3.4.6. Solar reaktörler**

Fotokatalitik uygulamalar için solar kolektörler temelde 3 grupta toplanabilir:

- 1- Konsantre edici kolektörler (PTC)
- 2- Konsantre etmeyen kolektörler (Düz plaka)
- 3- Birleşik parabolik kolektörler

PTC ve düz plaka reaktörlerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.24'de verilmiştir (Bahnemann 2004).

**Çizelge 2.24.** PTC ve düz plaka reaktörlerin avantaj ve dezavantajları (Bahnemann 2004)

Avantajlar	Dezavantajlar
<b>PTC</b>	
Türbülanslı akış Buharlaşma yok Reaktör tüp alanı daha az, dolayısıyla sabitlenmiş katalist kullanımı için daha uygun	Sadece direkt solar radyasyon Güneş takip sistemleri gereksinimi nedeni ile maliyet fazla Suyun aşırı ısınması Düşük optik verim
<b>Düz plaka</b>	
Direkt ve difüze solar radyasyon Isınma yok Maliyet düşük Optik verim fazla	Laminer akış(düşük kütle transferi) Reaktantın buharlaşması Reaktant kontaminasyonu Hava koşullarına karşı dayanıklı değil Daha fazla alan gereksinimi

Manjon ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, birleşik parabolik kolektörler (CPC) kullanmışlardır. Bu sistemler, hem parabolik oluk yataklı kolektörlerin (PTC), hem de ince film sabit yataklı reaktörlerin (düz levha) avantajlarını bir arada toplarlar. İki çeşit CPC kolektör kullanılmış ve fark, cam tüpler içinde sensitizer sabitlemesinin yapılacağı polipropilen desteklerin geometrisinden ve ona uygun olarak belirlenmiş reflektör yapısından kaynaklanmaktadır (koaksiyal ve fin tip).

Mani ve ark. (2006) pet şişeleri kullanarak yaptıkları çalışmada, ışık şiddeti ne olursa olsun reflektif yüzeylerin solar *E.coli* inaktivasyonunda daha etkili olduğunu görmüşlerdir. Kısa dalga boylu görünür ışık ve UV-A'nın yansıtılarak reaktör içinden geri dönüşü, hücresel bileşenler üzerinde daha fazla hasara neden olmaktadır. Singlet oksijen oluşumunda ise, ışığın yansımından çok absorplanması önem taşır. Bu yüzden koyu renkli yüzeyler kullanmak bir avantaj olsa da, ışık absorplanmasının su sıcaklığını arttıracığı unutulmamalıdır.

Reaktör dizaynında göz önüne alınması gereken en önemli iki nokta akış hızı ve solar radyasyon dozudur. Ancak ulaşan ışık yoğunluğu etkilenemeyeceği için, aydınlanma süresi ve akış hızları değiştirilerek istenen etki sağlanabilir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Sentetik evsel atıksuyun hazırlanması

Atıksu homojenliğinin ve bakteri direncinin değişmemesi için, sentetik atıksu kullanımı tercih edilmiştir. Çalışmalarda kullanılacak sentetik evsel atıksu, OECD'ye göre hazırlanmıştır (Anonim 2001). Atıksuyun bileşimi Çizelge 3.1'de verilmiş olup, KOİ değeri 250 mg/L ve çözülmüş organik karbon (ÇOK) değeri 100 mg/L'dir.

**Çizelge 3.1.** Sentetik evsel atıksuyun bileşimi

İçerik	Konsantrasyon (mg/L)
Pepton	160
Et Özüdü	110
Üre	30
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	28
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	7
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4
NaCl	2

Bu bileşenler, ev tipi arıtıcıdan alınan suda çözülerek sentetik atıksu hazırlanmıştır. Sentetik evsel atıksu, konsantre halde (KOİ: 10000 mg/L) hazırlanarak, 4 °C'de saklanmıştır. Deneysel çalışmanın KOİ değerine göre, ev tipi arıtıcıdan alınan su ile seyreltilerek kullanılmıştır. Orta kuvvette (KOİ:430 mg/L) evsel atıksuları ve atıksu arıtma tesisi çıkış sularını (KOİ:90 mg/L) temsil edecek şekilde sentetik evsel atıksu hazırlanarak dezenfeksiyon prosesleri uygulanmıştır (Tchobanoglous ve ark. 2004, Anonim 2004).

##### 3.1.2. Bulanıklık çözeltisinin hazırlanması

Bulanıklık çözeltisinin hazırlanmasında, bentonit (Riedel de Haën-18609) kullanılmıştır. Yaklaşık 20 spatül bentonit, 2 litre suya ilave edilmiş ve iyice karıştırılmıştır. 2 saat bekletilerek, büyük partiküllerin çökmesi sağlanmış ve üstteki sıvı alınarak askıda katı



madde (AKM) tayini yapılmıştır. Böylece stok bentonit çözeltisi hazırlanmıştır. Stok bentonit çözeltisi kullanımdan önce 121 °C'de 15 dakika otoklavlanarak sterilize edilmiştir. Deneysel çalışmada uygulanacak AKM miktarına göre, stok çözelti seyreltilerek kullanılmıştır. AKM konsantrasyonu 60 mg/L olarak seçilmiştir.

### **3.1.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan diğer kimyasal maddeler**

Solar/TiO<sub>2</sub> ve UV/TiO<sub>2</sub> deneylerinde, TiO<sub>2</sub> P25 Aeroxide (Degussa, Evonik) kullanılmıştır. TiO<sub>2</sub>, 35-65 m<sup>2</sup>/g BET yüzey alanına sahiptir. Kristal yapısı, anataz ve rutil karışımı şeklinde olup, anataz kristal yapısı daha baskındır. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> deneylerinde, % 1'lik hidrojen peroksit kullanılmış ve günlük olarak hazırlanmıştır. Bu çözeltinin hazırlanmasında, %30'luk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Merck, 108597) kullanılmıştır. pH ayarlanmasında, 1 N ve 0,1 N HCl (Merck, %37, 100314) ve NaOH (Merck, 106498) çözeltileri kullanılmıştır. Kalıntı hidrojen peroksitin giderilmesi için 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (Merck, 106657) çözeltisi kullanılmıştır.

### **3.1.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar**

Otoklav (SYSTEC VE-75)

Etüv (ELEKTROMAG M6 PHILIP HARRIS LTD.)

İnkübatör (PHILIP HARRIS LTD.)

Orbital İnkübatör (GALLENKAMP INR200)

Manyetik Karıştırıcı (CHILTERN HS31)

Kaynatmalı saf su cihazı (GFL 2001/4)

Su arıtma cihazı (RAINBOW FM30)

Termoregülatör/Soğutucu (TECHNE TE-10D/FC-200)

Derin dondurucu ve buzdolabı

Soğutmalı Santrifüj (BECKMAN COULTER Allegra 25R)

Spektrofotometre (HACH LANGE DR5000)

Turbidimetre (HACH LANGE 2100Q)

Mikroskop (NIKON Eclipse E100)

Su Banyosu (CLIFTON NE2-22)

Kaba Terazı (GEC AVERY Model: CB53)

Multiparametre ölçüm cihazı (HACH LANGE HQ40d-pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ölçümü)

Işık Ölçer (DELTA OHM DO9847K-UVA,UVB,UVC,RAD problemleri ile)

Global radyasyon ölçer (DELTA OHM LP PYRA02)

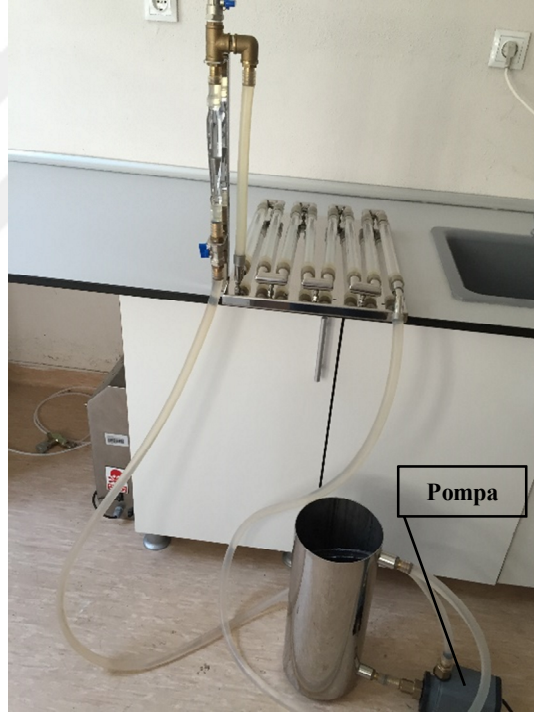
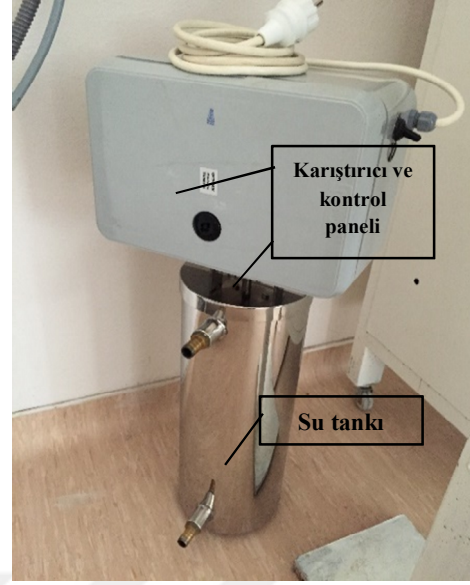
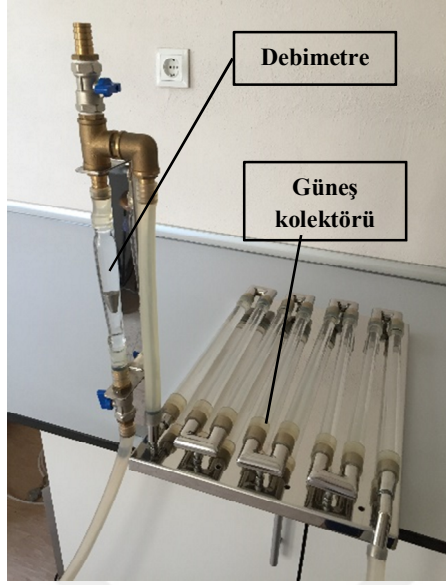
Mikropipet (RAININ PIPET-LITE SL-200 ve SL-5000)

Dispenser (ISOLAB Optifix Basic 100)

### **3.1.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan reaktörler ve ışık kaynakları**

#### **3.1.5.1. Sirkülasyonlu solar reaktör (laboratuvar ölçekli)**

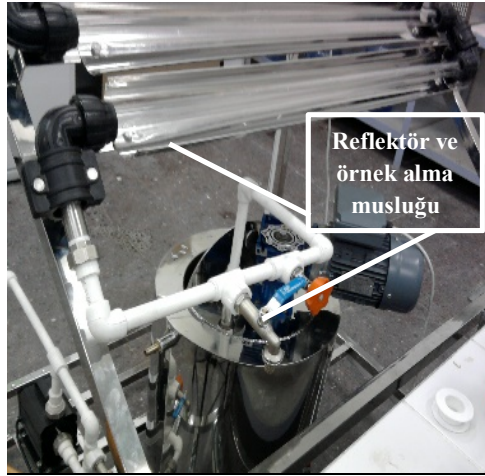
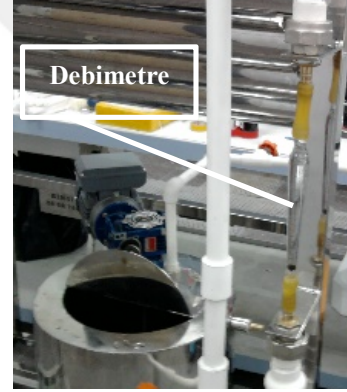
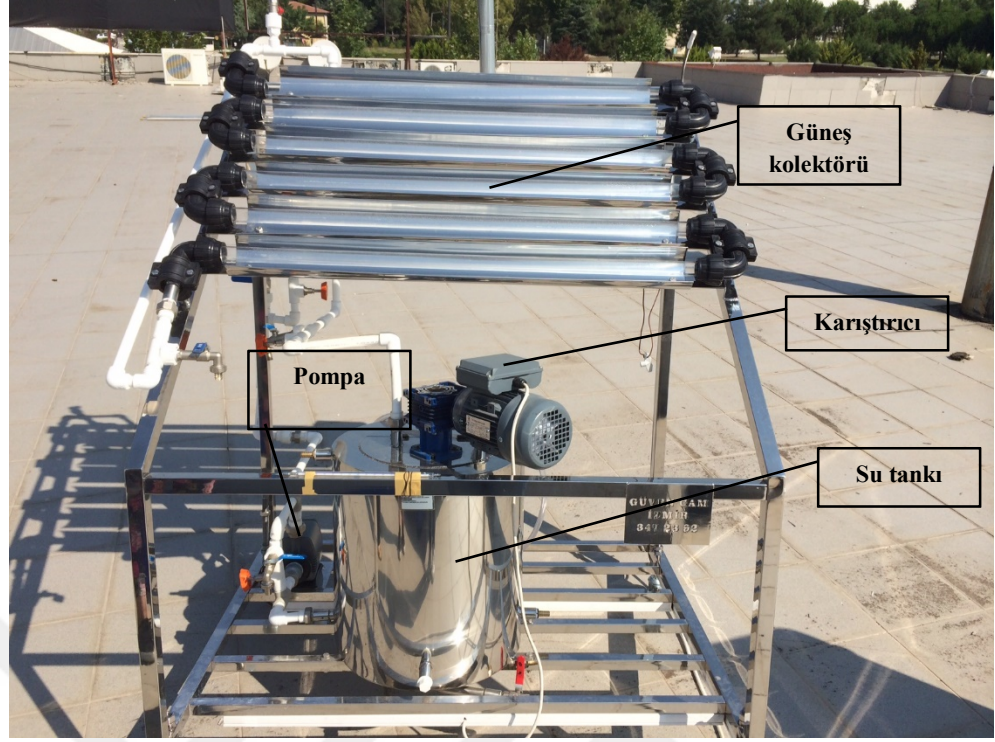
Sirkülasyonlu solar reaktör, güneş kolektörü, su tankı ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır (Şekil 3.1). Güneş kolektörü, borosilikat camdan yapılmış 8 adet tüpten oluşmaktadır. Tüp dış çapı 23 mm, et kalınlığı 1,3 mm, tüp iç çapı ~20 mm ve tüp uzunluğu 340 mm'dir. Işık alan tüp uzunluğu 320 mm'dir. Cam tüpler birbirlerine paslanmaz çelik rekorlarla seri halde bağlanmıştır. Cam boruların altında paslanmaz çelik düz levha yansıtıcı bulunmaktadır. Su tankı, paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, kapağına karıştırıcı monte edilmiştir. Sistemde silikon hortumlar kullanılmıştır. Debimetre ile 1-100 L/saat akış kontrolü ayarlanabilmektedir.



**Şekil 3.1.** Sirkülasyonlu solar reaktör (laboratuvar ölçekli)

### 3.1.5.2. CPC solar reaktör (pilot ölçekli)

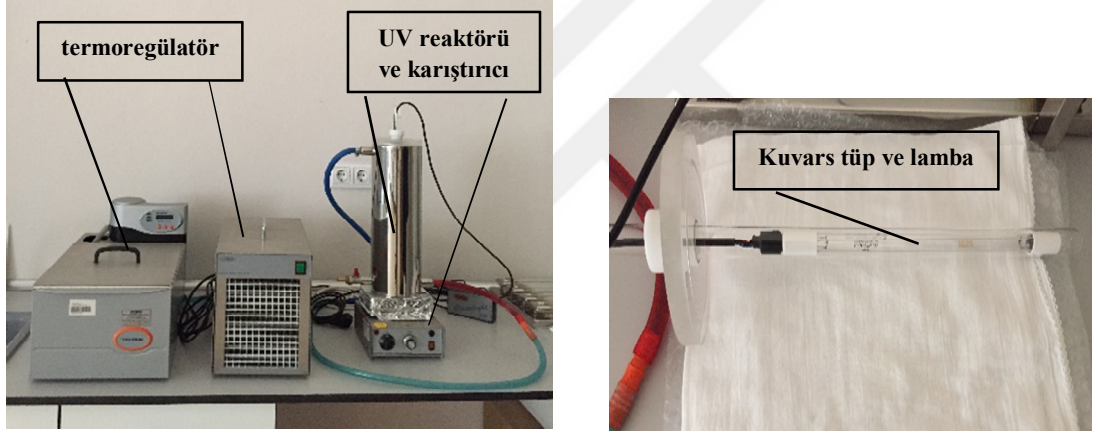
Güneş ışığında gerçekleştirilen saha denemeleri için CPC solar reaktör kullanılmıştır. Reaktör, güneş kolektörü, su tankı, kontrol paneli ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır (Şekil 3.2.). Güneş kolektörü, quartz camdan yapılmış 6 adet tüpten oluşmuştur. Tüp dış çapı 29 mm, iç çapı 26 mm, uzunluğu 1040 mm'dir. Işık alan tüp uzunluğu 960 mm'dir. Tüpler birbirlerine plastik rekorlarla seri halde bağlanmıştır. Böylece suyun tüpler ve su tankı arasında dolanımı sağlanmıştır. Kolektör bir platform üzerine sabitlenmiş ve ayakları eğim verilebilecek şekilde dizayn edilmiştir. Tüplerin altına U-şeklinde alüminyum reflektörler yerleştirilmiştir. Platform ve su tankı paslanmaz çelikten yapılmıştır. Tankın kapağına bir karıştırıcı monte edilmiştir. Su tankının dışında soğutma ceketleri bulunmaktadır. Suyun akış hızı bir debimetre yardımı ile ayarlanabilmektedir. Sistem üzerinde farklı noktalarda örnek alma ve tahliye muslukları bulunmaktadır. Tüm sistem bir kontrol paneli ile işletilmektedir. Reaktöre, Bursa'nın yerel enlem derecesine (40°) göre eğim verilmiştir ve terasta, batı-doğu doğrultusunda yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2. CPC solar reaktör (pilot ölçekli)

### 3.1.5.3. UV reaktörü

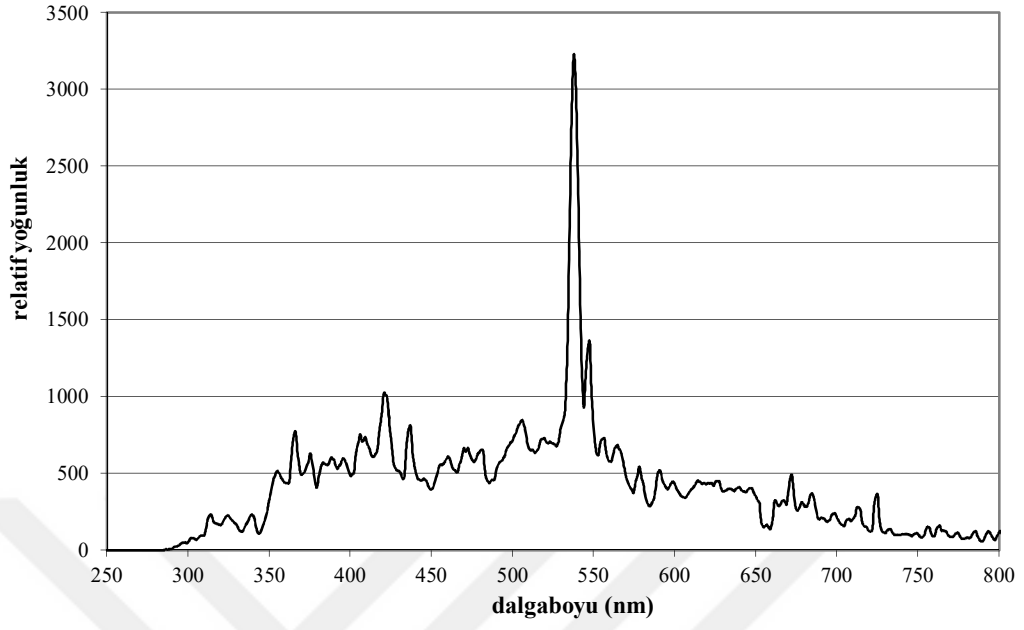
UV reaktörü, paslanmaz çelikten yapılmıştır ve iç içe geçmiş iki silindirden oluşmaktadır (Şekil 3.3). Dıştaki kılıf soğutma amacıyla yapılmıştır. Reaktör, termoregülatöre bağlanarak, su sıcaklığının sabit kalması sağlanmıştır. Fotoreaktörün çapı 10 cm ve uzunluğu 40 cm olup, 2.5 litrelik hacme sahiptir. UV reaktörünün kapağı, pleksiglastan imal edilmiştir. Reaktör, manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilmiştir ve manyetik balık ile karıştırma sağlanmıştır. Reaktör üstünde bir adet örnek alma ve tahliye musluğu bulunmaktadır. UV-C lambası, kuvars cam kılıf içerisinde reaktörün ortasına yerleştirilir. Dezenfeksiyon; 254 nm dalga boyunda UV ışığı yayan, 14 watt'lık düşük basınçlı civa lambası ile gerçekleştirilmiştir. Lambanın ışık yoğunluğu  $40 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 'dir.



Şekil 3.3. UV reaktörü

### 3.1.5.4. Solar simülatör

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen güneş ışığına dayalı deneysel çalışmalarda, güneş ışığını simüle etmek amacıyla solar simülatör kullanılmıştır. Solar simülatör (SOL2000-Hönle UV Technology), 34x30x40 cm boyutlarında olup, 2000 W gücünde metal halojen lamba içermektedir ve 295-3000 nm dalgaboylarında ışık vermektedir. 295 nm'nin altındaki dalgaboylarını kesmek amacıyla H2 filtre kullanılmıştır. Işık yoğunluğu, yükseklik değiştirilerek ayarlanmıştır. Solar simülatöre ait spektrum dağılımı Şekil 3.4'te, solar simülatöre ait fotoğraflar Şekil 3.5'te verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Solar simülatöre ait spektrum dağılımı (H2 filtre ile)



**Şekil 3.5.** Solar simülatör

### **3.1.6. İndikatör mikroorganizmaların seçimi**

Deneysel çalışmalarda kullanılacak mikroorganizmalar, *E.coli* ve *Bacillus subtilis* sporlarıdır. *E.coli*, (i) sadece fekal kaynaklı olduğundan (ii) evsel atıksularda çok sayıda bulunduğundan (iii) sayım tekniklerinin kolay olmasından ve (iv) gastrointestinal hastalıklarla ilişkisi sebepleriyle en iyi fekal indikatörlerdendir (Alkan 1994). UV ve solar



dezenfeksiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu nedenlerle tercih edilmiştir.

*Bacillus subtilis* sporları, (i) UV radyasyonuna karşı oldukça dirençli olduklarından (ii) uzun süre canlı kalabildiklerinden (iii) kültürün hazırlanması kolay ve ucuz olduğundan (iv) standart mikrobiyolojik tekniklerle enümerasyonu yapılabildiğinden (v) insan sağlığı ve çevre açısından risk taşımadığından veya çok az taşıdığından, UV dezenfeksiyonu çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır (Wang 2008). Bu nedenlerle, UV dezenfeksiyonu çalışmalarında *Bacillus subtilis* sporları tercih edilmiştir. Solar dezenfeksiyon tekniklerinin, *Bacillus subtilis* sporları gideriminde etkili olmadığı bilindiğinden, güneş ışığına dayalı çalışmalarda kullanılmamıştır (Malato ve ark. 2009).

## **3.2. Yöntem**

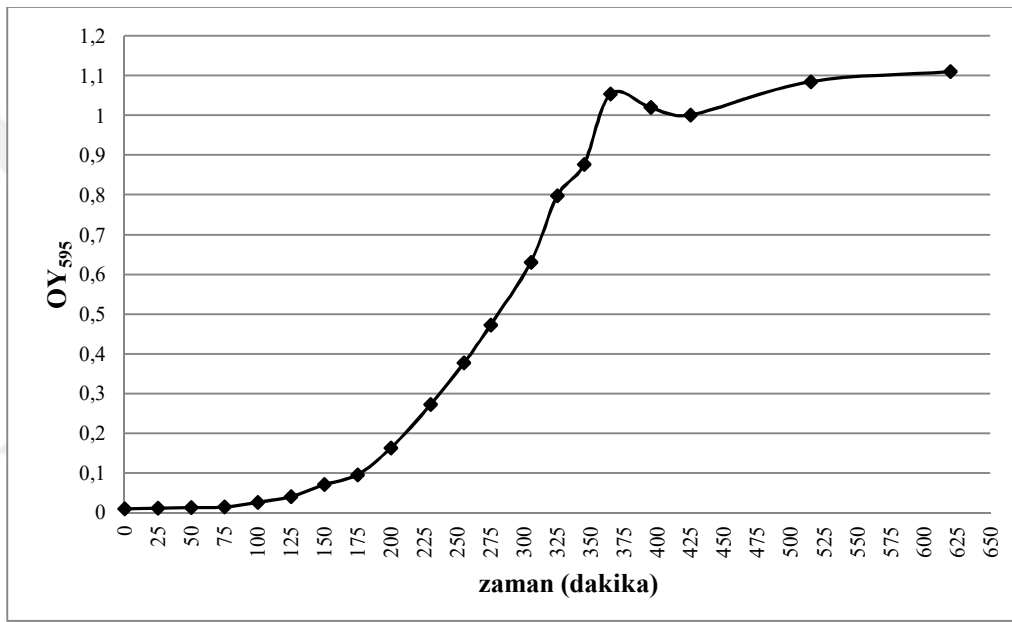
### **3.2.1. Bakteri süspansiyonlarının hazırlanması**

#### *Escherichia coli*

Liyofilize suş, *E.coli* (ATCC 25922), ATCC tarafından belirtildiği şekilde sulandırılıp, Tryptic Soy Agar içeren petri kutularına aktarılmış ve 37 °C'de 16-24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda oluşan koloniler, steril öze yardımı ile, % 20 gliserol içeren boncuklu kriyo tüplerine aktarılmıştır. Bu şekilde hazırlanan tüpler, -20 °C'de yaklaşık 1 yıl saklanabilmektedir. Her uygulamadan önce, boncuklardan 5-6 adet alınmış, 100 ml Tryptic Soy Broth'a aşılanmış ve orbital inkübatörde 37 °C'de 16-24 saat inkübe edilmiştir.

Aktif hale getirilmiş kültürden 100 ml steril Tryptic Soy Broth'a aktarılmıştır. Orbital inkübatörde 37 °C'de inkübe edilen kültürden her 20 dakikada örnek alınıp, 595 nm'de optik yoğunluk (OY<sub>595</sub>) değeri ölçülmüştür. Bu değerler ile çizilen OY<sub>595</sub>-zaman grafiğinden, kültürün geç-log faza ulaşması için gereken süre belirlenmiş ve sonraki bakteri hazırlama işlemlerinde bu değer kullanılmıştır. Şekil 3.6'ya göre, kültürün geç-log faza ulaşması için gereken süre 6 saat olarak belirlenmiştir.

Boncuklu tüplerden aktif hale getirilmiş kültürden 100 ml steril Tryptic Soy Broth'a aktarılıp, orbital inkübatörde 37 °C'de 6 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra bakteri kültürü 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenip, steril ringer çözeltisi ile iki kez yıkanmış ve ringer çözeltisindeki bakteri yumaklarının dağılması için 15 dakika çalkalanmıştır. Elde edilen süspansiyon 4 °C'de 4-5 gün saklanabilmektedir. Çalışma süresince, her 4-5 gün sonunda, boncuklu tüpler kullanılarak, bakteri tazelenmiş, böylece, bakteri direncinin azalmasından kaynaklanan hatalar ortadan kaldırılmıştır (Spuhler ve ark. 2010, Hassen ve ark. 2000, Dejung ve ark. 2007).



Şekil 3.6. *E.coli* için büyüme eğrisi

#### *Bacillus subtilis* sporları

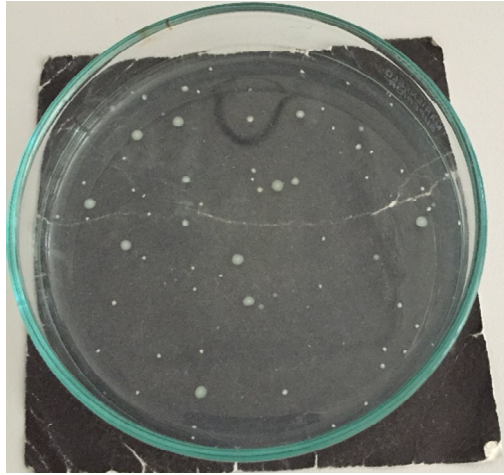
Logaritmik çoğalma fazı sonuna (geç-log faz) ulaşmış *Bacillus Subtilis* vejetatif hücre süspansiyonunu hazırlamak için, liyofilize suştan (ATCC6633) bir miktar Tryptic Soy Broth'a aşılanıp, orbital inkübatörde 35 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Vejetatif hücrelerin spor oluşturmasını hızlandıran MnCl<sub>2</sub>'den 20 mg/L içeren standart fosfat çözeltisi (Standard Methods 9050C) (Clescerl ve ark. 1998) ile, vejetatif hücre süspansiyonundan 10<sup>-2</sup> seyreltmesi hazırlanmış ve bu seyreltmeden R2A agar içeren petri kutularına, agar yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturacak şekilde (~3 ml) aktarılmıştır. 35 °C'de 7 gün inkübasyonun ardından oluşan sporları petriden sıyırmak için, yüzeye bir miktar steril fosfat tamponu (pH 7,2) aktarılıp, steril drigalski spatülü ile sıyrılmıştır.

Daha sonra bu sıvı santrifüj tüplerine alınıp, 5300 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Sporlar, %0,1'lik Tween80-fosfat tamponu karışımı ile 4 kez yıkanmıştır. Hazırlanan kültür 4 °C'de saklanmak koşuluyla, yaklaşık 1,5 yıl özelliğini korumaktadır (Barbeau ve ark. 2005). Yüzey etkileşimleri sonucu agregat oluşturmuş sporların süspansiyon içerisinde dağılmasını sağlamak amacıyla, her deneme öncesi süspansiyon 5 dakika çalkalanmalıdır.

### 3.2.2. Mikroorganizma sayılarının belirlenmesi ve mikroorganizmaların doğrulanması

#### *Escherichia coli* sayısının belirlenmesi ve doğrulanması

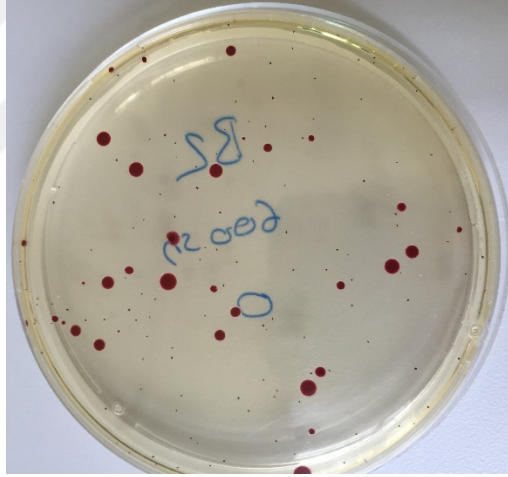
*E. coli* bakterisinin sayımı, dökme plak metodu (PCA-Plate Count Agar) ile yapılmıştır (Rincon ve Pulgarin 2004a). Dökme plak metodu ile ekim yapılan petriler, 35-37 °C'de 24 saat inkübe edildikten sonra, krem rengi koloniler sayılmıştır (30-300 adet koloni içeren petrilerden) (Şekil 3.7). Doğrulama için, tipik kolonilerden birkaç tane EC Broth'a aşılanmış ve 44,5 °C ± 0,2 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Tüplerde gaz ve bulanıklık oluşumu *E. coli* varlığını doğrulamaktadır.



**Şekil 3.7.** *E.coli* kolonileri

### Bacillus subtilis spor sayısının belirlenmesi ve doğrulanması

Spor sayısı, Barbeau ve ark. (1997) tarafından geliştirilen yöntem ile belirlenmiştir. Örnekler, 75 °C'de 15 dakika su banyosunda bekletilip, vejetatif hücrelerin ölmesi sağlanmıştır. Fosfat tamponu ile seri seyreltmeler hazırlanmış ve 0,45 µm gözenek çaplı filtreden süzülen örnekler, % 1'lik TTC içeren, Tryptic Soy Broth (~3,2 ml) ile ıslatılmış absorbent pedlere yerleştirilmiştir. Petriler, 35-37 °C'de 48 saat inkübe edilmiş ve açık sarı renkli besiyeri üzerindeki kırmızı renkli koloniler sayılmıştır. Sporların doğrulanması için, malaşit yeşili ile spor boyama uygulanmıştır. Bu çalışmada, membran filtrasyonu yerine, dökme plak yöntemi kullanılmıştır. 1ml örnek steril petri kutusuna alınmış ve üzerine % 1'lik TTC içeren Tryptic Soy Agar dökülerek iyice karıştırılmıştır. 35-37 °C'de 48 saat inkübasyonun ardından, 30-300 adet koloni içeren petrilerden sayım yapılmıştır (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8.** *Bacillus subtilis* kolonileri

### **3.2.3. Deneysel dizayn**

Saha şartlarında gerçekleştirilen deneylerde, deneysel dizayn uygulanmamıştır. Laboratuvar ortamında uygulanacak olan, UV-C ve güneş ışığı kullanımına dayalı tüm deneyler için deneysel şartlar Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** UV-C ile gerçekleştirilen prosesler için kullanılan deneysel şartlar

Prosesler		
Parametreler	UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	UV/TiO <sub>2</sub>
Mikroorganizma türü	<i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları	<i>E.coli</i> ve <i>B.subtilis</i> sporları
Mikroorganizma başlangıç konsantrasyonu	10 <sup>6</sup> CFU/ml ( <i>E.coli</i> ) 10 <sup>4</sup> CFU/ml ( <i>B.subtilis</i> sporları)	10 <sup>6</sup> CFU/ml ( <i>E.coli</i> ) 10 <sup>4</sup> CFU/ml ( <i>B.subtilis</i> sporları)
Organik madde konsantrasyonu (KOİ)	90 mg/L 430 mg/L	90 mg/L 430 mg/L
pH	7	5, 7
Hidrojen peroksit konsantrasyonu	10 mg/L, 65 mg/L ( <i>E.coli</i> ) 65 mg/L ( <i>B.subtilis</i> sporları)	-
Titanyum dioksit konsantrasyonu	-	1 mg/L, 9 mg/L
Sıcaklık	21 °C	21 °C
AKM	0 mg/L ve 60 mg/L	-

**Çizelge 3.3.** Güneş ışığı ile gerçekleştirilen prosesler için kullanılan deneysel şartlar

Prosesler		
Parametreler	Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Solar/TiO <sub>2</sub>
Mikroorganizma türü	<i>E.coli</i>	<i>E.coli</i>
Mikroorganizma başlangıç konsantrasyonu	10 <sup>6</sup> CFU/ml	10 <sup>6</sup> CFU/ml
Organik madde konsantrasyonu (KOİ)	90 mg/L 430 mg/L	90 mg/L 430 mg/L
pH	7	5, 7
Hidrojen peroksit konsantrasyonu	10 mg/L, 65 mg/L	-
Titanyum dioksit konsantrasyonu	-	75 mg/L, 500 mg/L
AKM	0 ve 60 mg/L	-

Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmalarda, farklı proseslerde farklı deneysel dizaynlar kullanılmıştır. Bu dizaynlara ait tablolar aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.4, Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9)

**Çizelge 3.4.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynı (*E.coli* için)

Deneme	Kodlanmış değerler			Gerçek değerler		
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )
1	1	-1	0	430	5	287,5
2	0	1	-1	260	7	75,0
3	0	0	0	260	6	287,5
4	-1	-1	0	90	5	287,5
5	0	-1	-1	260	5	75,0
6	0	0	0	260	6	287,5
7	1	0	-1	430	6	75,0
8	1	0	1	430	6	500,0
9	0	0	0	260	6	287,5
10	1	1	0	430	7	287,5
11	-1	1	0	90	7	287,5
12	-1	0	1	90	6	500,0
13	0	-1	1	260	5	500,0
14	0	1	1	260	7	500,0
15	-1	0	-1	90	6	75,0

**Çizelge 3.5.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynı (*E.coli* için)

Deneme	Kodlanmış değerler			Gerçek değerler		
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )
1	-1	0	-1	90	6	1
2	0	0	0	260	6	5
3	0	0	0	260	6	5
4	1	1	0	430	7	5
5	0	-1	1	260	5	9
6	0	-1	-1	260	5	1
7	-1	1	0	90	7	5
8	1	0	1	430	6	9
9	0	1	1	260	7	9
10	0	0	0	260	6	5
11	0	1	-1	260	7	1
12	1	0	-1	430	6	1
13	1	-1	0	430	5	5
14	-1	-1	0	90	5	5
15	-1	0	1	90	6	9

**Çizelge 3.6.** Solar/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizaynı (*E.coli* için)

Deneme	Kodlanmış değerler			Gerçek değerler		
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )
1	+1	+1	+1	430	65	60
2	+1	-1	+1	430	10	60
3	+1	-1	-1	430	10	0
4	-1	-1	+1	90	10	60
5	-1	-1	-1	90	10	0
6	0	0	0	260	37,5	30
7	0	0	0	260	37,5	30
8	-1	+1	-1	90	65	0
9	-1	+1	+1	90	65	60
10	0	0	0	260	37,5	30
11	+1	+1	-1	430	65	0

**Çizelge 3.7.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizayn (*E.coli* için)

Deneme	Kodlanmış değerler			Gerçek değerler		
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )
1	0	0	0	260	37,5	30
2	-1	-1	-1	90	10	0
3	+1	-1	-1	430	10	0
4	+1	+1	-1	430	65	0
5	-1	-1	+1	90	10	60
6	+1	+1	+1	430	65	60
7	+1	-1	+1	430	10	60
8	0	0	0	260	37,5	30
9	-1	+1	+1	90	65	60
10	0	0	0	260	37,5	30
11	-1	+1	-1	90	65	0

4, 6, 9 ve 11 no'lu deneyler karıştırmaz olarakta yapılmıştır.

**Çizelge 3.8.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için deneysel dizaynı (*B.subtilis* sporları için)

Deneme	Parametreler		
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )
1	90	5	1
2	90	5	9
3	90	7	1
4	90	7	9
5	430	5	1

**Çizelge 3.9.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için deneysel dizaynı (*B.subtilis* sporları için)

Deneme *	Parametreler		
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )
1	430	65	0
2	430	65	60
3	90	65	0
4	90	65	60

\*: Tüm deneyler karıştırmalı ve karıştırmaz olarak yapılmıştır.



### **3.2.4. Deneysel yöntem**

#### **3.2.4.1. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi**

Uygulama öncesinde, UV lambası, sabit ışık çıkışının elde edilebilmesi ve cam silindirin sterilizasyonunun sağlanabilmesi için en az 10 dakika boş olarak çalıştırılmıştır. Termoregülatör açılarak, sıcaklık 21 °C'ye ayarlanmış ve deney süresince reaktör içindeki su sıcaklığının sabit kalması sağlanmıştır. Arıtıcıdan alınan 2 litre su reaktöre boşaltılmış ve istenen KOİ değerini sağlayacak şekilde, stok sentetik atıksudan uygun miktarda reaktöre aktarılmıştır. AKM içeren deneylerde, stok bentonit çözeltisi de suya ilave edilmiştir. Karıştırıcı açılarak, atıksuyun pH'ı, NaOH ve HCl çözeltileri ile ayarlanmış ve suya, bakteri ilave edilmiştir. Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonunu belirlemek amacıyla, ham su örneği alınmıştır. Ardından suya, istenen konsantrasyonu sağlayacak şekilde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenmiş ve homojenliğin sağlanması için 1 dk. karıştırılmıştır. Karıştırmasız deneylerde, karıştırıcı bu aşamada kapatılmıştır. Lamba açılarak, UV radyasyonu uygulanmış ve 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 480, 600 ve 900 sn.'lerde örnekler alınmıştır. Alınan örneklerde mikrobiyolojik ve fiziksel analizler yapılmıştır. Kalıntı hidrojen peroksiti gidermek için, mikrobiyolojik analizlerden önce, örneklere sodyum sülfite eklenmiştir. Reaktör boşaltıldıktan sonra, saf su ile yıkanmıştır. Deneyler, iki tekrarlı yapılmış olup, her deneyde de iki petri kutusuna ekim yapılmıştır.

#### **3.2.4.2. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi**

Uygulama öncesinde, UV lambası, sabit ışık çıkışının elde edilebilmesi ve cam silindirin sterilizasyonunun sağlanabilmesi için en az 10 dakika boş olarak çalıştırılmıştır. Termoregülatör açılarak, sıcaklık 21 °C'ye ayarlanmış ve deney süresince reaktör içindeki su sıcaklığının sabit kalması sağlanmıştır. Arıtıcıdan alınan 2 litre su reaktöre boşaltılmış ve istenen KOİ değerini sağlayacak şekilde, stok sentetik atıksudan uygun miktarda reaktöre aktarılmıştır. Karıştırıcı açılarak, atıksuyun pH'ı, NaOH ve HCl çözeltileri ile ayarlanmış ve suya, bakteri ilave edilmiştir. Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonunu belirlemek amacıyla, ham su örneği alınmıştır. Ardından suya, istenen konsantrasyonu sağlayacak şekilde TiO<sub>2</sub> eklenmiş ve homojenliğin sağlanması için 1 dk.

karıştırılmıştır. Lamba açılarak, UV radyasyonu uygulanmış ve 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 480, 600 ve 900 sn.'lerde örnekler alınmıştır. Alınan örneklerde mikrobiyolojik ve fiziksel analizler yapılmıştır. Reaktör boşaltıldıktan sonra, saf su ile yıkanmıştır. Deneyler, iki tekrarlı yapılmış olup, her deneyde de iki petri kutusuna ekim yapılmıştır.

#### **3.2.4.3. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi**

Laboratuvar uygulamalarında, deneye başlamadan 5 dakika önce solar simülatör açılmış ve lambanın sabit ışık yoğunluğuna ulaşması sağlanmıştır. Reaktörün üstü kapatılmıştır. Arıtıcıdan alınan 5 litre su tanka boşaltılmış ve istenen KOİ değerini sağlayacak şekilde, stok sentetik atıksudan uygun miktarda reaktöre aktarılmıştır. AKM içeren deneylerde, stok bentonit çözeltisi de suya ilave edilmiştir. Atıksuyun pH'ı, NaOH ve HCl çözeltileri ile ayarlanmış ve suya, bakteri ilave edilmiştir. Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonunu belirlemek amacıyla, ham su örneği alınmıştır. Sirkülasyon pompası açılarak suyun CPC reaktörde birkaç kez dolanımı ve tüplerin tam dolu akması sağlanmıştır. Akış hızı 6,5 L/dk.'ya ayarlanmıştır. Ardından suya, istenen konsantrasyonu sağlayacak şekilde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenmiş ve homojenliğin sağlanması için suyun birkaç kez daha dolanımı sağlanmıştır. Reaktörün üstü açılarak dezenfeksiyona başlanmıştır. 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240 dk.'larda örnekler alınmıştır. Alınan örneklerde mikrobiyolojik ve fiziksel analizler yapılmıştır. Kalıntı hidrojen peroksiti gidermek için, mikrobiyolojik analizlerden önce, örnekler sodyum sülfite eklenmiştir. Reaktör boşaltıldıktan sonra, saf su ile yıkanmıştır. Deneyler, iki tekrarlı yapılmış olup, her deneyde de iki petri kutusuna ekim yapılmıştır.

#### **3.2.4.4. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi**

Laboratuvar uygulamalarında, deneye başlamadan 5 dakika önce solar simülatör açılmış ve lambanın sabit ışık yoğunluğuna ulaşması sağlanmıştır. Saha ve laboratuvar uygulamaları öncesinde reaktörün üstü örtülmüştür. Arıtıcıdan alınan 5 litre (saha uygulamasında 20 litre) su tanka boşaltılmış ve istenen KOİ değerini sağlayacak şekilde, stok sentetik atıksudan uygun miktarda reaktöre aktarılmıştır. Atıksuyun pH'ı, NaOH ve HCl çözeltileri ile ayarlanmış ve suya, bakteri ilave edilmiştir. Başlangıç mikroorganizma

konsantrasyonunu belirlemek amacıyla, ham su örneği alınmıştır. Sirkülasyon pompası açılarak suyun CPC reaktörde birkaç kez dolanımı ve tüplerin tam dolu akması sağlanmıştır. Akış hızı 6.5 L/dk.'ya ayarlanmıştır (saha uygulamalarında farklı akış hızlarında çalışılmıştır). Ardından suya, istenen konsantrasyonu sağlayacak şekilde TiO<sub>2</sub> eklenmiş ve homojenliğin sağlanması için suyun birkaç kez daha dolanımı sağlanmıştır. Reaktörün üstü açılarak dezenfeksiyona başlanmıştır. 60, 120, 180, 240 dk.'larda örnekler alınmıştır. Alınan örneklerde mikrobiyolojik ve fiziksel analizler yapılmıştır. Reaktör boşaltıldıktan sonra, saf su ile yıkanmıştır. Deneyler, iki tekrarlı yapılmış olup, her deneyde de iki petri kutusuna ekim yapılmıştır.

### **3.2.5. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin belirlenmesi**

Örneklerin, pH, sıcaklık, iletkenlik, çözünmüş oksijen değerleri, UV ve solar deneylerin öncesinde ve sonrasında Hach Lange HQ40d ile ölçülmüştür. UV-absorbansı, Hach Lange DR5000 UV-Vis spektrofotometrede belirlenmiştir. Başlangıç ve kalıntı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ise Merck peroksit kağıtları ile belirlenmiştir. Bulanıklık ölçümünde, Hach Lange 2100Q Turbidimetre kullanılmıştır.

Solar simülatörün ışık yoğunluğunda azalma olup olmadığını kontrol etmek ve UV-A, UV-B radyasyonları ile global solar radyasyonu ölçmek için Delta Ohm ışık ölçer ve LPPYRA02 piranometre kullanılmıştır.

### **3.2.6. Hesaplamalar**

#### **3.2.6.1. UV dozunun hesaplanması**

UV dezenfeksiyonunda, mikroorganizma inaktivasyonu, UV dozu ile doğrudan ilişkilidir. UV dozu aşağıdaki formül ile hesaplanır (Anonim 2006):

$$D = I * t \quad (3.1)$$

$D$ : UV dozu (mWs/cm<sup>2</sup>)

$I$ : UV ışık yoğunluğu (mW/cm<sup>2</sup>)

$t$ : temas süresi (saniye)

### 3.2.6.2. Aydınlanma süresinin hesaplanması

Güneş ışığına dayalı deneylerde, aydınlanma süresi, toplam reaktör hacminin bir fonksiyonu olarak, solar fotoreaktörde tüpler içinde dolanan su hacminin, ışığa maruz kaldığı süreyi ifade eder ve aşağıdaki formül ile hesaplanır (McLoughlin ve ark. 2004).

$$t_{ill} = t_{top} \frac{V_{ill}}{V_{top}} \quad (3.2)$$

$t_{ill}$ : aydınlanma süresi (saat)

$t_{top}$ : toplam deney süresi (saat)

$V_{ill}$ : tüplerde ışık alan su hacmi (litre)

$V_{top}$ : toplam su hacmi (litre)

### 3.2.6.3. Kümülatif UV-A miktarının hesaplanması

Güneş ışığının UV-A kısmı, dezenfeksiyondan daha fazla sorumlu olduğundan, solar dezenfeksiyon çalışmalarında, UV-A radyasyonuna dayanarak, doz hesaplamaları yapılır.

Bölüm 3.2.6.1’de UV dezenfeksiyonu sistemleri için verilen formülden yola çıkarak, solar UV dozu, ortalama solar UV yoğunluğu ile aydınlanma süresinin çarpımından hesaplanabilir (Rincon and Pulgarin 2004b).

$$Doz = I \times t_{ill} \quad (3.3)$$

$Doz$ : Solar UV dozu (W.saat/m<sup>2</sup>)

$I$ : ortalama solar UV yoğunluğu (W/m<sup>2</sup>)

$t_{ill}$ : aydınlanma süresi (saat)

Ancak, ortalama UV-A yoğunluğu, gün içinde, saat, bulutluluk gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değiştiğinden, çalışmalar arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla, kümülatif UV enerjisinin kullanımı tercih edilmektedir.

$$Q_{UV,n} = Q_{UV,n-1} + \Delta t_n \overline{UV_{G,n}} \frac{A_{CPC}}{V_t} \quad (3.4)$$

$\Delta t_n = t_n - t_{n-1}$  (n ve n-1 anları arasında deney süresi, saniye)

$\overline{UV_{G,n}}$  :  $t_n$  süresince gelen ortalama global UV radyasyonu (W/m<sup>2</sup>)

$V_t$  : reaktördeki toplam su hacmi (litre)

$A_{CPC}$  : Kolektör yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$Q_{UV,n-1}$  : n-1 anında birim hacme ulaşmış olan kümülatif UV enerjisi (kJ/L)

$Q_{UV,n}$  : deney süresince fotoreaktörde birim hacme gelen kümülatif UV enerjisi (kJ/L)

(Malato ve ark. 2009, Polo-Lopez ve ark. 2010).

Kümülatif UV dozu, farklı şartlar altında elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla yaygın olarak kullanılsa da, deney süresinin de karşılaştırma amacıyla kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Polo-Lopez ve ark. 2010).

#### 3.2.6.4. Mikroorganizma gideriminin hesaplanması

Mikroorganizma giderimi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$R = - \log \left[ \frac{N_t}{N_0} \right] \quad (3.5)$$

$R$  : mikroorganizma giderimi

$N_0$  : başlangıçtaki mikroorganizma sayısı (CFU/ml)

$N_t$  : herhangi bir andaki mikroorganizma sayısı (CFU/ml)

#### 3.2.6.5. İstatistiksel analizler

DeneySEL dizayn ve istatistiksel analizler, Minitab 17 programı ile yapılmıştır.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Güneş Işığına Dayalı Dezenfeksiyon Çalışmaları

Güneş ışığına dayalı dezenfeksiyon çalışmaları (solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve solar/TiO<sub>2</sub>), laboratuvar ortamında ve sahada gerçekleştirilmiştir. Kış aylarında dünyaya ulaşan UV-A ve UV-B radyasyonu yoğunlukları azalacağından, dış ortamda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmemiş ve kış dönemini de verimli bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla, solar simülatör ve sirkülasyonlu solar reaktör kullanılarak, laboratuvar ortamında çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Güneş ışığına dayalı dezenfeksiyon çalışmalarında, mikroorganizma olarak, sadece *E. coli* kullanılmıştır. *Bacillus subtilis* sporlarının güneş ışığı ile inaktivasyonu, yüksek ışık yoğunluklarında bile çok uzun zaman aldığından, güneş ışığına dayalı dezenfeksiyon çalışmalarında kullanılmamış, sadece UV ışığına dayalı çalışmalarda kullanımı tercih edilmiştir.

Sirkülasyonlu solar reaktörün, tankında bulunan toplam su hacmi 5 L'dir. Tüplerden geçen ve ışık alan su hacmi ( $V_{ill}$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Tüp alanı} = \pi \times (\text{iç yarıçap})^2$$

$$\text{Tüp alanı} = \pi \times (20/2)^2$$

$$\text{Tüp alanı} = 314 \text{ mm}^2$$

$$V_{ill} = \text{Tüp alanı} \times \text{Tüp uzunluğu} \times \text{Tüp sayısı}$$

$$V_{ill} = 314 \text{ mm}^2 \times 320 \text{ mm} \times 8 \text{ tüp} = 0,8 \text{ dm}^3$$

$$V_{ill} = 0,8 \text{ L}$$

Buna göre, tüplerden her su geçtiğinde, tank içindeki 5 L suyun, 0,8 L'si ışığa maruz kalmaktadır.

#### 4.1.1.Solar simülatör ile gerçekleştirilen solar/TiO<sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları

Bu deneylerde, su sıcaklığı, 17,1-33,6 °C aralığında değişmiştir. Solar simülatörden yayılan ışık yoğunlukları, UV-A için ~41,6 W/m<sup>2</sup>, UV-B için ~7,88 W/m<sup>2</sup> olup, borosilikat tüpler içinde bu değerler UV-A, UV-B için sırasıyla ~31 W/m<sup>2</sup> ve ~1,87 W/m<sup>2</sup> değerlerini almaktadır ve bu değerler dış ortam değerlerine yakındır. Global radyasyon değeri ise 450 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Temas süresi 4 saat olarak belirlenmiştir ve her 60 dakikada örnek alınarak mikrobiyolojik analizler yapılmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada, zamana karşı logaritmik bakteri giderimi grafiği çizilerek değerlendirme yapıldığı görülmektedir. İç ortamda, aynı şartlar altında (solar simülatör kullanılarak sürekli sabit ışık yoğunluğunun elde edildiği çalışmalar gibi) yapılan değerlendirmeler için, bu grafikler oldukça kullanışlıdır. Ancak, dış ortam şartları için, bu grafikler geçerliliğini kaybetmeye başlamaktadır. Çünkü, güneş ışığı yoğunlukları, mevsime, güne, saate, hava koşullarına göre, farklılıklar göstermekte ve herhangi bir ana göre değerlendirme yapmak zorlaşmaktadır. Bu durumda, güneş ışığına dayalı çalışmalarda, zaman yerine kümülatif UV dozunun kullanılması tercih edilmektedir (Gill ve McLoughlin 2005).

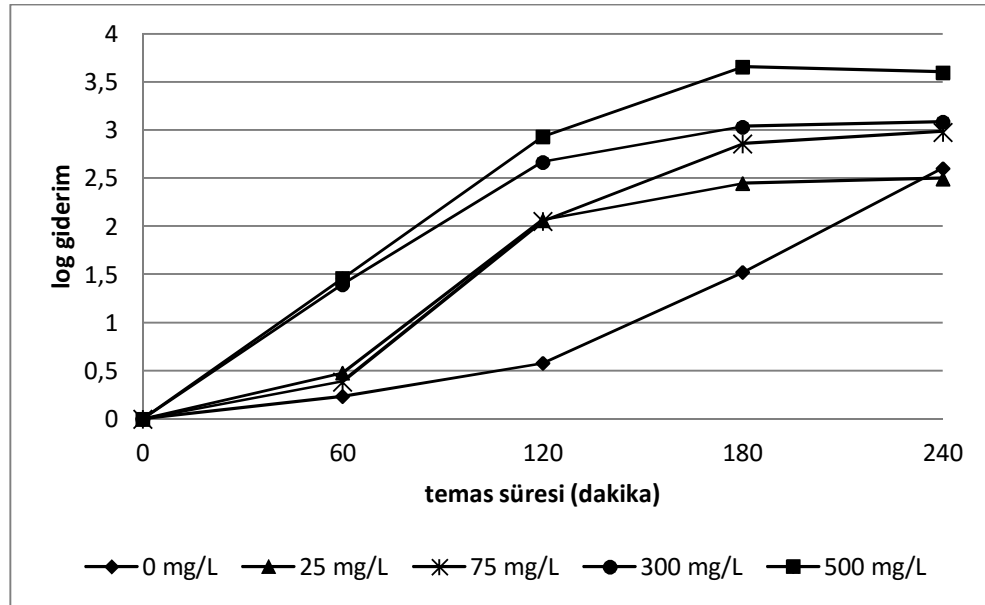
Laboratuvar ortamında, solar simülatör kullanıldığından, ışık yoğunlukları değişiklik göstermemiş ve grafiklerde, zamana karşı logaritmik bakteri giderimleri verilmiştir. Bu temas sürelerinde reaktöre ulaşan kümülatif UV-A dozları da aşağıda tablo halinde verilmiştir (Çizelge 4.1). Kümülatif UV-A dozları, Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.1.** Laboratuvarda gerçekleştirilen güneş ışığına dayalı dezenfeksiyon proseslerinde temas sürelerine karşılık gelen kümülatif UV-A dozları

Temas süresi (dakika)	Kümülatif UV-A dozu (kJ/L)
30	1,05
60	2,09
90	3,15
120	4,22
150	5,28
180	6,34
240	8,45

#### 4.1.1.1. Etkili TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi

TiO<sub>2</sub>'nin evsel atıksuların dezenfeksiyonundaki etkisini değerlendirmek için, düşük ve yüksek olmak üzere iki farklı konsantrasyonda çalışılmasına karar verilmiştir. Etkili TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla, farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında (25-75-300-500 mg/L) deneyler yapılmış olup, KOİ: 90 mg/L ve pH: 6 değerlerinde çalışılmıştır. Sadece solar ışık ile de deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için etkili TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi



Fotokatalitik dezenfeksiyon proseslerinde, katalist konsantrasyonu, belirli bir değere kadar arttırıldığında, inaktivasyon hızı artmaktadır. Optimum konsantrasyona ulaşıldıktan sonra, ışık engelleme etkisi sebebi ile fotoreaktörün iç kısımlarına ışık ulaşmadığından, inaktivasyon hızı ya sabit kalmakta ya da düşmeye başlamaktadır. Düşük katalist konsantrasyonlarında ise, reaktif oksijen türlerinin oluşumu daha az olup, inaktivasyon verimi azalmaktadır (Cho ve ark. 2004).

Literatürde, çok farklı  $TiO_2$  konsantrasyonlarında (3 mg/L-1500 mg/L) çalışıldığı görülmektedir (Rincon ve Pulgarin 2003, McLoughlin ve ark. 2004, Grieken ve ark. 2010). Fotoreaktör dizaynına ve ışık yoğunluğuna bağlı olarak, farklı optimum değerlerin elde edildiği bildirilmiştir (Malato 2009). Sirkülasyonlu solar reaktörlerde, özellikle, 100 mg/L  $TiO_2$  konsantrasyonunun optimum değer olarak seçildiği çalışmaların sayısı oldukça fazladır (Grieken ve ark. 2010, Sousa ve ark. 2012, Helali ve ark. 2014, Polo-Lopez ve ark. 2014).

Şekil 4.1'e göre en iyi giderim verimi, 500 mg/L  $TiO_2$  konsantrasyonu ile elde edilmiştir. Ortama yüksek konsantrasyonlarda  $TiO_2$  eklenmesiyle, suya ışık girişi azaldığından, dezenfeksiyon verimi azalmaktadır. Bu nedenle, 500 mg/L üzerindeki konsantrasyonlar tercih edilmemiş ve maksimum  $TiO_2$  konsantrasyonu olarak 500 mg/L seçilmiştir. Literatürdeki optimum değerlere yakın bir değer olan 75 mg/L, minimum  $TiO_2$  konsantrasyonu olarak seçilmiştir.

Şekil 4.1 incelenirse, sadece solar ışık prosesi ile karşılaştırıldığında, solar/ $TiO_2$  prosesinin, düşük  $TiO_2$  konsantrasyonlarında bile daha etkili olduğu ve bakteri inaktivasyonunu arttırdığı görülmektedir. Sadece ışık prosesiyle, 180 dk. sonunda yaklaşık 1,52-log giderim elde edilirken, en düşük  $TiO_2$  konsantrasyonu olan 25 mg/L ile 180 dk.'da 2,44-log giderim ve en yüksek  $TiO_2$  konsantrasyonu olan 500 mg/L ile 180 dk.'da 3,66-log giderim elde edilmiştir.

#### 4.1.1.2. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine ait Box-Behnken deneysel dizayn sonuçları

Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için, bağımsız değişkenler olarak seçilen organik madde konsantrasyonu, pH ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu parametrelerinin, mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, Box-Behnken deneysel dizaynı kullanılmıştır. Bu değişkenler, organik madde konsantrasyonu (X<sub>1</sub>), pH (X<sub>2</sub>) ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>3</sub>) olarak kodlanmış ve herbiri için maksimum (+1), ortalama (0) ve minimum (-1) değerler belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler ve seviyeleri aşağıda özet halinde verilmiştir (Çizelge 4.2).

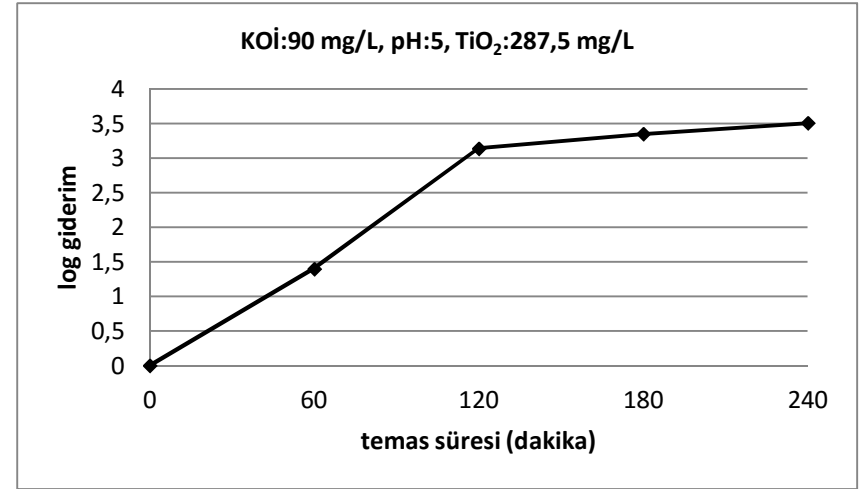
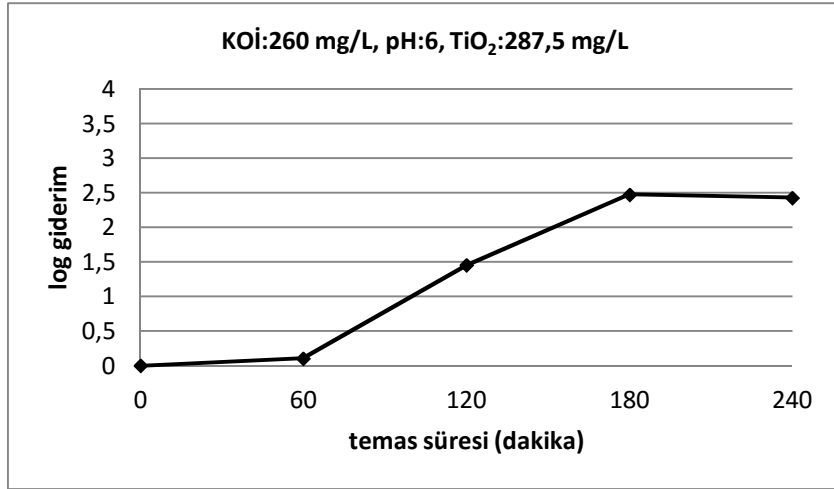
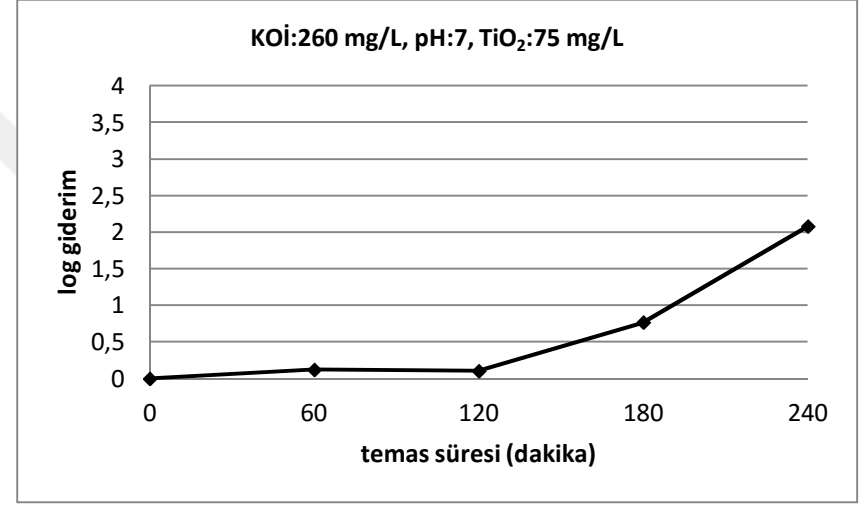
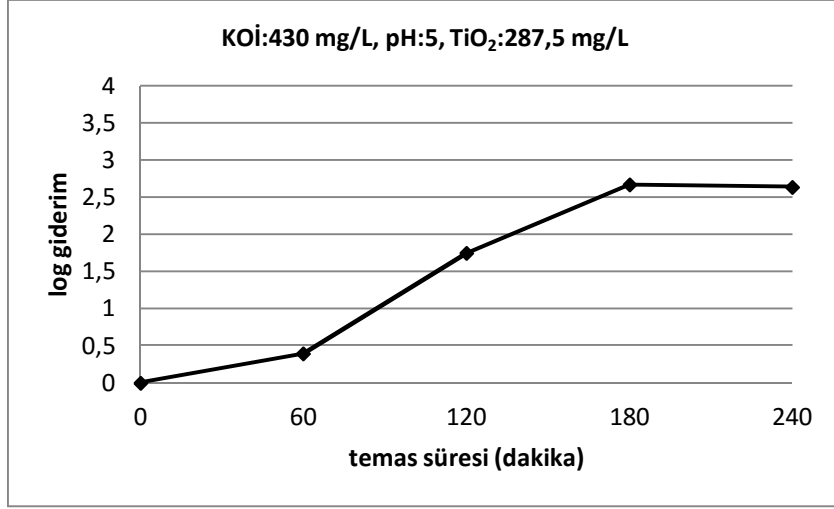
**Çizelge 4.2.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Kodlar	Seviyeler		
		-1	0	1
<b>Organik madde konsantrasyonu (mg/L)</b>	X <sub>1</sub>	90	260	430
<b>pH</b>	X <sub>2</sub>	5	6	7
<b>TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (mg/L)</b>	X <sub>3</sub>	75	287,5	500

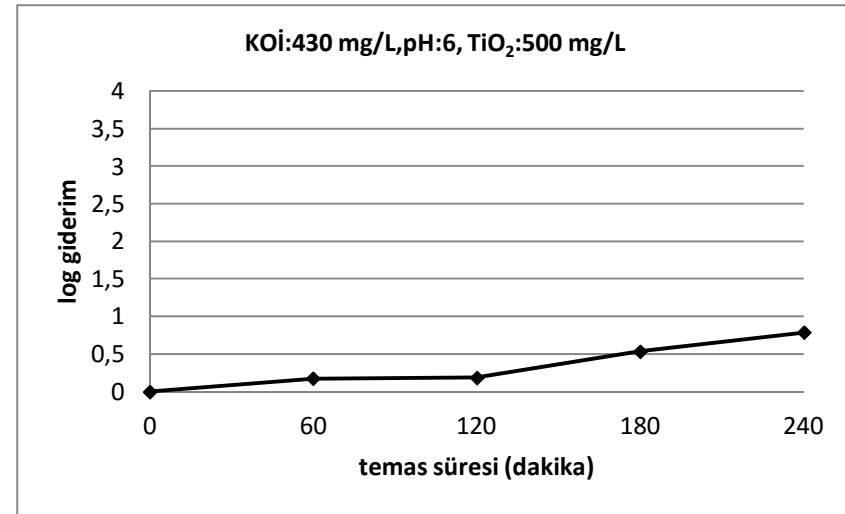
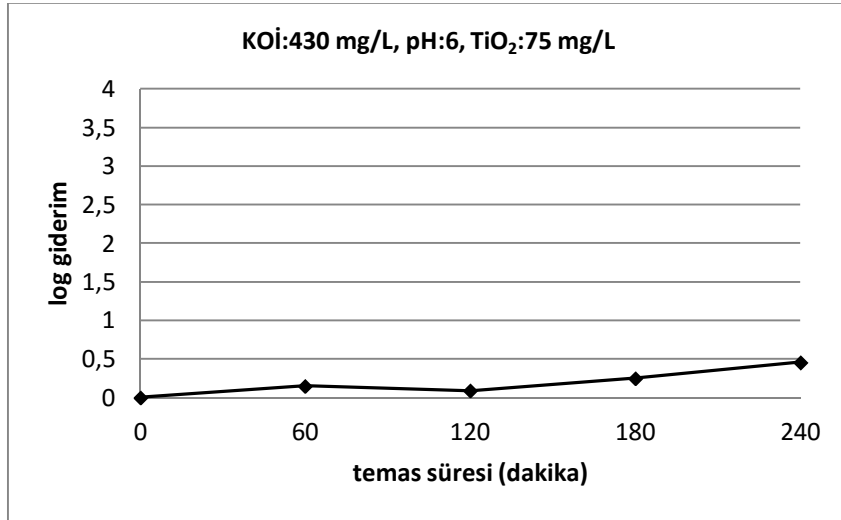
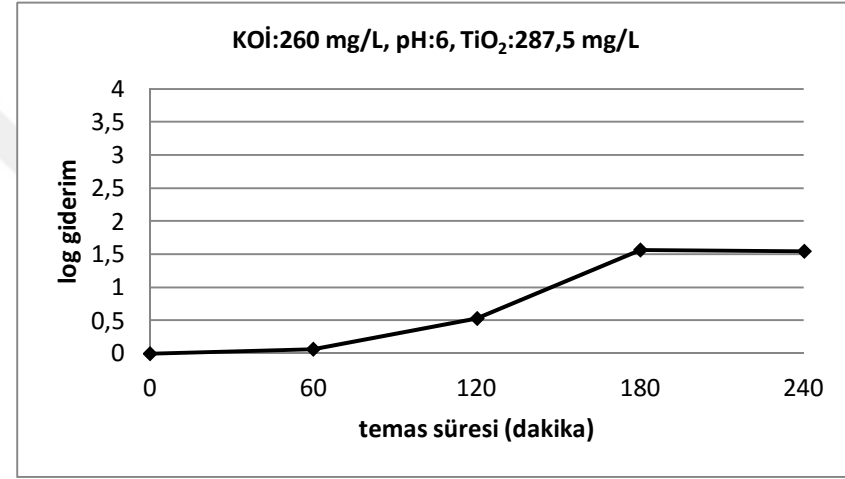
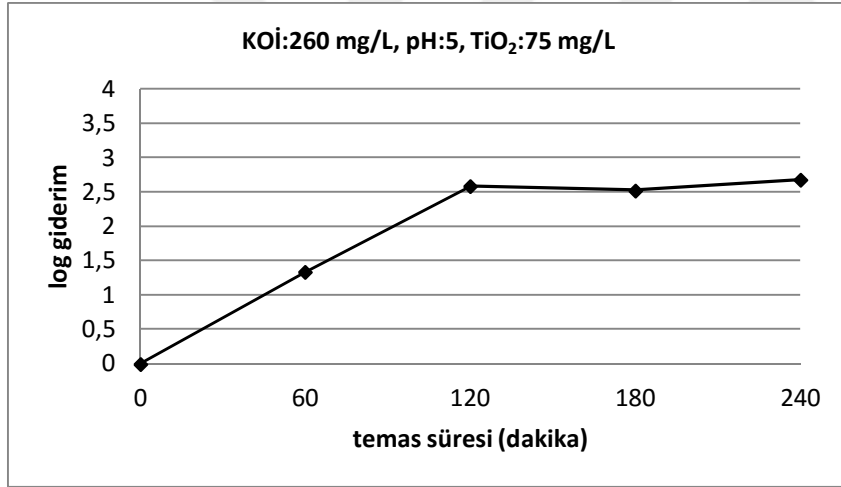
Bu üç bağımsız değişken ile elde edilen deney sayısı 15 olup, bunlardan 3 tanesi merkez noktalardadır. Uygulanan deneylerde, 240 dk. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderim değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.3). Ayrıca, her denemeden elde edilen grafikler Şekil 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre elde edilen sonuçlar

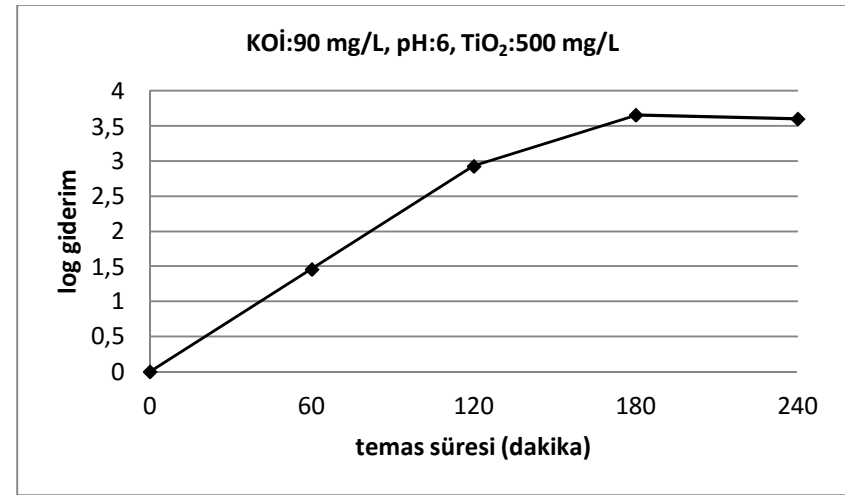
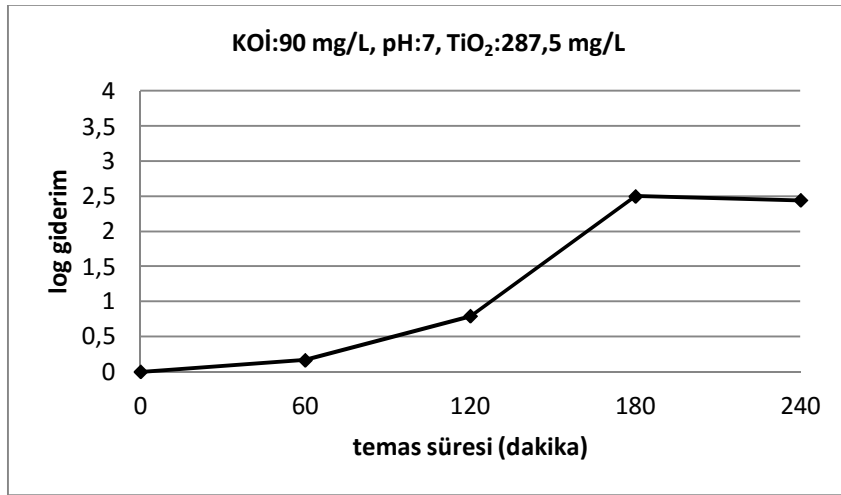
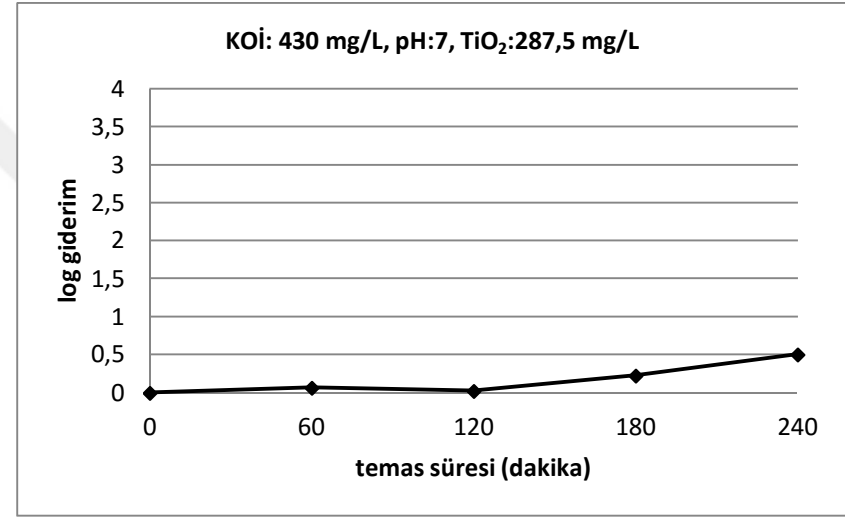
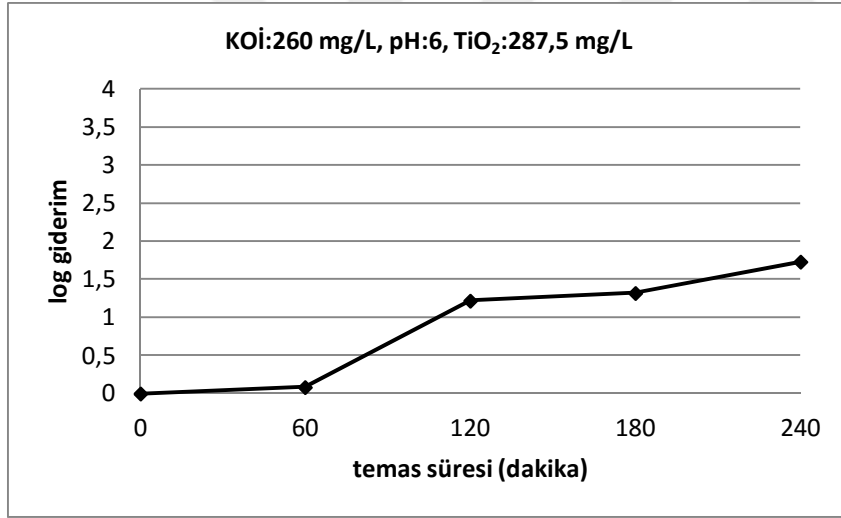
Deneme	Deney şartları			Sonuç (240 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	430	5	287,5	2,64
2	260	7	75,0	2,07
3	260	6	287,5	2,43
4	90	5	287,5	3,51
5	260	5	75,0	2,67
6	260	6	287,5	1,55
7	430	6	75,0	0,46
8	430	6	500,0	0,79
9	260	6	287,5	1,73
10	430	7	287,5	0,51
11	90	7	287,5	2,45
12	90	6	500,0	3,60
13	260	5	500,0	2,05
14	260	7	500,0	1,47
15	90	6	75,0	2,98



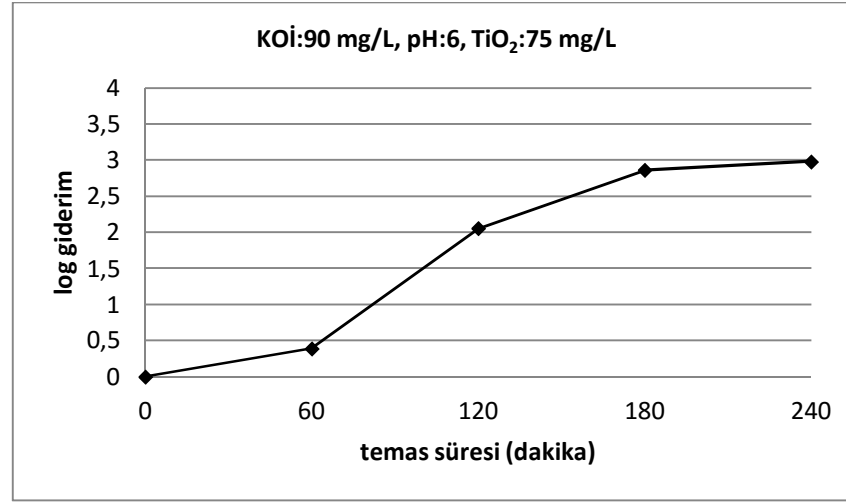
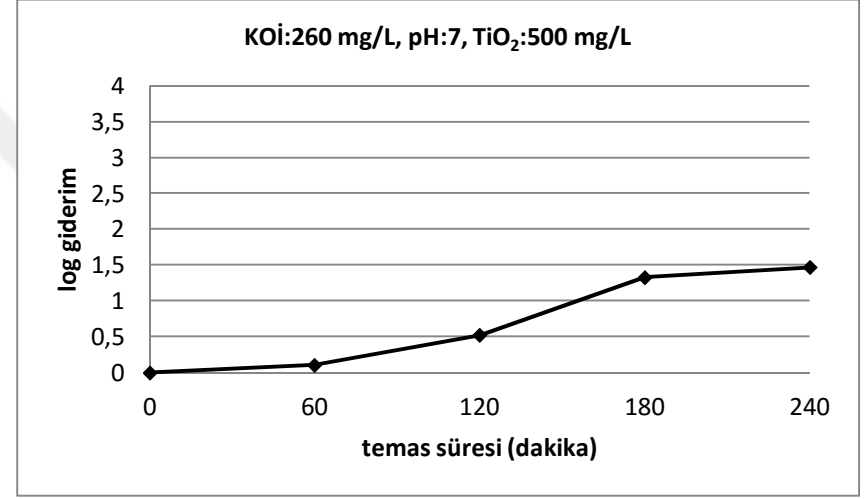
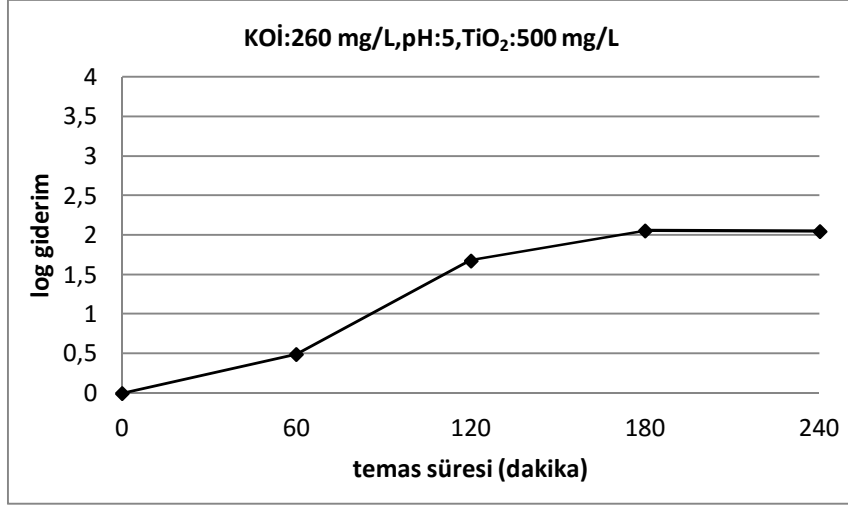
Şekil 4.2. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler



Şekil 4.2. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)



Şekil 4.2. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)

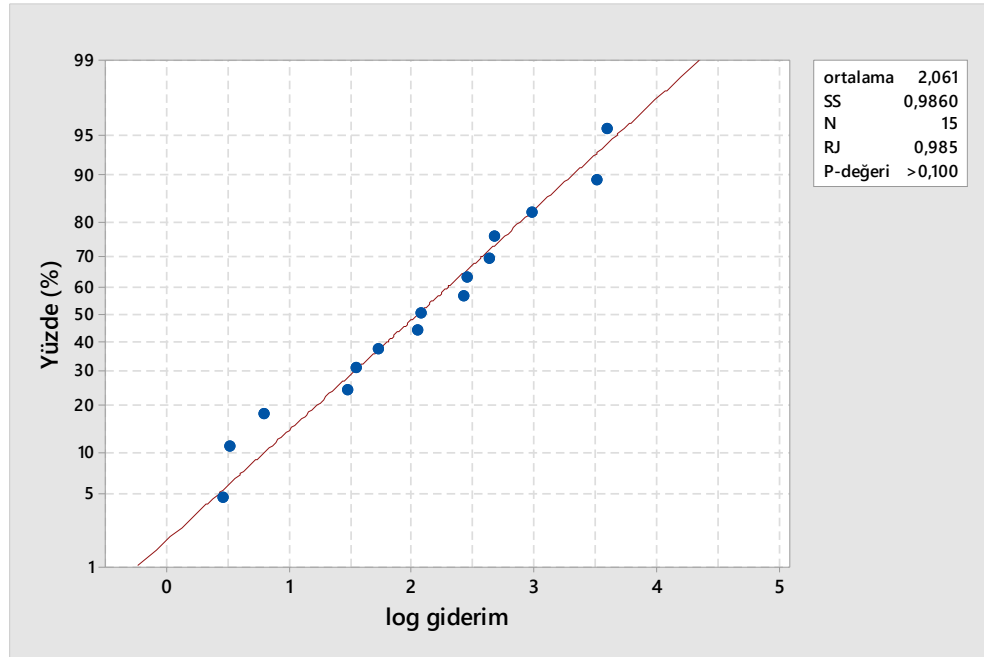


Şekil 4.2. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)

Pekçok istatistiksel analizde ve deneysel dizaynda, verilerin normal dağılım gösterip göstermediğinin belirlenmesi gerekir. Histogramlar, popülasyonun normalitesi ile ilgili ipuçları verse de, normal olasılık grafiklerinin kullanımı normalite hakkında daha hassas sonuçlar vermektedir. Bu grafikler, küçük örneklerin ( $n < 200$ ) yorumlanmasında daha kullanışlıdır. Ayrıca, görsel olarak değerlendirilmeleri daha kolaydır. Normal olasılık grafiklerinde, noktaların yaklaşık olarak bir doğru üzerine düşmesi, verilerin normal dağılıma sahip olduğunu gösterir (Mathews 2005, Alkan 2013).

Normalitenin belirlenmesinde, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Ryan-Joiner gibi testlerde kullanılmaktadır. Normalite testlerinde,  $p > 0,05$  ise, verilerin normal dağılım gösterdiği kabul edilir.  $p \leq 0,01$  ise, dağılımın normal olmadığı kabul edilir.  $0,01 < p < 0,05$  ise, testin yeterli olmadığı sonucuna varılır (Mathews 2005).

240 dk. sonunda elde edilen log giderimlerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla çizilen normal olasılık grafiği, Şekil 4.3'te verilmiştir. Noktaların düz çizgiyi takip etme eğiliminde olmaları, verilerin normal bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir.  $p$  değerinin  $> 0,05$  olması da, bu sonucu doğrulamaktadır.



Şekil 4.3. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı



Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında matematiksel bir ilişki geliştirilmesi amacıyla, uygun bir model ortaya konmaya çalışılmıştır. Bağımsız değişkenlerin, etkileşimlerinin ve regresyon katsayılarının istatistiksel öneminin ve seçilen modelin uygunluğunun belirlenmesinde, varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Minitab 17 program çıktılarında, bağımsız değişkenler için tahmin edilen katsayılar, bu katsayıların standart hataları, t, p, F, R<sup>2</sup>, düzeltilmiş R<sup>2</sup> ve hata değerleri gösterilmiştir. İstatistiksel analizler % 95 önem derecesinde yapılmıştır.

İlk aşamada, etkileşimlerin önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla, doğrusal, karesel ve ikili etkileşimleri kapsayan kuadratik model oluşturulmuştur. Kuadratik model için ANOVA tablosu, Çizelge 4.4'te verilmiştir. Modele ait ANOVA tablosunda, etkin olan parametrelere ait p değeri 0,05'ten küçük olmalıdır. Kuadratik modelde, karesel ve ikili etkileşimlere ait tüm p değerlerinin 0,05'ten büyük olması, etkileşimlerin önemli olmadığını gösterdiğinden, bu modelin, verilere uymadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, modelin p değeri 0,143 olup, 0,05'ten büyüktür ve bu da, modelin uygun olmadığını desteklemektedir.

**Çizelge 4.4.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine ait kuadratik modelin ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F değeri	P değeri
<b>Model</b>	9	11,2910	1,25456	2,70	0,143
<b>Lineer</b>	3	10,6787	3,55956	7,67	0,026
X <sub>1</sub>	1	8,2825	8,28245	17,85	0,008
X <sub>2</sub>	1	2,3871	2,38711	5,15	0,073
X <sub>3</sub>	1	0,0091	0,00911	0,02	0,894
<b>Karesel</b>	3	0,3050	0,10166	0,22	0,879
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1	0,0656	0,06564	0,14	0,722
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1	0,2142	0,21416	0,46	0,527
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1	0,0231	0,02314	0,05	0,832
<b>İki yönlü etkileşim</b>	3	0,3074	0,10245	0,22	0,878
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	0,2862	0,28623	0,62	0,468
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	0,0210	0,02103	0,05	0,840
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	0,0001	0,00010	0,00	0,989
<b>Hata</b>	5	2,3197	0,46394		
Uyum eksikliği	3	1,8874	0,62914	2,91	0,266
Saf hata	2	0,4323	0,21613		
<b>Toplam</b>	14	13,6107			
S = 0,681130	R <sup>2</sup> = %82,96	<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup> = %52,28</b>			

Sonraki aşamada, lineer regresyon modeli oluşturulmuş ve elde edilen model (Denklem 4.1) aşağıda verilmiştir. Modelin önemini test etmek amacıyla uygulanan ANOVA tablosu ise Çizelge 4.5'te verilmiştir.

$$\text{Log giderim (Y)} = 2,061 - 1,018 \text{ organik madde konsantrasyonu (X}_1\text{)} - 0,546 \text{ pH (X}_2\text{)} - 0,034 \text{ TiO}_2 \text{ konsantrasyonu (X}_3\text{)} \quad (4.1)$$

**Çizelge 4.5.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F değeri	P değeri
<b>Model</b>	3	10,6787	3,55956	13,35	0,001
<b>Lineer</b>	3	10,6787	3,55956	13,35	0,001
X <sub>1</sub>	1	8,2825	8,28245	31,07	0,000
X <sub>2</sub>	1	2,3871	2,38711	8,96	0,012
X <sub>3</sub>	1	0,0091	0,00911	0,03	0,857
<b>Hata</b>	11	2,9320	0,26655		
Uyum eksikliği	9	2,4998	0,27775	1,29	0,512
Saf hata	2	0,4323	0,21613		
<b>Toplam</b>	14	13,6107			
S = 0,516282	R <sup>2</sup> = %78,46	<b>Düzeltilmiş</b>	<b>R<sup>2</sup> = %72,58</b>		

Çizelge 4.5 incelendiğinde, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>3</sub>) parametresinin p değerinin (0,857) > 0,05 olması sebebiyle, önemli olmadığı görülmektedir. Başka bir ifade ile, logaritmik mikroorganizma giderimindeki varyasyonlar, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki varyasyonlar ile açıklanamamaktadır. Box-Behnken deneysel dizaynına ait ANOVA tablolarında düşük (75 mg/L) ve yüksek (500 mg/L) olmak üzere iki farklı konsantrasyonun karşılaştırmasının yapıldığı mutlaka gözönüne alınmalıdır. Bu tablolarda, düşük ve yüksek değerler için, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun proses üzerinde etkili olmadığı ortaya çıkmıştır. Aslında, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu, proses üzerinde etkilidir. Sadece ışık prosesi (TiO<sub>2</sub>: 0 mg/L) ile diğer TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları karşılaştırıldığında (Şekil 4.1), TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu parametresinin, solar/TiO<sub>2</sub> prosesi üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

Sonraki aşamada, önemli olduğu görülen iki parametre kullanılarak, lineer regresyon modelinin son hali oluşturulmuş ve elde edilen model (Denklem 4.2) aşağıda verilmiştir.

$$\text{Log giderim (Y)} = 2,061 - 1,018 \text{ organik madde konsantrasyonu (X}_1\text{)} - 0,546 \text{ pH (X}_2\text{)} \quad (4.2)$$

Lineer model için hesaplanan katsayılar Çizelge 4.6’da, modelin önemini test etmek amacıyla uygulanan ANOVA tablosu ise Çizelge 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin son hali için hesaplanan regresyon katsayıları

Terim	Katsayı	Standart Hata Katsayısı	t-değeri	P-değeri
Sabit	2,061	0,128	16,12	0,000
X <sub>1</sub>	-1,018	0,175	-5,81	0,000
X <sub>2</sub>	-0,546	0,175	-3,12	0,009

**Çizelge 4.7.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin son hali için ANOVA tablosu

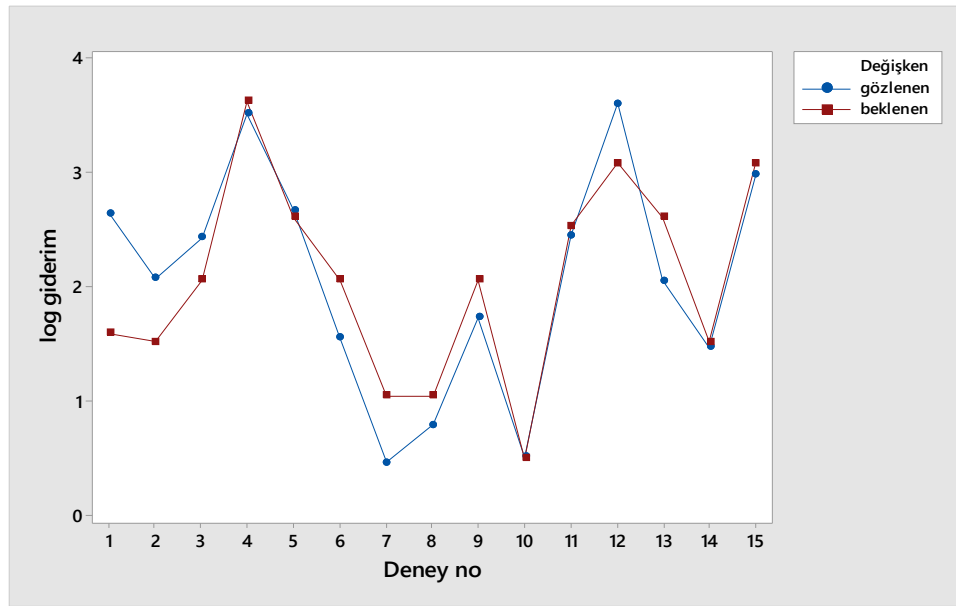
Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F-değeri	P-değeri
<b>Model</b>	2	10,6696	5,3348	21,77	0,000
<b>Lineer</b>	2	10,6696	5,3348	21,77	0,000
X <sub>1</sub>	1	8,2824	8,2824	33,79	0,000
X <sub>2</sub>	1	2,3871	2,3871	9,74	0,009
<b>Hata</b>	12	2,9411	0,2451		
Uyum eksikliği	10	2,5089	0,2509	1,16	0,548
Saf hata	2	0,4323	0,2161		
<b>Toplam</b>	14	13,6107			
S = 0,495070	R <sup>2</sup> = %78,39	<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup></b> = %74,79			

Lineer modelin standart hatası (S = 0,495070), kuadratik modelin standart hatasına (S = 0,681130) göre daha küçük çıkmıştır. Yani, hatadan kaynaklanan varyasyon, lineer modelin kullanımı ile azaltılmıştır.

Çizelge 4.7’deki ANOVA tablosuna göre, modelin Fisher’s F testi değerine (F<sub>model</sub> = 21,77) karşılık gelen probabilitate değerinin çok düşük olması (p<sub>model</sub> = 0,000), (bir başka ifade ile, p < 0,05 olması), lineer modelin önemli olduğunu göstermektedir.

Düzeltilmiş  $R^2$  ve  $R^2$  katsayıları da, Çizelge 4.7’de görülmektedir. Düzeltilmiş  $R^2$ ,  $R^2$  değerinin, örnek büyüklüğü ve modeldeki terim sayısına göre düzeltilmiş halidir. Düzeltilmiş  $R^2$  ve  $R^2$  değerlerinin mantıklı bir uyum içerisinde olması gerekir. Ancak, modelde terim sayısı fazla ve örnek büyüklüğü de çok geniş değil ise, düzeltilmiş  $R^2$  değeri,  $R^2$  değerinden belirgin şekilde küçük olabilir (Singh ve ark. 2012). Lineer model için,  $R^2 = \%78,39$  ve düzeltilmiş  $R^2 = \%74,79$  olarak bulunmuştur ve birbirleri ile uyumludur. Düzeltilmiş  $R^2$  değerine göre, logaritmik mikroorganizma giderimindeki varyasyonun % 74,79’u, lineer model ile açıklanabilmektedir. Varyasyonun, % 25,21’i ise açıklanamamaktadır.

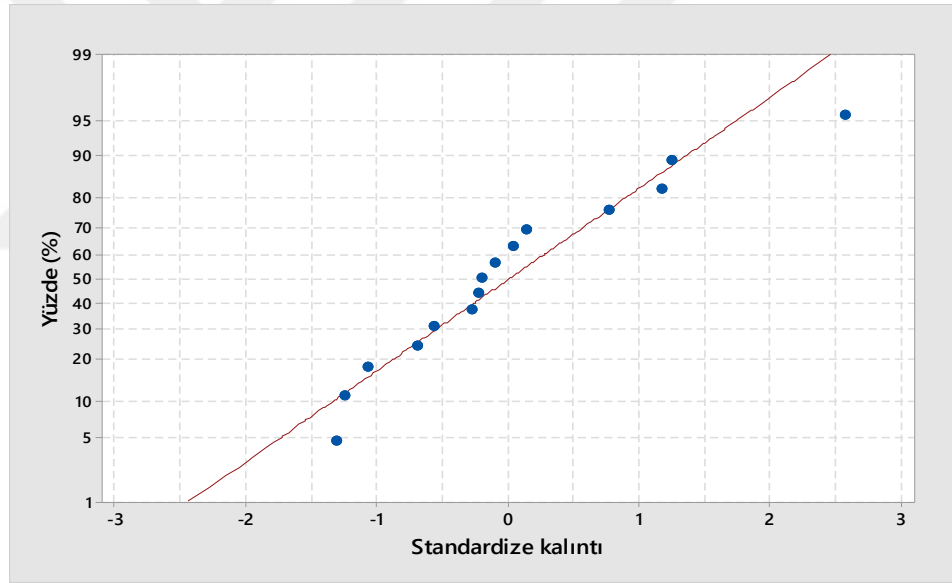
Gözlenen ve beklenen değerlerin karşılaştırıldığı grafikler, modelden ve deneylerden elde edilen değerlerin birbirine ne kadar yakın olduğunun gösterilmesinde oldukça kullanışlıdır. Gözlenen değerler, deneylerden elde edilen sonuçları, beklenen değerler, modelden elde edilen sonuçları ifade etmektedir. Şekil 4.4’e göre, gözlenen ve beklenen değerler, bazı deneyler için birbirinden farklıdır. Deney 1’de bu fark daha belirgin, Deney 2, Deney 7 ve Deney 12’de fark daha azdır. Ancak, şekil genel olarak değerlendirildiğinde, laboratuvar sonuçlarının, model sonuçları ile bir uyum içinde olduğu görülmektedir.



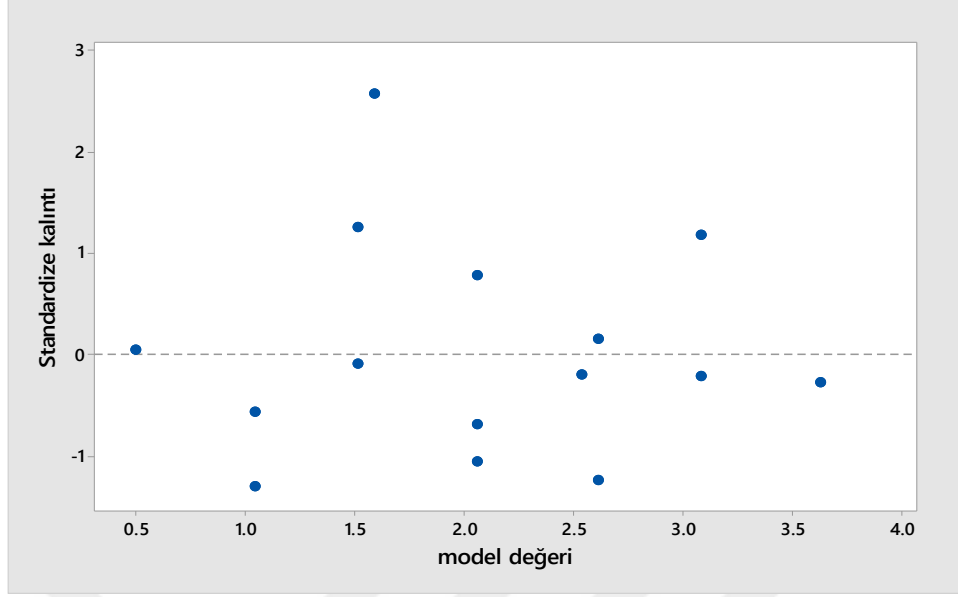
**Şekil 4.4.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesinde logaritmik mikroorganizma giderimi için beklenen ve gözlenen değerlerin karşılaştırılması

Şekil 4.5'te kalıntılar için normal olasılık dağılımı, Şekil 4.6'da kalıntılar-model değerler grafiği verilmiştir. Gözlenen ve beklenen değerler arasındaki farklar, kalıntı olarak tanımlanmaktadır. Ham kalıntılar, sabit olmayan varyasyonları sebebiyle, uç noktaların belirlenmesinde yetersiz kaldıklarından, standardize kalıntılar kullanılmaktadır. 2'den büyük ve -2'den küçük kalıntılar, genellikle büyük kalıntı olarak değerlendirilmektedir. Bazı kaynaklarda, standardize kalıntıların, -2,5/+2,5 aralığında kalması gerektiği bildirilmiştir.

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 incelendiğinde, kalıntıların, doğrudan çok büyük sapmalar göstermediği ve -2,5/+2,5 değerleri arasında kaldığı görülmüş ve kalıntıların normal dağılım gösterdiğine karar verilmiştir. Bu durumda, model için transformasyona ihtiyaç yoktur.

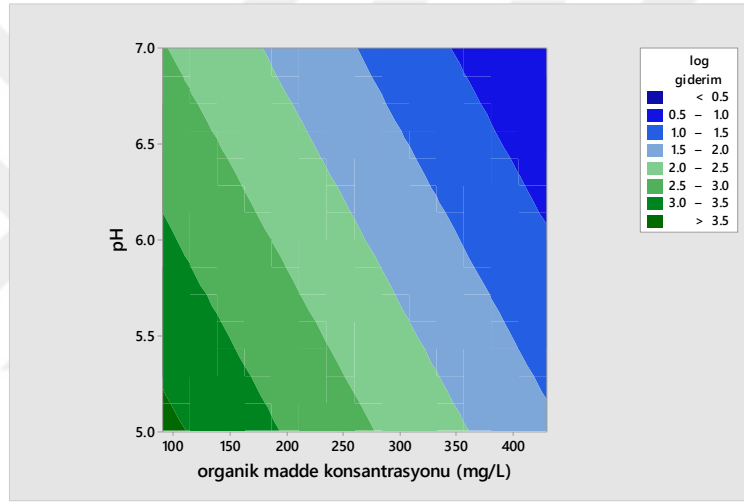
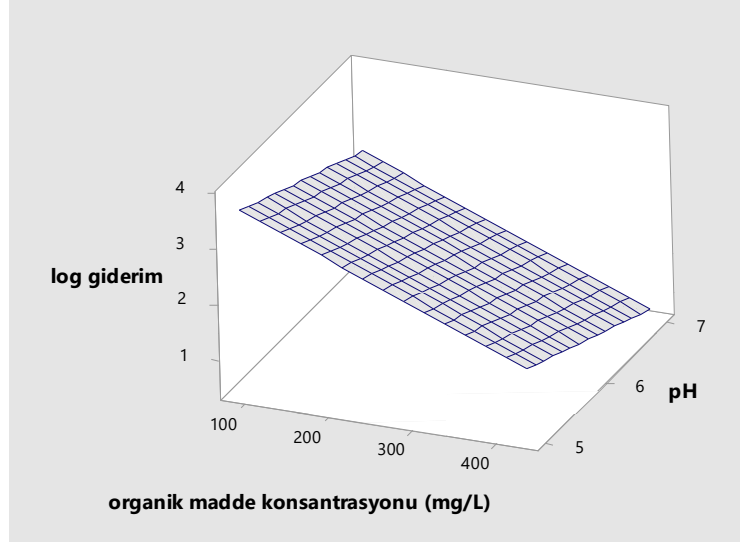


Şekil 4.5. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesinde kalıntılar için normal olasılık dağılımı



**Şekil 4.6.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesinde kalıntılar-model değerler grafiği

İki bağımsız değişkene farklı ölçüm aralıklarında değerler verilerek, diğer bağımsız değişkenlerin sabit tutulduğu ve bağımlı değişkenin yanıt aralığının ortaya çıkarıldığı 3D yanıt yüzeyi grafikleri, bu iki değişkenin tek başlarına ve birbirleri ile etkilerini belirlemede önemlidir. Şekil 4.7’de, modeldeki iki parametre olan, organik madde konsantrasyonu ve pH’ın bir fonksiyonu olarak, logaritmik mikroorganizma giderimi için oluşturulan yanıt yüzeyi grafiği ve kontur grafiği verilmiştir. Oluşturulan modelde, karesel veya ikili etkileşimler bulunmadığı için, yanıt yüzeyi grafiklerinde eğrisellik oluşmadığı görülmektedir.



**Şekil 4.7.** Solar/TiO<sub>2</sub> prosesinde logaritmik mikroorganizma giderimi için yanıt yüzeyi ve kontur grafiği

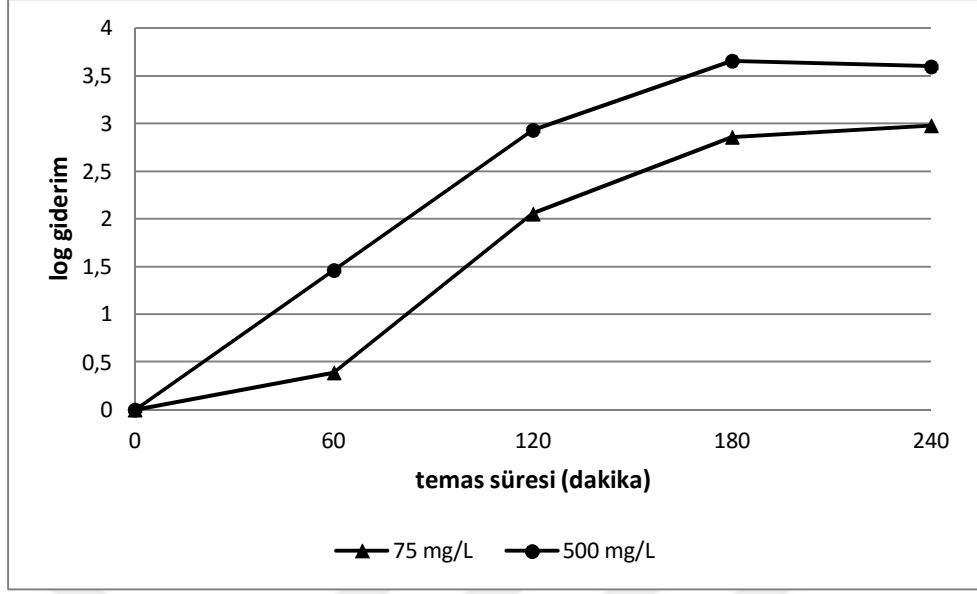
Şekilde açıkça görülmektedir ki, düşük organik madde konsantrasyonunda ve düşük pH'ta, en yüksek mikroorganizma giderimine ulaşılmıştır. Kontur grafiğinde, koyu yeşil renkli alan, en yüksek giderimin sağlandığı (log giderim > 3,5) bölgeyi göstermektedir. Yüksek organik madde konsantrasyonunda ve yüksek pH'ta, log giderim değeri 0'a yaklaşmış ve bu değerlerde solar/TiO<sub>2</sub> prosesi ile atıksu dezenfeksiyonu sağlanamamıştır. Organik madde konsantrasyonu ve pH arttıkça, giderim azalmıştır. Kontur grafiğinde, yeşilden maviye doğru gidildikçe, artan organik madde konsantrasyonu ve pH ile, giderimdeki azalmalar net şekilde görülmektedir.

#### 4.1.1.3. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi

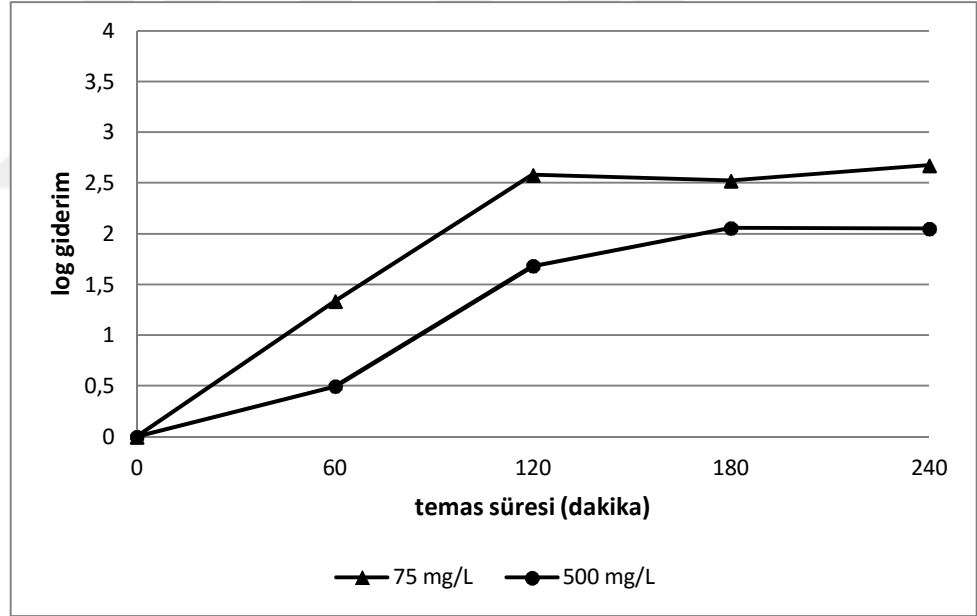
Seçilen düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının farklı pH ve farklı organik madde konsantrasyonlarında solar/TiO<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Bölüm 4.1.1.2’de yapılan istatistiksel analizlerde, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun mikroorganizma giderimi üzerinde etkili olmadığı belirlenmiş ve oluşturulan modele eklenmemiştir. Aşağıdaki grafiklerde bu sonucu desteklemektedir. İlk bakışta, 500 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile daha yüksek giderimlerin elde edildiği göze çarpmaktadır. Ancak, tüm grafikler değerlendirildiğinde, TiO<sub>2</sub>’nin atıksuya 75 mg/L veya 500 mg/L eklenmesiyle, mikroorganizma giderimleri çok büyük değişiklikler göstermediği görülmektedir. Her temas süresinde, 75 mg/L ve 500 mg/L TiO<sub>2</sub> ile elde edilen log giderim değerleri arasındaki farkların, genel olarak, 1-log’un altında kaldığı görülmektedir. KOİ: 430 mg/L ve pH:6 şartlarında, iki konsantrasyona ait grafikler hemen hemen çakışmıştır (Şekil 4.11).

Elde edilen sonuçlar, bazı araştırmacıların çalışmalarıyla paralellik göstermektedir. Fernandez ve ark. (2005), 25, 50, 200 ve 500 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını kullandıkları çalışmalarında, farklı konsantrasyonların benzer fotokataliz verimi oluşturduğunu ve dezenfeksiyon hızının katalist konsantrasyonundan bağımsız olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumu, yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında ışığın azalması sonucu, katalist yüzeyinde, foto uyarılma gerçekleşmediği için, hidroksil radikalleri oluşumunun engellenmesi ile açıklamışlardır. Backhaus ve ark. (2010), gerçek atıksulardan, *E.coli* ve *E.faecalis* giderimini inceledikleri çalışmada, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 50 mg/L’den 100 mg/L’ye çıkarılmasıyla, benzer sonuçların elde edildiğini, bu aralıkta katalist konsantrasyonundaki değişimin sınırlayıcı bir faktör olmadığını vurgulamışlardır.

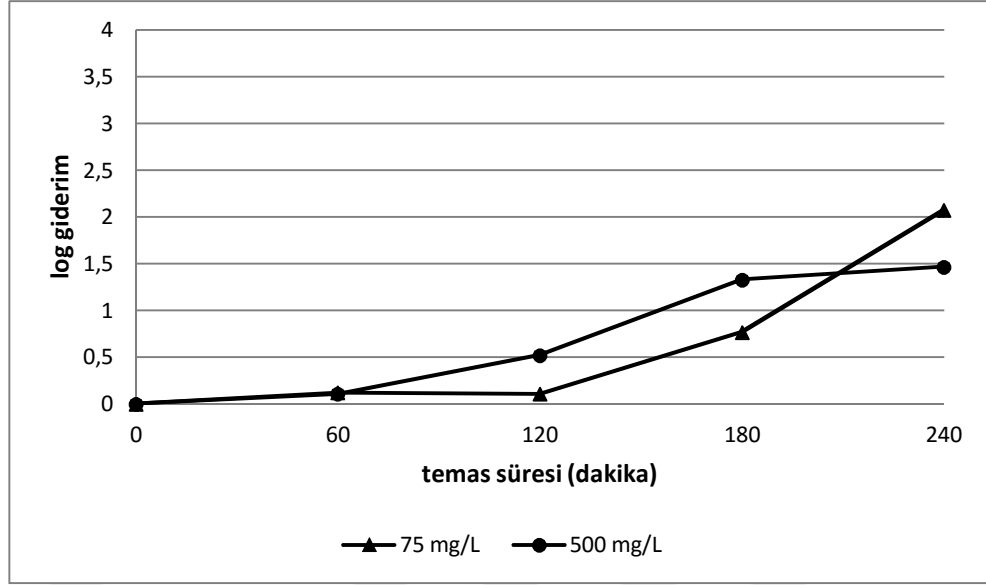




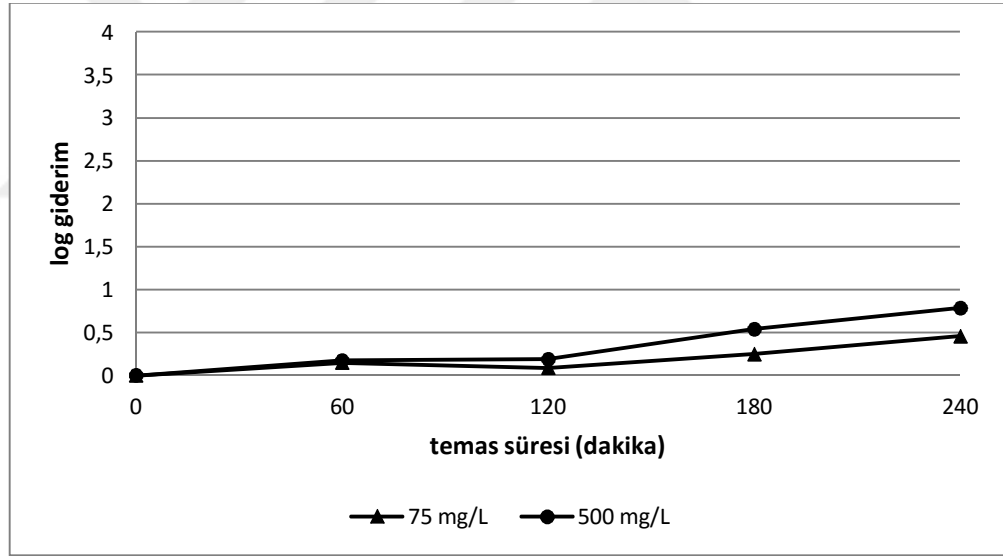
Şekil 4.8. KOİ: 90 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.9. KOİ: 260 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.10. KOİ: 260 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.11. KOİ: 430 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.1.1.4. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine pH'in etkisi

Seçilen düşük ve yüksek pH değerlerinin farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve farklı organik madde konsantrasyonlarında solar/TiO<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de verilmiştir. Şekiller incelenirse, düşük pH'ta mikroorganizma gideriminin, yüksek pH'ta mikroorganizma giderimine göre daha fazla olduğu görülmektedir.

TiO<sub>2</sub>-fotokatalizi verimliliğinin, arıtılacak suyun pH'ından büyük ölçüde etkilendiği bilinmektedir. pH, TiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzey yüklerini belirlemekte ve dolayısıyla, katalist partikülleri ve substratlar arasındaki itme-çekme derecesini etkilemektedir. Fotokatalitik reaksiyonlar, büyük ölçüde katı-sıvı arafazında meydana geldiğinden, adsorpsiyon, itme-çekme gibi olaylar, fotokatalitik proseslerde önemli role sahiptir. Hidroksil radikalleri, yarı iletkenin ışığa maruz kalan yüzeyinde oluştuğundan, TiO<sub>2</sub> partiküllerine adsorpsiyon veya substratın çekilmesi, oksidasyon ve dezenfeksiyonu desteklemektedir (Tsydenova ve ark. 2015).

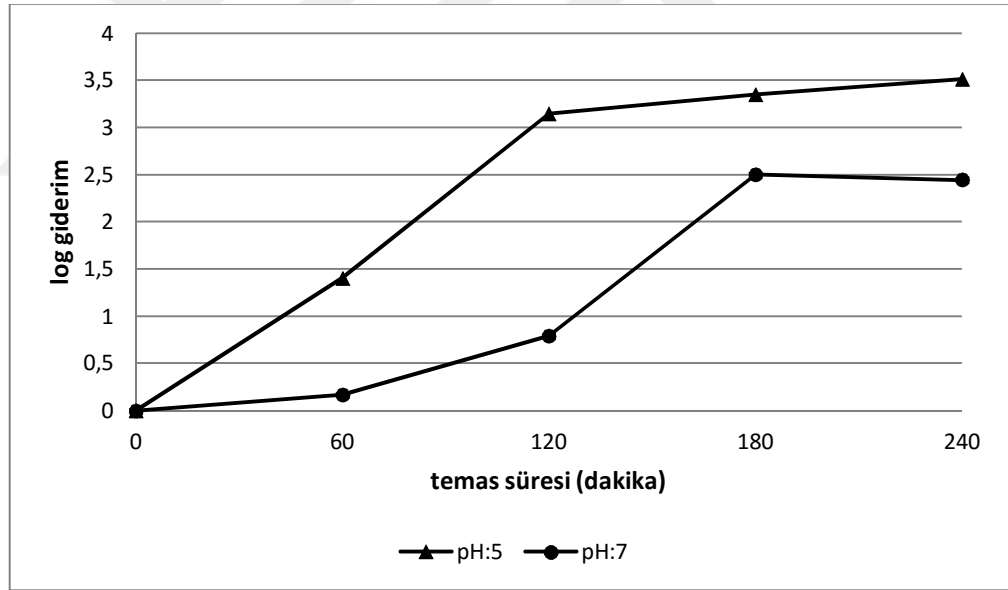
Suyun pH'ı, TiO<sub>2</sub>'nin sıfır yük noktasının altında ise (pH 6,5), TiO<sub>2</sub>'nin yüzeyinde daha fazla TiOH<sub>2</sub><sup>+</sup> türleri oluşmakta ve (+) yüklü hale gelen partiküller, (-) yüklü olan bakterileri çekmektedir. Suyun pH'ı, TiO<sub>2</sub>'nin sıfır yük noktasının üstünde ise, TiO<sub>2</sub> yüzeyinde bulunan TiO<sup>-</sup> türleri, partikülleri (-) yüklü hale getirmekte ve (-) yüklü olan bakterilerle aralarında bir itme meydana gelmesi, dezenfeksiyon hızının düşmesine sebep olmaktadır (Tsydenova ve ark. 2015). Tsydenova ve ark. (2015)'lerinin belirttiği gibi, düşük pH'ta yüksek pH'a göre daha iyi giderimlerin elde edilmesinin, yüzey yükleri ve *E.coli* arasındaki etkileşime bağlı olduğu düşünülmektedir. Herrera Melian ve ark. (2000), kentsel atıksulardan fotokataliz ile koliform bakteri ve *Streptococcus faecalis* giderimini inceledikleri çalışmalarında, pH'ın 7,8'den 5'e düşürülmesiyle inaktivasyon hızının arttığını vurgulamışlardır.

Şekil 4.14 incelendiğinde, pH 5 ve pH 7 arasındaki farkın, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.15'e göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durumun, TiO<sub>2</sub>'nin 500 mg/L konsantrasyonda uygulanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek

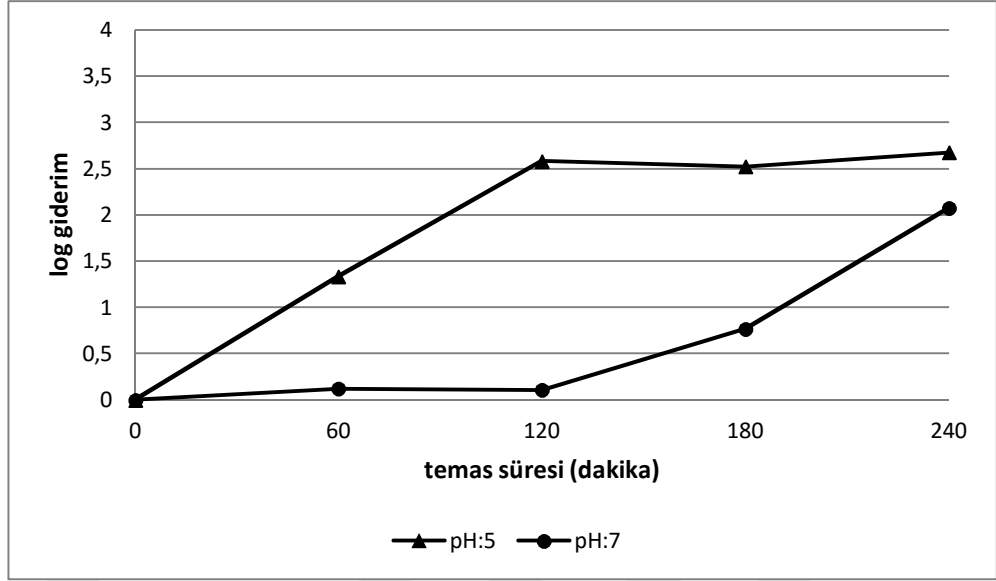
konsantrasyonda katalist uygulanması ile suya ışık geçişi azalıp, TiO<sub>2</sub> yüzeyinde daha az hidroksil radikali oluştuğundan, pH 5'te adsorpsiyon ve çekme süreçleri gerçekleşmiş olsa da, giderim, beklenenden daha az olmuş olabilir.

pH 7'de inaktivasyon hızının daha yavaş olduğu görülmektedir. İlk 2 saatte, pH 7 için giderim değerleri 0,03-log/0,8-log aralığında değişirken, pH 5 için, 1,68-log/3,15-log aralığında değişmiştir. 2 saatten sonra ise, pH 7 için, mikroorganizma inaktivasyonu artışa geçmiştir.

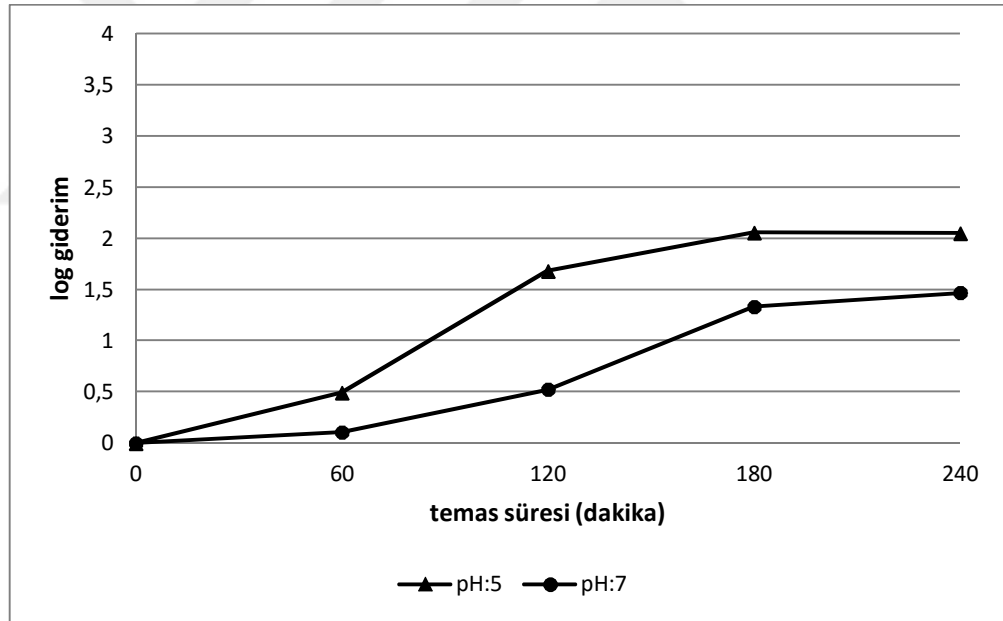
Prosesler süresince pH'ta meydana gelen değişimler oldukça azdır ve TiO<sub>2</sub>'nin sıfır yük noktasının (pH 6,5) altında kalmıştır. Her ne kadar düşük pH'ta daha iyi sonuçlar elde edilse de, asitlendirme ve nötralizasyon maliyetlerini ortadan kaldırmak amacıyla nötral pH'ta gerçekleştirilen araştırmaların sayısının oldukça fazla olduğunu belirtmek gerekir.



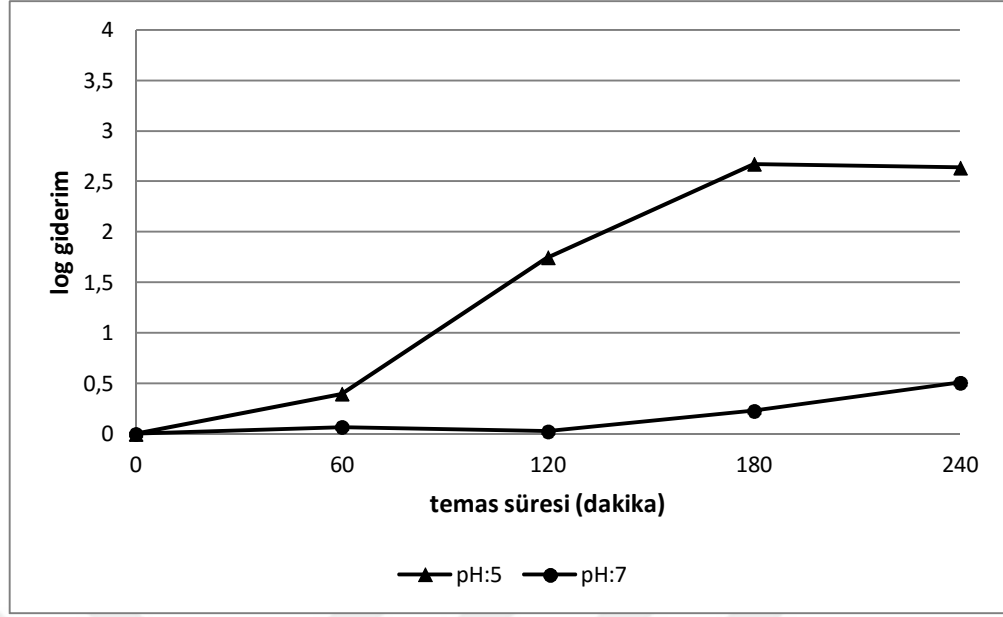
**Şekil 4.12.** KOİ: 90 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 287,5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi



Şekil 4.13. KOİ: 260 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 75 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi



Şekil 4.14. KOİ: 260 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 500 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi

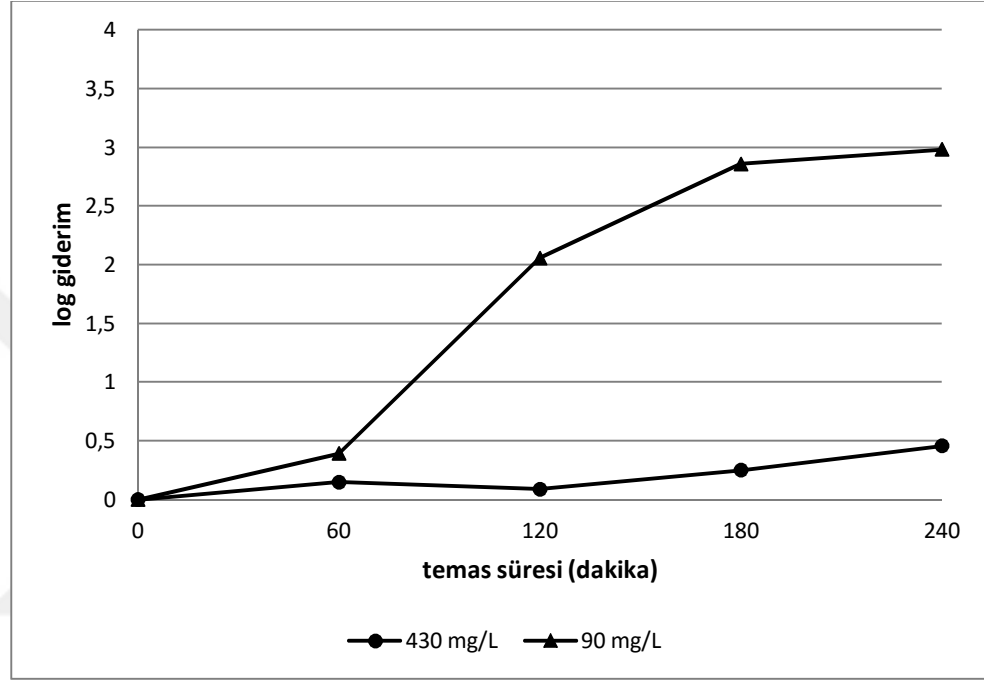


**Şekil 4.15.** KOİ: 430 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 287,5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi

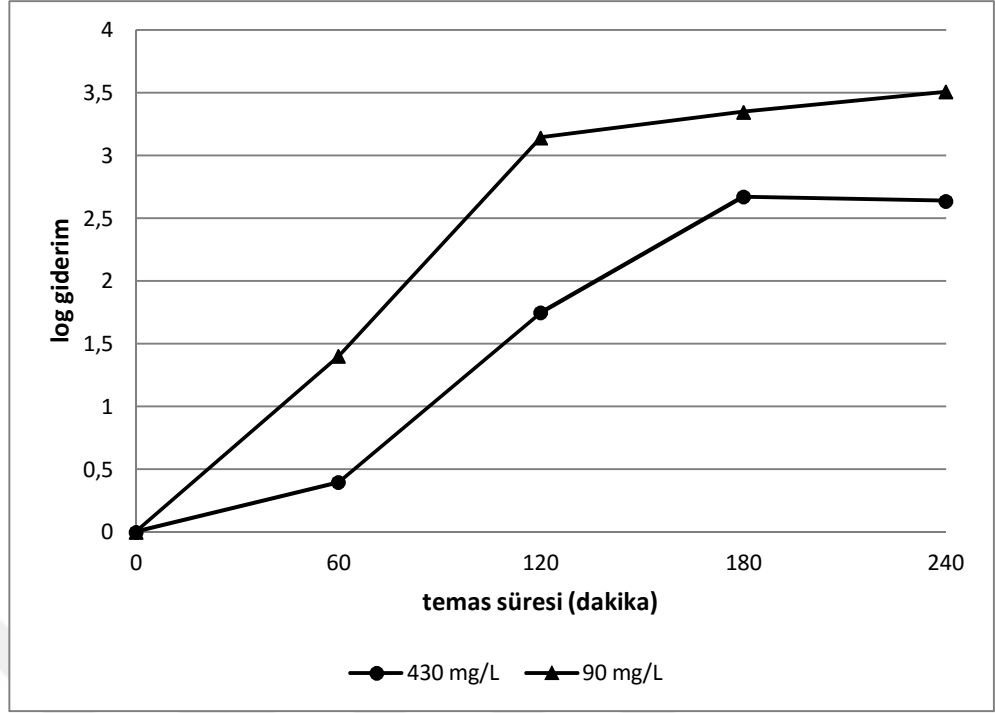
#### 4.1.1.5. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi

Seçilen düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve farklı pH değerlerinde solar/TiO<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, düşük organik madde konsantrasyonunda, yüksek organik madde konsantrasyonuna göre daha iyi giderim verimlerinin elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.16, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'a göre, yüksek organik madde konsantrasyonunda, 240 dk. sonunda ulaşılan giderim değerleri, sırasıyla, 0,46-log, 0,51-log ve 0,79-log olup, düşük organik madde konsantrasyonunda giderim değerleri, sırasıyla, 2,98-log, 2,45-log, 3,60-log'a ulaşmaktadır. Atıksudaki organik bileşenler, katalistin etkin bölgelerini bloke etmekte ve hidroksil radikalleri için rekabet etmektedirler. Ayrıca, özellikle ortamdaki fosfatların, TiO<sub>2</sub> yüzeyine adsorpsiyonu sonucunda ışık geçişi de engellenmektedir (Rincon ve Pulgarin 2007a). Negatif yüklü olan fosfat yapılarının, düşük pH'larda pozitif yüklü olan TiO<sub>2</sub> yüzeyine adsorpsiyonu da daha fazla olmaktadır. Tüm bunların sonucunda, yüksek organik madde konsantrasyonunda daha az giderim elde edildiği söylenebilir. Şekil 4.17'de ise, yüksek ve düşük organik madde konsantrasyonlarında, 240 dk. sonunda ulaşılan giderim değerlerinin, sırasıyla, 2,64-log ve 3,51-log olduğu görülmektedir. Diğer

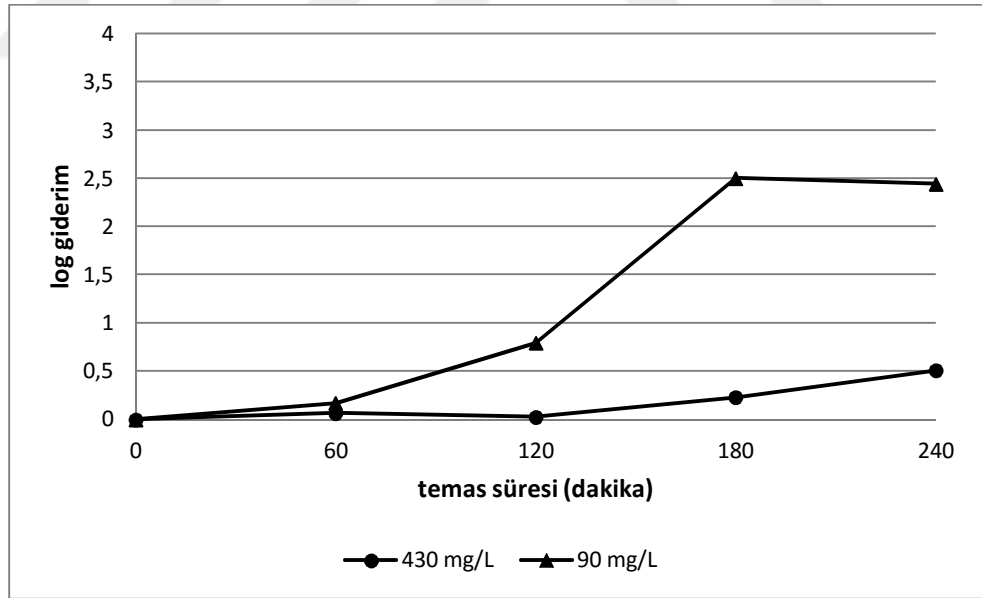
temas süreleri de dikkate alınrsa, Şekil 4.17’de KOİ:90 mg/L ve 430 mg/L konsantrasyonlara ait grafiklerin birbirine yakın olduğu, aradaki farkın diğerleri kadar fazla olmadığı görülmektedir. Şekil 4.17’de yüksek organik madde konsantrasyonunda da giderimin yüksek olması, pH değerinin düşük olması ile açıklanabilir. Düşük pH’ta organik maddenin olumsuz etkisinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.16. TiO<sub>2</sub>: 75 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi

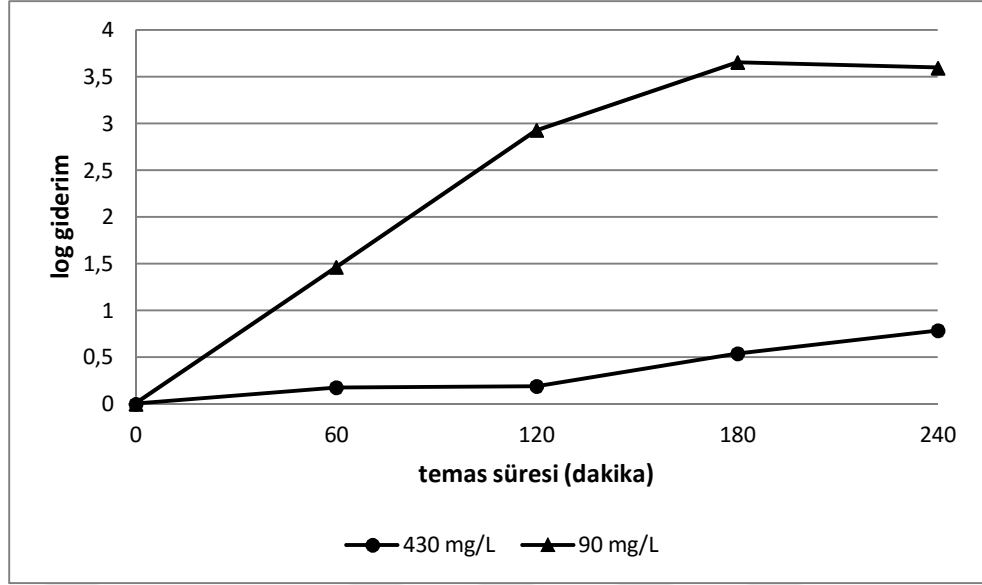


Şekil 4.17. TiO<sub>2</sub>: 287,5 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.18. TiO<sub>2</sub>: 287,5 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi





Şekil 4.19. TiO<sub>2</sub>: 500 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi

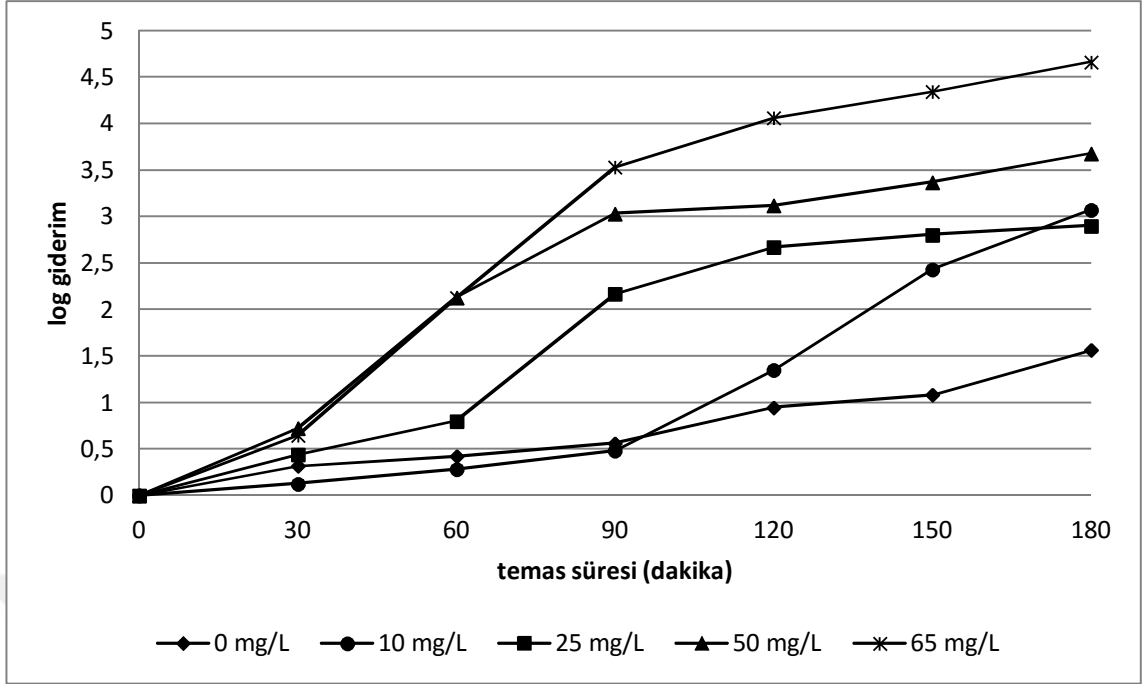
#### **4.1.2. Solar simülatör ile gerçekleştirilen solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları**

Bu deneylerde, su sıcaklığı, 17,3-31 °C aralığında değişmiştir. Solar simülatörden yayılan ışık yoğunlukları, UV-A için ~41,6 W/m<sup>2</sup>, UV-B için ~7,88 W/m<sup>2</sup> olup, borosilikat tüpler içinde bu değerler UV-A, UV-B için sırasıyla ~31 W/m<sup>2</sup> ve ~1,87 W/m<sup>2</sup> değerlerini almaktadır ve bu değerler dış ortam değerlerine yakındır. Global radyasyon değeri ise 450 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Temas süresi 4 saat olarak belirlenmiştir ve her 30 dakikada örnek alınarak mikrobiyolojik analizler yapılmıştır. Grafiklerde, temas sürelerine karşı logaritmik bakteri giderimleri gösterilmiştir. Bu temas sürelerine karşılık gelen UV-A dozları, Bölüm 4.1.1’de verilmiştir.

##### **4.1.2.1. Etkili H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>’nin evsel atıksuların dezenfeksiyonundaki etkisini değerlendirmek için, düşük ve yüksek olmak üzere iki farklı konsantrasyonda çalışılmasına karar verilmiştir. Etkili H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla, farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında (10-25-50-65 mg/L) denemeler yapılmış olup, KOİ: 90 mg/L ve pH: 7 değerlerinde çalışılmıştır. Sadece solar ışık ile de denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler sonucunda elde edilen grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için etkili H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi

Literatürde, çok düşük hidrojen peroksit konsantrasyonlarında da (5-10 mg/L) oldukça yüksek giderim verimleri elde edildiği bildirilmiştir. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile dezenfeksiyon çalışmalarında çok yüksek konsantrasyonlar tercih edilmemiştir. Düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının evsel atıksu dezenfeksiyonuna etkisini değerlendirmek amacıyla, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları 10 mg/L ve 65 mg/L olarak seçilmiştir.

Şekil 4.20 incelenirse, sadece solar ışık prosesi ile karşılaştırıldığında, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin, düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında bile daha etkili olduğu ve bakteri inaktivasyonunu arttırdığı görülmektedir. En yüksek giderim verimleri 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ile elde edilmiştir. Sadece ışık prosesiyle, 180 dk. sonunda yaklaşık 1,57-log giderim elde edilirken, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 3,08-log, 25 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 2,90-log, 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 3,68-log ve 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 4,67-log giderim sağlanmıştır. 10 mg/L ve 25 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının giderim üzerindeki etkileri diğer temas sürelerinde daha net şekilde görülmektedir. 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 90 dk.'da 0,48-log ve 120 dk.'da 1,35-log değerlerine ulaşılırken, 25 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 90 dk.'da 2,17-log ve 120 dk.'da 2,67-log değerlerine ulaşılmıştır.

#### 4.1.2.2. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları

Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için, bağımsız değişkenler olarak seçilen organik madde konsantrasyonu, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve AKM konsantrasyonu parametrelerinin mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkilerini ve birbirleri ile etkileşimlerini incelemek amacıyla tam faktöriyel deneysel dizaynı kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler, organik madde konsantrasyonu (X<sub>1</sub>), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>2</sub>) ve AKM konsantrasyonu (X<sub>3</sub>) olarak kodlanmış ve herbiri için maksimum (+1), ortalama (0) ve minimum (-1) değerler belirlenmiştir. Çizelge 4.8’de, bağımsız değişkenler ve seviyeleri verilmiştir.

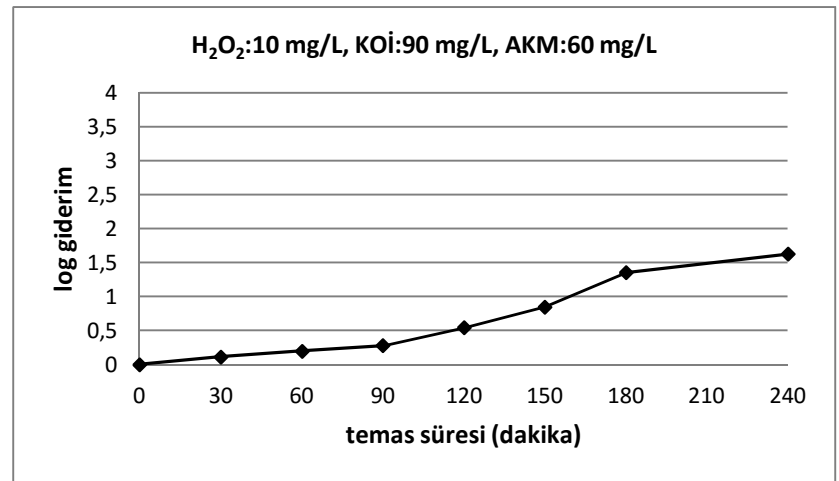
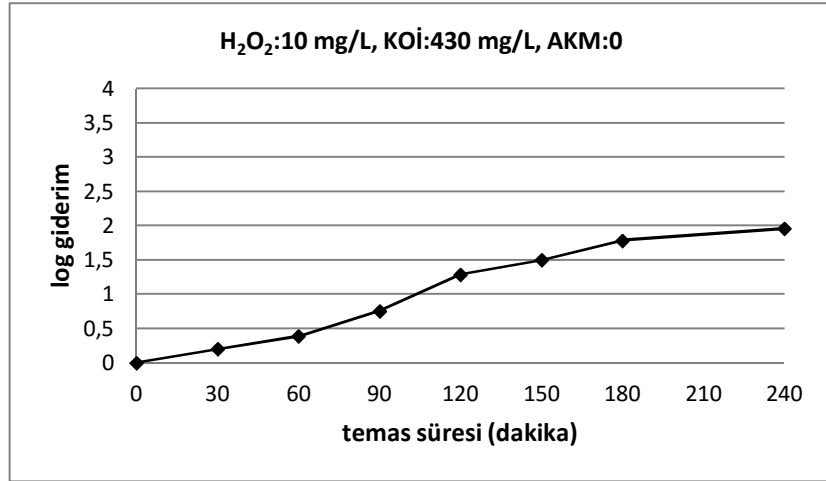
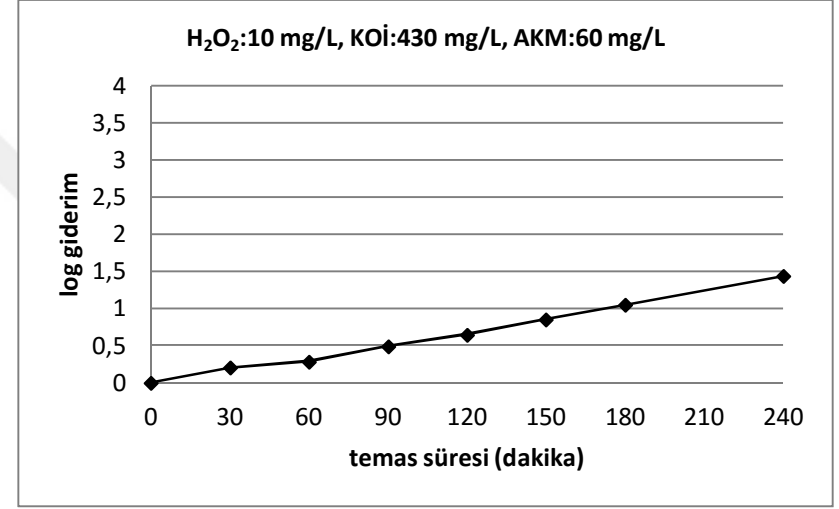
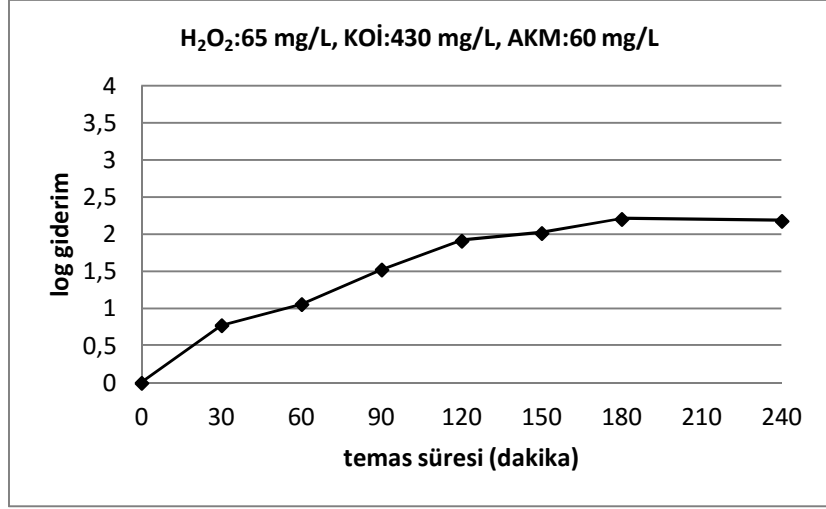
Deney sayısı,  $2^3 = 8$  ve merkez noktada 3 deney olmak üzere, toplam 11’dir. Uygulanan deneylerde, 240 dk. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderim değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.9). Ayrıca, her denemeden elde edilen grafikler Şekil 4.21’de verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri

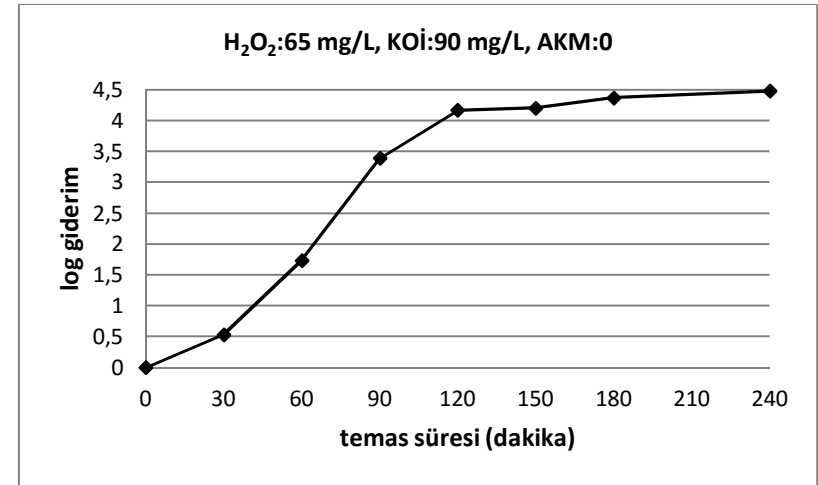
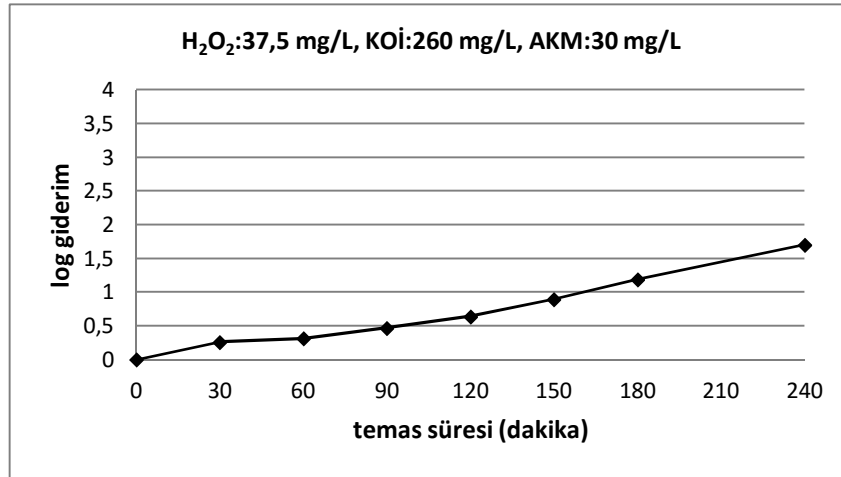
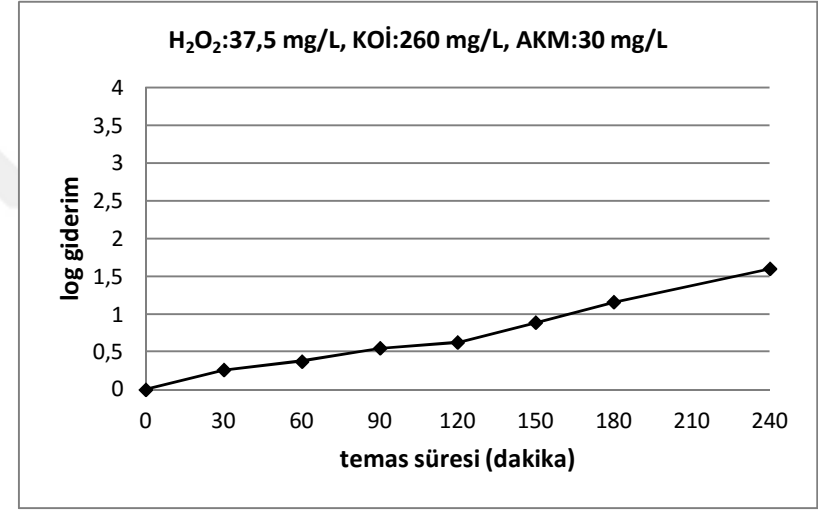
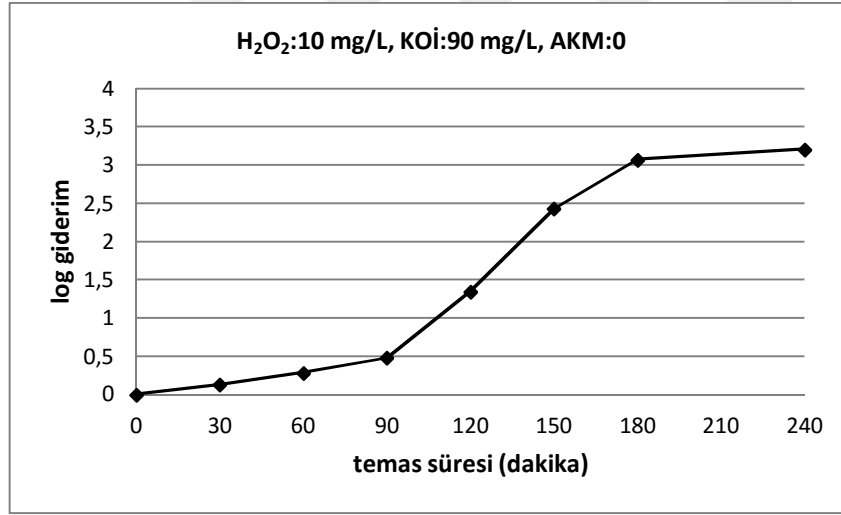
Bağımsız değişkenler	Kodlar	Seviyeler		
		-1	0	1
Organik madde konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>1</sub>	90	260	430
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>2</sub>	10	37,5	65
AKM konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>3</sub>	0	30	60

**Çizelge 4.9.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları

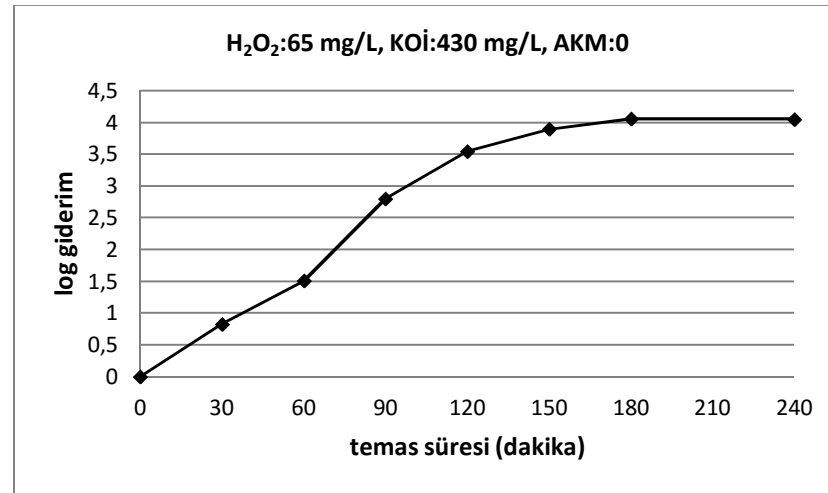
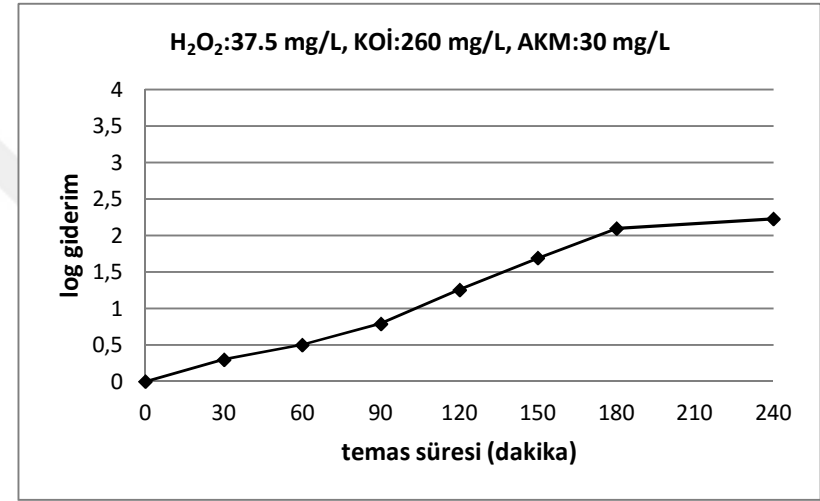
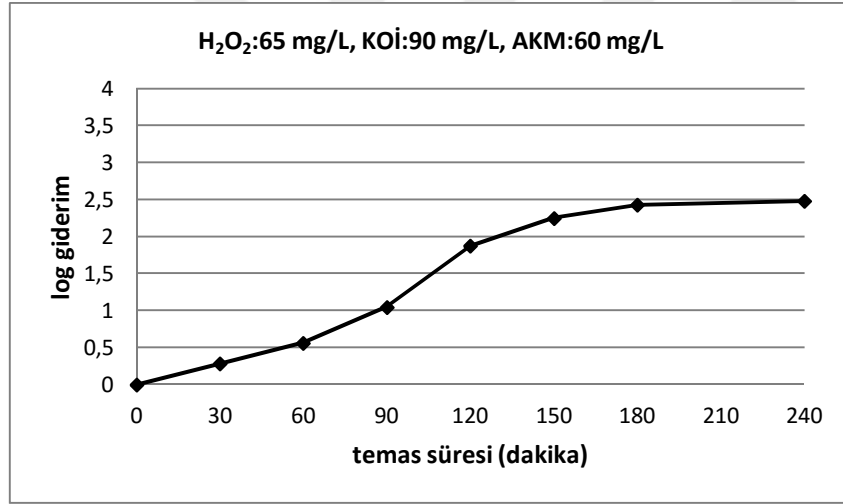
Deneme	Deney şartları			Sonuç (240 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	430	65	60	2,19
2	430	10	60	1,44
3	430	10	0	1,96
4	90	10	60	1,63
5	90	10	0	3,21
6	260	37.5	30	1,60
7	260	37.5	30	1,70
8	90	65	0	4,47
9	90	65	60	2,49
10	260	37.5	30	2,23
11	430	65	0	4,05



Şekil 4.21. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler



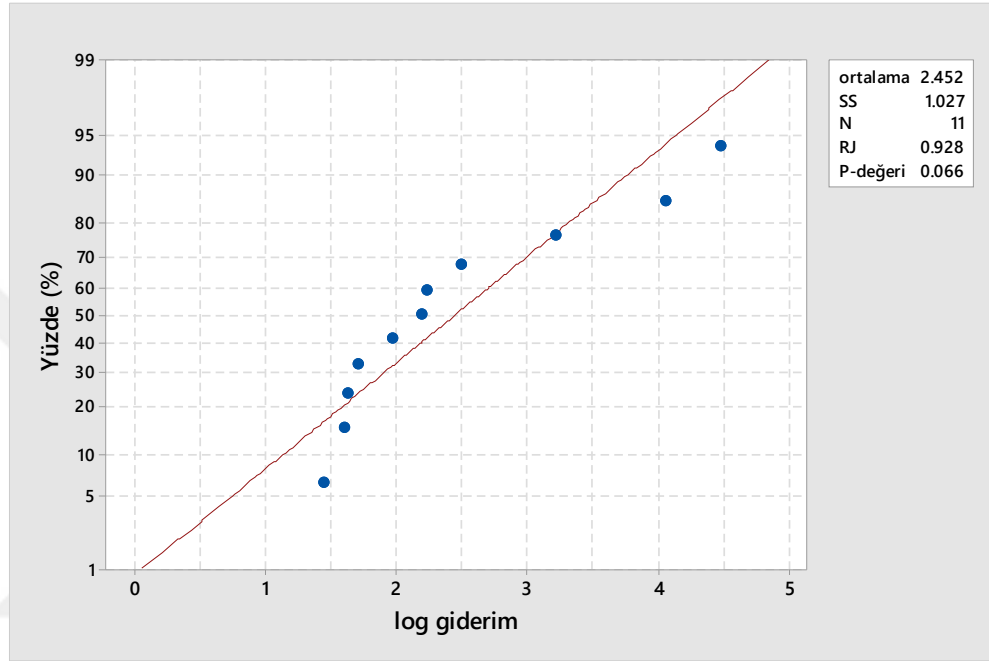
Şekil 4.21. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)



Şekil 4.21. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)



240 dk. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderimlerinin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla çizilen normal olasılık grafiği, Şekil 4.22’de verilmiştir.  $p = 0,066 > 0,05$  olması, verilerin normal bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Ryan-Joiner test sonucunun ( $RJ = 0,928$ ) 1’e yakın olması da bu sonucu doğrulamaktadır.



**Şekil 4.22.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı

İlk aşamada, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında matematiksel bir ilişki geliştirmek ve etkileşimlerin önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla, lineer, ikili ve üçlü etkileşimleri kapsayan, çoklu model oluşturulmuştur. Bağımsız değişkenlerin, etkileşimlerinin ve regresyon katsayılarının istatistiksel öneminin ve seçilen modelin uygunluğunun belirlenmesinde, varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Minitab 17 program çıktılarında, bağımsız değişkenler için tahmin edilen katsayılar, bu katsayıların standart hataları, t, p, F, R<sup>2</sup>, düzeltilmiş R<sup>2</sup> ve hata değerleri gösterilmiştir. İstatistiksel analizler % 95 önem derecesinde yapılmıştır. Prosese ait çoklu model için ANOVA tablosu Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10'a göre, iki ve üç yönlü etkileşimlere ait p değerleri, 0,05'ten büyüktür ve etkileşimlerin model üzerinde etkisinin olmadığı açıkça görülmektedir. Ayrıca, modelin p değeri 0,084 olup,  $> 0,05$  olması da, çoklu modelin uygun olmadığını göstermektedir.

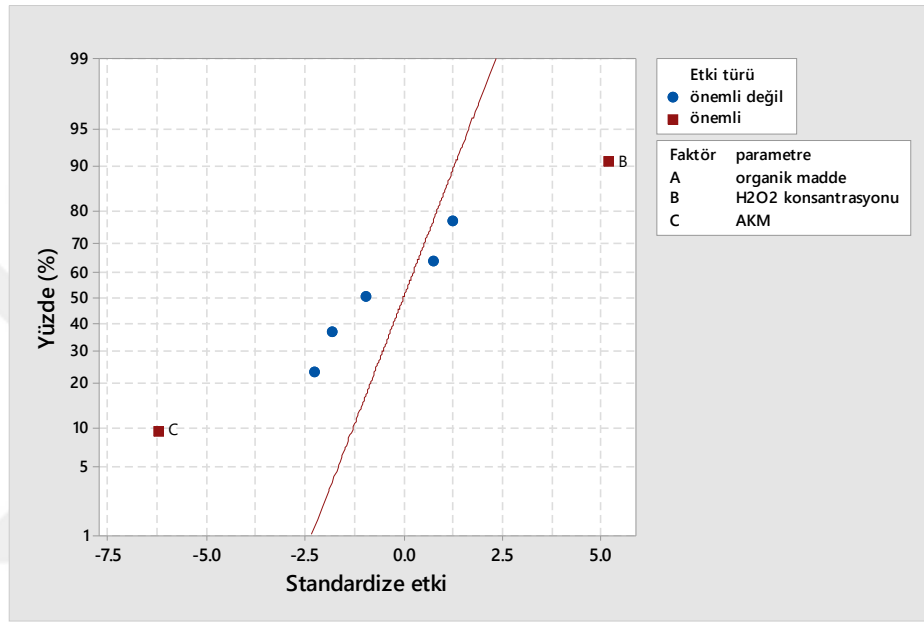
**Çizelge 4.10.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait çoklu model için ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F değeri	P değeri
<b>Model</b>	8	10,3239	1,29049	11,26	0,084
<b>Lineer</b>	3	8,0688	2,68962	23,46	0,041
X <sub>1</sub>	1	0,5832	0,58320	5,09	0,153
X <sub>2</sub>	1	3,0752	3,07520	26,83	0,035
X <sub>3</sub>	1	4,4104	4,41045	38,47	0,025
<b>İki yönlü etkileşim</b>	3	0,6173	0,20577	1,79	0,377
de X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	0,0648	0,06480	0,57	0,531
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	0,1740	0,17405	1,52	0,343
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	0,3785	0,37845	3,30	0,211
<b>Üç yönlü etkileşim</b>	1	0,1105	0,11045	0,96	0,430
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	0,1105	0,11045	0,96	0,430
<b>Curvature</b>	1	1,5273	1,52730	13,32	0,068
<b>Hata</b>	2	0,2293	0,11463		
<b>Toplam</b>	10	10,5532			
S = 0.338575	R <sup>2</sup> = %97,83	<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup> = %89,14</b>			

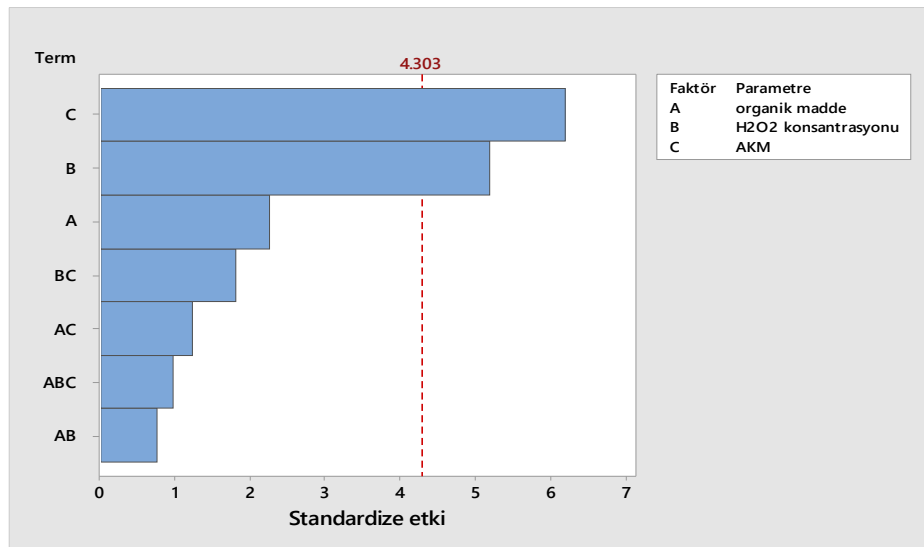
2<sup>k</sup> faktöriyel dizaynlarda, ana faktör ve etkileşimlerin istatistiksel önemlerini belirlemenin diğer bir yolu da, etkilere ait, yarı normal dağılım, normal dağılım ve pareto grafiklerinin çizilmesidir. Standardize etkilere ait normal dağılım grafiğinde, önemli olmayan faktörler düz çizgiye yakın olup, sıfır etrafında merkezlenme eğilimindedirler. Önemli faktörler ise, düz çizgiden sapmalar gösterirler. Etki ne kadar büyükse, faktör, çizgiden o kadar uzaktır. Negatif etkiler, grafiğin sol tarafında, pozitif etkiler ise sağ tarafında gösterilirler. Pareto grafiğinde ise, referans çizginin ilerisinde kalanlar önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin p değerleri, seçilen  $\alpha$  değerinden küçüktür. Referans çizgi, seçilen  $\alpha$  değerinde,  $t_{\text{kritik}}$  değerini gösterir.

Standardize etkiler kullanılarak hazırlanan, normal dağılım grafiği Şekil 4.23'de, pareto grafiği ise Şekil 4.24'te verilmiştir. Bu grafikler, ANOVA testinin sonuçlarını da doğrulamaktadır. Şekil 4.23'de, sadece B (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu) ve C (AKM konsantrasyonu) faktörlerinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Grafiğin

sol tarafında kaldığı için, C faktörünün, logaritmik mikroorganizma giderimi üzerinde negatif etkisi bulunmaktadır. Grafiğin sağ tarafında kaldığı için, B faktörünün, logaritmik mikroorganizma giderimi üzerinde pozitif etkisi bulunmaktadır. Şekil 4.24'de verilen pareto grafiğinde, referans çizginin ilerisinde yer alan B (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu) ve C (AKM konsantrasyonu) faktörleri istatistiksel olarak önemlidir. Grafiğin en üstünde yer alan C faktörü, B faktörüne göre daha önemlidir.



Şekil 4.23. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait çoklu model için standardize etkiler normal dağılım grafiği



Şekil 4.24. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait çoklu model için pareto grafiği

Yukarıdaki değerlendirmeler sonucunda belirlenen iki önemli parametre ile oluşturulan lineer model Denklem 4.3'te verilmiştir:

$$\text{Log giderim (Y)} = 2,680 + 0,620 \text{ H}_2\text{O}_2 \text{ konsantrasyonu (X}_2\text{)} - 0,742 \text{ AKM konsantrasyonu (X}_3\text{)} - 0,837 \text{ Ct Pt} \quad (4.3)$$

Lineer model için hesaplanan katsayılar Çizelge 4.11'de, modelin önemini test etmek amacıyla uygulanan ANOVA tablosu ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait lineer model için hesaplanan regresyon katsayıları

Terim	Katsayı	Standart Hata Katsayısı	t-değeri	P-değeri
Sabit	2,680	0,166	16,16	0,000
X <sub>2</sub>	0,620	0,166	3,74	0,007
X <sub>3</sub>	-0,742	0,166	-4,48	0,003
Ct Pt	-0,837	0,318	-2,63	0,034

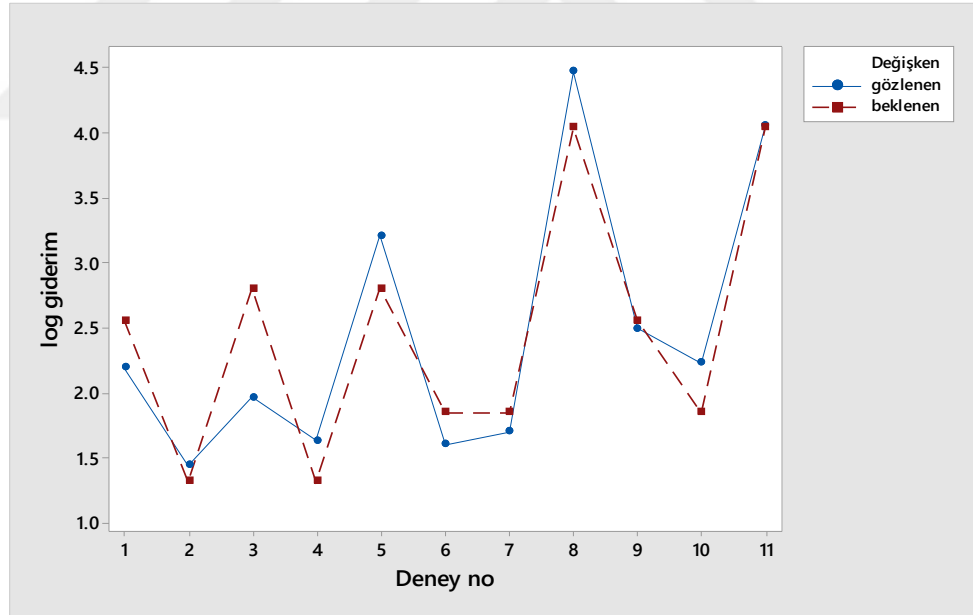
**Çizelge 4.12.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait lineer modelin ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F-değeri	P-değeri
<b>Model</b>	3	9,0129	3,0043	13,65	0,003
<b>Lineer</b>	2	7,4856	3,7428	17,01	0,002
X <sub>2</sub>	1	3,0752	3,0752	13,98	0,007
X <sub>3</sub>	1	4,4105	4,4105	20,04	0,003
<b>Curvature</b>	1	1,5273	1,5273	6,94	0,034
<b>Hata</b>	7	1,5402	0,2200		
Uyum eksikliği	5	1,3110	0,2622	2,29	0,332
Saf hata	2	0,2293	0,1146		
<b>Toplam</b>	10	10,5532			
S = 0,469075	R <sup>2</sup> = %85,41	<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup> = %79,15</b>			

Çizelge 4.12'deki ANOVA tablosunda görüldüğü gibi, p = 0,003 < 0,05 olup, modelin önemli olduğunu göstermektedir. Lineer model için, R<sup>2</sup> = %85,41 ve düzeltilmiş R<sup>2</sup> = %79,15 olarak bulunmuştur ve birbirleri ile uyumludur. Düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerine göre, logaritmik mikroorganizma giderimindeki varyasyonun % 79,15'i, lineer model ile açıklanabilmektedir. Varyasyonun, % 20,85'i ise açıklanamamaktadır.

Eğer merkezde bir eğrisellik (curvature) varsa, bu merkez noktadaki yanıtın, köşelerdeki tüm faktöriyel noktaların ortalama yanıtlarından, daha düşük veya daha yüksek olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.12'ye göre eğrisellik (curvature) için  $p = 0,034 < 0,05$  olup, istatistiksel olarak önemlidir. Eğriselliğinde önemli olması, 1. dereceden denklemin yeterli olmadığını, B ve C faktörleri için 2. dereceden model kurulması gerektiğini ve bu yeni model için daha fazla deney yapılmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Merkez noktaları içeren iki seviyeli faktöriyel dizayn ile, eğriselliğin test edilmesi mümkündür, ancak modellenemez.  $B^2$ ,  $C^2$  gibi terimlerin test edilebilmesi içinde yanıt yüzeyi metotları ile yeni dizaynlar yapılması önerilmektedir (He ve ark. 2013). Bu çalışmada, eğrisellik için yeni bir dizayn uygulanmamıştır.

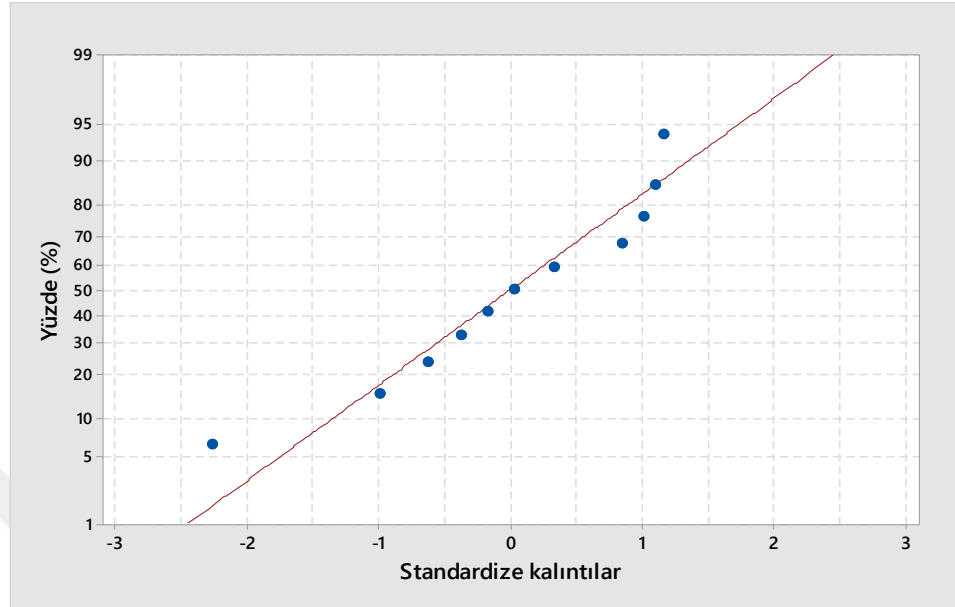
Şekil 4.25'te, her deney için, gözlenen (laboratuvar) ve beklenen (model) sonuçların birbiri ile uyumu görülmektedir. Tüm noktaların birbirine yakın olduğu, sadece 3.deneyde aradaki farkın büyük olduğu görülmektedir.



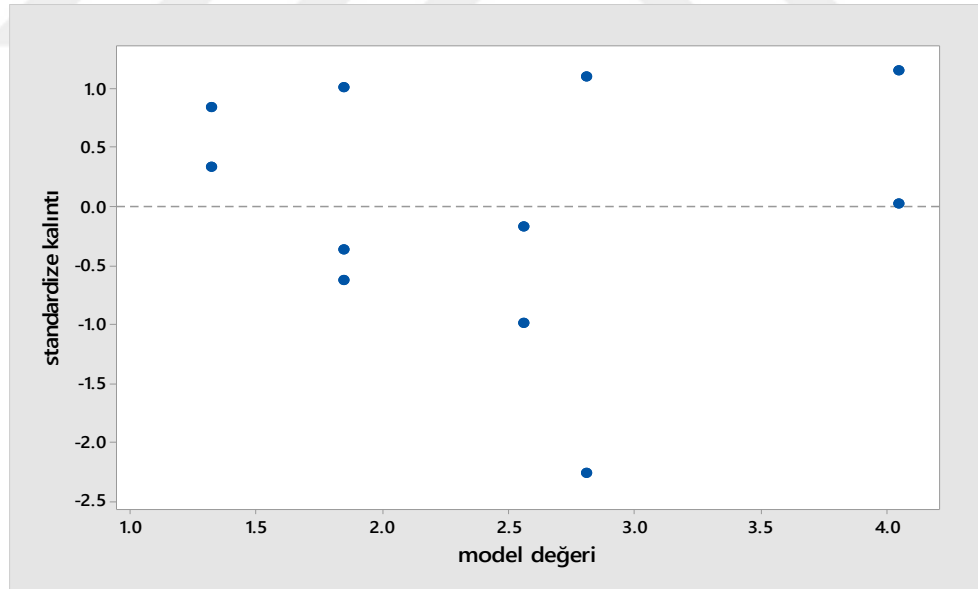
**Şekil 4.25.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait logaritmik mikroorganizma giderimi için beklenen ve gözlenen değerlerin karşılaştırılması

Şekil 4.26'da kalıntılar için normal olasılık dağılımı, Şekil 4.27'de kalıntılar-model değerler grafiği verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, kalıntıların, doğrudan çok büyük sapmalar göstermediği ve  $-2,5/+2,5$  değerleri arasında kaldığı görülmüş ve kalıntıların

normal dağılım gösterdiğine karar verilmiştir. Bu durumda, model için transformasyona ihtiyaç yoktur.



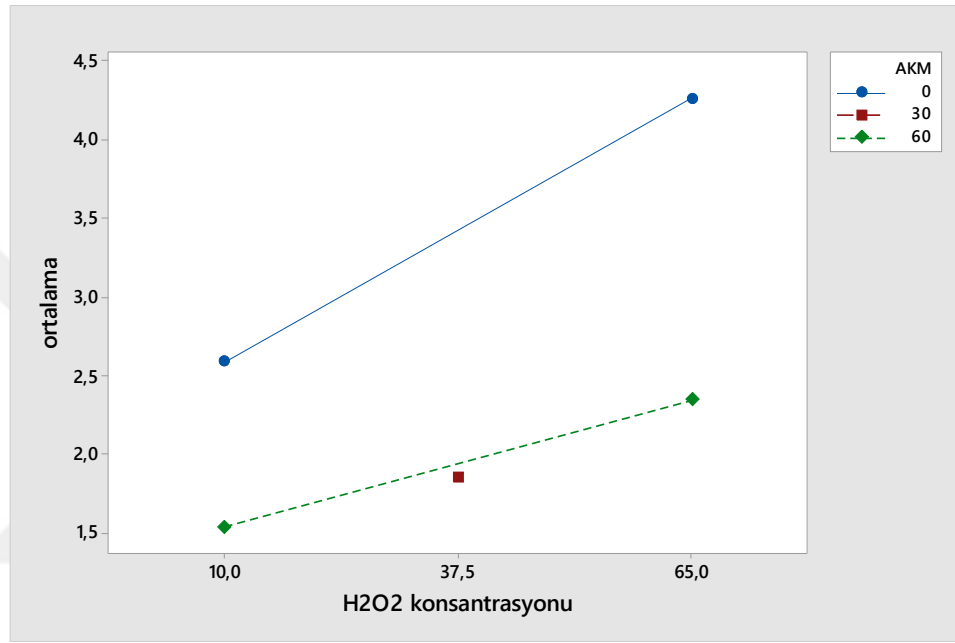
Şekil 4.26. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar için normal dağılım grafiği



Şekil 4.27. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar-model değerler grafiği

Şekil 4.28’de, logaritmik mikroorganizma giderimi için ana etkiler-etkileşim grafiği verilmiştir. Düz ve kesikli çizginin birbirine hemen hemen paralel olması, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve AKM konsantrasyonu arasında etkileşim olmadığını göstermektedir.

Düz çizgi üstte olduğundan, 0 mg/L AKM konsantrasyonunda, 60 mg/L AKM konsantrasyonuna göre, daha fazla mikroorganizma giderimi sağlanmaktadır. Çizgilerin sol tarafları daha aşağıda kaldığından, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonuna göre, daha az mikroorganizma giderimi sağlanmaktadır. Özet olarak, Şekil 4.28, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve AKM konsantrasyonu arasında etkileşim olmadığını, sadece ana etkilerinin olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.28.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait logaritmik mikroorganizma giderimi için ana etkiler-etkileşim grafiği

Çeşitli parametreler için başlangıç ve çıkış değerleri ile kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de verilmiştir. Prosesin genel ve istatistiksel değerlendirmesinin yapıldığı bu bölümde, diğer parametrelerinde değerlendirilmesi yapılmıştır.

**Çizelge 4.13.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri

DENEYLER		PARAMETRE								
		pH	Sıcaklık (°C)	İletkenlik (µs/cm)	Çözülmüş oksijen (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	UV-abs 254 nm (%T)	UV-abs 290 nm	UV-abs 360 nm	UV-abs 400 nm
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	6,95	20	77,5	9,5	4,75	0,152 (%70,5)	0,073	0,032	0,024
	<b>Çıkış</b>	7,29	29,9	86,4	8,01	5,4	0,268 (%54,0)	0,140	0,054	0,035
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,22	20	72	9,58	2,52	0,170 (%67,7)	-	-	-
	<b>Çıkış</b>	7,31	31	83	7,72	6,49	0,341 (%45,7)	-	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	6,97	18,3	202,2	9,95	2,71	0,516 (%30,5)	0,186	0,041	0,026
	<b>Çıkış</b>	7,54	28,3	216	8,34	4,55	0,649 (%22,4)	0,246	0,062	0,038
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,12	19,3	193,4	9,71	3,16	0,527 (%29,7)	0,195	0,046	0,030
	<b>Çıkış</b>	7,27	29,5	209,4	7,97	10,02	0,869 (%13,5)	0,350	0,112	0,071
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,3	17,3	71,5	10,16	57,6	0,447 (%35,7)	0,324	0,225	0,201
	<b>Çıkış</b>	7,08	29,2	82,6	8,34	54,7	0,485 (%32,7)	0,349	0,225	0,195



**Çizelge 4.13.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri (devamı)

DENEYLER		PARAMETRE								
		pH	Sıcaklık (°C)	İletkenlik (µs/cm)	Çözülmüş oksijen (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	UV-abs 254 nm (%T)	UV-abs 290 nm	UV-abs 360 nm	UV-abs 400 nm
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,26	17,9	75,6	10,96	56,9	0,461 (%34,6)	0,320	0,220	0,197
	<b>Çıkış</b>	6,74	29,6	86	8,14	57,7	0,542 (%28,7)	0,373	0,238	0,209
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,46	19	204,8	9,99	84,4	0,856 (%13,9)	0,498	0,294	0,258
	<b>Çıkış</b>	7,53	30,5	231	8,27	76,5	0,877 (%13,3)	0,513	0,289	0,248
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,33	18,5	199,1	10,11	86,7	0,875 (%13,3)	0,495	0,288	0,253
	<b>Çıkış</b>	7,15	28,7	219	8,52	87,4	1,034 (%9,24)	0,572	0,314	0,268
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :37,5 mg/L, KOİ:260 mg/L, AKM:30 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,35	18,7	147	10,52	40,2	0,539 (%28,9)	0,308	0,175	0,153
	<b>Çıkış</b>	7,50	30,9	163,6	8,09	39	0,632 (%23,3)	0,358	0,186	0,156

**Çizelge 4.14.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi sonrası kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri

DENEYLER	Kalan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)			
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	~3-3,5 mg/L (60 dk.)	~2 mg/L (120 dk.)	0 mg/L (240 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	~50 mg/L (60 dk.)	~20-25 mg/L (120 dk.)	~3 mg/L (240 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	~3-3,5 mg/L (60 dk.)	2 mg/L (120 dk.)	0,5 mg/L (240 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	30-50 mg/L (60 dk.)	~20-30 mg/L (120 dk.)	~10 mg/L (240 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	-	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	~20-25 mg/L (60 dk.)	7-8 mg/L (120 dk.)	0,5 mg/L (240 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	1,5 mg/L (30 dk.)		
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	7-8 mg/L (150 dk.)		
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :37,5 mg/L, KOİ:260 mg/L, AKM:30 mg/L	<b>Başlangıç</b>	37,5 mg/L		
	<b>Çıkış</b>	7-8 mg/L (60 dk.)	1,5 mg/L (120 dk.)	0 mg/L (180 dk.)

Sıcaklık değerleri, proses başlangıcında 17,3-20 °C, proses sonunda 28,3-31 °C aralığında değişmiştir. Çıkış değerleri, başlangıç değerlerine göre artış göstermiştir. Solar simülatörden gelen infrared ışınları etkisi ile sıcaklık artışı beklenen bir durumdur. Ancak, proses sonu sıcaklık değerlerinin, mikroorganizma giderimi üzerinde olumlu ya da olumsuz bir etkisinin olacağı düşünülmemektedir.

pH değerleri, proses başlangıcında 6,95-7,46, proses sonunda 6,74-7,54 aralığında değişmiştir. Proses sonunda, pH değerleri, genel olarak artma eğilimi göstermiştir. Ancak, nötral pH dışına çıkmamıştır.

İletkenlik değerleri, 90 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 71,5-77,5 µs/cm, proses sonunda 82,6-86,4 µs/cm aralığında değişmiştir. 430 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 193,4-204,8 µs/cm, proses sonunda 209,4-231 µs/cm aralığında değişmiştir. Proses sonunda, iletkenlik değerleri, tüm deneylerde artmıştır. Bu durumun, oluşan ara ürünlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çözünmüş oksijen değerleri, proses başlangıcında 9,5-10,96 mg/L, proses sonunda 7,72-8,52 mg/L aralığında değişmiştir. Proses sonunda, çözünmüş oksijen değerleri, bir miktar azalma göstermiştir. Solar reaktör, sirkülasyonlu bir sistem olduğundan, proses boyunca oksijen kazanımı gerçekleşmiş olup, oksijen konsantrasyonunda çok büyük azalmalar görülmemiştir.

Bulanıklık değerleri, proses başlangıcında 2,52-86,7 NTU, proses sonunda 4,55-87,4 NTU aralığında değişmiştir. Proses sonunda, bulanıklık değerleri, genel olarak artma eğilimi göstermiştir.

UV-abs (254 nm) (% T) değerleri, 90 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 0,152 (%70,5)-0,461 (%34,6), proses sonunda 0,268 (%54)-0,542 (%28,7) aralığında değişmiştir. 430 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 0,516 (%30,5)-0,875 (%13,3), proses sonunda 0,649 (%22,4)-1,034 (%9,24) aralığında değişmiştir. Ancak, UV-abs (254 nm) değerlerinin, güneş ışığına dayalı prosesler için önemi yoktur. Çünkü, bu dalgaboyundaki güneş ışığı dünyaya ulaşmamaktadır. Dünyaya ulaşan UV-B ve UV-A

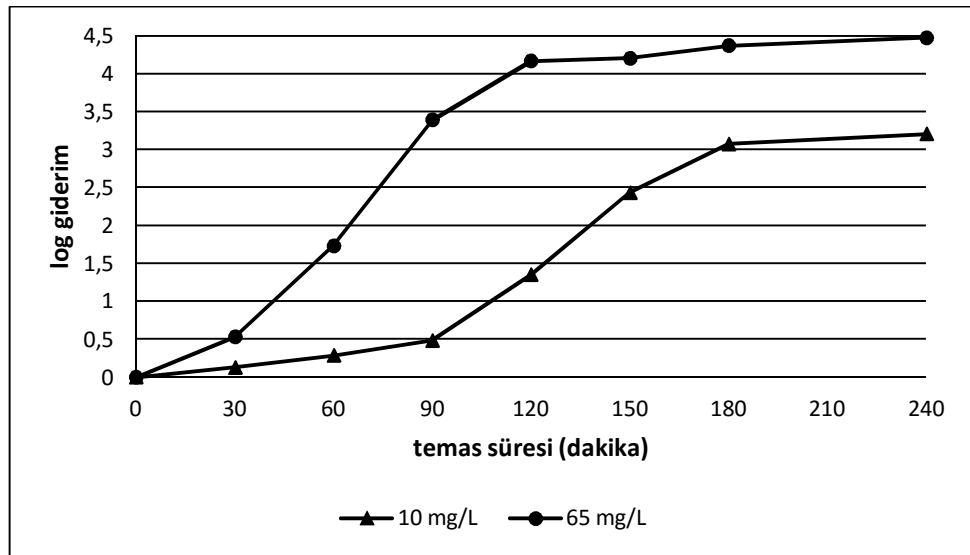
dalgaboylarının sudaki absorbansını belirlemek amacıyla, 290 nm ve 360 nm’de ölçümler yapılmıştır. UV-abs (290 nm) değerleri, proses başlangıcında 0,073-0,498 aralığında, proses sonunda 0,140-0,572 aralığında değişmiştir.

UV-abs (360 nm) değerleri, proses başlangıcında 0,032-0,294 aralığında, proses sonunda 0,054-0,314 aralığında değişmiştir. Proses sonunda, 300 nm ve 360 nm için UV-abs değerleri, tüm deneylerde artmıştır. Bu durumun, oluşan ara ürünlerden veya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>’nin parçalanmasıyla açığa çıkan ürünlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Hidroksil radikalleri, ortamdaki organik maddelerin moleküler ağırlığını, aromatik halkaları ve çift bağları kırmak suretiyle değiştirmiş olabilir (Souza ve ark. 2013) ve muhtemelen, oluşan ara ürünlerin ışık absorbansları daha fazladır.

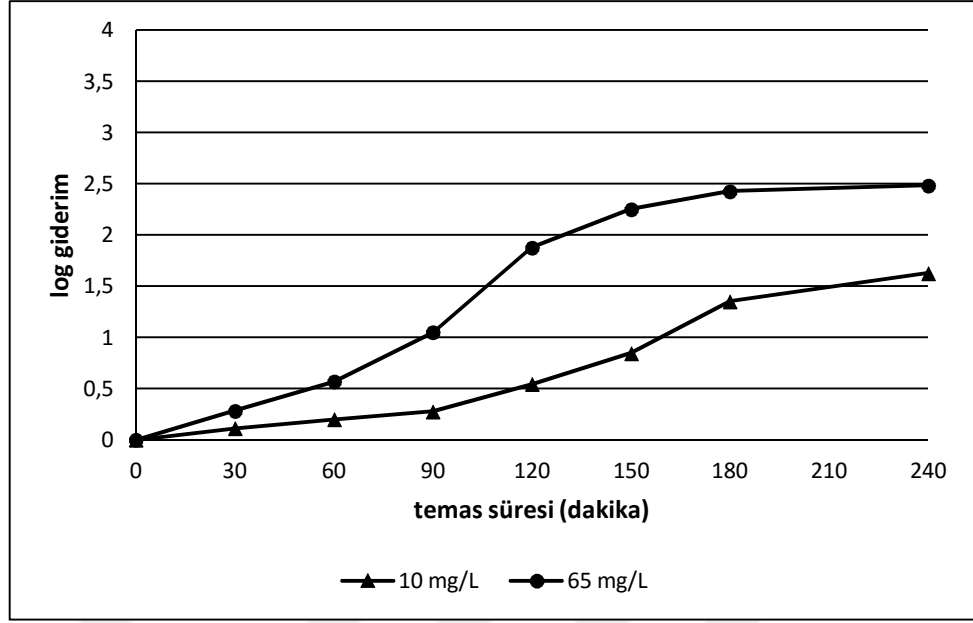
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>’nin büyük kısmı, özellikle başlangıç konsantrasyonu 10 mg/L olan deneylerde, ilk 1 saat içerisinde tüketilmektedir. Başlangıç konsantrasyonu 65 mg/L olan deneylerde ise, ilk 1 saat içerisinde daha yavaş tüketim gerçekleşirken, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu, 2 saat sonunda oldukça azalmıştır. 3. ve 4. saatlerin sonunda, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu, ya sıfırlanmıştır ya da çok azalmıştır. 60 mg/L AKM içeren deneylerde, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, daha hızlı tüketilmiştir.

#### 4.1.2.3. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi

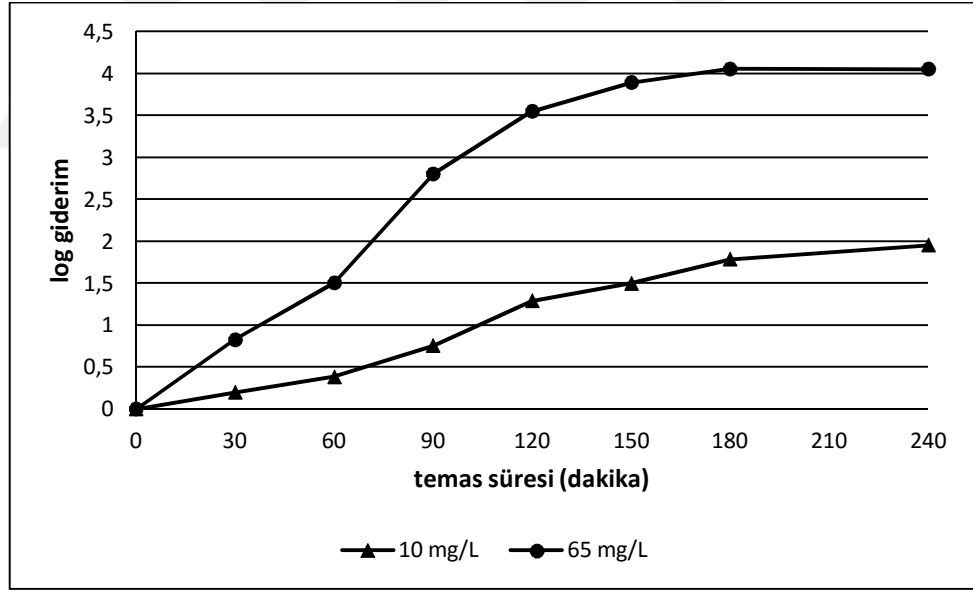
Seçilen düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının farklı AKM ve organik madde konsantrasyonlarında, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de verilmiştir. Bu şekillerden görülmektedir ki, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ile, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonuna göre daha iyi mikroorganizma giderimleri elde edilmiştir. Bu gözlem, önceki bölümde verilen istatistiksel analizlerle de kanıtlanmıştır. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’a göre, 2 saat sonunda, KOİ: 90 mg/L ve AKM: 0 mg/L konsantrasyonlarında, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 1,35-log giderim elde edilirken, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 4,17-log giderim elde edilmiştir. AKM: 60 mg/L konsantrasyonunda ise, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 0,54-log giderim elde edilirken, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile sadece 1,88-log giderim elde edilmiştir. Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’e göre, 2 saat sonunda, KOİ: 430 mg/L ve AKM: 0 mg/L konsantrasyonlarında, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 1,29-log giderim elde edilirken, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 3,55-log giderim elde edilmiştir. AKM: 60 mg/L konsantrasyonunda ise, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 0,65-log giderim elde edilirken, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile sadece 1,92-log giderim elde edilmiştir. Bu sonuçlar göstermektedir ki, AKM konsantrasyonunun 0 mg/L olması durumunda, her iki organik madde konsantrasyonu için, yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi daha belirgindir.



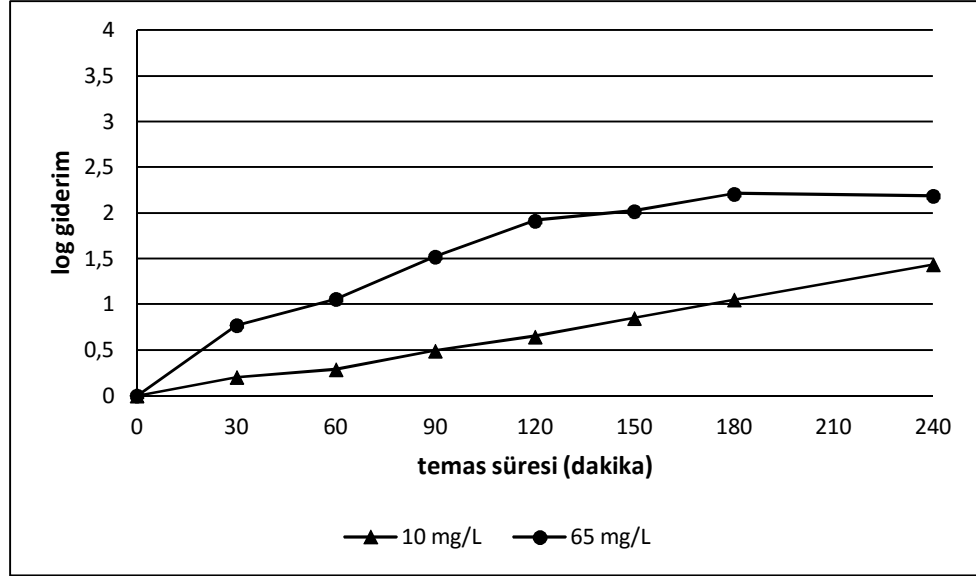
Şekil 4.29. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.30. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.31. KOİ: 430 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



**Şekil 4.32.** KOİ: 430 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi

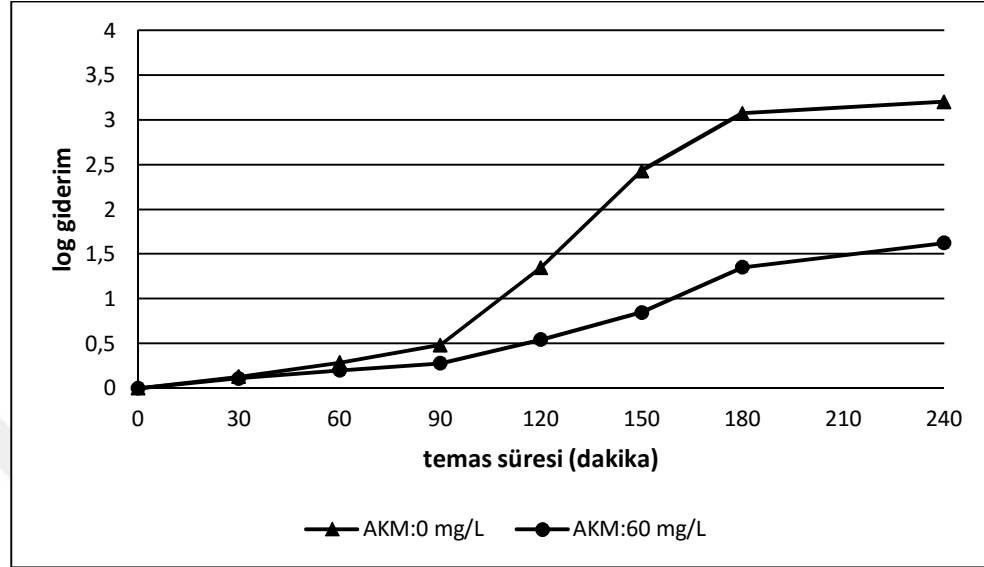
#### 4.1.2.4. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine AKM konsantrasyonunun etkisi

Seçilen düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve organik madde konsantrasyonlarında, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da verilmiştir. Bu şekillerden görülmektedir ki, atıksuda AKM konsantrasyonu 0 mg/L ise, mikroorganizma giderimi daha fazladır. 60 mg/L AKM konsantrasyonu uygulanması sonucunda, mikroorganizma giderimi azalmaktadır. Bu gözlem, önceki bölümde verilen istatistiksel analizlerle de kanıtlanmıştır.

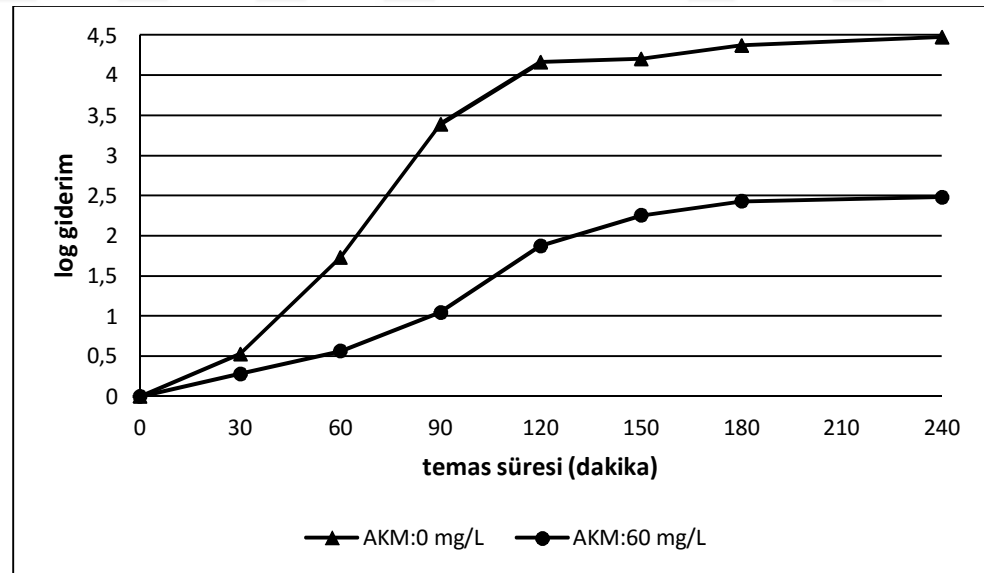
Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’e göre, 2 saat sonunda, KOİ: 90 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L konsantrasyonlarında, AKM: 0 mg/L için 1,35-log giderim elde edilirken, AKM: 60 mg/L için 0,54-log giderim elde edilmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L konsantrasyonunda ise, AKM: 0 mg/L için 4,17-log giderim elde edilirken, AKM: 60 mg/L için 1,88-log giderim elde edilmiştir.

Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’a göre, 2 saat sonunda, KOİ: 430 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L konsantrasyonlarında, AKM: 0 mg/L için 1,29-log giderim elde edilirken, AKM: 60 mg/L için 0,65-log giderim elde edilmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L konsantrasyonunda ise, AKM: 0

mg/L için 3,55-log giderim elde edilirken, AKM: 60 mg/L için 1,92-log giderim elde edilmiştir. Burada, AKM'nin olumsuz etkisini baskılamak için, yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının tercih edilmesi gerektiğini vurgulamak gerekir.

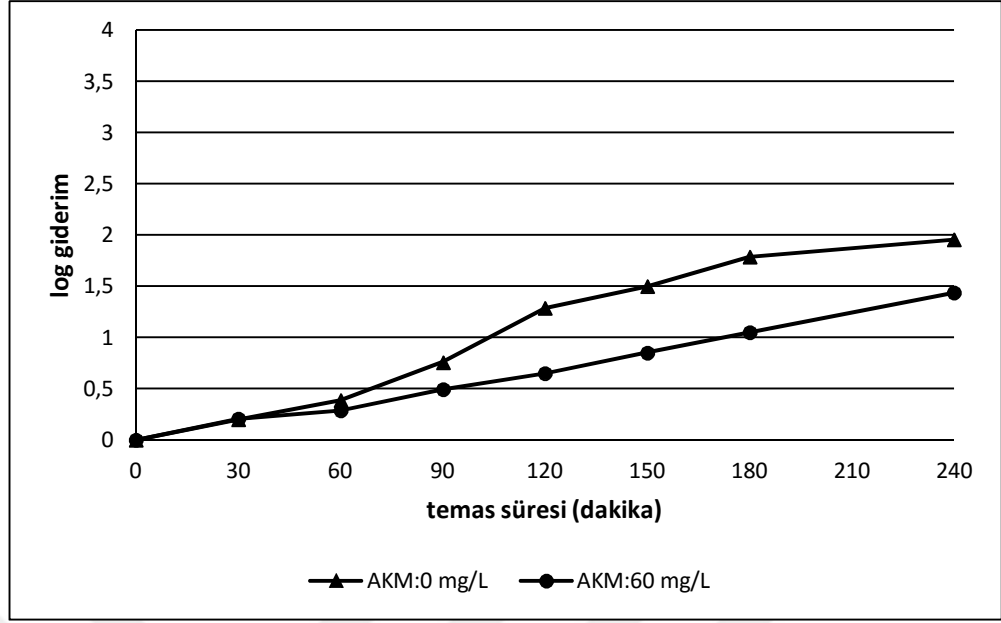


Şekil 4.33. KOİ: 90 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi

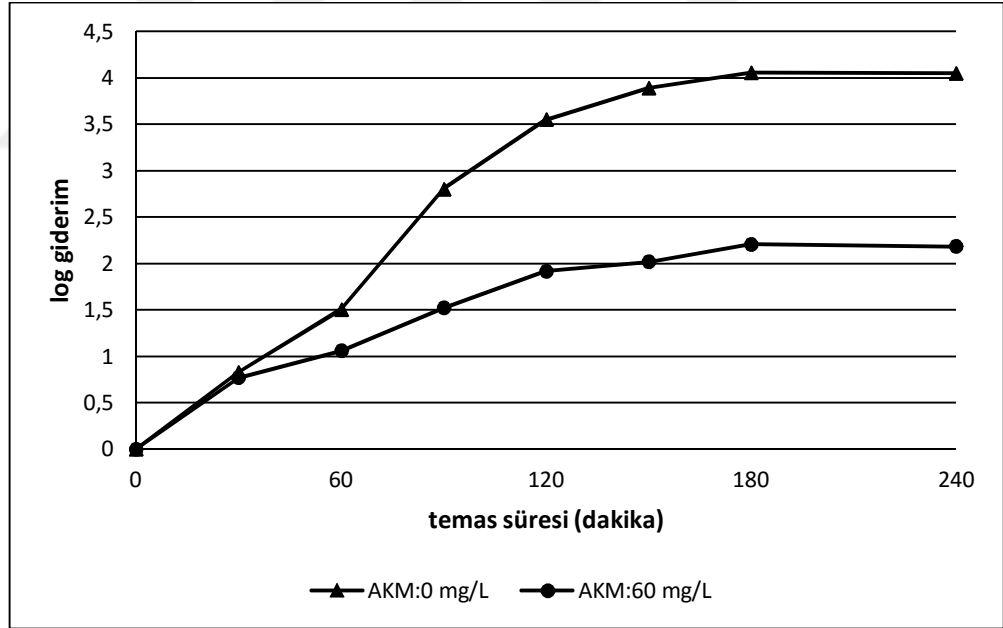


Şekil 4.34. KOİ: 90 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi





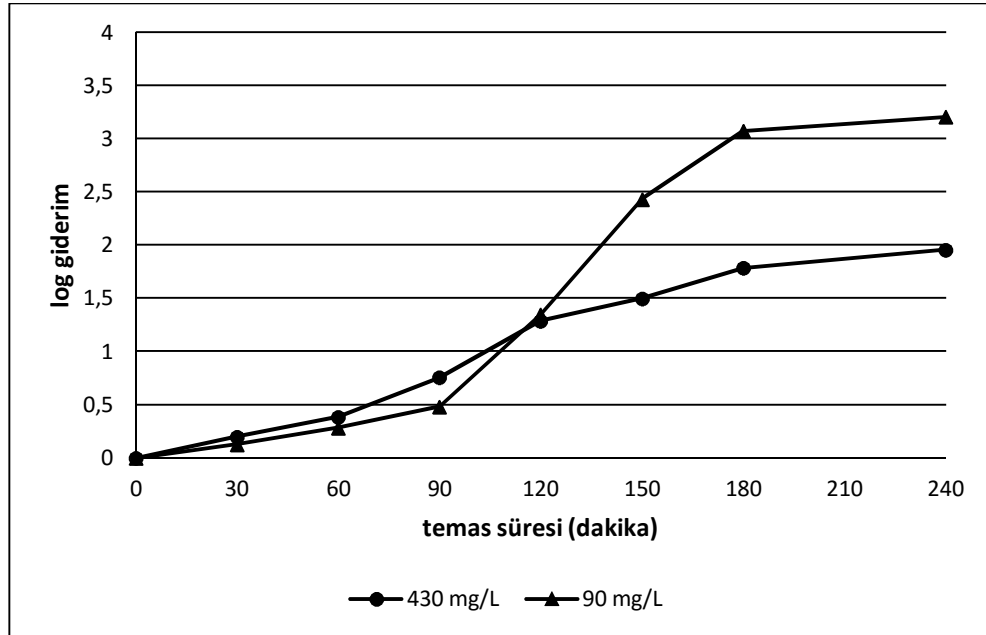
Şekil 4.35. KOİ: 430 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi



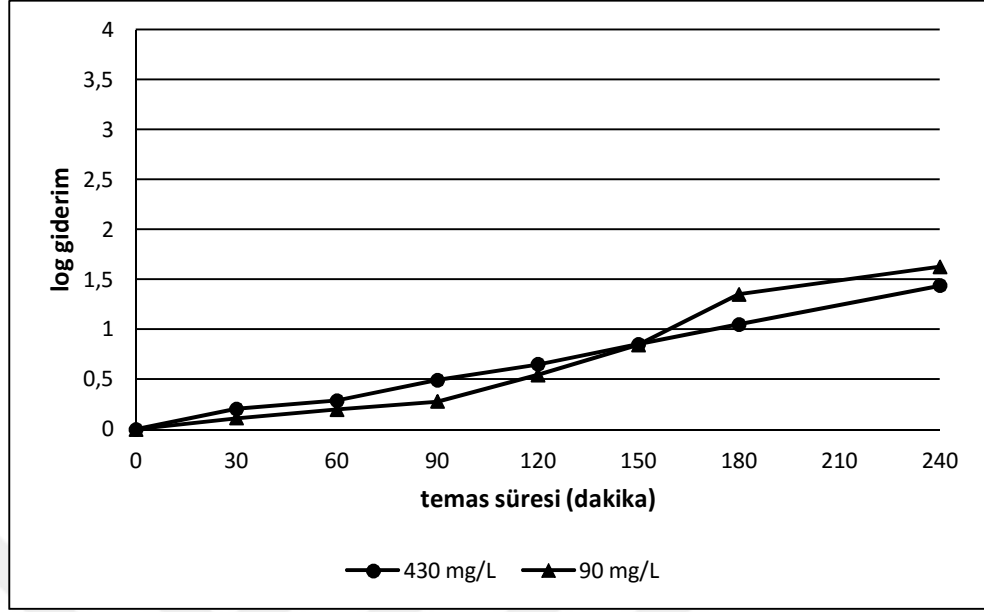
Şekil 4.36. KOİ: 430 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.1.2.5. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi

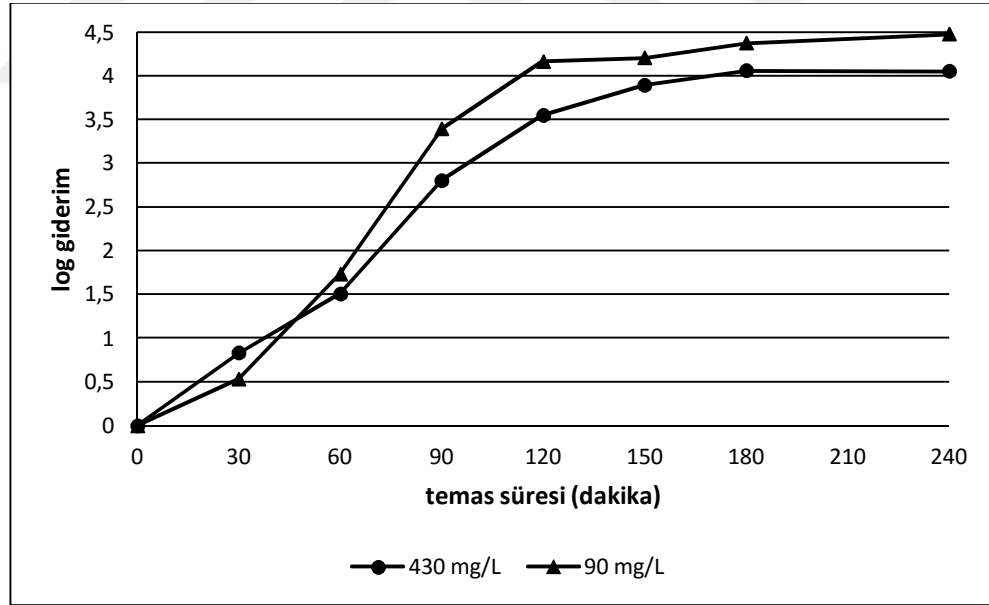
Seçilen düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve AKM konsantrasyonlarında solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da verilmiştir. Bölüm 4.1.2.2'de yapılan istatistiksel analizlerde, organik madde konsantrasyonunun mikroorganizma giderimi üzerinde etkili olmadığı belirlenmiş ve oluşturulan modele eklenmemiştir. Aşağıdaki grafiklerde bu sonucu desteklemektedir. Şekiller incelendiğinde, 90 mg/L ve 430 mg/L KOİ'ye ait grafiklerin hemen hemen çakıştığı görülmektedir. Sadece, Şekil 4.37'de, 2 saatten sonra 90 mg/L KOİ'ye sahip atıksuda daha fazla giderim elde edildiği görülmüştür. Atıksuda bulunan organik maddeler bulanıklık oluşturmaktadır. Düşük organik madde konsantrasyonunun oluşturacağı bulanıklık, yüksek organik madde konsantrasyonuna göre daha az olacaktır. Ayrıca, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin de suda bulanıklık oluşturduğu bilinmektedir. 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin oluşturacağı bulanıklıkta daha az olacaktır. Proses sırasında, 2 saat içinde miktarı da azaldığından (kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 2 mg/L) ortamdaki bulanıklıkta azalacaktır. Organik madde ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kaynaklı bulanıklık etkisinin daha az olması sebebiyle, 2 saatten sonra giderim artmış olabilir.



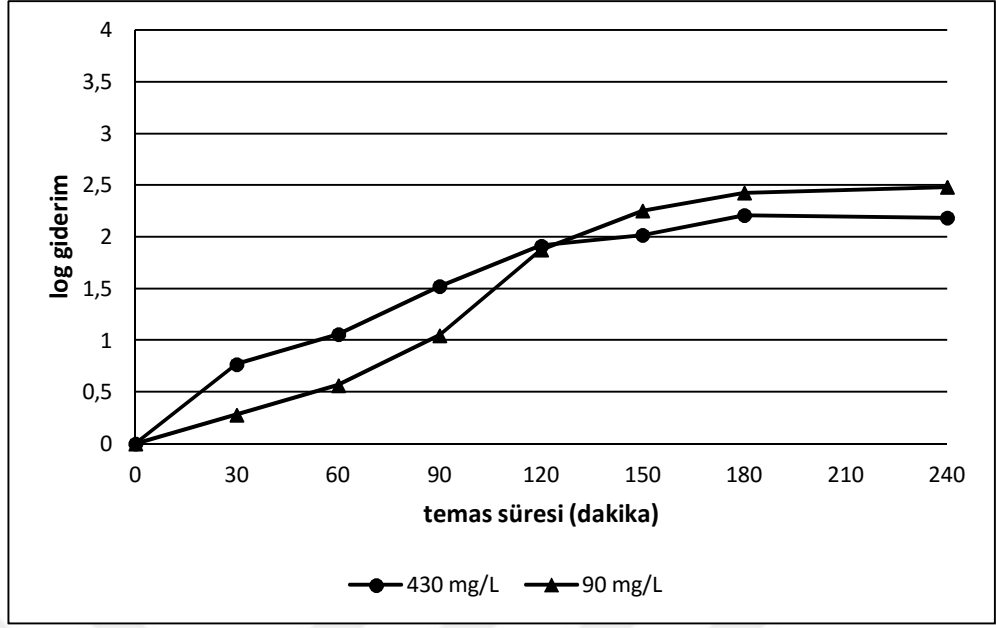
Şekil 4.37. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.38. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.39. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.40. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.1.3. Sahada gerçekleştirilen solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve solar/TiO<sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları

Sürekli sistem ile çalışmalara başlamadan önce, hem kesikli sistemlerdeki etkiyi, hem de farklı camlar kullanıldığında giderim açısından fark olup olmadığını görebilmek amacıyla, beher ve tüplerde (borosilikat ve quartz) denemeler yapılmıştır. Tüplerde, 0 mg/L ve 1 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında içme suyunda çalışılmıştır. TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu, bulanıklığı arttırmamak için düşük seçilmiştir. 10:30-15:30 saatleri arasında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hava, çalışma süresince açık ve güneşli olup, 5 saat sonunda hava sıcaklığı 42-43 °C, tüp içindeki su sıcaklıkları ise 43-46 °C arasında olmuştur. Düz zemine reflektörler yerleştirilmiş ve üzerlerine birer adet quartz ve borosilikat tüp yerleştirilmiştir. Başlangıçta ve 5 saat sonunda olmak üzere iki kez örnek alınmıştır. Bu deneylerde başlangıçta 10<sup>6</sup> CFU/ml olan bakteri sayısı 5 saat sonunda sıfırlanmıştır.

Deneylerde kullanılan tüplerin uzunluğu 104 cm, dış çapı 29 mm ve iç çapı 26 mm'dir. Buna göre, ışık gören yüzey alanı, 1,04 m x 0,029 m = 0,030 m<sup>2</sup>'dir. Tüpün tamamı ışık gördüğünden, ışık alan toplam tüp hacmi ise,  $\pi \times (0.26/2)^2 \times 10.4 = 0.55 \text{ dm}^3 = 0,55 \text{ L}$ 'dir. Denklem (3.4)'ten, 1 mg/L TiO<sub>2</sub> uygulanan deney için toplam kümülatif UV-A değeri 192,8 kJ/m<sup>2</sup> (10.51 kJ/L) ve 0 mg/L TiO<sub>2</sub> uygulanan deney için toplam kümülatif UV-A değeri 214 kJ/m<sup>2</sup> (11.67 kJ/L) olarak hesaplanmıştır. Sürekli sistemlerde, su, reaktör, tank ve hortumlar içinde dolanım halindedir. Sadece cam reaktörden geçerken ışık almakta, hortumlar ve tank içinde ise, ışık suya ulaşmamaktadır. Sonuçta, giderim verimi etkilenmektedir. Kesikli sistemlerde ise durum farklıdır. Su, sirkülasyon halinde olmadığından, sürekli güneş ışığı almaktadır. UV radyasyonu, kesilmeden, sürekli olarak bakterilere ulaştığından, tam inaktivasyonun sağlandığı söylenebilir.

Beher denemesinde ise, sentetik evsel atıksu ile çalışılmış ve 1 mg/L ve 100 mg/L konsantrasyonlarında TiO<sub>2</sub> uygulanmıştır. Beher yüksekliği 9,5 cm, beher çapı 8 cm, beherdeki su yüksekliği 6,5 cm'dir. Işık alan yüzey alanı, 6,5 cm x 8 cm = 52 cm<sup>2</sup>'dir. Beharlere 200 ml sentetik evsel atıksu konulmuştur. 11:00-14:00 saatleri arasında çalışma gerçekleştirilmiştir. Hava, çalışma süresince kapalı, zaman zaman güneşli olmuştur. Tepsi içine alüminyum folyo konularak, beherler tepsiye yerleştirilmiş ve 0, 60, 120 ve

180. dk.'larda örnek alınmıştır. Düşük TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda, başlangıçta 10<sup>6</sup> CFU/ml olan bakteri sayısı 60 dakika sonra (31 kJ/m<sup>2</sup>) (0,81 kJ/L), 6,2 x 10<sup>4</sup> CFU/ml olmuş ve 120 dakika sonra (71,8 kJ/m<sup>2</sup>) (1,87 kJ/L) sıfırlanmıştır. Beher denemelerinde TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 100 mg/L'ye çıkarılmasıyla, giderimin azaldığı görülmüştür. Başlangıçta 10<sup>6</sup> CFU/ml olan bakteri sayısı 180 dakika sonra (116,4 kJ/m<sup>2</sup>) (3,03 kJ/L), 1,72 x 10<sup>4</sup> CFU/ml değerine inmiştir. Hava kapalı olmasına rağmen, 1 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda 60 dk.'da tam giderimin sağlanması, ancak 100 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda 180 dk.'da sadece 2-log giderimin elde edilmesi, TiO<sub>2</sub> nedeniyle oluşan bulanıklığın bakteri giderimi üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir.

Temmuz-Ekim ayları arasında gerçekleştirilen saha denemelerinde, solar/TiO<sub>2</sub> prosesi kullanılmış ve KOİ: 90 mg/L ve pH: 7 değerlerinde çalışılmıştır. Solar CPC reaktör ile, optimum TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu ve akış hızı ortaya konmaya çalışılmıştır. Deneyler *E.coli* ile gerçekleştirilmiş, *B.subtilis* sporları ile iki deneme yapılmıştır.

Solar CPC reaktörün, tankında bulunan toplam su hacmi 20 L'dir. Tüplerden geçen ve ışık alan su hacmi ( $V_{ill}$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Tüp alanı} = \pi \times (\text{iç yarıçap})^2$$

$$\text{Tüp alanı} = \pi \times (26/2)^2$$

$$\text{Tüp alanı} = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$V_{ill} = \text{Tüp alanı} \times \text{Tüp uzunluğu} \times \text{Tüp sayısı}$$

$$V_{ill} = 530,66 \text{ mm}^2 \times 960 \text{ mm} \times 6 \text{ tüp} = 3,1 \text{ dm}^3$$

$$V_{ill} = 3,1 \text{ L}$$

Buna göre, tüplerden her su geçtiğinde, tank içindeki 20 L suyun, 3,1 L'si ışığa maruz kalmaktadır.

Temmuz-Ekim ayları arasında deney yapılan günlerde hava sıcaklığı 21-43 °C aralığında, su sıcaklığı ise 24-52 °C aralığında değişmiştir. Reaktöre ulaşan ışık yoğunlukları, gün içindeki hava koşullarına ve saate bağlı olarak, UV-A için 3,86-27,9 W/m<sup>2</sup>, UV-B için

0,276-1,67 W/m<sup>2</sup>, global radyasyon için 187-1258 W/m<sup>2</sup> değerlerini almıştır. Kümülatif UV-A enerjisi, 4,88- 8,55 kJ/L aralığında değişmiştir. Saha denemelerine ait sonuçlar Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir.



**Çizelge 4.15.** TiO<sub>2</sub> Fotokatalizi ile elde edilen sonuçlar

ŞARTLAR	(1) Akış hızı: 4,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 50 mg/L	(2) Akış hızı: 4,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L	(3) Akış hızı: 0,21 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L	(4) Akış hızı: 0,21 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 20 mg/L	(5) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L	(6) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(7) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(8) Akış hızı: 15 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(9) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(10) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 200 mg/L	(11) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 300 mg/L
<b><i>E.coli</i> SAYILARI (CFU/ml)</b>											
Ham su	4,4 x 10 <sup>5</sup>	4,1 x 10 <sup>5</sup>	1,54 x 10 <sup>6</sup>	1,45 x 10 <sup>6</sup>	1,13 x 10 <sup>6</sup>	9,4 x 10 <sup>5</sup>	1,27 x 10 <sup>6</sup>	1,25 x 10 <sup>6</sup>	1,05 x 10 <sup>6</sup>	1,15 x 10 <sup>6</sup>	1,10 x 10 <sup>6</sup>
60 dk.	4,16 x 10 <sup>5</sup>	3,8 x 10 <sup>5</sup>	7,7 x 10 <sup>5</sup>	1,16 x 10 <sup>6</sup>	9,2 x 10 <sup>5</sup>	1,17 x 10 <sup>6</sup>	8,9 x 10 <sup>5</sup>	1,22 x 10 <sup>6</sup>	1,20 x 10 <sup>6</sup>	7,8 x 10 <sup>5</sup>	8,9 x 10 <sup>5</sup>
120 dk.	3,48 x 10 <sup>5</sup>	3,26 x 10 <sup>5</sup>	7,0 x 10 <sup>5</sup>	1,20 x 10 <sup>6</sup>	8,7 x 10 <sup>5</sup>	8,2 x 10 <sup>5</sup>	1,73 x 10 <sup>5</sup>	3,3 x 10 <sup>5</sup>	8,3 x 10 <sup>5</sup>	7,4 x 10 <sup>3</sup>	1,10 x 10 <sup>4</sup>
180 dk.	2,22 x 10 <sup>5</sup>	2,64 x 10 <sup>5</sup>	9,8 x 10 <sup>5</sup>	1,31 x 10 <sup>6</sup>	5,5 x 10 <sup>5</sup>	3,52 x 10 <sup>5</sup>	5,9 x 10 <sup>4</sup>	8,1 x 10 <sup>4</sup>	7,4 x 10 <sup>4</sup>	3,0 x 10 <sup>3</sup>	1,10 x 10 <sup>4</sup>
240 dk.	8,92 x 10 <sup>4</sup>	1,89 x 10 <sup>5</sup>	1,25 x 10 <sup>6</sup>	1,38 x 10 <sup>6</sup>	2,68 x 10 <sup>5</sup>	9,9 x 10 <sup>4</sup>	7,0 x 10 <sup>4</sup>	7,6 x 10 <sup>3</sup>	6,0 x 10 <sup>4</sup>	1,49 x 10 <sup>3</sup>	1,20 x 10 <sup>4</sup>
300 dk.	-	-	5,58 x 10 <sup>5</sup>	1,56 x 10 <sup>6</sup>	1,87 x 10 <sup>5</sup>	-	-	7,0 x 10 <sup>3</sup>	1,8 x 10 <sup>3</sup>	1,23 x 10 <sup>3</sup>	9,6 x 10 <sup>3</sup>
Hava sıcaklığı değişim aralığı	-	32 °C-37 °C	32 °C-43 °C	35 °C-43 °C	37 °C-40 °C	30 °C-34 °C	34 °C-38 °C	29 °C-36 °C	33 °C-37 °C	31 °C-36 °C	21 °C-29 °C
Su sıcaklığı değişim aralığı	31 °C-37 °C	29 °C-36 °C	29 °C-40 °C	30 °C-41 °C	29 °C-39 °C	27 °C-33 °C	27 °C-38 °C	31 °C-47 °C	29 °C-52 °C	26 °C-51 °C	24 °C-44 °C
Bulanıklık giriş (NTU)	-	8,12	6,56	100	29	495	518	540	640	1020	1650
Bulanıklık çıkış (NTU)	-	11,7	5,44	66	13	250	452	455	585	890	1622



**Çizelge 4.15.** TiO<sub>2</sub> Fotokatalizi ile elde edilen sonuçlar (devamı)

<b>ŞARTLAR</b>	(1) Akış hızı: 4,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 50 mg/L	(2) Akış hızı: 4,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L	(3) Akış hızı: 0,21 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L	(4) Akış hızı: 0,21 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 20 mg/L	(5) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L	(6) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(7) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(8) Akış hızı: 15 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(9) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(10) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 200 mg/L	(11) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 300 mg/L
<b>Hava durumu</b>	Açık, güneşli	Parçalı bulutlu	Açık, güneşli	Açık, güneşli	Açık, güneşli	Güneşli, zaman zaman bulutlu	Açık, güneşli	Güneşli, zaman zaman bulutlu	Açık, güneşli	Güneşli, zaman zaman bulutlu	Parçalı bulutlu
<b>Çalışma saatleri</b>	11:30-15:30	11:00-15:00	10:30-15:30	10:30-15:30	10:30-15:30	10:30-14:30	10:30-15:30	10:30-15:30	10:30-15:30	10:30-15:30	10:30-15:30
<b>UV-A (W/m<sup>2</sup>)</b>	3,86-21,5	4,66-24,4	5,43-23,8	6,32-21,9	9,06-22,5	4,41-27,3	4,52-27,9	4,88-22,0	5,45-23,4	4,55-22,6	4,91-23,0
<b>UV-B (W/m<sup>2</sup>)</b>	0,276-1,488	0,413-1,606	0,473-1,67	0,772-1,238	0,624-1,604	0,403-2,18	0,391-2,08	0,383-1,384	0,441-1,507	0,374-1,622	0,391-1,616
<b>Global radyasyon (W/m<sup>2</sup>)</b>	264-947	209-1041	494-953	559-890	740-964	211-1258	231-1150	230-1034	596-985	552-1048	187-1128
<b>Kümülatif UV-A enerjisi (kJ/L)</b>	5,96	4,88	8,29	7,80	7,50	6,25	8,55	7,40	8,24	7,6	5,6

**Çizelge 4.15. TiO<sub>2</sub> Fotokatalizi ile elde edilen sonuçlar (devamı)**

<b>ŞARTLAR</b>	(1) Akış hızı: 4,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 50 mg/L	(2) Akış hızı: 4,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L	(3) Akış hızı: 0,21 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 1 mg/L	(4) Akış hızı: 0,21 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 20 mg/L	(5) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 5 mg/L	(6) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(7) Akış hızı: 5,65 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(8) Akış hızı: 15 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(9) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 100 mg/L	(10) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 200 mg/L	(11) Akış hızı: 10 L/dk. TiO <sub>2</sub> : 300 mg/L
<b>pH başlangıç</b>	7,33	6,99	7,33	7,23	7,25	7,22	7,29	7,40	7,10	7,26	7,20
<b>pH çıkış</b>	7,65	7,65	7,22	7,17	7,50	7,06	7,31	7,60	7,17	7,51	6,86
<b>İletkenlik başlangıç (µs/cm)</b>	69,9	58,1	62,5	62,2	63,4	59,6	69,8	68,5	57,1	70,8	64,1
<b>İletkenlik çıkış (µs/cm)</b>	82,4	66,8	76,4	78,1	69,8	74,5	90,3	83,6	78,3	93,9	93,3
<b>Çözünmüş oksijen başlangıç (mg/L)</b>	6,82	8,06	7,67	7,73	7,57	7,84	7,77	7,92	7,70	8,46	8,55
<b>Çözünmüş oksijen çıkış (mg/L)</b>	6,84	7,34	5,40	4,06	6,73	7,47	7,08	6,30	6,04	5,63	6,25
<b>UV-abs (254 nm) başlangıç</b>	-	0,025 (%94,4)	0,099 (%79,6)	0,517 (%30,4)	0,349 (%44,8)	2,659 (%0,22)	2,622 (%0,24)	3,064 (%0,09)	3,525 (%0,03)	5,264 (%0,0005)	8,941 (%0)
<b>UV-abs (254 nm) çıkış</b>	-	0,069 (%85,3)	0,235 (%58,2)	0,538 (%29,0)	0,293 (%50,9)	1,398 (%4,00)	1,336 (%4,61)	1,594 (%2,55)	2,514 (%0,31)	2,588 (%0,26)	4,535 (%0,003)
<b>UV-abs (300 nm) başlangıç</b>	-	-	0,020	0,462	0,251	2,654	2,618	3,073	3,645	5,429	9,001
<b>UV-abs (300 nm) çıkış</b>	-	-	0,136	0,479	0,200	1,309	1,254	1,557	2,552	2,611	4,563
<b>UV-abs (360 nm) başlangıç</b>	-	-	0,042	0,357	0,157	2,083	1,884	2,092	2,352	3,870	6,209
<b>UV-abs (360 nm) çıkış</b>	-	-	0,067	0,341	0,102	0,922	1,047	1,390	2,066	2,458	3,922

**Çizelge 4.16. *B.Subtilis* sporları ile elde edilen sonuçlar**

<b>ŞARTLAR</b>	<b>(12) Akış hızı: 10 L/dk. TiO<sub>2</sub>: 100 mg/L (atıksu-fotokataliz)</b>	<b>(13) Akış hızı: 10 L/dk. TiO<sub>2</sub>: 0 mg/L (içme suyu-sadece ışık)</b>
<b><i>B.SUBTİLİS</i> SPOR SAYILARI (CFU/ml)</b>		
<b>Ham su</b>	9,0 x 10 <sup>4</sup>	6,6 x 10 <sup>4</sup>
<b>60 dk.</b>	8,0 x 10 <sup>4</sup>	7,2 x 10 <sup>4</sup>
<b>120 dk.</b>	6,4 x 10 <sup>4</sup>	8,2 x 10 <sup>4</sup>
<b>180 dk.</b>	5,0 x 10 <sup>4</sup>	7,3 x 10 <sup>4</sup>
<b>240 dk.</b>	4,8 x 10 <sup>4</sup>	9,0 x 10 <sup>4</sup>
<b>300 dk.</b>	4,7 x 10 <sup>4</sup>	6,5 x 10 <sup>4</sup>
<b>Gün içinde hava sıcaklığı değişim aralığı</b>	22 °C-30 °C	22 °C-32 °C
<b>Gün içinde su sıcaklığı değişim aralığı</b>	21 °C-46 °C	20 °C-47 °C
<b>Bulanıklık giriş (NTU)</b>	510	35,5
<b>Bulanıklık çıkış (NTU)</b>	420	24,3
<b>Hava durumu</b>	Açık, güneşli	Açık, güneşli
<b>Çalışma saatleri</b>	10:00-15:00	10:30-15:30
<b>UV-A (W/m<sup>2</sup>)</b>	5,6-19,6	3,47-13,13
<b>UV-B (W/m<sup>2</sup>)</b>	0,389-1,259	0,225-0,838
<b>Global radyasyon (W/m<sup>2</sup>)</b>	664-1055	606-988
<b>Kümülatif UV-A enerjisi (kJ/L)</b>	7,08	4,70

**Çizelge 4.16. *B.Subtilis* sporları ile elde edilen sonuçlar (devamı)**

<b>ŞARTLAR</b>	<b>(12) Akış hızı: 10 L/dk. TiO<sub>2</sub>: 100 mg/L (atıksu-fotokataliz)</b>	<b>(13) Akış hızı: 10 L/dk. TiO<sub>2</sub>: 0 mg/L (içme suyu-sadece ışık)</b>
<b>pH başlangıç</b>	7,27	7,51
<b>pH çıkış</b>	7,38	7,86
<b>İletkenlik başlangıç (µs/cm)</b>	67,1	30,6
<b>İletkenlik çıkış (µs/cm)</b>	86,6	32,9
<b>Çözülmüş oksijen başlangıç (mg/L)</b>	9,20	7,27
<b>Çözülmüş oksijen çıkış (mg/L)</b>	6,24	6,00
<b>UV-abs (254 nm) başlangıç</b>	2,773 (%0,17)	0,164 (%68,5)
<b>UV-abs (254 nm) çıkış</b>	1,782 (%1,65)	0,097 (%79,9)
<b>UV-abs (300 nm) başlangıç</b>	2,758	0,164
<b>UV-abs (300 nm) çıkış</b>	1,769	0,103
<b>UV-abs (360 nm) başlangıç</b>	1,937	0,157
<b>UV-abs (360 nm) çıkış</b>	1,521	0,093

En iyi dezenfeksiyon verimlerini elde etmek için optimum TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu ve yüksek akış hızlarında çalışmak önemlidir (Ibanez ve ark. 2009). Çizelge 4.15 incelendiğinde, çok düşük ve çok yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları (1-300 mg/L) ve akış hızları (0,21-15 L/dk) aralıklarında çalışıldığı görülmektedir.

Bölüm 4.1.1.1’de de belirtildiği gibi, optimum katalist konsantrasyonun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen pekçok bilimsel çalışmada, birbirinden çok farklı sonuçlar elde edilmiş ve bu durum, esasen, gelen ışık yoğunluğuna ve fotoreaktör geometrisine bağlanmıştır (Malato ve ark. 2009). Reaktöre ulaşan enerji miktarı ve ışığın fotoreaktör içindeki dağılımı önemlidir. Bu nedenle, saha ve laboratuvar çalışmalarında kullanılan reaktörlerde, farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının, farklı giderim verimleri sağlayabileceği açıktır. Literatürde, dış ortamda TiO<sub>2</sub> fotokatalizi uygulanan dezenfeksiyon çalışmalarında genellikle 100 mg/L ve üzerindeki konsantrasyonlar uygulanmıştır. Agullo-Barcelo ve ark. (2013) gerçek atıksulara TiO<sub>2</sub> fotokatalizi prosesini uygulamışlar ve 100 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda çalışmışlardır. Lydakis-Simantiris ve ark. (2010), evsel atıksu arıtma tesisi çıkış sularında dezenfeksiyonu incelemişler ve 0,5-1 g/L konsantrasyonlarında çalıştıklarını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.15’de görüldüğü gibi, (1), (2), (3) ve (4). denemelerde, düşük akış hızı (0,21 L/dk. ve 4,65 L/dk.) ve düşük TiO<sub>2</sub> (1 mg/L, 20 mg/L, 50 mg/L) konsantrasyonlarında çalışılmıştır. 4-5 saat sonunda bakteri sayılarının hiç azalmadığı veya sadece 1-log giderim elde edildiği görülmektedir.

(5), (6) ve (7). denemelerde, akış hızı 5,65 L/dk.’ya çıkarılmış, düşük (5 mg/L) ve yüksek (100 mg/L) olmak üzere iki farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda çalışılmıştır. Bakteri giderimi 4 saat sonunda ancak 1-log veya 2-log’a ulaşmıştır.

Hem akış hızının (10 L/dk., 15 L/dk.), hem de TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun (100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L) arttırıldığı (8), (9), (10) ve (11). denemelerde giderim 3-log’a kadar ulaşmıştır. Bu çalışmalara bakıldığında, ilk 2 saat içinde daha hızlı bir giderimin gerçekleştiği, 200 mg/L TiO<sub>2</sub> ile 3-log ve 300 mg/L TiO<sub>2</sub> ile 2-log giderimin gerçekleştiği, 2 saatten sonra giderimin yavaşladığı görülmektedir.

Bu sonuçlara göre, *E.coli* sayısının, en kısa sürede yani 2 saatte 6-log'dan 3-log'a inmesini sağlayan 200 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun optimum olduğu söylenebilir. 100 mg/L'nin altındaki TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının bakteri gideriminde etkili olmayacağı ortadadır. Ayrıca, yüksek akış hızlarında daha fazla giderim elde edilmiştir.

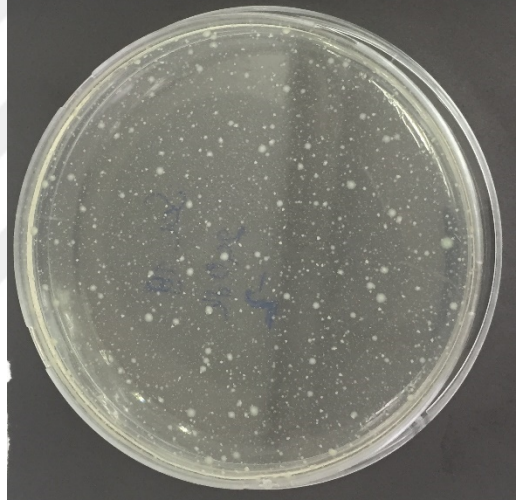
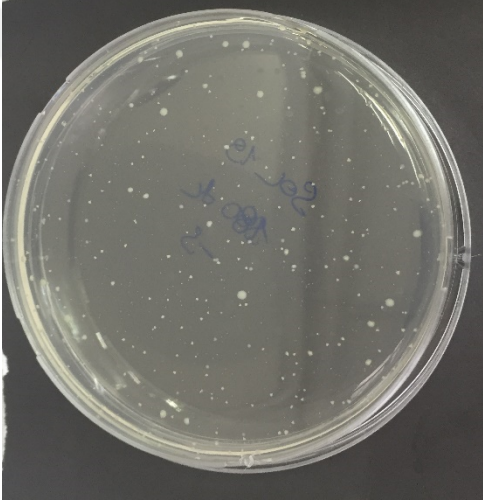
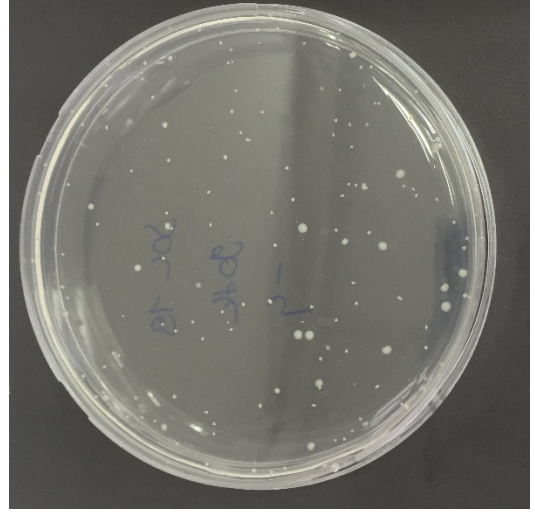
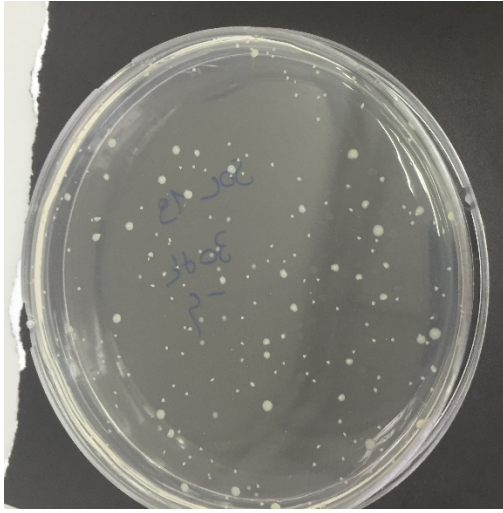
Ibanez ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, CPC reaktörlerde farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile fotokatalitik dezenfeksiyon deneylerini gerçekleştirmişler ve saf suda *F.solani* sporlarının giderimini incelemişlerdir. Mantar sporları ve katalist etkileşimi sonucu, agregatların ağırlığı artmakta ve düşük akış hızları bunları süspansiyon halinde tutmak için yeterli olmamaktadır. Sonuçta, katalist kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu sedimentasyon etkisinden kurtulmak için akış hızının artırılması yoluna gidilmesi önerilmektedir. Çizelge 4.15'e bakılırsa, girişte daha yüksek olan bulanıklık değerleri, çıkışta azalmaktadır. Akış hızının yeterli olmaması durumunda, TiO<sub>2</sub> partikülleri tüpler içinde çökelmekte ve dolayısıyla, çıkışta daha düşük bulanıklık değerleri ölçülmektedir.

Evsel atıksu kullanılarak yapılan deneylerde, mikroorganizma sayısı istenen değerlere indirilemediğinden, bu durumun organik madde kaynaklı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla, içme suyu ile de deneme yapılmış ve 0,21 L/dk akış hızı ve 1 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda çalışılmıştır. Ancak sadece 1-log giderim elde edilmiştir. Hava tüm gün güneşli ve açık olup, kümülatif UV-A enerjisi, 5,31 kJ/L'dir. Gün içinde hava sıcaklığının değişim aralığı 38 °C-42,5 °C, gün içinde su sıcaklığının değişim aralığı 35 °C-38 °C'dir.

Sporlar dirençli türler olduklarından, solar dezenfeksiyon prosesleri ile giderilebilmeleri için, 8 saatten daha uzun süreye ihtiyaç olduğu bilinmektedir (Malato ve ark. 2009). Çizelge 4.16 incelendiğinde, atıksuda fotokataliz prosesi ile ve içme suyunda sadece güneş ışığı uygulanması ile *B.subtilis* sporları gideriminin gerçekleşmediği görülmektedir. *Bacillus subtilis* sporlarının inaktivasyonu hem uzun süreler, hem de yüksek ışık yoğunlukları gerektirmektedir. Bu nedenle, *B.subtilis* sporları gideriminde, UV dezenfeksiyonunu kullanımının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Literatürde de, UV dezenfeksiyonu ile gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur.

Çalışmalardan birinde solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi uygulanmış ve bu proseste (0,72 L/dk ve 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda), başlangıçta 1,24 x 10<sup>6</sup> CFU/ml olan *E.coli* sayısı, 60 dakika sonunda 1-log azalarak 2,46 x 10<sup>5</sup> CFU/ml'ye, 180 dakika sonunda 2-log azalarak 8,3 x 10<sup>4</sup> CFU/ml'ye inmiştir. 300 dakika sonunda, 1,61 x 10<sup>4</sup> CFU/ml değerine ulaşılmış ve böylece, proses sonunda 2-log giderim elde edilmiştir. Gün içinde hava sıcaklığının değişim aralığı 33 °C-40 °C, gün içinde su sıcaklığının değişim aralığı 30 °C-39 °C'dir. Hava tüm gün güneşli ve açık olup, kümülatif UV-A enerjisi, 7,89 kJ/L'dir.

Güneş ışığına dayalı çalışmalarda (saha ve laboratuvar) genellikle 2 saatten sonra petri kutularında sayılamayacak kadar küçük koloniler gözlenmiştir. Şekil 4.41 incelendiğinde, 240. dk.'da, 180.dk'ya göre daha az koloni olması beklenirken, sayının aşırı bir artış gösterdiği görülmektedir. *E.coli* ile yürütülen çalışmalarda besiyeri olarak Plate Count Agar (PCA) kullanılmıştır. Plate Count Agar genel besiyeri olduğundan ortamdaki çeşitli mikroorganizmaların çoğalmasına izin verebilmektedir. Bu nedenle, farklı besiyerleri ile de denemeler yapılmış ve literatürde kullanılan diğer bir besiyeri olan Tryptic Soy Agar (TSA) ve seçici besiyeri olan m-FC Agar ile de çalışılmıştır. Bu denemelere ait sonuçlar Çizelge 4.17'de verilmiştir. TSA kullanıldığında sonuçlar değişmemiş ve yine 2-log giderim elde edilmiştir. m-FC agar kullanıldığında ise, giderim 4-log'a ulaşmıştır. Ancak, seçici besiyeri kullanıldığında bakterilerin çoğalma özelliklerini tam olarak ortaya koyamayacak olmaları sebebiyle, PCA ile çalışmalara devam edilmiştir.



Şekil 4.41. Küçük koloniler (30 dk.- 90 dk.- 180 dk. - 240 dk.)



**Çizelge 4.17.** Farklı besiyerlerinde elde edilen sonuçlar

<b>ŞARTLAR</b>	<b>(14) Akış hızı: 10 L/dk. TiO<sub>2</sub>: 100 mg/L (m-FC Agar)</b>	<b>(15) Akış hızı: 10 L/dk. TiO<sub>2</sub>: 100 mg/L (Tryptic Soy Agar)</b>
<b><i>E. COLİ</i> SAYILARI (CFU/ml)</b>		
<b>Ham su</b>	8,8 x 10 <sup>5</sup>	6,6 x 10 <sup>5</sup>
<b>60 dk.</b>	6,2 x 10 <sup>5</sup>	4,9 x 10 <sup>5</sup>
<b>120 dk.</b>	5,0 x 10 <sup>3</sup>	3,7 x 10 <sup>5</sup>
<b>180 dk.</b>	2,0 x 10 <sup>2</sup>	7,2 x 10 <sup>3</sup>
<b>240 dk.</b>	1,0 x 10 <sup>1</sup>	4,3 x 10 <sup>3</sup>
<b>300 dk.</b>	-	1,87 x 10 <sup>3</sup>
<b>Gün içinde hava sıcaklığı değişim aralığı</b>	32 °C-38 °C	25 °C-33 °C
<b>Gün içinde su sıcaklığı değişim aralığı</b>	29 °C-52 °C	22 °C-47 °C
<b>Bulanklık giriş (NTU)</b>	540	550
<b>Bulanklık çıkış (NTU)</b>	425	415
<b>Hava durumu</b>	Açık, güneşli	Açık, güneşli
<b>Çalışma saatleri</b>	11:00-15:00	10:30-15:30
<b>UV-A (W/m<sup>2</sup>)</b>	6,51-23,3	-
<b>UV-B (W/m<sup>2</sup>)</b>	0,489-1,444	-
<b>Global radyasyon (W/m<sup>2</sup>)</b>	639-988	-
<b>Kümülatif UV-A enerjisi (kJ/L)</b>	6,94	-

Ubomba-Jaswa ve ark. (2009), kuyu suyunda gerçekleştirdikleri kesikli solar dezenfeksiyon çalışmasında, *E. coli* sayısının 10<sup>6</sup> CFU/ml'den 4 CFU/ml'ye inmesi için, toplam UV dozunun minimum 108 kJ/m<sup>2</sup> (9 kJ/L) olması gerektiğini ve bu dozun sisteme hiç kesilmeden ulaşması gerektiğini bildirmişlerdir. Mikroorganizma sayısının sıfıra inmesi için, sisteme ulaşan toplam UV miktarının, gelen solar UV yoğunluğuna bağlı olmaksızın, sürekli olarak bakteriye ulaşması gerekmektedir. Doz, 108 kJ/m<sup>2</sup>'den büyük

olup, su, 5 saat boyunca şiddetli güneş ışığına maruz bırakılsa da, sürekli akışlı sistemlerde, bakteri borulardan geçerken yeterince ışık görmeyeceğinden, bakteri konsantrasyonunun sıfıra inmesi mümkün olmayacaktır. Bu açıklamalar doğrultusunda, bizim çalışmamızı değerlendirmek gerekirse, tüp ve beherlerde yapılan deneylerde, UV ışığı kesilmeden suya ulaşmakta ve bunun sonucunda bakteri sayısı sıfırlanmaktadır. Ancak, sürekli sistemde, toplam 20 L suyun, 3,1 L'sinin tüplerde dolanırken ışığa maruz kaldığı daha önce belirtilmişti. Yani, atıksuyun 3,1 L'si ışık görürken, kalan 16,9 L ışık almayan tank, hortum, pompa gibi bölümleri doldurmaktadır. Atıksu, tüpler, hortumlar ve tank arasında sirkülasyon halinde olup, sürekli olarak ışığa maruz kalmadığından, bakteri sayısı sıfırlanmamış, maksimum 3-log giderim sağlanmıştır. Bakteri sayısının sıfırlanmamış olmasının nedenlerinden biri de, gün içinde ve farklı günlerde reaktöre ulaşan ışık yoğunluklarının, hidroksil radikali oluşturmada yetersiz kalması, ayrıca, oluşan radikallerinde atıksu içindeki organikler tarafından sönmülmesi olabilir.

Çeşitli parametreler için başlangıç ve çıkış değerleri Çizelge 4.15'de verilmiştir. Sıcaklık değerleri, proses başlangıcında 24-31 °C, proses sonunda 33-52 °C aralığında değişmiştir. Çıkış değerleri, başlangıç değerlerine göre artış göstermiştir. Güneşten gelen infrared ışınları etkisi ile sıcaklık artışı beklenen bir durumdur.

pH değerleri, proses başlangıcında 6,99-7,40, proses sonunda 6,86-7,65 aralığında değişmiştir. Proses sonunda, pH değerleri, genel olarak artma eğilimi göstermiştir. Ancak, nötral pH değerlerinde kalmıştır.

İletkenlik değerleri, proses başlangıcında 57,1-70,8 µs/cm, proses sonunda 66,8-93,9 µs/cm aralığında değişmiştir. Proses sonunda, iletkenlik değerleri, tüm deneylerde artmıştır. Bu durumun, oluşan ara ürünlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çözünmüş oksijen değerleri, proses başlangıcında 6,82-8,55 mg/L, proses sonunda 4,06-7,47 mg/L aralığında değişmiştir. Proses sonunda, çözünmüş oksijen değerleri, bir miktar azalma göstermiştir. Solar reaktör, sirkülasyonlu bir sistem olduğundan, proses boyunca oksijen kazanımı gerçekleşmiş olup, oksijen konsantrasyonunda çok büyük azalmalar görülmemiştir.

Bulanıklık değerleri, proses başlangıcında 6,56-1650 NTU, proses sonunda 11,7-1622 NTU aralığında değişmiştir. Proses sonunda, bulanıklık değerleri, genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Bu durumun, TiO<sub>2</sub>'nin tüpler içerisinde okerek, bir miktarının kaybedilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

UV-abs (254 nm) değerlerinin, güneş işığına dayalı prosesler için önemi yoktur. Çünkü, bu dalgaboyundaki güneş işığı dünyaya ulaşmamaktadır. Dünyaya ulaşan UV-B ve UV-A dalgaboylarının sudaki absorbansını belirlemek amacıyla, 300 nm ve 360 nm'de ölçümler yapılmıştır. UV-abs (300 nm) değerleri, proses başlangıcında 0,020-9,001 aralığında, proses sonunda 0,136-4,563 aralığında değişmiştir.

UV-abs (360 nm) değerleri, proses başlangıcında 0,042-6,209 aralığında, proses sonunda 0,067-3,922 aralığında değişmiştir. Proses sonunda, 300 nm ve 360 nm için UV-abs değerleri, hemen hemen tüm deneylerde azalmıştır. Bu durumun, TiO<sub>2</sub>'nin tüpler içerisinde okerek, bir miktarının kaybedilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## 4.2. UV Işığına Dayalı Dezenfeksiyon Çalışmaları

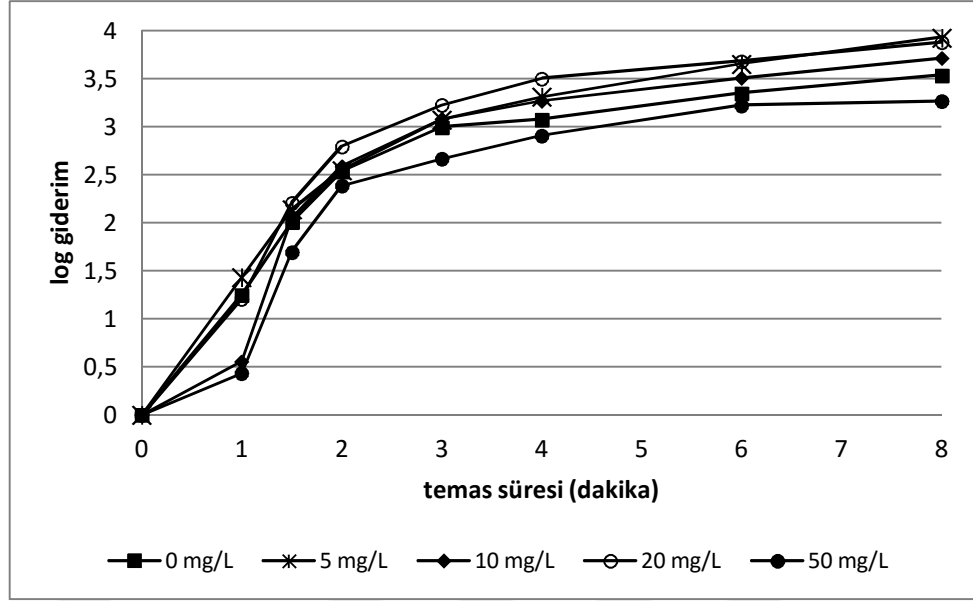
UV ışığına dayalı dezenfeksiyon çalışmaları (UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), 254 nm dalgaboyunda ışık yayan UV-C lambası ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, mikroorganizma olarak, *E.coli* ve *B.subtilis* sporları kullanılmıştır. UV ışığına dayalı deneylerde, inaktivasyon grafikleri, inaktivasyonun daha hızlı gerçekleştiği lineer ve kalan mikroorganizma sayısının sabitlenerek, daha fazla inaktivasyonun gerçekleşmediği kuyruk kısmından oluşmaktadır. İstatistiksel analizlerde ve diğer değerlendirmelerde, lineer kısım dikkate alınmıştır.

Çalışmalarda kullanılan lambanın yoğunluğu 0,04 mW/cm<sup>2</sup>'dir. UV ışığına dayalı çalışmalarda uygulanan temas süreleri, 0,5 – 1 - 1,5 – 2 – 3 – 4 – 6 – 8 – 10 – 15 dk.'dir. Bu temas sürelerine karşılık gelen UV dozları, Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır. Bu UV dozları, sırasıyla, 1,2 – 2,4 – 3,6 – 4,8 – 7,2 – 9,6 – 14,4 – 15,2 – 24 – 36 mWs/cm<sup>2</sup>'dir.

### 4.2.1. *E.coli* ile gerçekleştirilen UV/TiO<sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları

#### 4.2.1.1. Etkili TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi

TiO<sub>2</sub>'nin evsel atıksuların dezenfeksiyonundaki etkisini değerlendirmek için, düşük ve yüksek olmak üzere iki farklı konsantrasyonda çalışılmasına karar verilmiştir. Etkili TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla, farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında (5-10-20-50 mg/L) deneyler yapılmış olup, KOİ: 90 mg/L, pH: 7, sıcaklık: 21 °C değerlerinde çalışılmıştır. Ayrıca, sadece UV ışığı ile de uygulama yapılmıştır. Deneylerde *E.coli* bakterisi kullanılmıştır. Temas süresi 8 dakikadır. Bu deneyler sonucunda elde edilen grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 4.42).



**Şekil 4.42.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için etkili TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi

Lamo ve ark. (2015), UV ve UV/TiO<sub>2</sub> prosesleri ile elde edilen *E.coli* giderimleri arasında önemli bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Şekil 4.42 incelendiğinde, UV ve farklı konsantrasyonların uygulandığı UV/TiO<sub>2</sub> ile elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve aralarında büyük farklar olmadığı görülmektedir. Sadece UV ışığı uygulanması ile, 8 dk. sonunda, 3,53-log giderim elde edilirken, 5 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L ve 50 mg/L TiO<sub>2</sub> uygulanması ile, sırasıyla, 3,93-log, 3,71-log, 3,88-log, 3,27-log giderim elde edilmiştir.

Bölüm 4.1.3'te, Çizelge 4.15'te görüldüğü gibi, 20 mg/L, 50 mg/L gibi TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile suyun bulanıklığı 100 NTU'nun üzerine çıkmaktadır. 1 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu bile suyun bulanıklığını 8 NTU'ya yükseltmektedir. 50 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu uygulanan prosesin dezenfeksiyon verimi, sadece ışık uygulanan prosesin dezenfeksiyon veriminden düşüktür ve bu durum yüksek titanyum dioksit konsantrasyonlarında suyun bulanıklığının artarak, ışık geçişinin azalmasına bağlanabilir. Her ne kadar 5 mg/L ve 20 mg/L ile elde edilen giderimler biraz daha iyi görünse de, bulanıklığın fazla artmaması için, literatürde gözönüne alınarak, düşük konsantrasyonlarda çalışılmasına karar verilmiş ve minimum ve maksimum TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları olarak 1 mg/L ve 9 mg/L seçilmiştir.

#### 4.2.1.2. UV/TiO<sub>2</sub> prosesine ait Box-Behnken deneysel dizayn sonuçları

UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için, bağımsız değişkenler olarak seçilen organik madde konsantrasyonu, pH ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu parametrelerinin, mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, Box-Behnken deneysel dizaynı kullanılmıştır. Bu değişkenler, organik madde konsantrasyonu (X<sub>1</sub>), pH (X<sub>2</sub>) ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>3</sub>) olarak kodlanmış ve herbiri için maksimum (+1), ortalama (0) ve minimum (-1) değerler belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler ve seviyeleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.18).

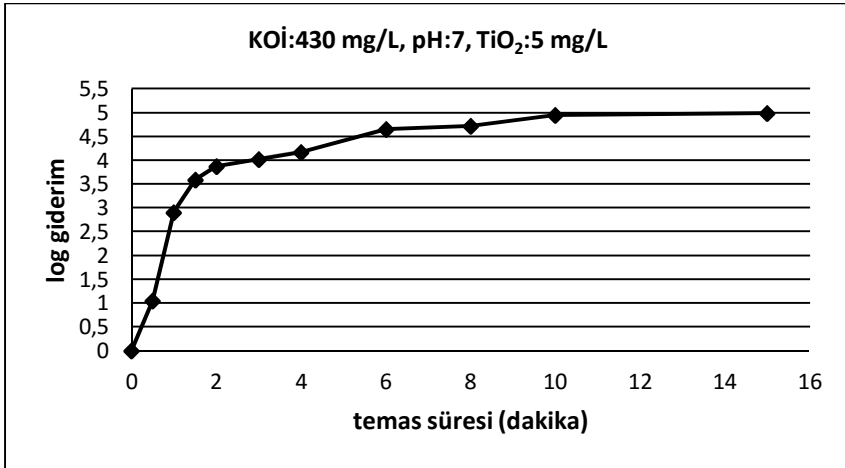
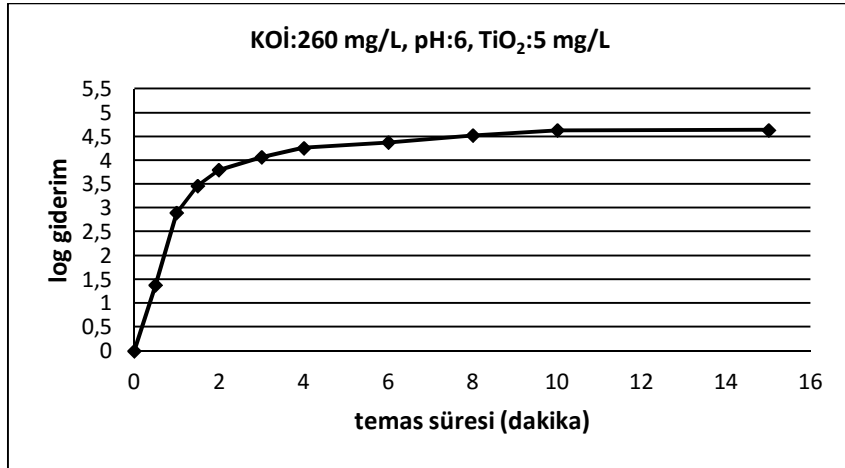
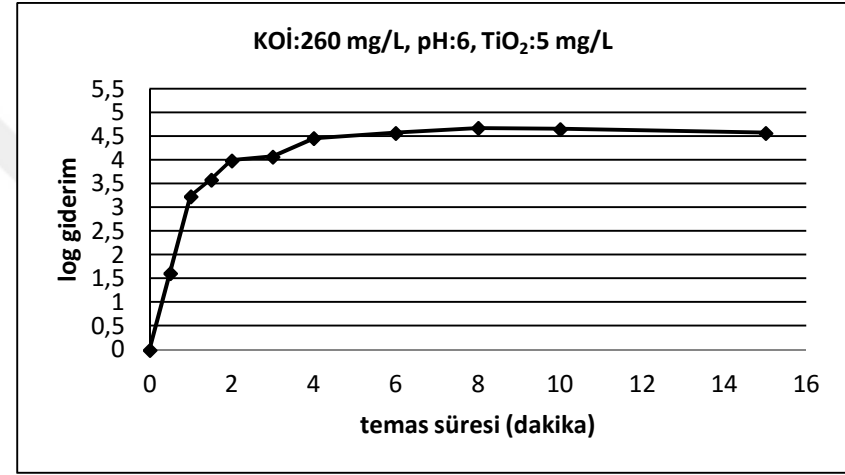
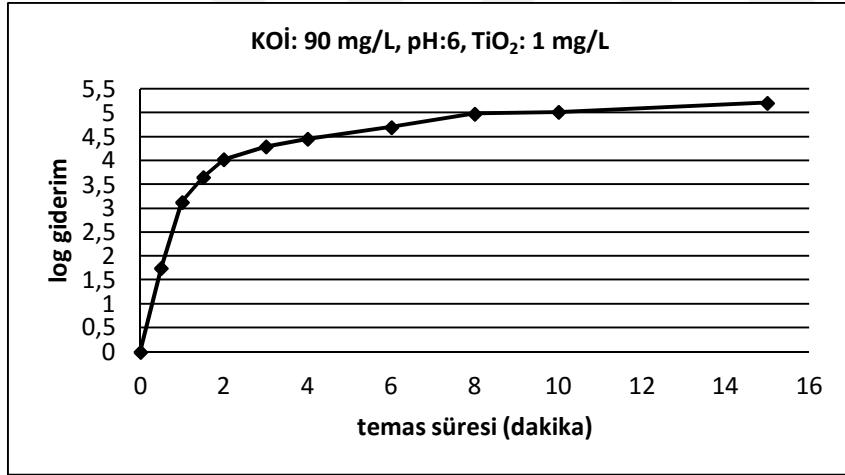
**Çizelge 4.18.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Kodlar	Seviyeler		
		-1	0	1
Organik madde konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>1</sub>	90	260	430
pH	X <sub>2</sub>	5	6	7
TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>3</sub>	1	5	9

Bu üç bağımsız değişken ile elde edilen deney sayısı 15 olup, bunlardan 3 tanesi merkez noktalardadır. Uygulanan deneylerde, 240 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderim değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.19). Ayrıca, her denemeden elde edilen grafikler Şekil 4.43'de verilmiştir.

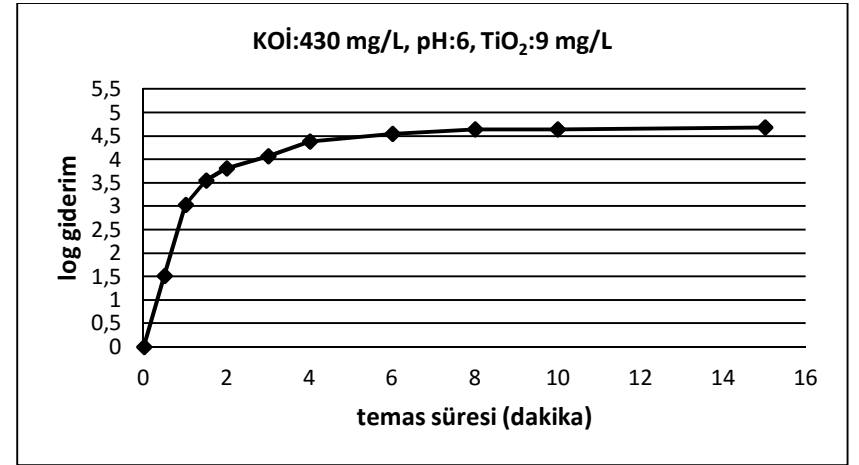
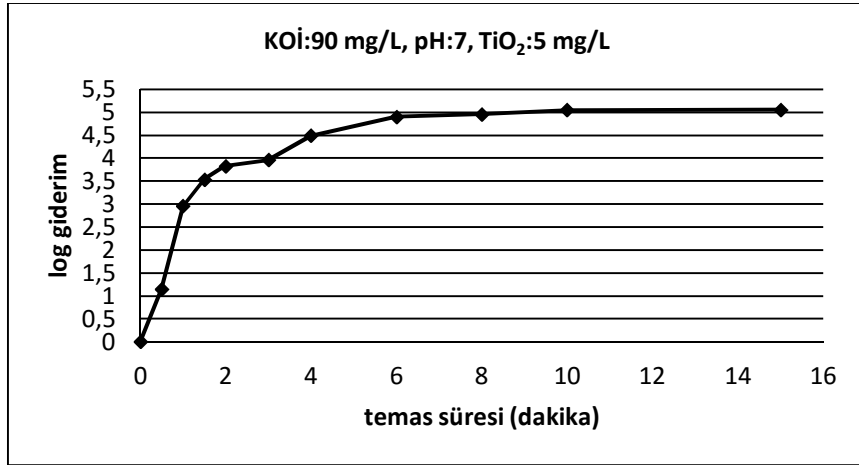
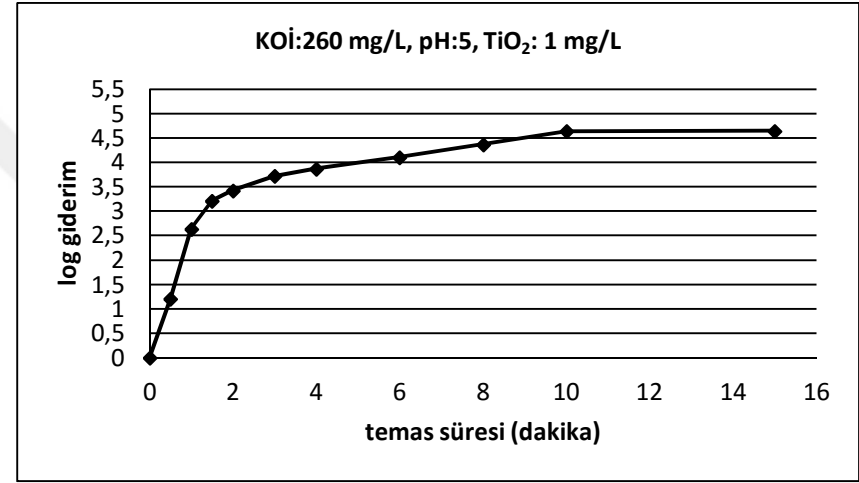
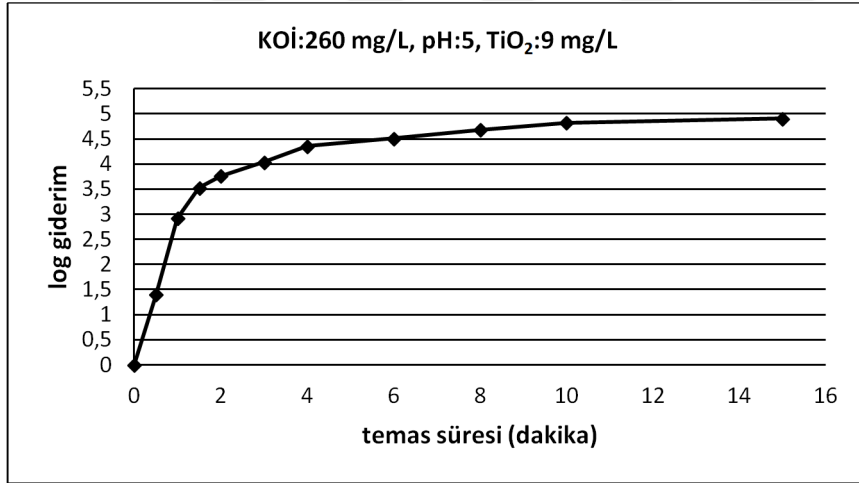
**Çizelge 4.19.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre elde edilen sonuçlar

Deneme	Deney şartları			Sonuç (240 sn. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	90	6	1	4,46
2	260	6	5	4,47
3	260	6	5	4,27
4	430	7	5	4,17
5	260	5	9	4,36
6	260	5	1	3,88
7	90	7	5	4,49
8	430	6	9	4,38
9	260	7	9	4,24
10	260	6	5	4,19
11	260	7	1	4,62
12	430	6	1	4,22
13	430	5	5	4,27
14	90	5	5	4,15
15	90	6	9	4,46

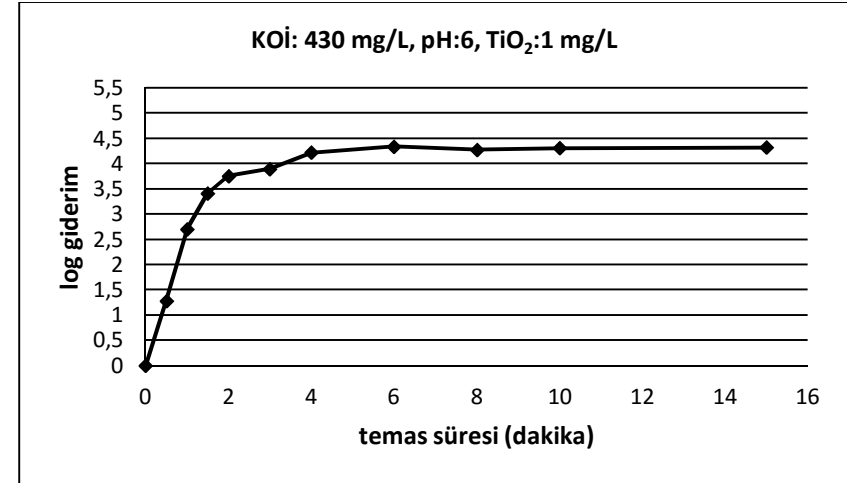
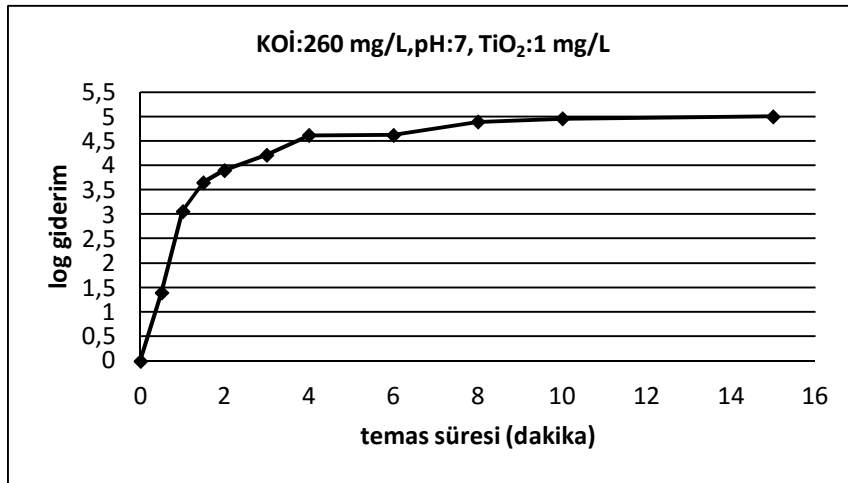
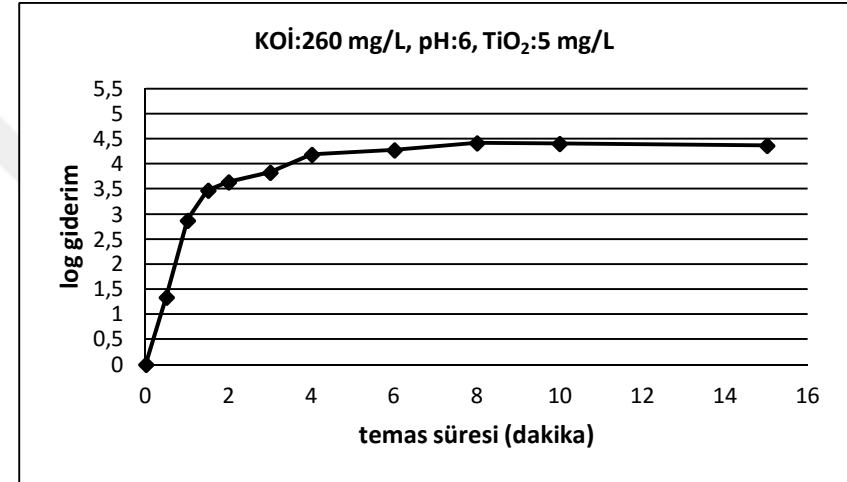
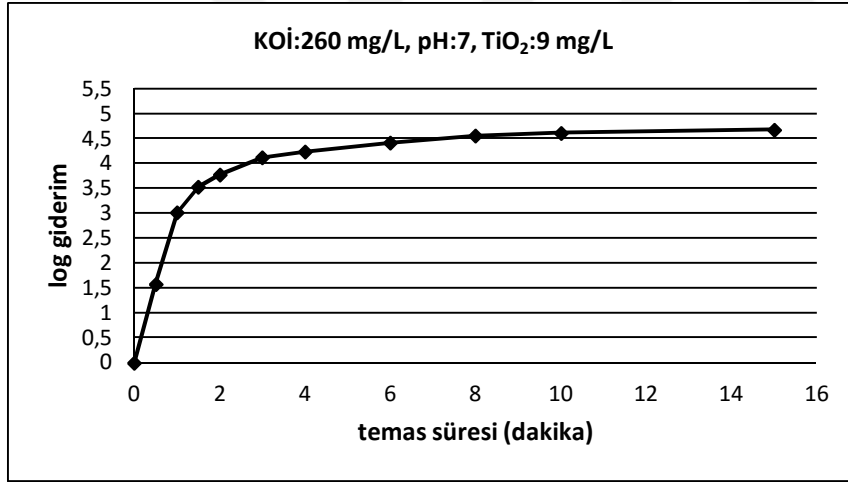


Şekil 4.43. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler

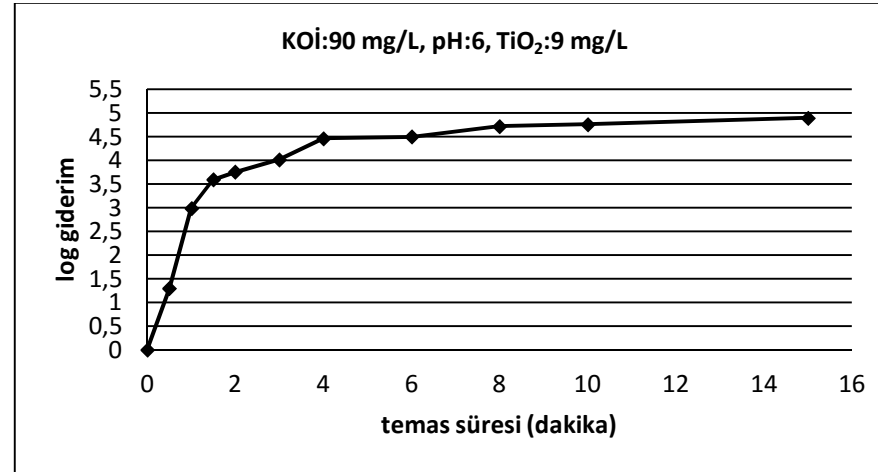
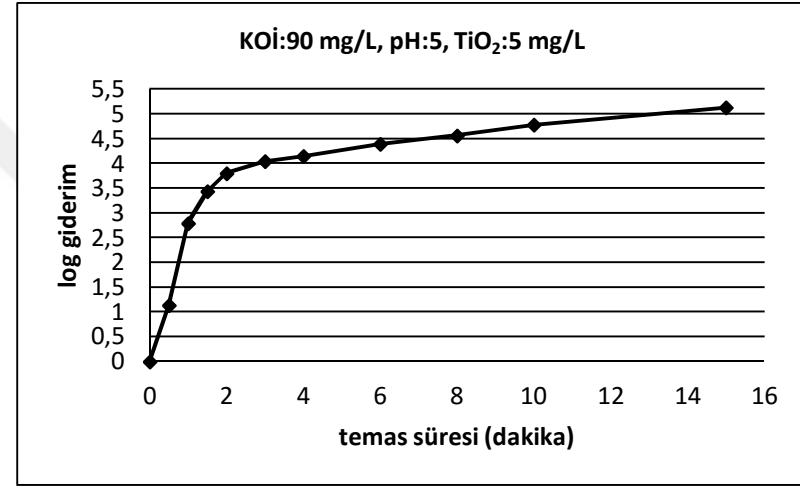
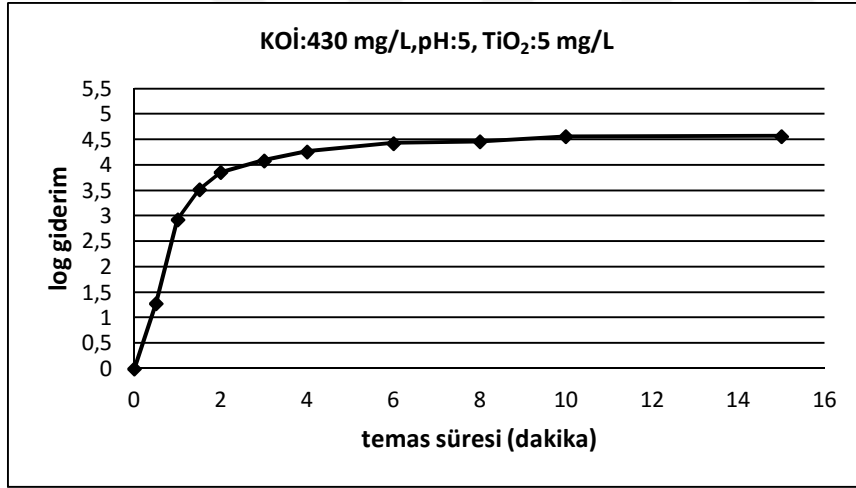




Şekil 4.43. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)

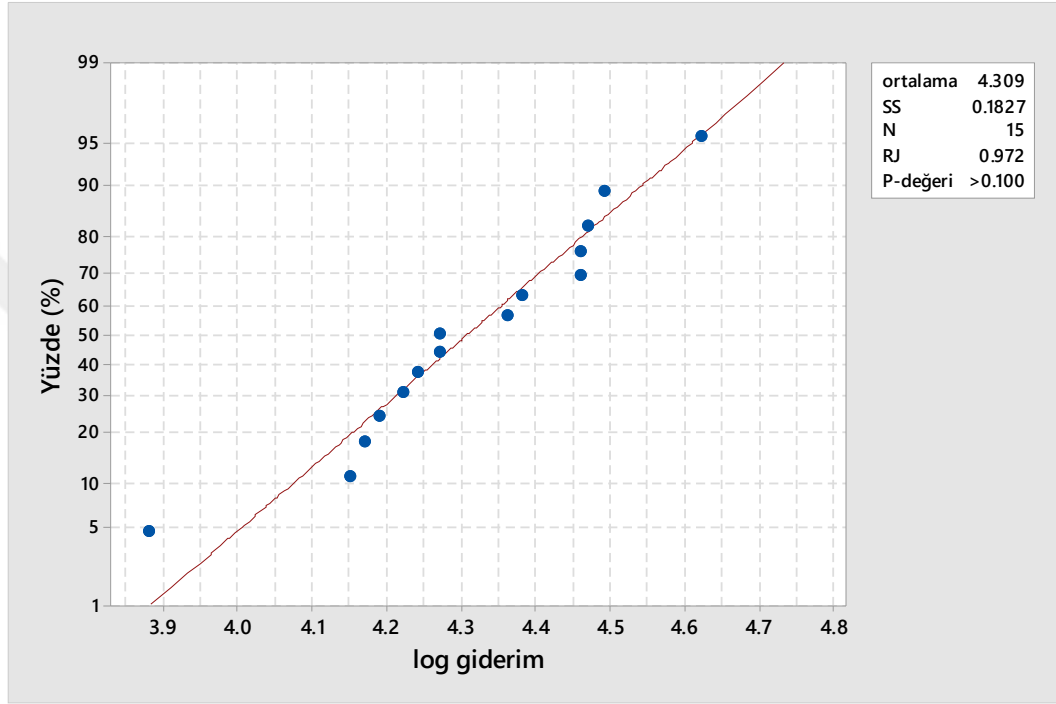


Şekil 4.43. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)



Şekil 4.43. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için Box-Behnken deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)

240 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderim değerlerinin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla çizilen normal olasılık grafiği, Şekil 4.44’de verilmiştir. Noktaların çizgiyi takip etme eğiliminde olmaları, verilerin normal dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. p değerinin  $> 0,05$  olması ve Ryan-Joiner test sonucunun (RJ = 0,972) 1’e yakın olması da bu sonucu doğrulamaktadır.



**Şekil 4.44.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı

İlk aşamada, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında matematiksel bir ilişki geliştirmek ve etkileşimlerin önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla, lineer, karesel ve ikili etkileşimleri kapsayan kuadratik model oluşturulmuştur. Bağımsız değişkenlerin, etkileşimlerinin ve regresyon katsayılarının istatistiksel öneminin ve seçilen modelin uygunluğunun belirlenmesinde, varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Minitab 17 program çıktılarında, bağımsız değişkenler için tahmin edilen katsayılar, bu katsayıların standart hataları, t, p, F, R<sup>2</sup>, düzeltilmiş R<sup>2</sup> ve hata değerleri gösterilmiştir. İstatistiksel analizler % 95 önem derecesinde yapılmıştır. Prosese ait kuadratik model için ANOVA tablosu, Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Modele ait ANOVA tablosunda, etkin olan parametrelere ait p değerleri 0,05'ten küçük olmalıdır. Kuadratik modelde, lineer ve iki yönlü etkileşimlerin çoğu için, karesel etkileşimlerin tümü için, p değerleri 0,05'ten büyüktür ve bu modelin, verilere uymadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, modelin p değeri 0,084 olup, 0,05'ten büyüktür ve bu da, modelin uygun olmadığını desteklemektedir.

**Çizelge 4.20.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesine ait kuadratik modelin ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F değeri	P değeri
<b>Model</b>	9	0,405273	0,045030	3,64	0,084
<b>Lineer</b>	3	0,134700	0,044900	3,63	0,100
X <sub>1</sub>	1	0,033800	0,033800	2,73	0,159
X <sub>2</sub>	1	0,092450	0,092450	7,47	0,041
X <sub>3</sub>	1	0,008450	0,008450	0,68	0,446
<b>Karesel</b>	3	0,030873	0,010291	0,83	0,531
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1	0,003900	0,003900	0,32	0,599
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1	0,019408	0,019408	1,57	0,266
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1	0,005192	0,005192	0,42	0,546
<b>İki yönlü etkileşim</b>	3	0,239700	0,079900	6,45	0,036
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	0,048400	0,048400	3,91	0,105
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	0,006400	0,006400	0,52	0,504
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	0,184900	0,184900	14,94	0,012
<b>Hata</b>	5	0,061900	0,012380		
Uyum eksikliği	3	0,020300	0,006767	0,33	0,812
Saf hata	2	0,041600	0,020800		
<b>Toplam</b>	14	0,467173			
S = 0,111265	R <sup>2</sup> = %86,75	Düzeltilmiş R <sup>2</sup> = 62,90			

Sonraki aşamada, lineer ve ikili etkileşimler için regresyon modeli oluşturulmuş ve elde edilen model (Denklem 4.4) aşağıda verilmiştir. Çizelge 4.20'ye göre, pH (X<sub>2</sub>) parametresinin ve pH\*TiO<sub>2</sub> (X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>) etkileşiminin, p değerlerinin, 0,05'ten küçük olması, bu parametre ve etkileşimin, istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir. Tek başına TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>3</sub>) parametresinin p değeri > 0,05 olmasına rağmen, modele dahil edilmiştir. Çünkü, modele dahil edilmemesi durumunda, model hiyerarşik olmayacaktır.

$$\log \text{ giderim (Y)} = 4,3087 + 0,1075 \text{ pH (X}_2\text{)} + 0,0325 \text{ TiO}_2 \text{ konsantrasyonu (X}_3\text{)} - 0,2150 \text{ pH*TiO}_2 \text{ konsantrasyonu (X}_2\text{X}_3\text{)} \quad (4.4)$$

Kurulan model için hesaplanan katsayılar Çizelge 4.21’de, modelin önemini test etmek amacıyla uygulanan ANOVA tablosu ise Çizelge 4.22’de verilmiştir.

**Çizelge 4.21.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesine ait lineer + ikili etkileşim modeli için hesaplanan regresyon katsayıları

Terim	Katsayı	Standart Hata Katsayısı	t-değeri	P-değeri
Sabit	4,3087	0,0332	129,96	0,000
X <sub>2</sub>	0,1075	0,0454	2,37	0,037
X <sub>3</sub>	0,0325	0,0454	0,72	0,489
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	-0,2150	0,0642	-3,35	0,006

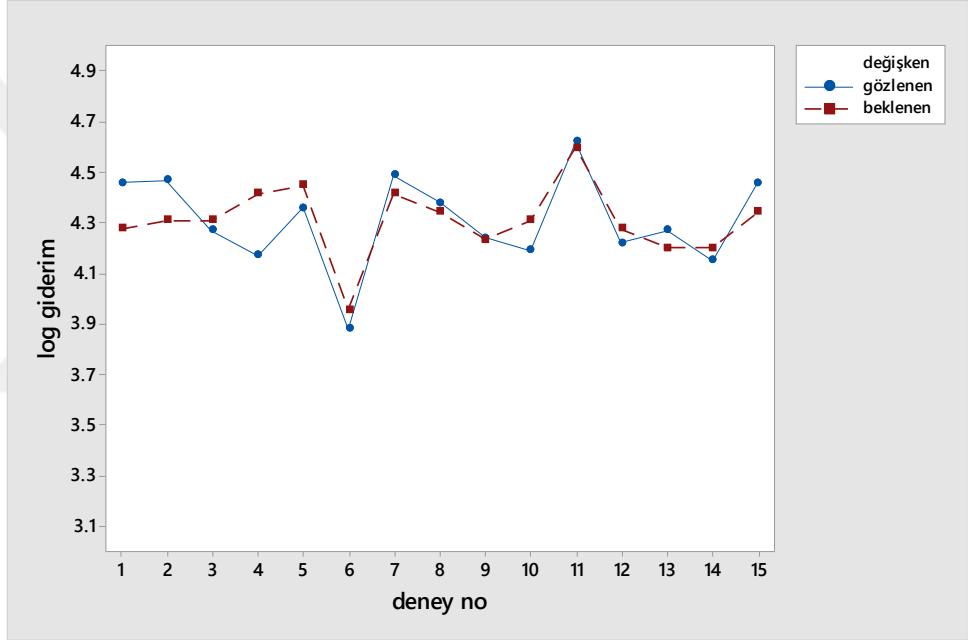
**Çizelge 4.22.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesine ait lineer + ikili etkileşim modeli için ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F-değeri	P-değeri
<b>Model</b>	3	0,2858	0,095267	5,78	0,013
<b>Lineer</b>	2	0,1009	0,050450	3,06	0,088
X <sub>2</sub>	1	0,09245	0,092450	5,61	0,037
X <sub>3</sub>	1	0,008450	0,008450	0,51	0,489
<b>İkili etkileşimler</b>	1	0,1849	0,184900	11,21	0,006
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	0,1849	0,184900	11,21	0,006
<b>Hata</b>	11	0,181373	0,016488		
Uyum eksikliği	9	0,139773	0,015530	0,75	0,690
Saf hata	2	0,041600	0,020800		
<b>Toplam</b>	14	0,467173			
S = 0,128407	R <sup>2</sup> = %61,18	<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup></b> = %50,59			

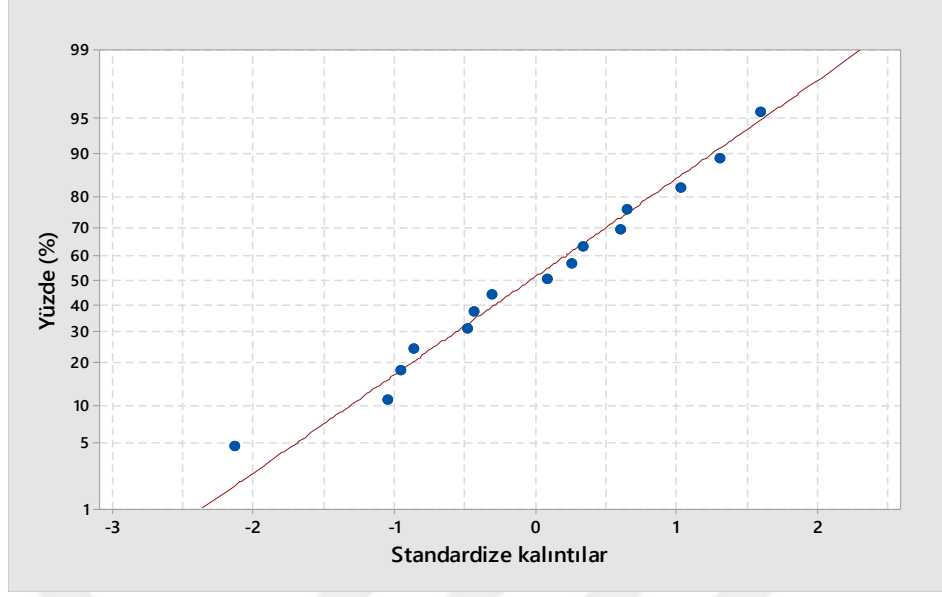
Çizelge 4.22’deki ANOVA tablosunda görüldüğü gibi, p = 0,013 < 0,05 olup, modelin önemli olduğunu göstermektedir. Lineer ve ikili etkileşimler ile kurulan model için, R<sup>2</sup> = %61,18 ve düzeltilmiş R<sup>2</sup> = %50,59 olarak bulunmuştur. Düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerine göre, logaritmik mikroorganizma giderimindeki varyasyonun % 50,59’u, lineer model ile açıklanabilmektedir. Varyasyonun, % 49,41’i ise açıklanamamaktadır.

Şekil 4.45’de, her deney için, gözlenen (laboratuvar) ve beklenen (model) sonuçların birbiri ile uyum grafiği verilmiş olup, tüm noktaların birbirine yakın olduğu ve sonuçların uyumlu olduğu görülmektedir.

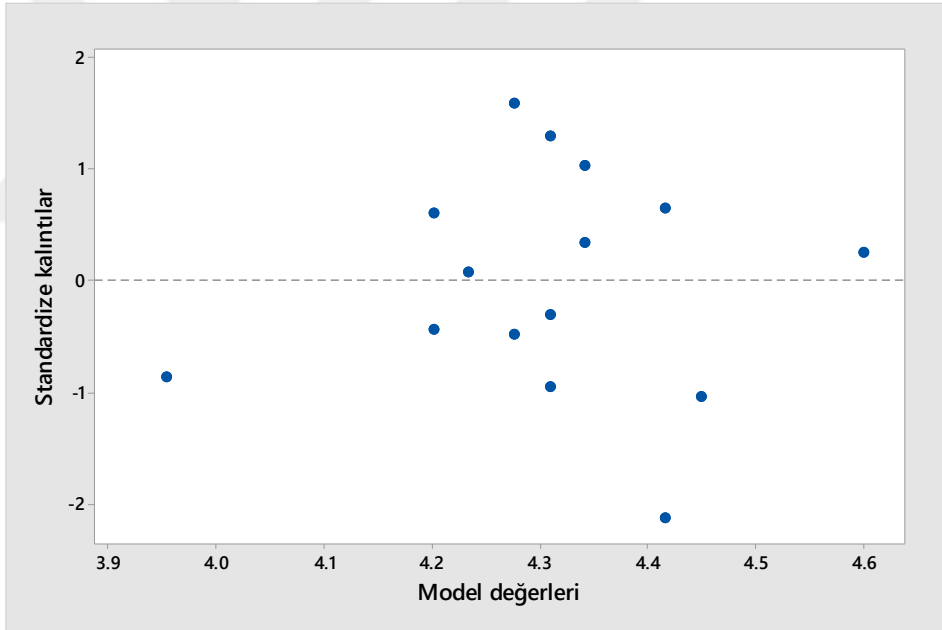
Şekil 4.46’da kalıntılar için normal olasılık dağılımı, Şekil 4.47’de kalıntılar-model değerler grafiği verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, kalıntıların, doğrudan çok büyük sapmalar göstermediği ve  $-2,5/+2,5$  değerleri arasında kaldığı görülmüş ve kalıntıların normal dağılım gösterdiğine karar verilmiştir. Bu durumda, model için transformasyona ihtiyaç yoktur.



Şekil 4.45. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için beklenen ve gözlenen değerlerin karşılaştırılması



**Şekil 4.46.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar için normal olasılık dağılımı



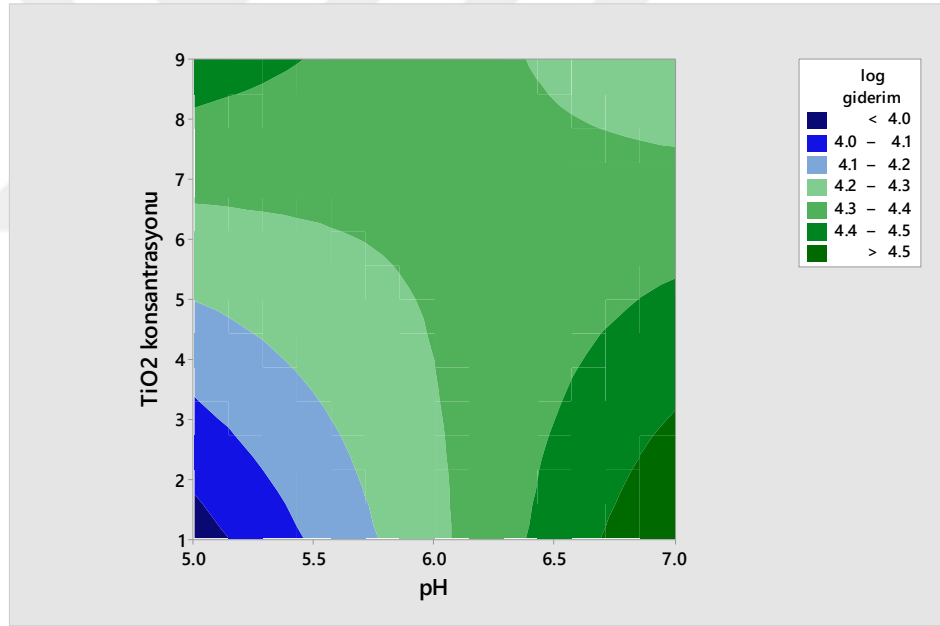
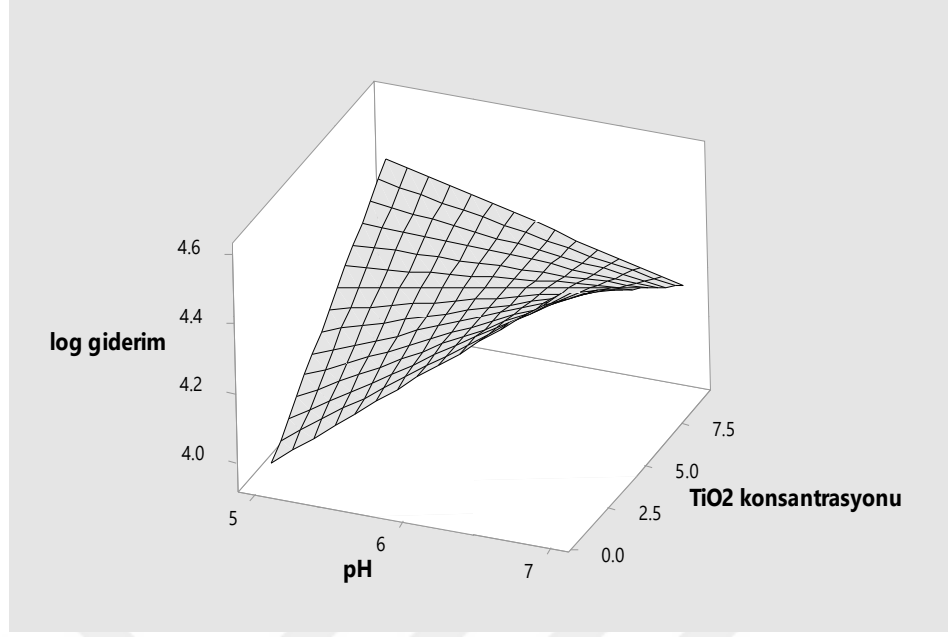
**Şekil 4.47.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesine ait kalıntılar-model değerler grafiği

Şekil 4.48'de, modeldeki iki parametre olan, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu ve pH'ın bir fonksiyonu olarak, logaritmik mikroorganizma giderimi için oluşturulan yanıt yüzeyi grafiği ve kontur grafiği verilmiştir. Oluşturulan modelde, ikili etkileşim önemli olduğu için, yanıt yüzeyi grafiklerinde eğrisellik oluştuğu görülmektedir. Yani, bir parametrenin sabit tutulup, diğer parametrenin değiştirilmesi sonucunda bu eğrisellik ortaya



çıkaktadır. Kontur grafiğinde, renk, koyu maviden koyu yeşile ilerledikçe giderimin arttığı görülmektedir. pH ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunu aynı anda arttırmak veya azaltmak, mikroorganizma giderimini azaltmaktadır. Bir faktörü artırırken, diğer faktörü azaltmak ise, mikroorganizma giderimini arttırmaktadır. pH (5) ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (1 mg/L) en düşük değerleri aldığı anda, mikroorganizma giderimi de en düşük değerini almaktadır. Ancak, aşağıdaki bölümde verilen grafiklerde de görüleceği gibi, mikroorganizma giderimleri artma ve azalmalar gösterse de, değerler birbirine çok yakındır.

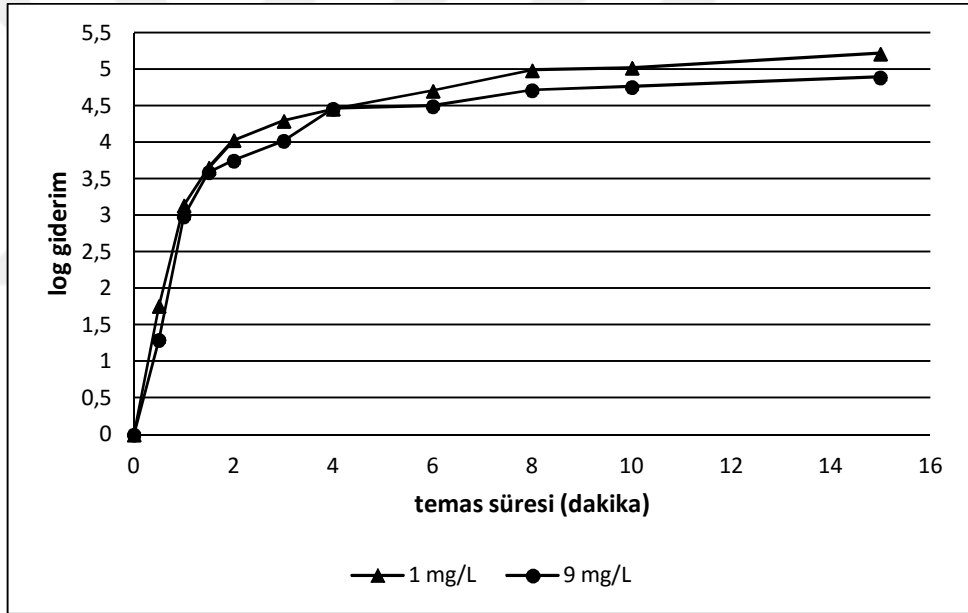




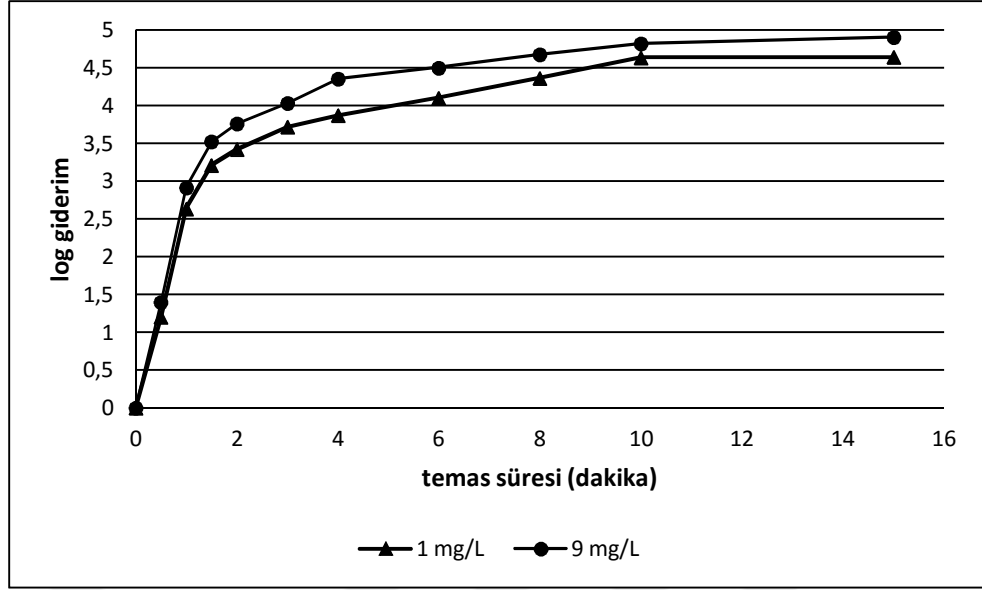
Şekil 4.48. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için yanıt yüzeyi ve kontur grafiği

#### 4.2.1.3. UV/TiO<sub>2</sub> prosesine TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi

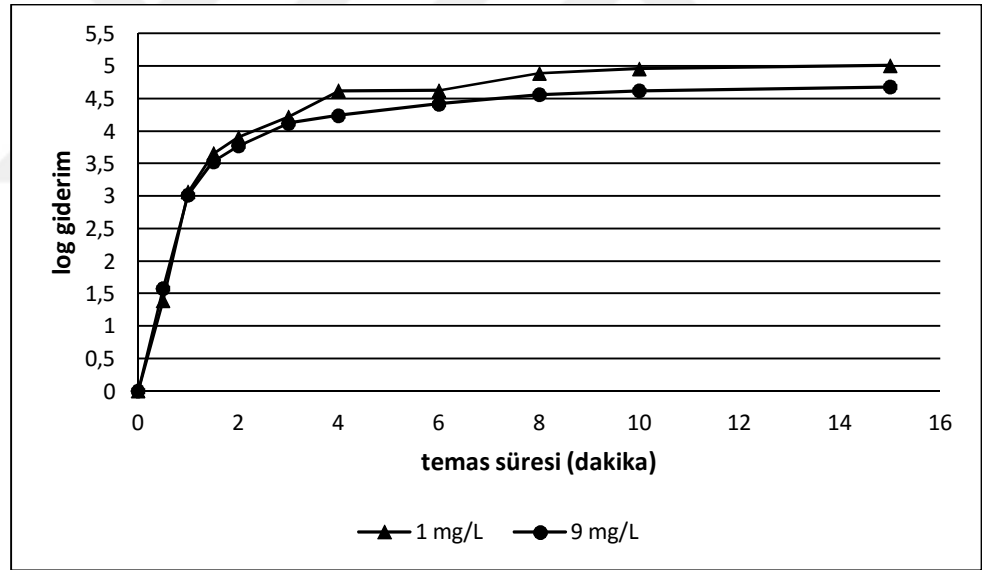
Seçilen düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının farklı pH ve farklı organik madde konsantrasyonlarında UV/TiO<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de verilmiştir. Bölüm 4.2.1.2’deki istatistiksel analizlerde, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun mikroorganizma giderimi üzerinde etkili olmadığı ve hiyerarşik olması için modele eklendiği belirtilmişti. Aşağıdaki grafiklerle de bu sonuç doğrulanmıştır. Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’ye göre, 240 sn. sonunda, 1 mg/L TiO<sub>2</sub> uygulanan deneylerde elde edilen *E.coli* giderimleri, 4,46-log, 3,88-log, 4,62-log, 4,22-log; 9 mg/L TiO<sub>2</sub> uygulanan deneylerde elde edilen *E.coli* giderimleri, 4,46-log, 4,36-log, 4,24-log, 4,38-log olup, aradaki fark en çok 0,48-log’a ulaşmıştır.



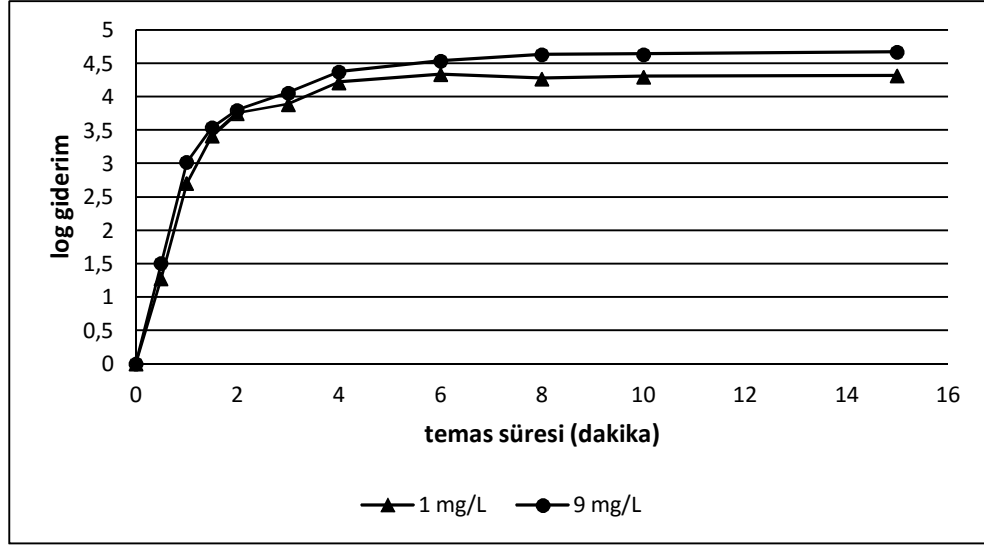
Şekil 4.49. KOİ: 90 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.50. KOİ: 260 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



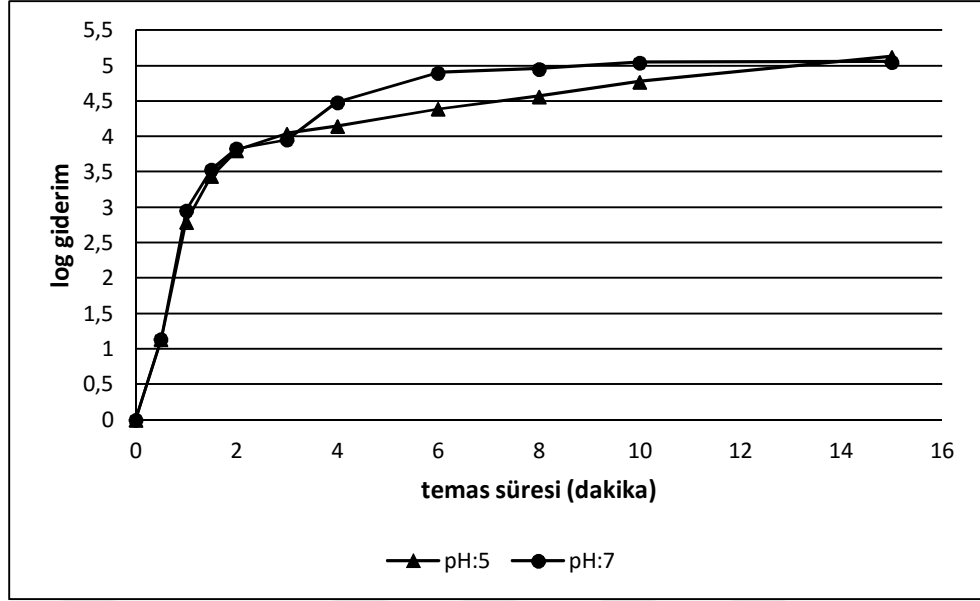
Şekil 4.51. KOİ: 260 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



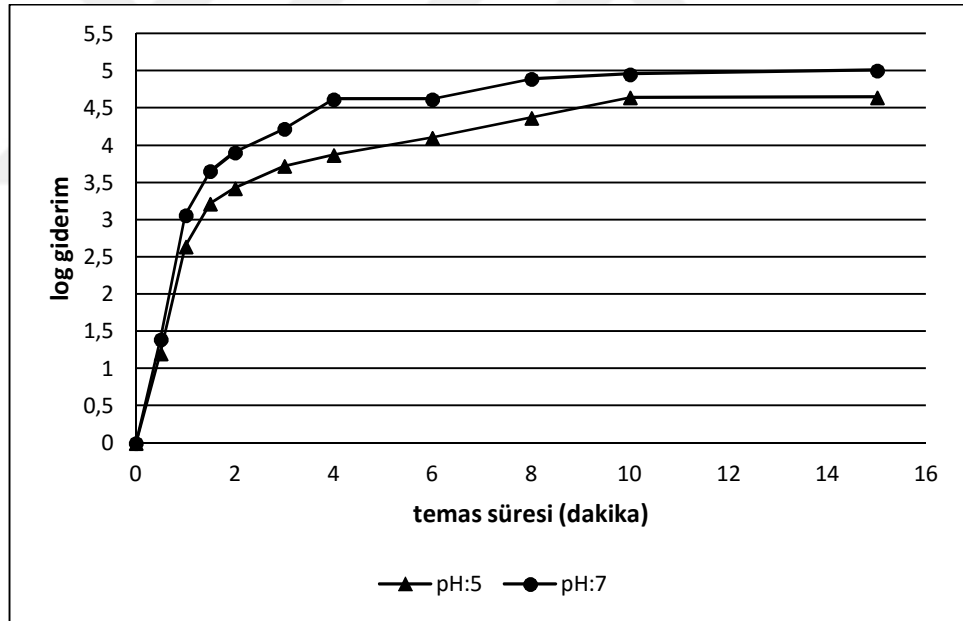
**Şekil 4.52.** KOİ: 430 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.2.1.4. UV/TiO<sub>2</sub> prosesine pH'nın etkisi

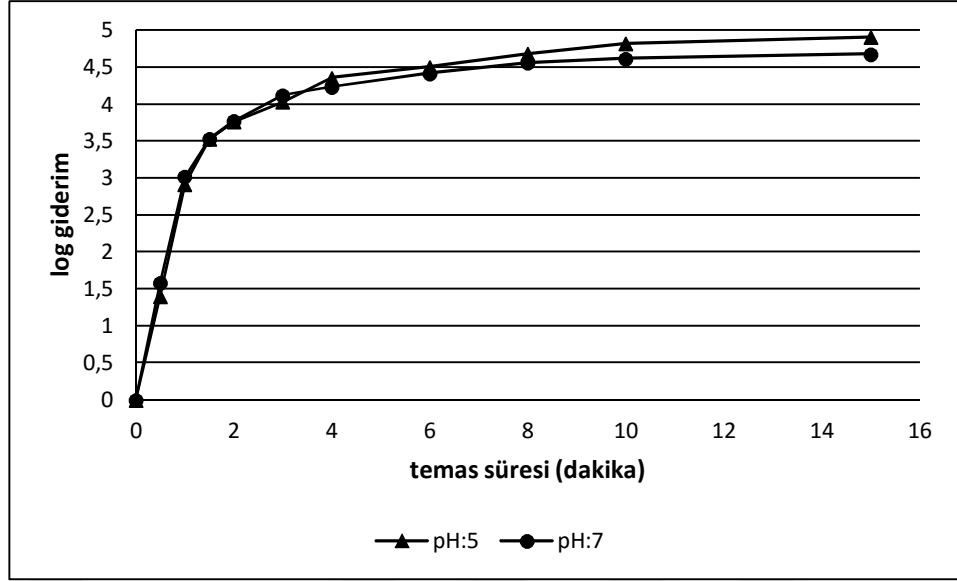
UV/TiO<sub>2</sub> prosesinde seçilen düşük ve yüksek pH değerlerinin farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve farklı organik madde konsantrasyonlarında prosese etkileri Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da verilmiştir. Bu grafikler, Şekil 4.48'de verilen, yanıt yüzeyi ve kontur grafiklerinden elde edilen eğriselliğin açıklaması niteliğinde olup, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu sabit tutulurken, pH 5 ve pH 7'nin mikroorganizma giderimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 4.54'e göre, TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L konsantrasyonunda iken, pH arttırılırsa, giderim artar. Şekil 4.55'e göre, TiO<sub>2</sub>: 9 mg/L konsantrasyonunda iken, pH arttırılırsa, giderim azalır. Şekil 4.54'de görüldüğü gibi, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu 1 mg/L, pH 5 olması durumunda, mikroorganizma giderimi en düşük değerini almış ve 3,88-log'a inmiştir. Ancak, pH 5 ve pH 7 için grafiklerin genel değerlendirmesi yapıldığında, sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve 240 sn. sonunda, aradaki farkın en çok 0,74-log olduğu görülmektedir.



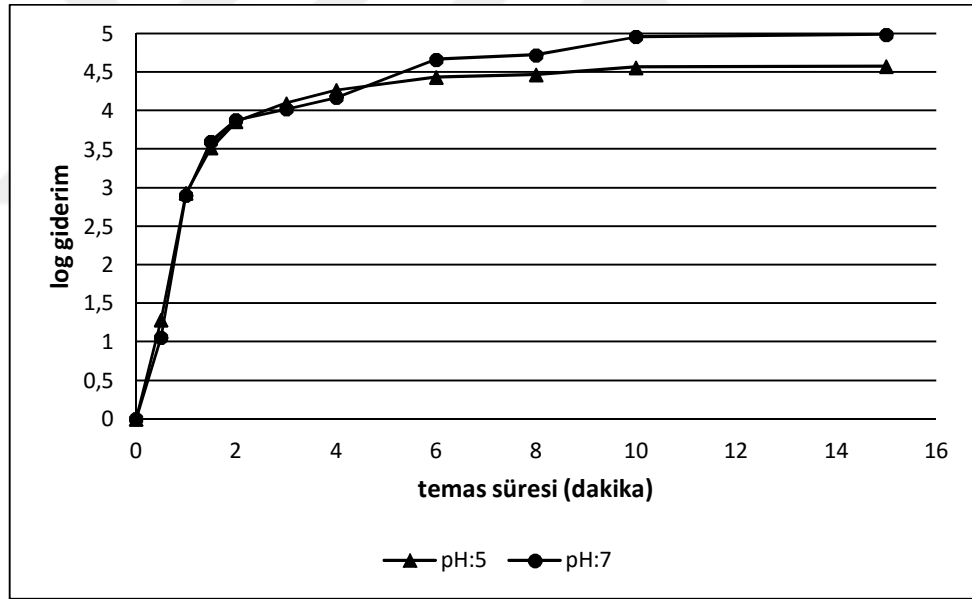
Şekil 4.53. KOİ: 90 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi



Şekil 4.54. KOİ: 260 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi



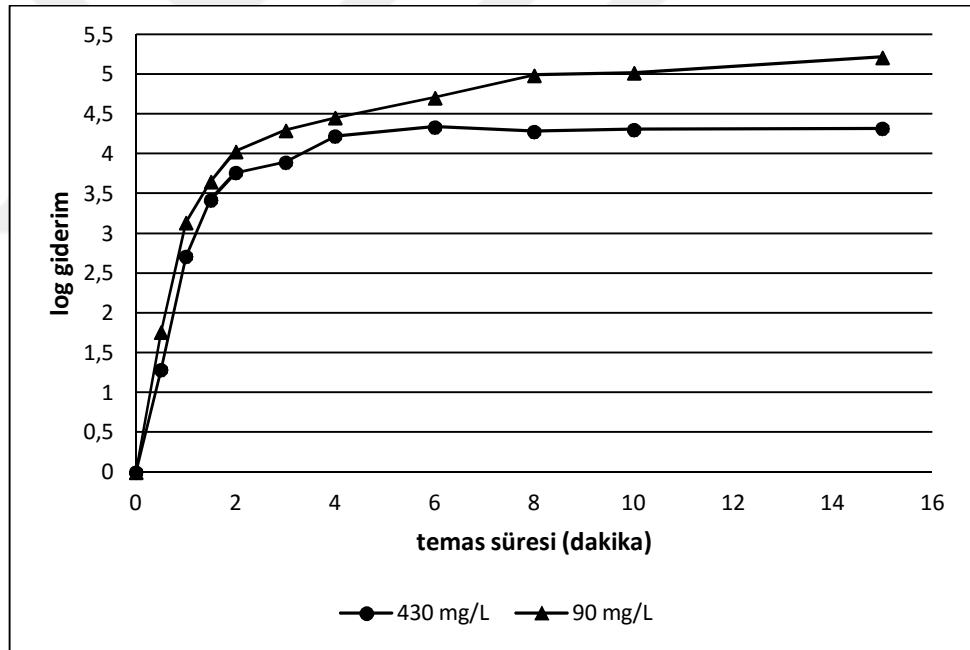
Şekil 4.55. KOİ: 260 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 9 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi



Şekil 4.56. KOİ: 430 mg/L ve TiO<sub>2</sub>: 5 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek pH'ın prosese etkisi

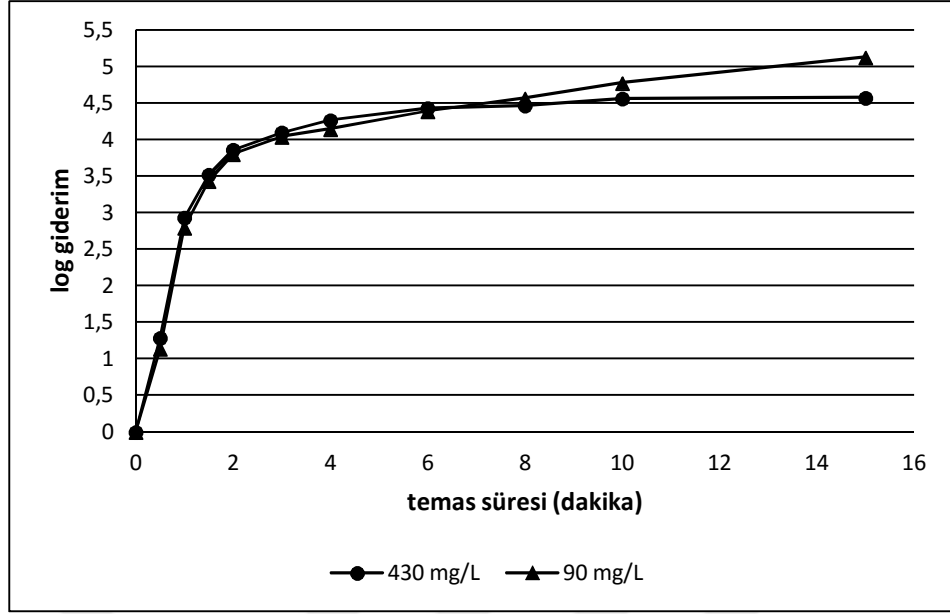
#### 4.2.1.5. UV/TiO<sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi

Seçilen düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının farklı pH ve farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında UV/TiO<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'da verilmiştir. Bölüm 4.2.1.2'deki istatistiksel analizlerde, organik madde konsantrasyonunun mikroorganizma giderimi üzerinde etkili olmadığı belirtilmiş ve oluşturulan modele eklenmemiştir. Aşağıdaki grafiklerde bu sonucu desteklemektedir. İlk bakışta, Şekil 4.57'de 90 mg/L organik madde konsantrasyonu ile daha yüksek giderimlerin elde edildiği göze çarpmaktadır. Ancak, tüm grafikler değerlendirildiğinde, KOİ değerinin 90 mg/L veya 430 mg/L olmasının, mikroorganizma giderimleri üzerinde çok büyük değişiklikler göstermediği görülmektedir. Her iki konsantrasyona ait grafikler hemen hemen çakışmıştır.

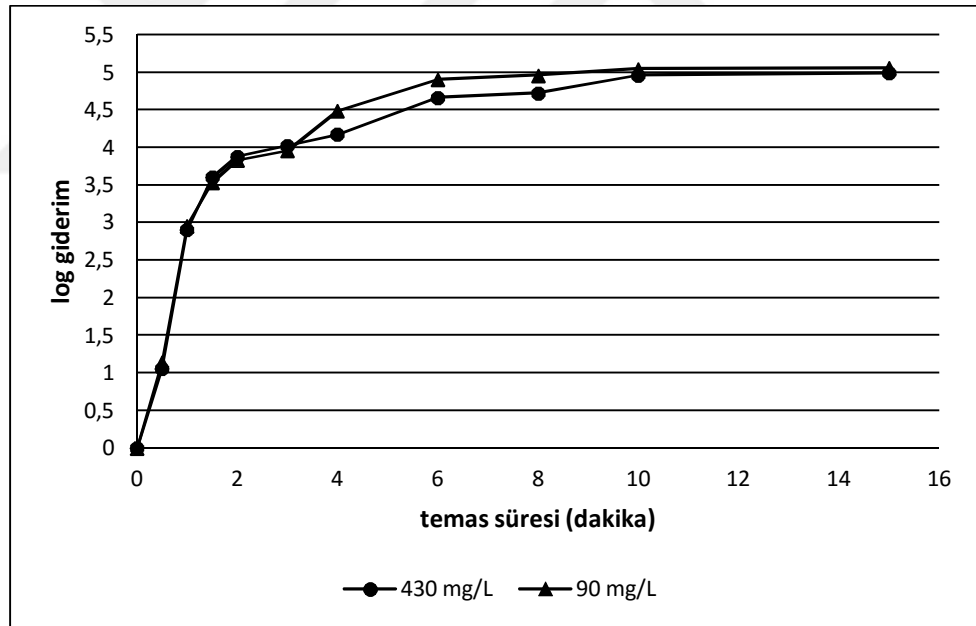


Şekil 4.57. TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi

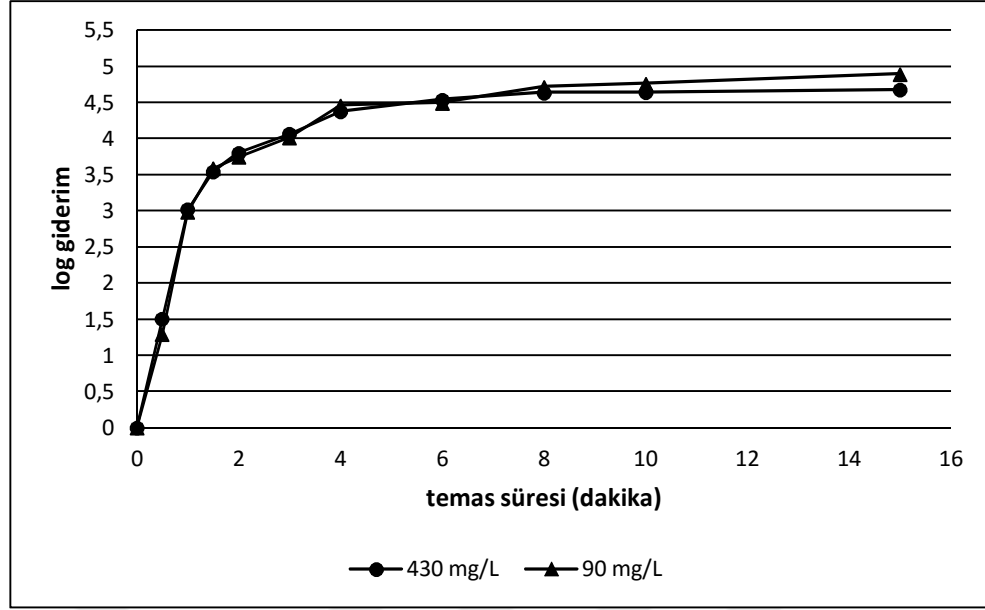




Şekil 4.58. TiO<sub>2</sub>: 5 mg/L ve pH:5 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.59. TiO<sub>2</sub>: 5 mg/L ve pH:7 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.60. TiO<sub>2</sub>: 9 mg/L ve pH:6 değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.2.1.6. UV/TiO<sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisi

UV/TiO<sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisini değerlendirmek amacıyla, farklı TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu, pH ve organik madde konsantrasyonlarında, hızlı ve yavaş karıştırma ile denemeler gerçekleştirilmiştir. TiO<sub>2</sub>'nin çökmesini engellemek amacıyla, deneylerin karıştırmasız yapılması tercih edilmemiştir. 240 sn. sonunda elde edilen sonuçlar ve istatistiksel değerlendirme tablosu Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24'te, elde edilen sonuçlara ait grafikler ise Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'da verilmiştir.

Hızlı ve yavaş karıştırmanın mikroorganizma giderimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, eşleştirilmiş t testi uygulanmıştır. Çizelge 4.24'e göre, aradaki farklar istatistiksel olarak önemli olup, hızlı karıştırma, yavaş karıştırmaya göre mikroorganizma gideriminde daha etkilidir. Ayrıca, Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'da da, hızlı karıştırmanın, yavaş karıştırmaya göre daha etkili olduğu açık bir şekilde görülmektedir. 4 dk. sonunda hızlı karıştırma ile ulaşılan en yüksek giderim değeri 4,62-log iken, yavaş karıştırma ile ulaşılan en yüksek giderim değeri 3,31-log'dur. 10 dk. sonunda hızlı karıştırma ile ulaşılan en yüksek

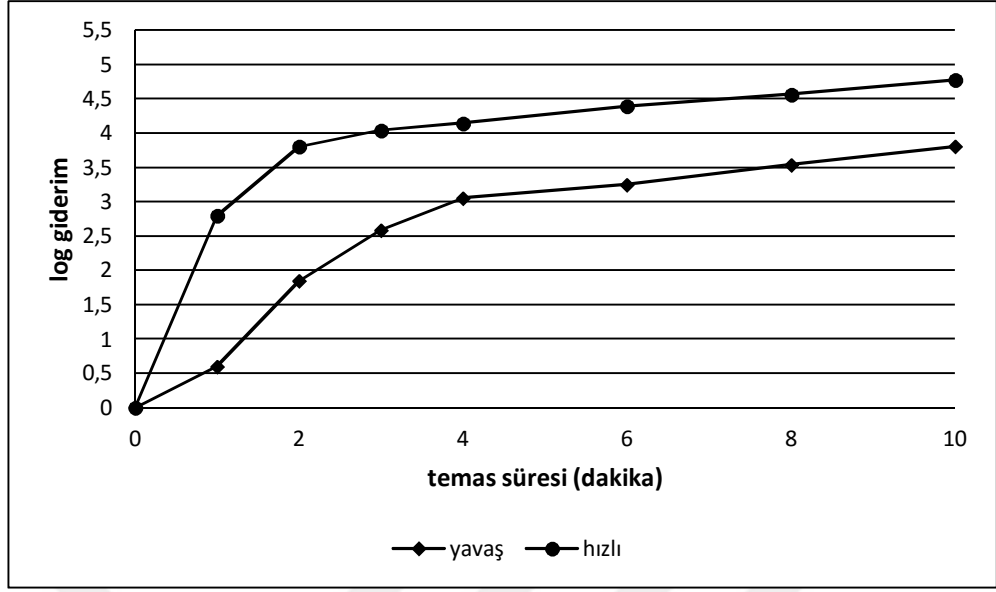
giderim değeri 5,05-log iken (Şekil 4.62), yavaş karıştırma ile ulaşılan en yüksek giderim değeri 4,08-log'dur (Şekil 4.64).

**Çizelge 4.23.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için yavaş ve hızlı karıştırma deney sonuçları

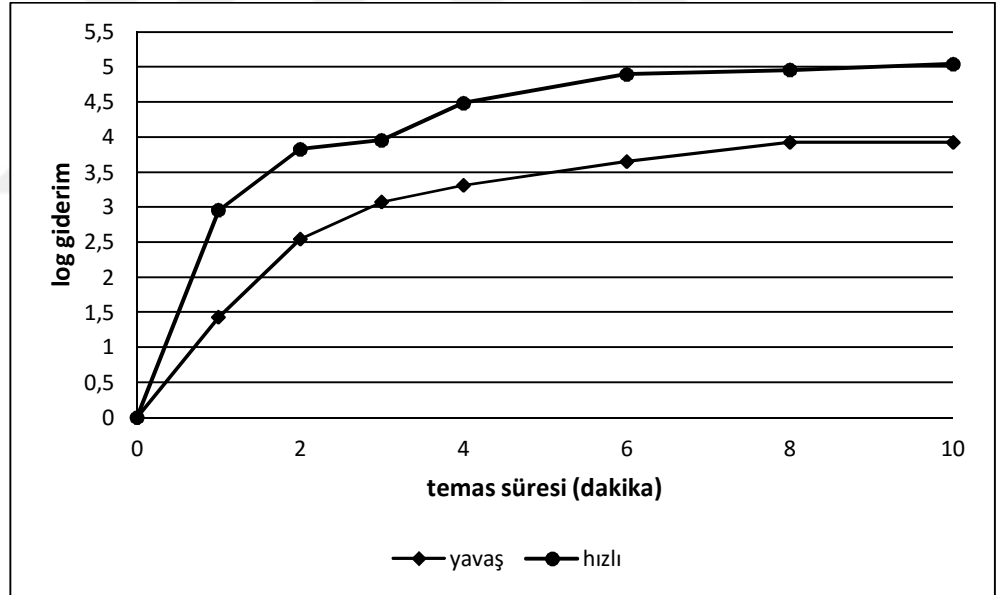
Deneme	Deney şartları			Yavaş karıştırma	Hızlı karıştırma
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim (240 sn. sonunda)	Log giderim (240 sn. sonunda)
1	90	5	5	3,05	4,15
2	90	7	5	3,31	4,49
3	90	6	1	2,91	4,46
4	260	6	5	3,19	4,47
5	260	5	1	3,00	3,88
6	260	7	1	2,87	4,62

**Çizelge 4.24.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için hızlı ve yavaş karıştırma etkisinin karşılaştırılması

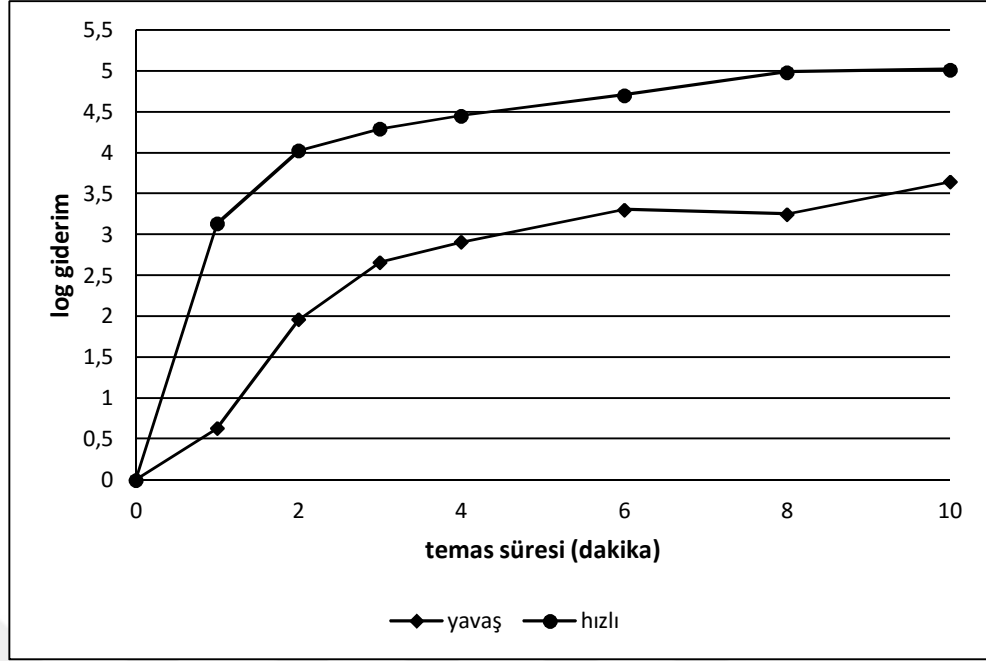
Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> kons. (X <sub>3</sub> )	İstatistiksel test sonuçları	Sonuç
90	5	5	$t = -7,63 < t_{0,05} = -2.45$	Hızlı karıştırma ile mikroorganizma giderimi > Yavaş karıştırma ile mikroorganizma giderimi
90	7	5	$t = -15,34 < t_{0,05} = -2.45$	Hızlı karıştırma ile mikroorganizma giderimi > Yavaş karıştırma ile mikroorganizma giderimi
90	6	1	$t = -11,44 < t_{0,05} = -2.45$	Hızlı karıştırma ile mikroorganizma giderimi > Yavaş karıştırma ile mikroorganizma giderimi
260	6	5	$t = -5,74 < t_{0,05} = -2.45$	Hızlı karıştırma ile mikroorganizma giderimi > Yavaş karıştırma ile mikroorganizma giderimi
260	5	1	$t = -7,60 < t_{0,05} = -2.45$	Hızlı karıştırma ile mikroorganizma giderimi > Yavaş karıştırma ile mikroorganizma giderimi
260	7	1	$t = -12,65 < t_{0,05} = -2.45$	Hızlı karıştırma ile mikroorganizma giderimi > Yavaş karıştırma ile mikroorganizma giderimi



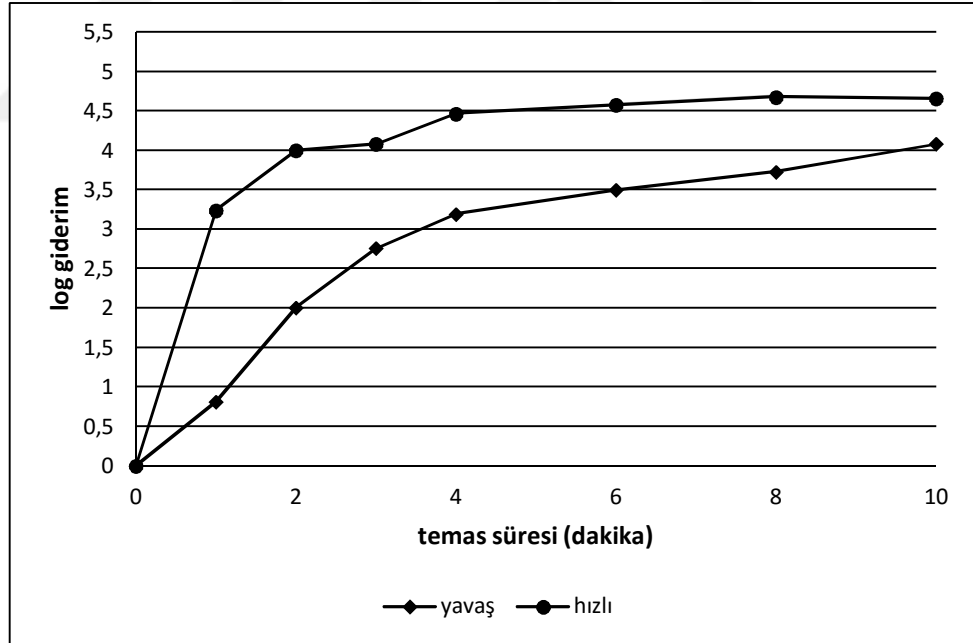
Şekil 4.61. KOİ: 90 mg/L, pH:5 ve TiO<sub>2</sub>: 5 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması



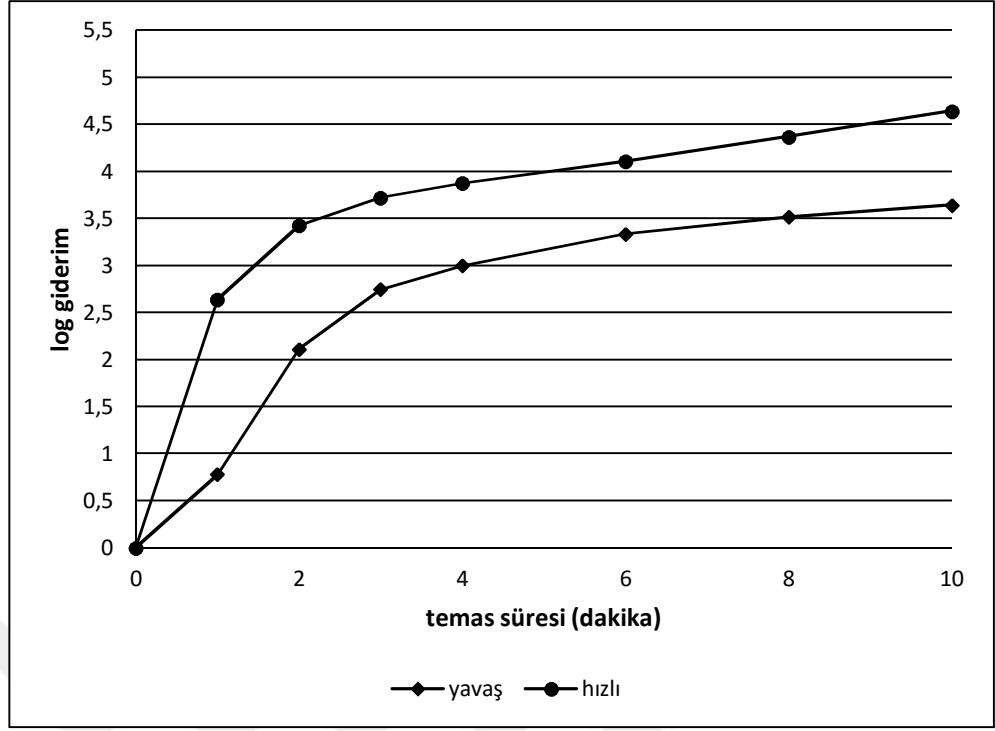
Şekil 4.62. KOİ: 90 mg/L, pH:7 ve TiO<sub>2</sub>: 5 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması



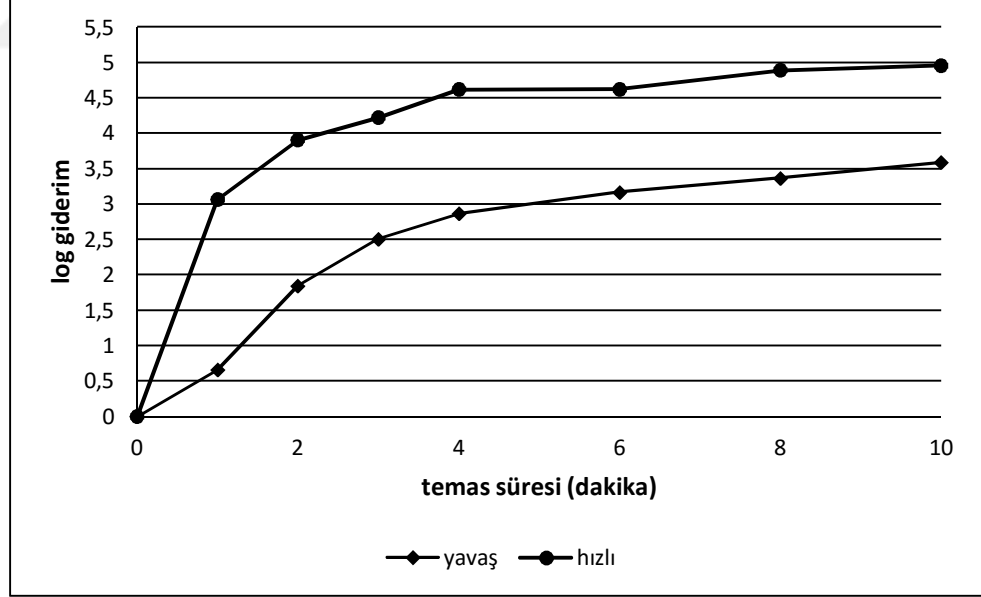
Şekil 4.63. KOİ: 90 mg/L, pH:6 ve TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması



Şekil 4.64. KOİ: 260 mg/L, pH:6 ve TiO<sub>2</sub>: 5 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması



Şekil 4.65. KOİ: 260 mg/L, pH:5 ve TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması



Şekil 4.66. KOİ: 260 mg/L, pH:7 ve TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L değerlerinde yavaş ve hızlı karıştırmanın karşılaştırılması

#### 4.2.2. *B.subtilis* sporları ile gerçekleştirilen UV/TiO<sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları

UV/TiO<sub>2</sub> prosesinin evsel atıksulardan *B.subtilis* sporları giderimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla denemeler gerçekleştirilmiştir. Deneysel dizayn yöntemine bağlı kalınmadan, *E.coli* için kullanılan konsantrasyonlar bu deneylerde de uygulanmıştır. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi için, bağımsız değişkenler, organik madde konsantrasyonu, pH ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonudur. 90 mg/L organik madde konsantrasyonu ile en yüksek giderimin elde edildiği şartlarda, 430 mg/L organik madde konsantrasyonu ile de deneyler gerçekleştirilmiştir. Uygulanan deneylerde, 240 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderim değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.25). Ayrıca, her denemeden elde edilen grafikler Şekil 4.67’de verilmiştir.

**Çizelge 4.25.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen sonuçlar

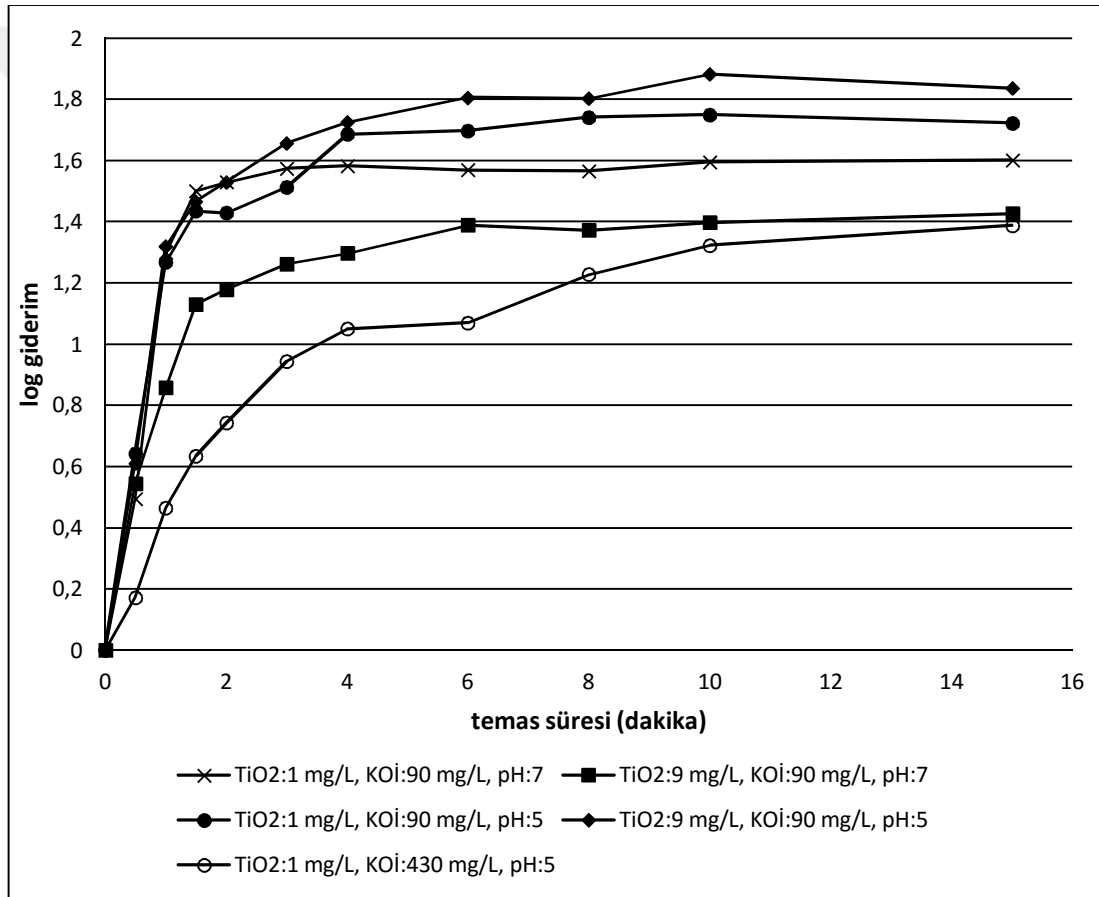
Deneme	Deney şartları			Sonuç (240 sn. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	90	5	1	1,69
2	90	5	9	1,73
3	90	7	1	1,58
4	90	7	9	1,30
5	430	5	1	1,05

Şekil 4.67’de görüldüğü gibi, KOİ: 90 mg/L için, 240 sn. sonunda, en yüksek *B.subtilis* spor giderimi, 9 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda ve pH 5 değerinde sağlanmış ve 1,73-log giderim elde edilmiştir. En düşük *B.subtilis* spor giderimi, 9 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda ve pH 7 değerinde sağlanmış ve 1,30-log giderim elde edilmiştir. pH 5’te daha yüksek mikroorganizma giderimlerinin elde edildiği görülmektedir.

TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse, pH 7’de 1 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile daha fazla giderim elde edilmiştir. 240 sn. sonunda, 1 mg/L TiO<sub>2</sub> ile 1,58-log’a ulaşılırken, 9 mg/L ile 1,30-log giderim elde edilmiştir. pH 5’te ise 9 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile daha fazla giderim elde edilmiştir. 240 sn. sonunda, 1 mg/L TiO<sub>2</sub> ile 1,69-log’a ulaşılırken, 9 mg/L ile 1,73-log giderim elde edilmiştir. Ancak, pH 5’te, 1

ve 9 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları için her temas süresinde elde edilen sonuçlar birbirine çok yakındır.

430 mg/L ile gerçekleştirilen deneme de, düşük pH (5) değerinde çalışılmıştır. 430 mg/L'nin kendi bulanıklığı fazla olduğundan ve TiO<sub>2</sub> eklenmesiyle de suyun bulanıklığını daha da arttırmamak amacıyla, düşük TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (1 mg/L) tercih edilmiştir. Şekil 4.67'ye göre, 430 mg/L ile gerçekleştirilen deneme, 90 mg/L ile gerçekleştirilen tüm denemelerden daha düşük olup, 240 sn. sonunda 1,05-log'a ulaşılmıştır.



Şekil 4.67. *B.subtilis* sporları ile gerçekleştirilen UV/TiO<sub>2</sub> deneylerinin karşılaştırılması



#### 4.2.3. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile *E.coli* ve *B.subtilis* sporları gideriminin karşılaştırılması

Bu bölümde, UV/TiO<sub>2</sub> prosesinin *E.coli* ve *B.subtilis* sporları giderimindeki etkisi karşılaştırılmıştır. 240 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderimleri Çizelge 4.26'da verilmiştir. Burada belirtmek gerekir ki, karşılaştırma yapılan şartlar birbirinden farklıdır ve birbirine en yakın olabilecek şartlar karşılaştırma amacıyla seçilmiştir. Çizelge 4.26'da açıkça görüldüğü gibi, *E.coli* için ulaşılan en düşük giderim değeri, 3,88-log iken, *B.subtilis* sporları için ulaşılan en yüksek giderim değeri 1,73-log'da kalmıştır. UV/TiO<sub>2</sub> prosesinin *B.subtilis* sporları gideriminde daha az etkili olduğu açıktır.

90 mg/L organik madde konsantrasyonu için, TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L olması durumunda, *B.subtilis* sporları için giderim değerleri, 1,58-log ve 1,69-log'a ulaşırken, *E.coli* için 4,46-log'a ulaşmıştır. 90 mg/L organik madde konsantrasyonu için, TiO<sub>2</sub>: 9 mg/L olması durumunda, *B.subtilis* sporları için giderim değerleri, 1,30-log ve 1,73-log'a ulaşırken, *E.coli* için 4,46-log'a ulaşmıştır. 430 mg/L organik madde konsantrasyonu için, TiO<sub>2</sub>: 1 mg/L olması durumunda, *B.subtilis* sporları için giderim değeri, 1,05-log'a ulaşırken, *E.coli* için 4,22-log'a ulaşmıştır. Sonuç olarak, *E.coli* için elde edilen giderim değerleri, *B.subtilis* için elde edilen giderim değerlerinden daha yüksektir ve aralarındaki fark 2,5-log'un üstüne çıkmaktadır.

**Çizelge 4.26.** UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile *E.coli* ve *B.subtilis* sporları gideriminin karşılaştırılması

<i>B.subtilis</i> sporları				
Deneme	Deney şartları			Sonuç (240 sn. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	90	5	1	1,69
2	90	5	9	1,73
3	90	7	1	1,58
4	90	7	9	1,30
5	430	5	1	1,05

<i>E.coli</i>				
Deneme	Deney şartları			Sonuç (240 sn. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	90	6	1	4,46
2	90	6	9	4,46
3	260	5	1	3,88
4	90	7	5	4,49
5	430	6	1	4,22

#### 4.2.4. *E.coli* ile gerçekleştirilen UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları

##### 4.2.4.1. Etkili H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin evsel atıksuların dezenfeksiyonundaki etkisini değerlendirmek için, düşük ve yüksek olmak üzere iki farklı konsantrasyonda çalışılmasına karar verilmiştir. Etkili H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla, deneyler yapılmamış, literatür değerleri baz alınmıştır. Literatürde, yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin kendini tüketmesine sebep olduğu ve verimi düşürdüğü bildirilmiştir. Ayrıca, maliyeti de arttıracığından, çok yüksek konsantrasyonlar tercih edilmemiştir. Güneş ışığı ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon çalışmaları ile de uyumlu olması açısından, minimum ve maksimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları olarak 10 mg/L ve 65 mg/L seçilmiştir.

#### 4.2.4.2. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için, bağımsız değişkenler olarak seçilen organik madde konsantrasyonu, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve AKM konsantrasyonu parametrelerinin mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkilerini ve birbirleri ile etkileşimlerini incelemek amacıyla tam faktöriyel deneysel dizaynı kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler, organik madde konsantrasyonu (X<sub>1</sub>), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>2</sub>) ve AKM konsantrasyonu (X<sub>3</sub>) olarak kodlanmış ve herbiri için maksimum (+1), ortalama (0) ve minimum (-1) değerler belirlenmiştir. Çizelge 4.27’de, bağımsız değişkenler ve seviyeleri verilmiştir. 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu uygulanan deneyler karıştırmalı ve karıştırmaz olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, her denemeden elde edilen grafikler Şekil 4.68’de verilmiştir.

Deney sayısı,  $2^3 = 8$  ve merkez noktada 3 deney olmak üzere, toplam 11’dir. Uygulanan deneylerde, 180 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderim değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.28).

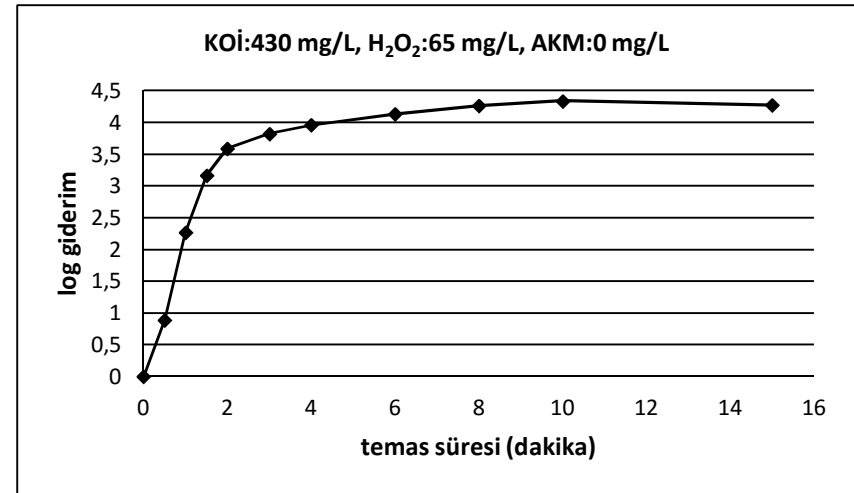
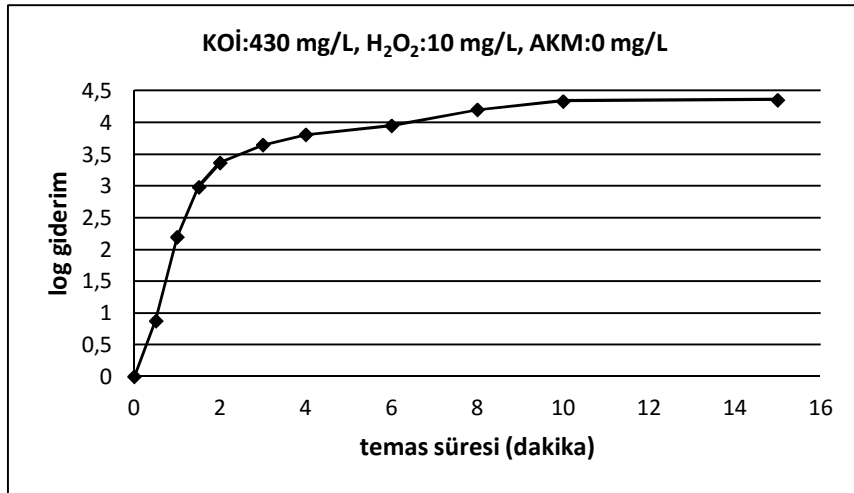
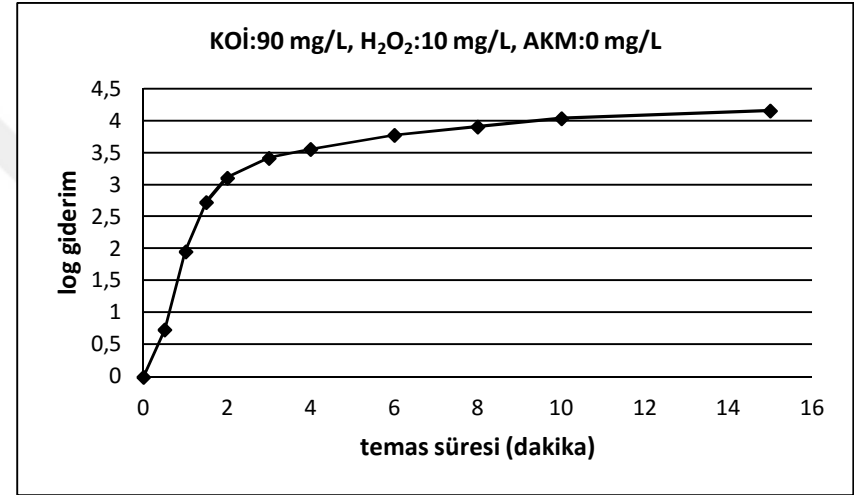
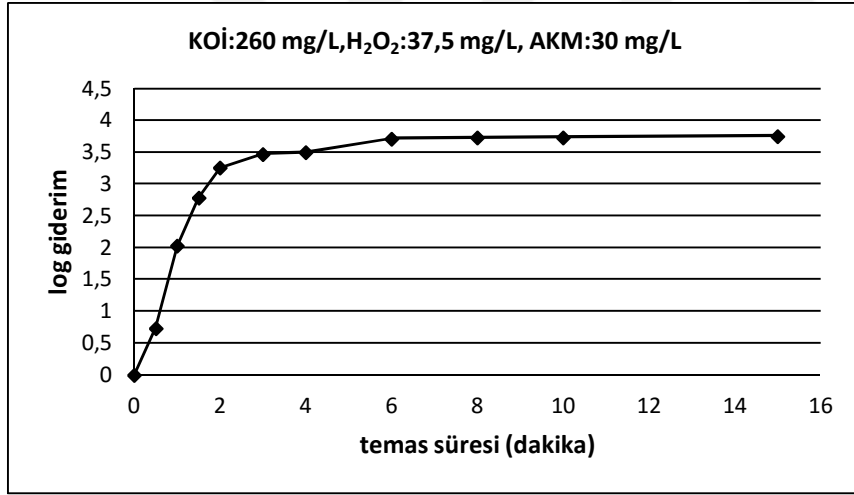
**Çizelge 4.27.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için bağımsız değişkenler ve seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Kodlar	Seviyeler		
		-1	0	1
Organik madde konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>1</sub>	90	260	430
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>2</sub>	10	37,5	65
AKM konsantrasyonu (mg/L)	X <sub>3</sub>	0	30	60

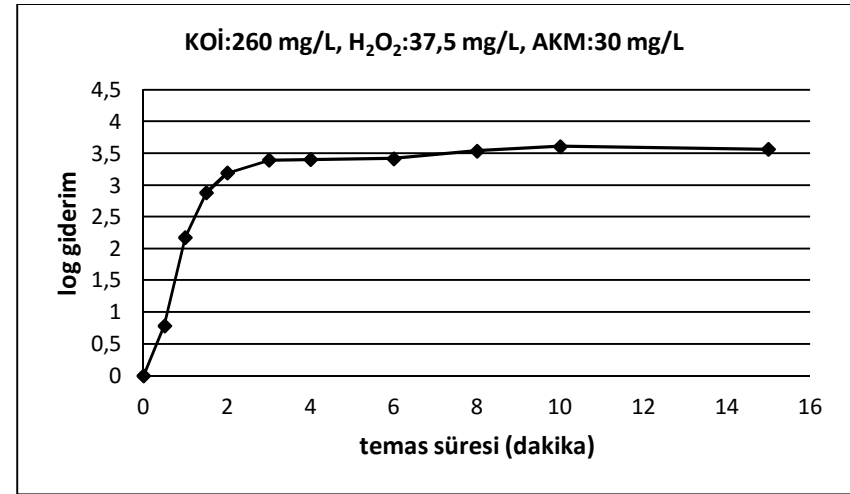
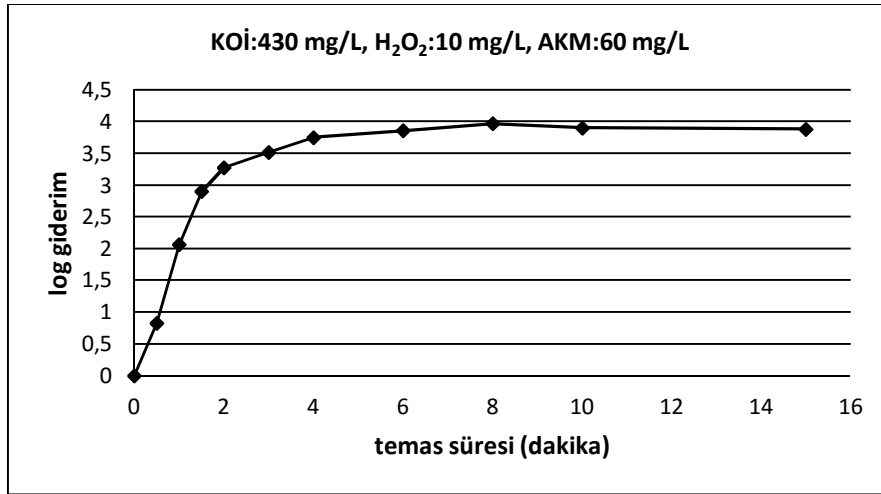
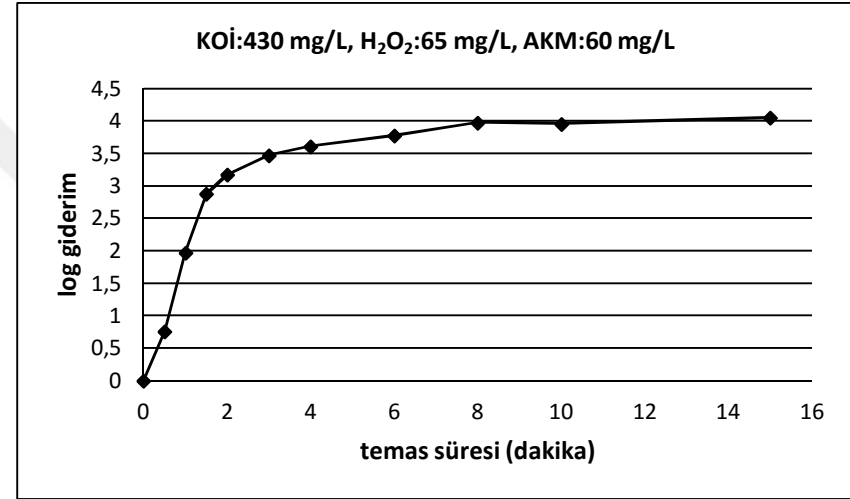
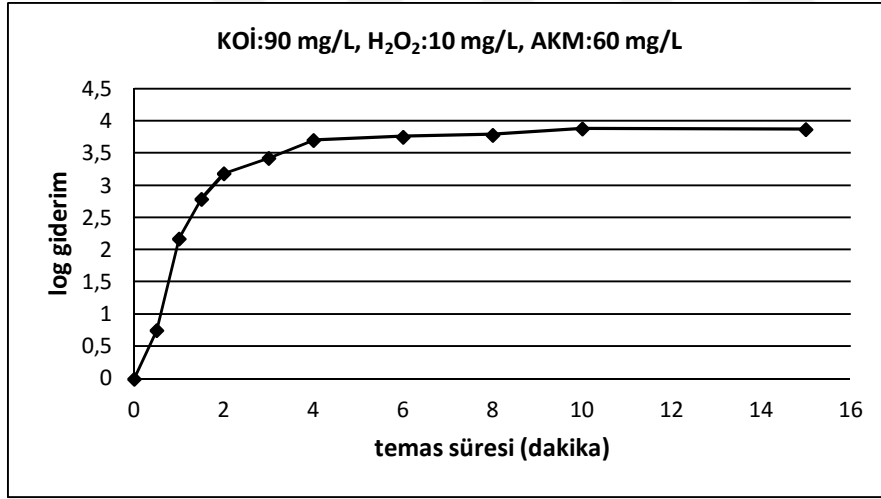
**Çizelge 4.28.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için tam faktöriyel deneysel dizayn sonuçları

Deneme	Deney şartları			Sonuç (180 sn. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	260	37,5	30	3,48
2	90	10	0	3,42
3	430	10	0	3,65
4	430	65	0	3,83
5	90	10	60	3,43
6	430	65	60	3,48
7	430	10	60	3,52
8	260	37,5	30	3,39
9	90	65	60	3,39
10	260	37,5	30	3,43
11	90	65	0	3,78

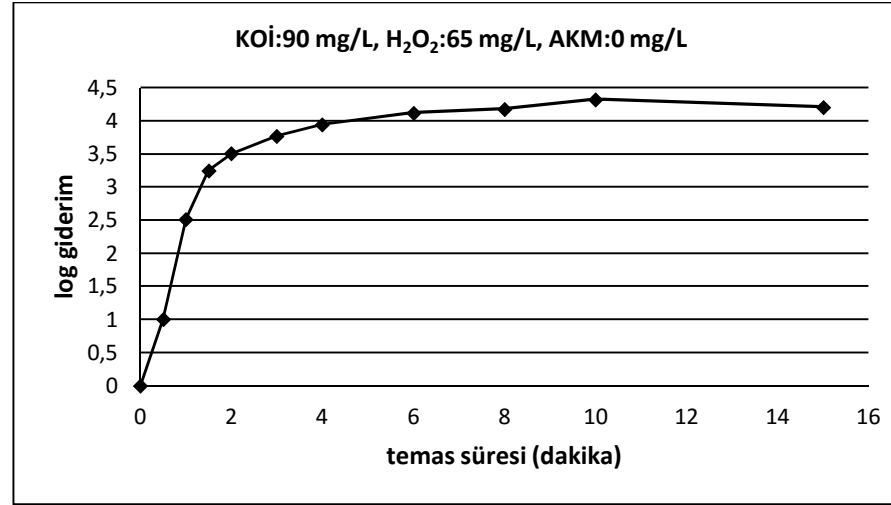
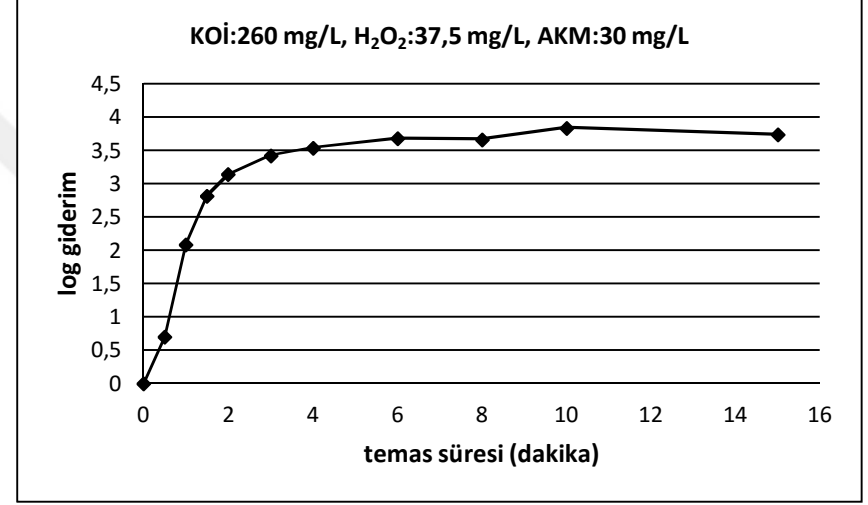
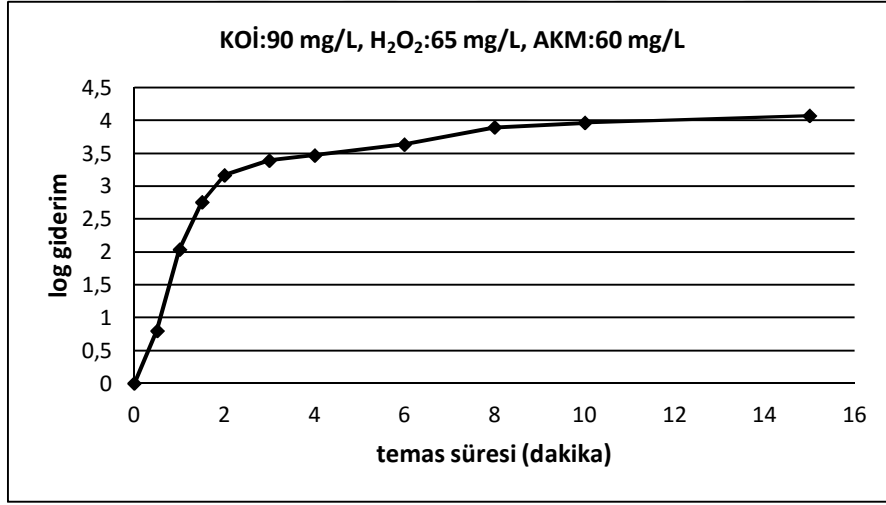
4, 6, 9 ve 11 no'lu deneyler karıştırmaz olarak yapılmıştır.



Şekil 4.68. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler

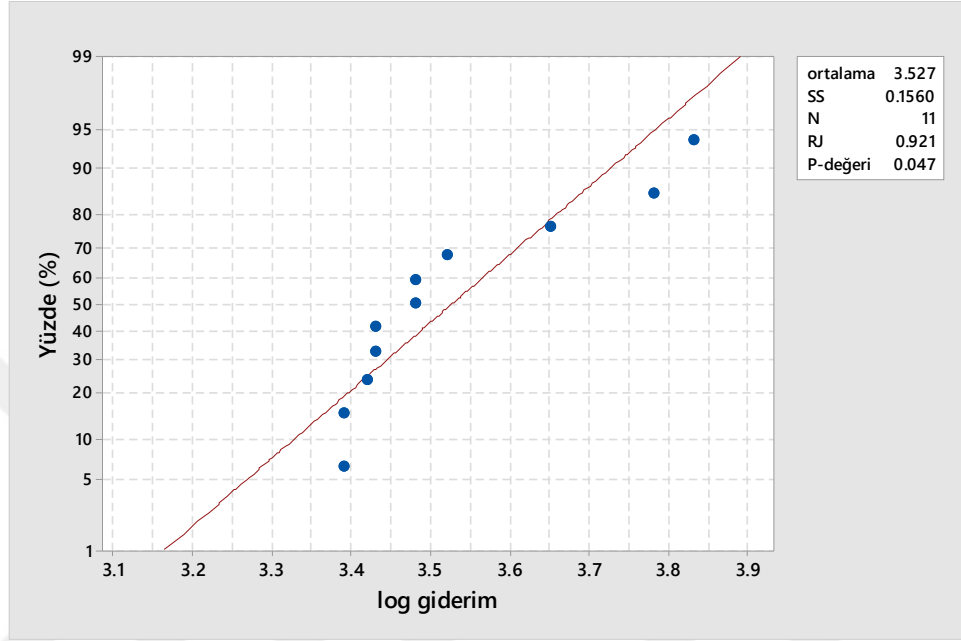


Şekil 4.68. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)



Şekil 4.68. Tam faktöriyel deneysel dizaynına göre yapılan deneylerden elde edilen grafikler (devamı)

180 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderimlerinin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla çizilen normal olasılık grafiği, Şekil 4.69'da verilmiştir. Verilerin düz çizgiden uzaklaşmış olmaları ve  $p = 0,047 < 0,05$  olması, verilerin normal dağılıma sahip olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.69. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen verilere ait normal olasılık dağılımı

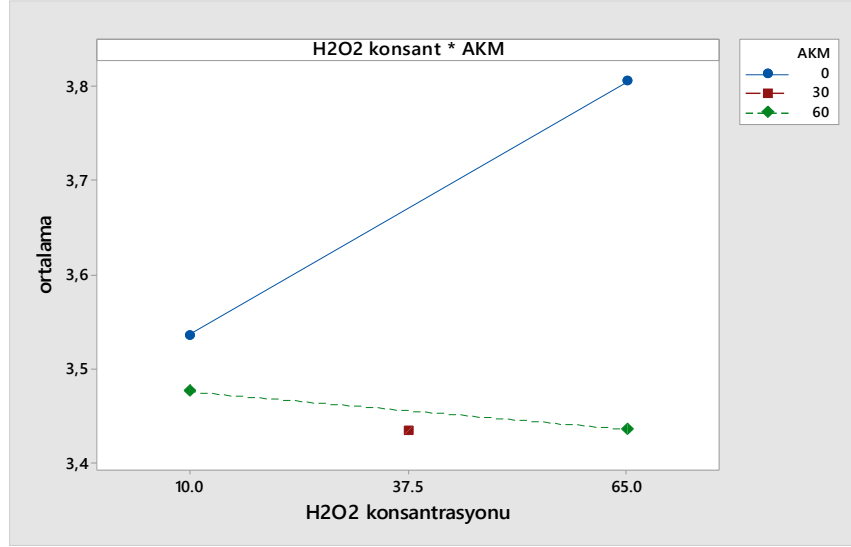
Veriler normal dağılım göstermediğinden, model oluşturulmamıştır. Bağımsız değişkenlerin ve etkileşimlerinin istatistiksel önemini belirlemek amacıyla, varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. İstatistiksel analizler % 95 önem derecesinde yapılmıştır. Prosese ait ANOVA tablosu Çizelge 4.29'da verilmiştir. Çizelge 4.29'a göre, AKM konsantrasyonu ( $X_3$ ) parametresinin ve AKM\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ( $X_2X_3$ ) etkileşiminin, p değerleri, 0,05'ten küçük olması, bu parametre ve etkileşimin, istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir.



**Çizelge 4.29.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Düzeltilmiş kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F değeri	P değeri
<b>Model</b>	8	0,239152	0,029894	14,70	0,065
<b>Lineer</b>	3	0,145350	0,048450	23,83	0,041
X <sub>1</sub>	1	0,026450	0,026450	13,01	0,069
X <sub>2</sub>	1	0,026450	0,026450	13,01	0,069
X <sub>3</sub>	1	0,092450	0,092450	45,47	0,021
<b>İki yönlü etkileşim</b>	3	0,053350	0,017783	8,75	0,104
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	0,004050	0,004050	1,99	0,294
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	0,001250	0,001250	0,61	0,515
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	0,048050	0,048050	23,63	0,040
<b>Üç yönlü etkileşim</b>	1	0,004050	0,004050	1,99	0,294
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	0,004050	0,004050	1,99	0,294
<b>Curvature</b>	1	0,036402	0,036402	17,90	0,052
<b>Hata</b>	2	0,004067	0,002033		
<b>Toplam</b>	10	0,243218			

Şekil 4.70’de, logaritmik mikroorganizma giderimi için ana etkiler-etkileşim grafiği verilmiştir. Düz ve kesikli çizginin birbirine paralel olmaması, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve AKM konsantrasyonu arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. 60 mg/L AKM konsantrasyonunda, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun 10 mg/L’den 65 mg/L’ye çıkarılmasıyla, mikroorganizma giderimi biraz azalmıştır. 0 mg/L AKM konsantrasyonunda ise, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun 10 mg/L’den 65 mg/L’ye çıkarılmasıyla mikroorganizma giderimi artmıştır. Her iki H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu için, AKM konsantrasyonunun 0 mg/L’den 60 mg/L’ye çıkarılmasıyla, mikroorganizma giderimleri azalmıştır. Ancak, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu için bu etki daha belirgindir. Ancak, aşağıdaki bölümde verilen grafiklerde de görüleceği gibi, mikroorganizma giderimleri artma ve azalmalar gösterse de, değerler birbirine çok yakındır.



**Şekil 4.70.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine ait mikroorganizma giderimi için ana etkiler-etkileşim grafiği

Çeşitli parametreler için başlangıç ve çıkış değerleri ile kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları, Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31’de verilmiştir. Prosesin genel ve istatistiksel değerlendirmesinin yapıldığı bu bölümde, diğer parametrelerinde değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sıcaklık değerleri, proses başlangıcında 20,4-21,7 °C, proses sonunda 21,5-21,9 °C aralığında değişmiştir. Çıkış değerleri, başlangıç değerlerine göre artış göstermiştir. Ancak, bu artış, 1 °C’yi geçmemiştir.

pH değerleri, proses başlangıcında 6,98-7,09, proses sonunda 5,91-6,81 aralığında değişmiştir. Proses sonunda, pH değerleri, genel olarak azalma eğilimi göstermiştir.

İletkenlik değerleri, 90 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 66,9-72,9 µs/cm, proses sonunda 72,7-83 µs/cm aralığında değişmiştir. 430 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 187,8-201,2 µs/cm, proses sonunda 200,5-209,3 µs/cm aralığında değişmiştir. Proses sonunda, iletkenlik değerleri, tüm deneylerde artmıştır. Bu durumun, oluşan ara ürünlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Çizelge 4.30.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve sadece UV prosesleri için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri

DENEYLER		PARAMETRE					
		pH	Sıcaklık (°C)	İletkenlik (µs/cm)	Çözünmüş oksijen (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	UV-abs 254 nm (%T)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	6,98	21,7	72,9	9,79	1,09	0,111 (%77,5)
	<b>Çıkış</b>	6,32	21,7	78,7	0,44	1,27	0,131 (%73,9)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,09	21,6	71,4	10,38	1,30	0,135 (%73,3)
	<b>Çıkış</b>	5,91	21,9	83	0,48	1,41	0,237 (%58,1)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	-	-	-	-	1,08	0,494 (%32)
	<b>Çıkış</b>	-	-	-	-	1,51	0,606 (%24,8)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,06	20,4	201,2	9,68	0,71	0,503 (%31,4)
	<b>Çıkış</b>	6,81	21,5	209,3	0,81	0,57	0,614 (%24,3)

**Çizelge 4.30.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve sadece UV prosesleri için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri (devamı)

DENEYLER		PARAMETRE					
		pH	Sıcaklık (°C)	İletkenlik (µs/cm)	Çözülmüş oksijen (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	UV-abs 254 nm (%T)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7.02	20.8	67.4	9.17	48	0.356 (%44.1)
	<b>Çıkış</b>	6.55	21.8	72.7	0.57	42.7	0.349 (%44.8)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7	21	66.9	9.25	49	0.408 (%39.2)
	<b>Çıkış</b>	5.98	21.9	78.8	0.46	48.3	0.475 (%33.5)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7	21	187.8	8.96	64.2	0.754 (%17.5)
	<b>Çıkış</b>	6.48	21.8	200.5	0.57	69.6	0.921 (%12)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7	21	192.4	9.16	67.4	0.755 (%17.6)
	<b>Çıkış</b>	6.55	21.5	202.3	0.6	71	0.921 (%11.9)

**Çizelge 4.30.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve sadece UV prosesleri için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri (devamı)

DENEYLER	PARAMETRE						
		pH	Sıcaklık (°C)	İletkenlik (µs/cm)	Çözünmüş oksijen (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	UV-abs 254 nm (%T)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :37,5 mg/L, KOİ:260 mg/L, AKM:30 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7	21.5	135.7	9.84	28.4	0.445 (%35.9)
	<b>Çıkış</b>	6.53	21.8	144	0.5	29.8	0.513 (%30.7)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :0 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	7,06	21,4	72,9	-	0,99	0.121 (%75.5)
	<b>Çıkış</b>	7,24	21,5	75,8	-	1,01	0.154 (%69.8)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :0 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	-	-	-	-	1.25	0.473 (% 33.6)
	<b>Çıkış</b>	-	-	-	-	-	-

**Çizelge 4.31.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi sonrası kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri

DENEYLER	Kalan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L
	<b>Çıkış</b>	~5 mg/L (30 dk.)      ~2 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L
	<b>Çıkış</b>	~15 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L
	<b>Çıkış</b>	~5 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L
	<b>Çıkış</b>	30-40 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L
	<b>Çıkış</b>	~2-5 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L
	<b>Çıkış</b>	~25 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :10 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	10 mg/L
	<b>Çıkış</b>	~ 5 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b>	65 mg/L
	<b>Çıkış</b>	>30 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :37,5 mg/L, KOİ:260 mg/L, AKM:30 mg/L	<b>Başlangıç</b>	37,5 mg/L
	<b>Çıkış</b>	~15-20 mg/L (60 dk.)

Çözünmüş oksijen değerleri, proses başlangıcında 8,96-10,38 mg/L, proses sonunda 0,44-0,81 mg/L aralığında değişmiştir. Proses sonunda, çözünmüş oksijen değerleri azalmıştır. Reaktör kapalı olup, oksijen kazanımı olmamaktadır. Ayrıca, gerçekleşen reaksiyonlarda oksijen harcandığından, reaktör içindeki oksijen sıfıra yaklaşmıştır.

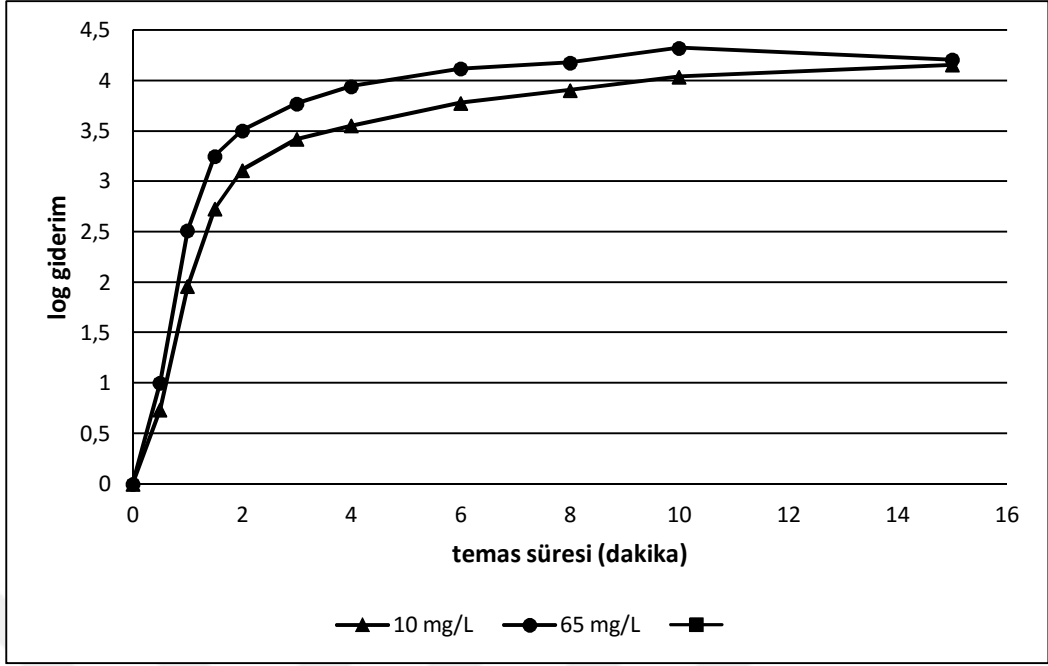
Bulanıklık değerleri, proses başlangıcında 0,71-67,4 NTU, proses sonunda 0,57-71 NTU aralığında değişmiştir. Proses sonunda, bulanıklık değerleri, genel olarak artma eğilimi göstermiştir.

UV-abs (254 nm) (% T) değerleri, 90 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 0,111 (%77,5)-0,408 (%39,2), proses sonunda 0,131 (%73,9)-0,475 (%33,5) aralığında değişmiştir. 430 mg/L KOİ için, proses başlangıcında 0,494 (%32)-0,875 (%13,3), proses sonunda 0,755 (%17,6)-0,921 (%11,9) aralığında değişmiştir. Proses sonunda, 254 nm için UV-abs değerleri, tüm deneylerde artmıştır. Bu durumun, oluşan ara ürünlerden veya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin parçalanmasıyla açığa çıkan ürünlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Muhtemelen, oluşan ara ürünlerin ışık absorbanları daha fazladır.

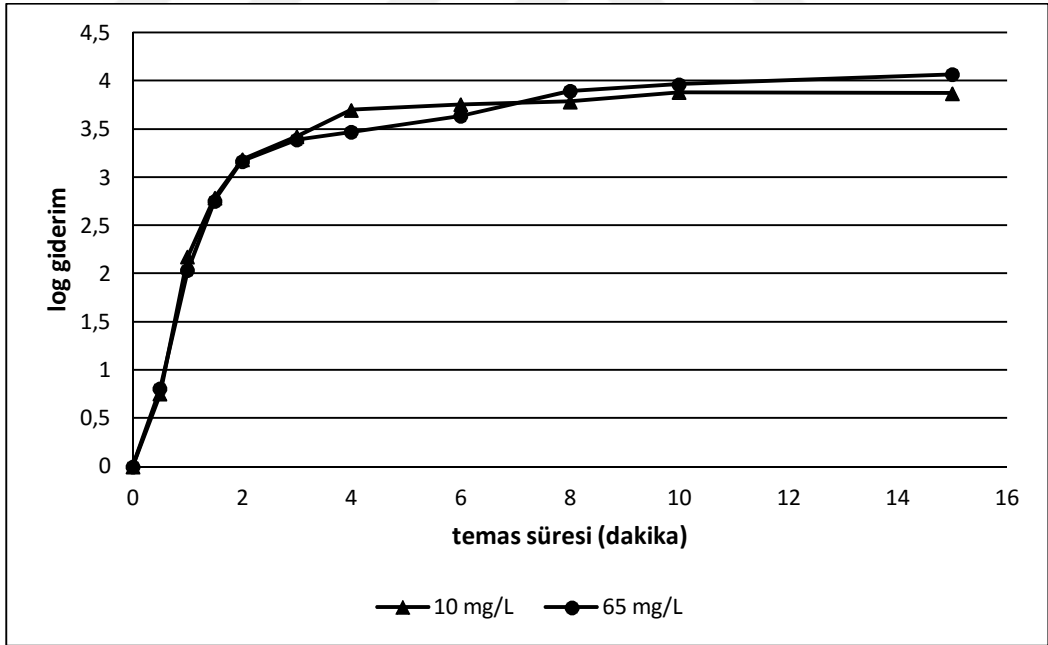
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu, başlangıç konsantrasyonu 10 mg/L olan deneylerde, ilk 1 saat içerisinde 5 mg/L'ye inmektedir. Başlangıç konsantrasyonu 65 mg/L olan deneylerde ise, ilk 1 saat içerisinde daha yavaş tüketim gerçekleşmekte ve kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu 15-40 mg/L arasında değişmektedir. En hızlı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tüketimi, KOİ: 90 mg/L, AKM:0 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L şartlarında gerçekleşmiştir.

#### **4.2.4.3. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi**

Seçilen düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının farklı pH ve farklı organik madde konsantrasyonlarında UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.71, Şekil 4.72, Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'de verilmiştir. 180 sn. sonunda, 10 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> uygulanan deneylerde elde edilen *E.coli* giderimleri, 3,42-log, 3,43-log, 3,65-log, 3,52-log; 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> uygulanan deneylerde elde edilen *E.coli* giderimleri, 3,95-log, 3,39-log, 3,83-log, 3,48-log olup, aradaki fark en çok 0,53-log'a ulaşmıştır.

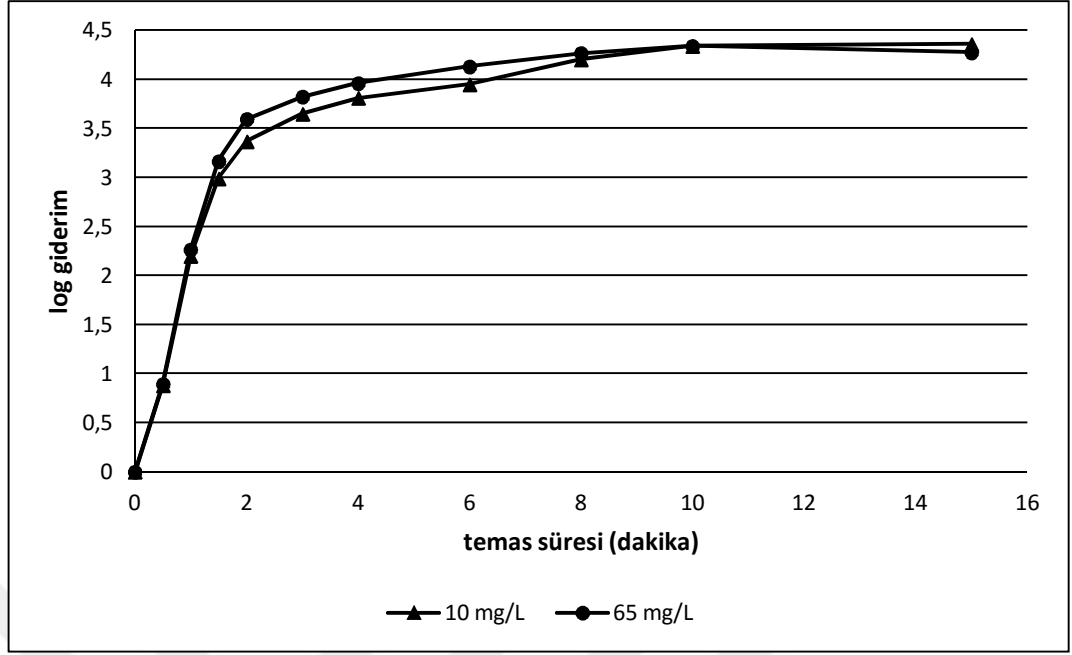


Şekil 4.71. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi

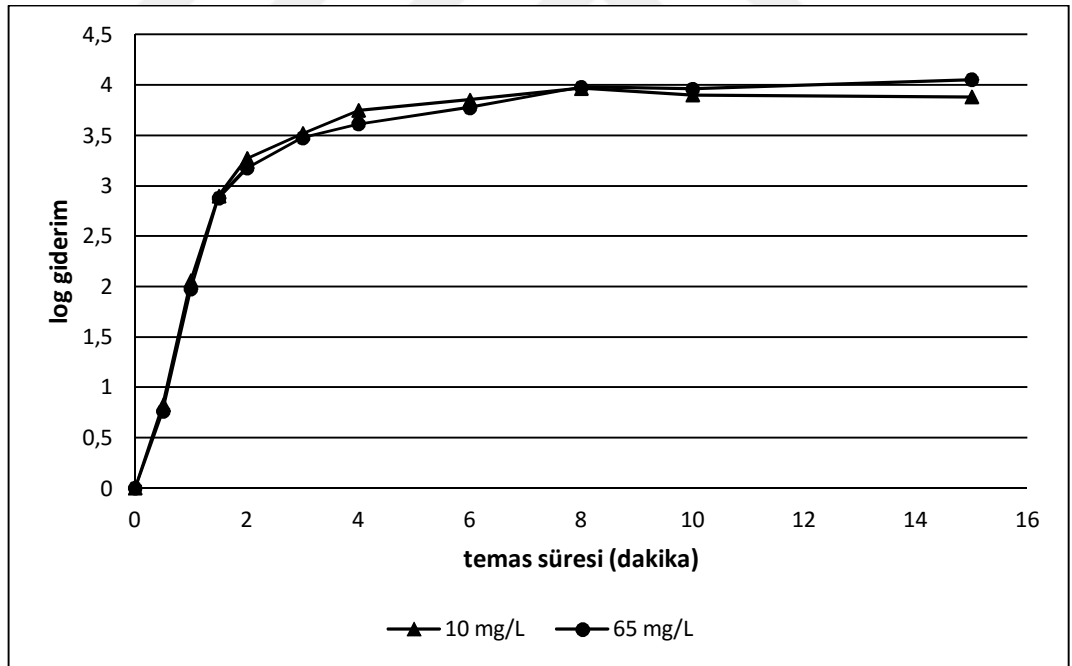


Şekil 4.72. KOİ: 90 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi





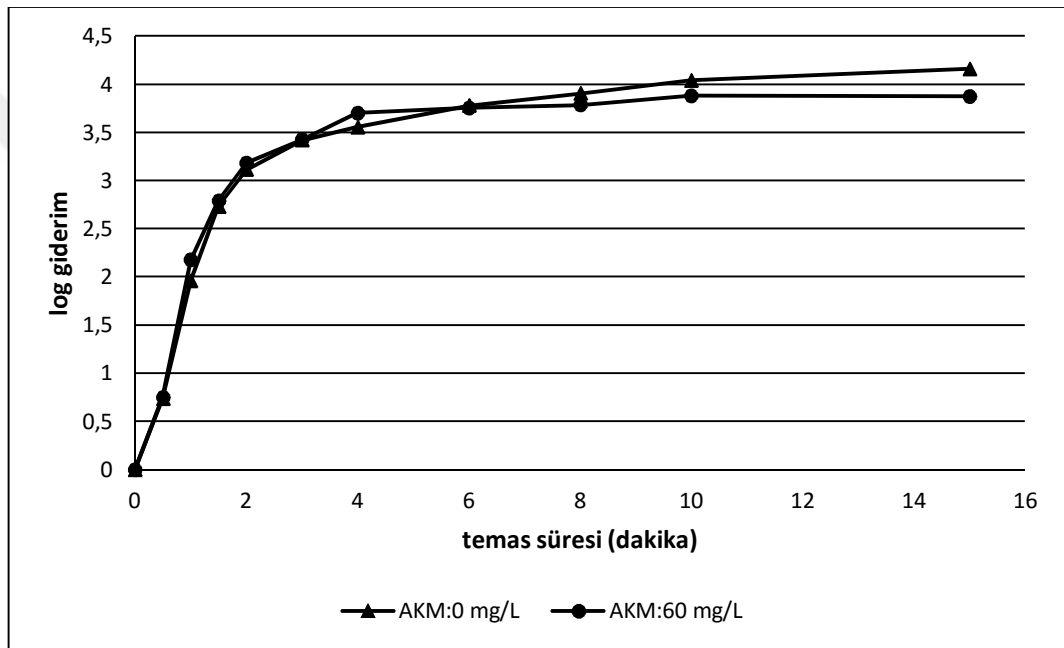
Şekil 4.73. KOİ: 430 mg/L ve AKM: 0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi



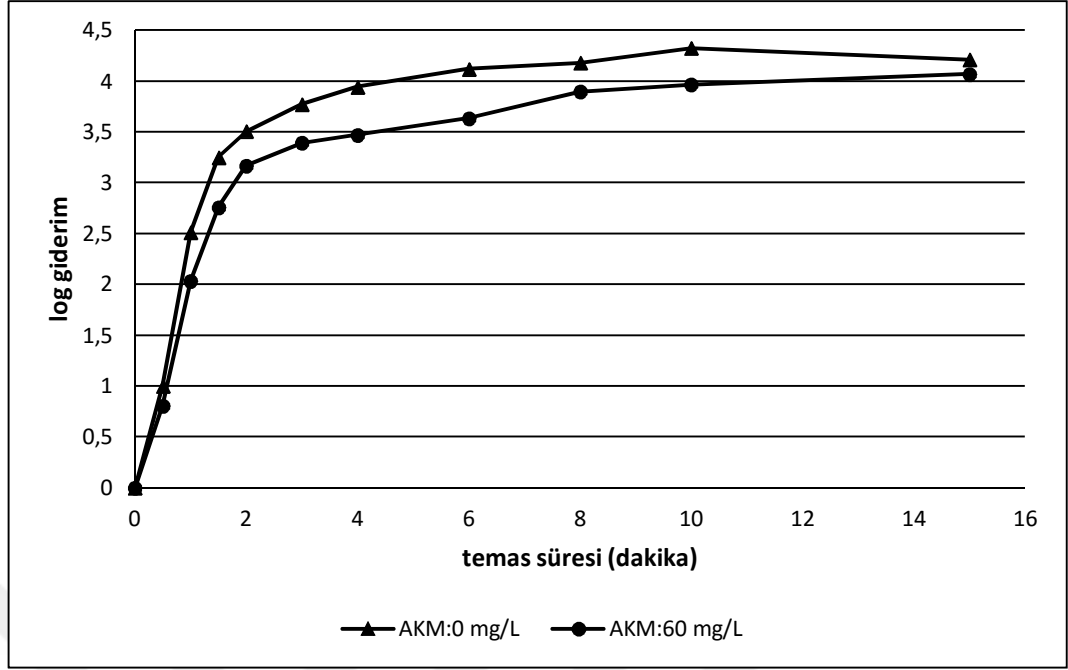
Şekil 4.74. KOİ: 430 mg/L ve AKM: 60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.2.4.4. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine AKM konsantrasyonunun etkisi

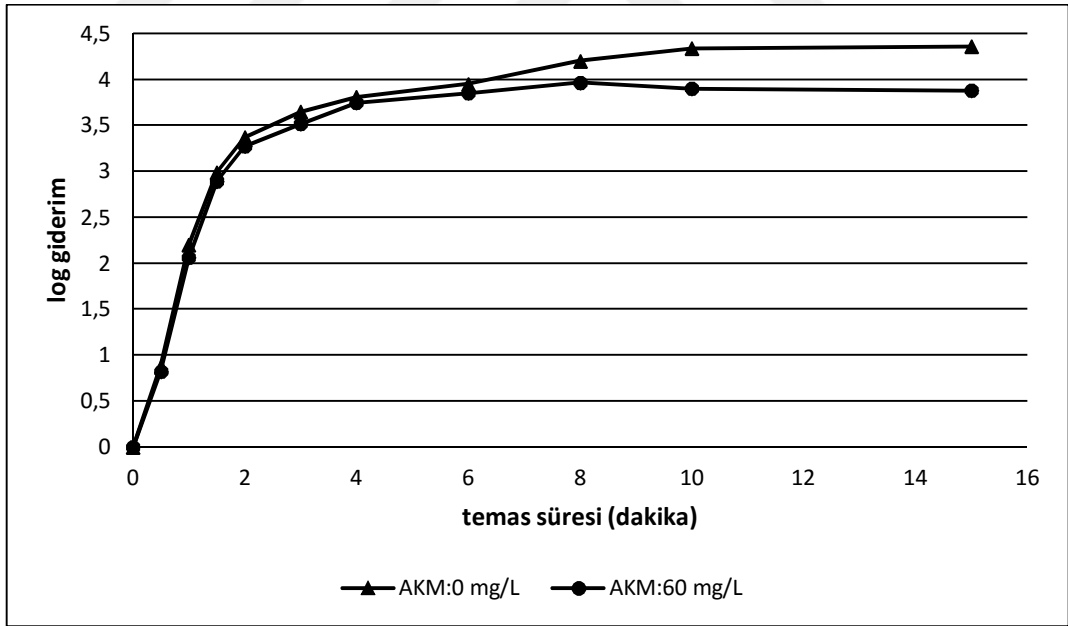
Seçilen düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve organik madde konsantrasyonlarında, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.75, Şekil 4.76, Şekil 4.77 ve Şekil 4.78’de verilmiştir. Bu şekillerden görülmektedir ki, atıksuda AKM konsantrasyonunun 0 mg/L olması durumunda, mikroorganizma giderimi, biraz daha fazladır. Ancak, grafiklerde, 0 mg/L ve 60 mg/L için elde edilen değerler arasındaki fark, 0,5-log’u geçmemiştir ve grafikler hemen hemen çakışmıştır.



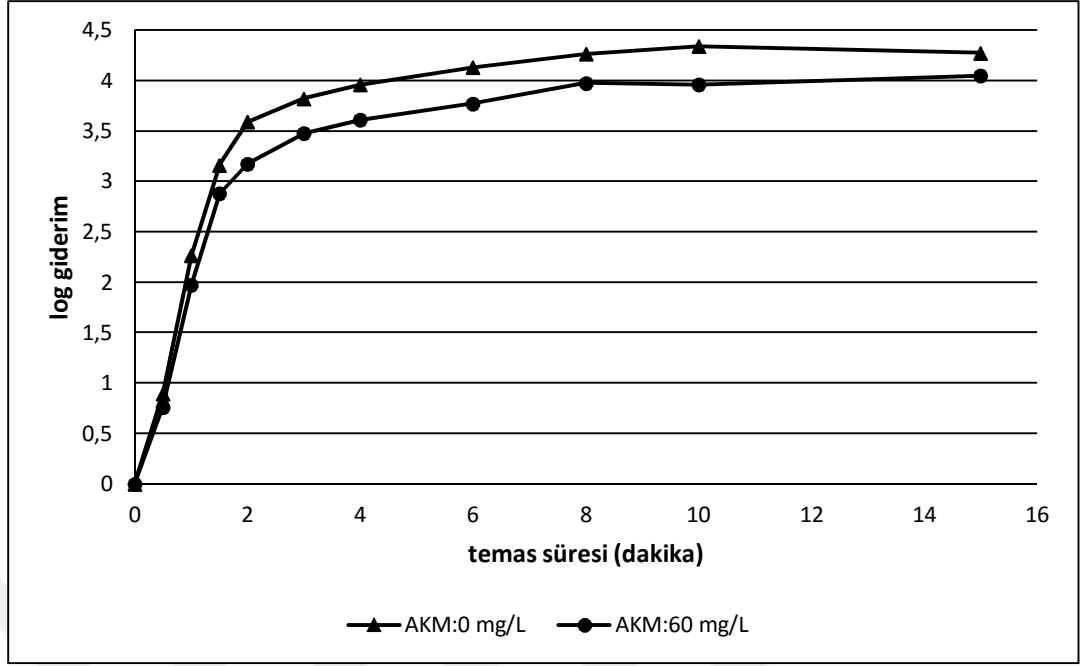
Şekil 4.75. KOİ: 90 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.76. KOİ: 90 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi



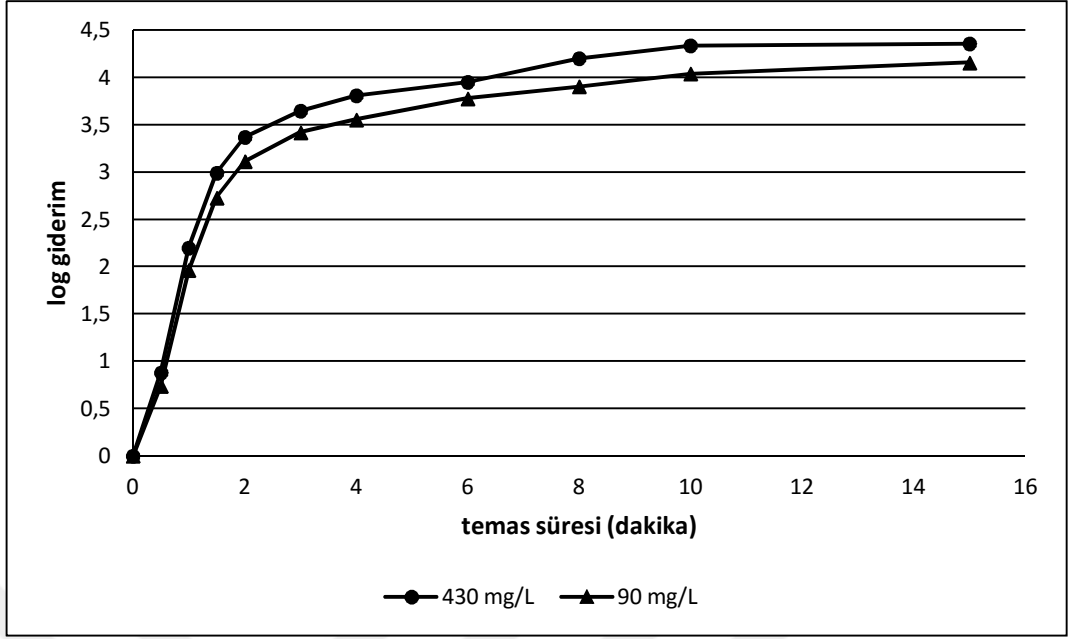
Şekil 4.77. KOİ: 430 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi



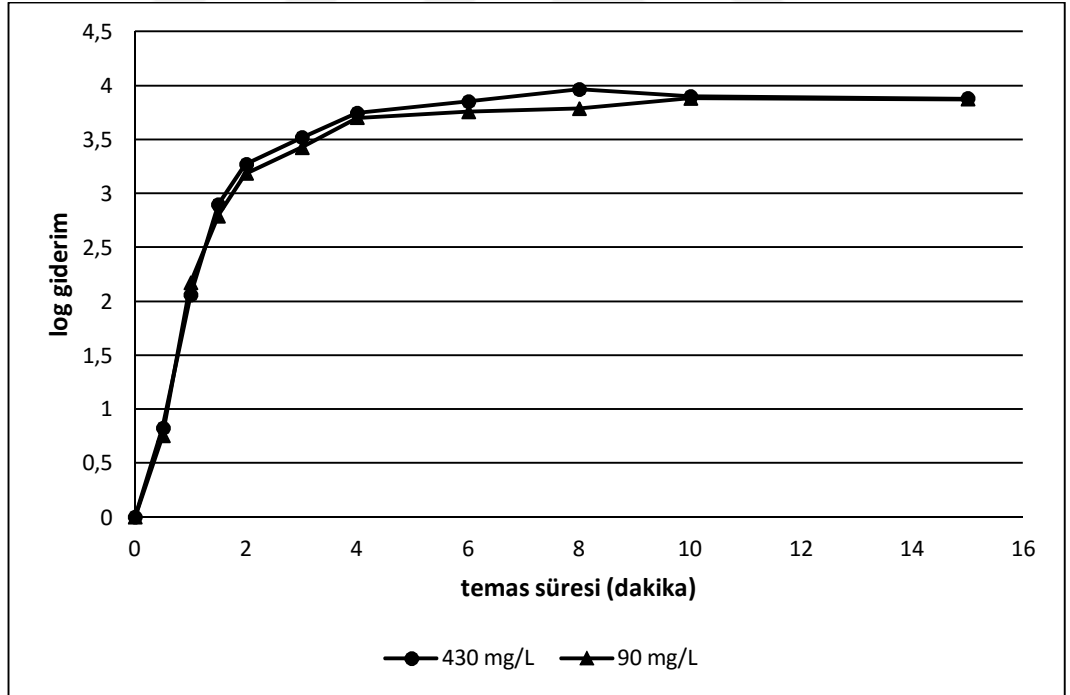
**Şekil 4.78.** KOİ: 430 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L konsantrasyonları için düşük ve yüksek AKM konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.2.4.5. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine organik madde konsantrasyonunun etkisi

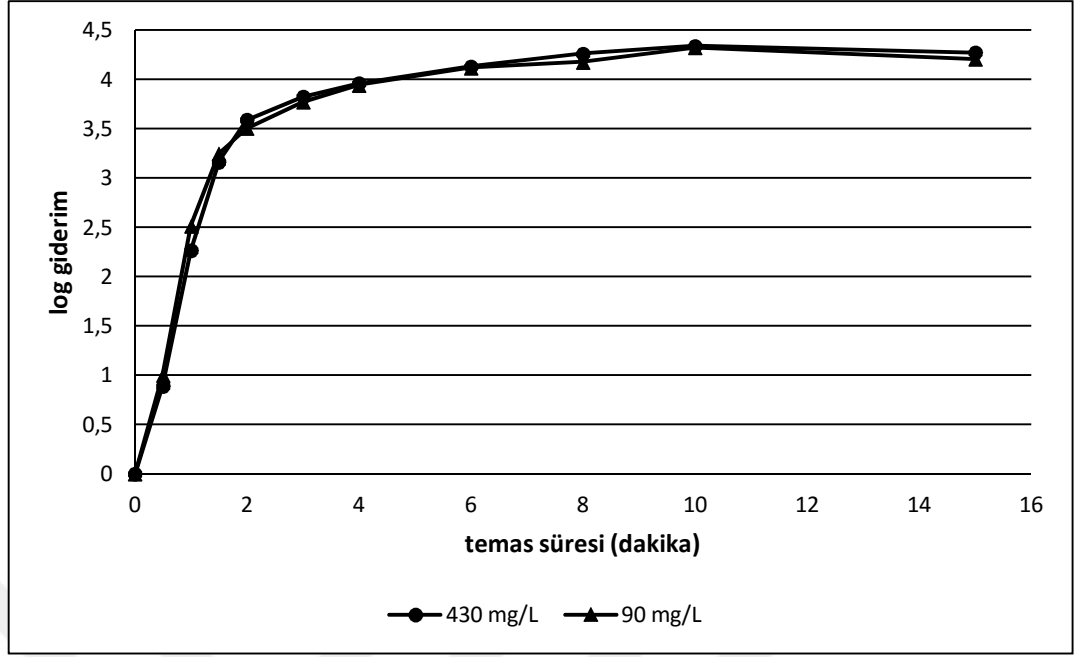
Seçilen düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının farklı pH ve farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine etkileri Şekil 4.79, Şekil 4.80, Şekil 4.81 ve Şekil 4.82’de verilmiştir. Bölüm 4.2.4.2’deki istatistiksel analizlerde, organik madde konsantrasyonunun mikroorganizma giderimi üzerinde etkili olmadığı belirtilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde bu sonucu desteklemektedir. Tüm grafikler değerlendirildiğinde, KOİ değerinin 90 mg/L veya 430 mg/L olmasının, mikroorganizma giderimleri üzerinde çok büyük değişiklikler göstermediği görülmektedir. Her iki konsantrasyona ait grafikler hemen hemen çakışmıştır.



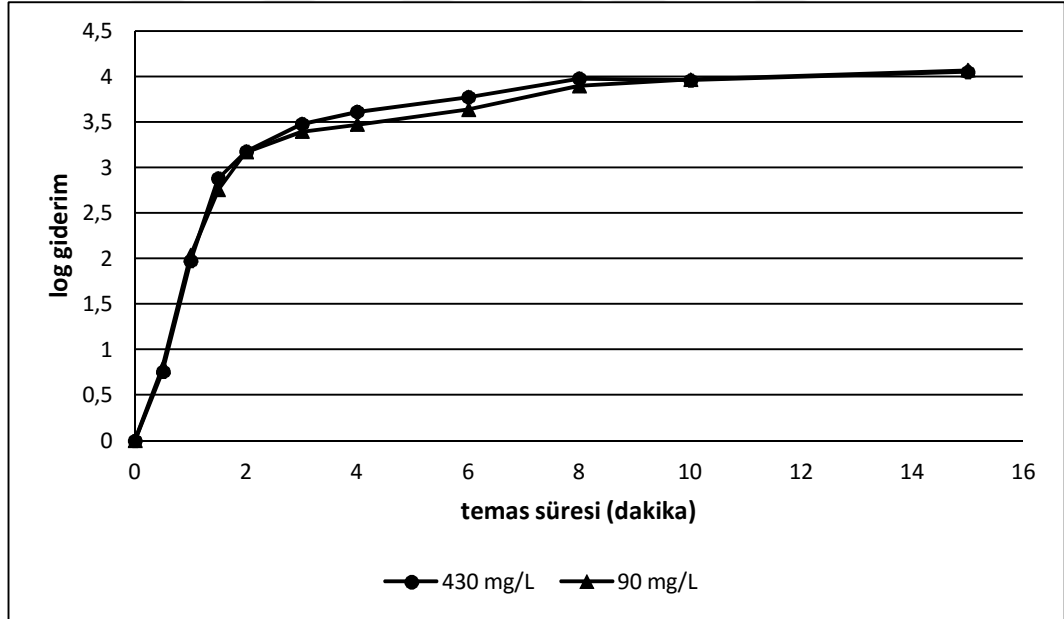
Şekil 4.79. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.80. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 10 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.81. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L ve AKM:0 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi



Şekil 4.82. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L ve AKM:60 mg/L değerleri için düşük ve yüksek organik madde konsantrasyonlarının prosese etkisi

#### 4.2.4.6. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisi

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisini değerlendirmek amacıyla, 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda, farklı AKM ve organik madde konsantrasyonlarında, karıştırmalı ve karıştırmasız deneyler gerçekleştirilmiştir. 180 sn. sonunda elde edilen sonuçlar ve istatistiksel değerlendirme tablosu Çizelge 4.32 ve Çizelge 4.33’de, elde edilen sonuçlara ait grafikler ise Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.85 ve Şekil 4.86’da verilmiştir.

Karıştırmanın mikroorganizma giderimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, eşleştirilmiş t testi uygulanmıştır. Çizelge 4.33’e göre, aradaki farklar istatistiksel olarak önemli olup, karıştırmalı deneyler, karıştırmasız deneylere göre mikroorganizma gideriminde daha etkilidir.

**Çizelge 4.32.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için karıştırmalı ve karıştırmasız deney sonuçları

Deneme	Deney şartları			Karıştırmalı	Karıştırmasız
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Log giderim (180 sn. sonunda)	Log giderim (180 sn. sonunda)
1	430	65	0	3,83	1,26
2	430	65	60	3,48	1,15
3	90	65	60	3,39	1,71
4	90	65	0	3,78	2,28

**Çizelge 4.33.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için karıştırmanın etkisinin karşılaştırılması

Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> kons. (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	İstatistiksel test sonuçları	Sonuç
430	65	0	$t = -11,52 < t_{0,05} = -2,26$	Karıştırmalı şartlarda <i>E.coli</i> giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>E.coli</i> giderimi
430	65	60	$t = -11,16 < t_{0,05} = -2,26$	Karıştırmalı şartlarda <i>E.coli</i> giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>E.coli</i> giderimi
90	65	60	$t = -13,90 < t_{0,05} = -2,26$	Karıştırmalı şartlarda <i>E.coli</i> giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>E.coli</i> giderimi
90	65	0	$t = -14,94 < t_{0,05} = -2,26$	Karıştırmalı şartlarda <i>E.coli</i> giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>E.coli</i> giderimi

Çeşitli parametreler için başlangıç ve çıkış değerleri ile kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları, Çizelge 4.34 ve Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Sıcaklık değerleri, proses başlangıcında 21,3-21,7 °C, proses sonunda 21,8-22,6 °C aralığında değişmiştir. Çıkış değerleri, başlangıç değerlerine göre artış göstermiştir. Ancak, bu artış, 1 °C’yi geçmemiştir.

pH değerleri, proses başlangıcında 7,00-7,07, proses sonunda 6,02-6,88 aralığında değişmiştir. Proses sonunda, pH değerleri, genel olarak azalma eğilimi göstermiştir.

İletkenlik değerleri, proses başlangıcında 72,7-205,9 µs/cm, proses sonunda 83,8-212,4 µs/cm aralığında değişmiştir. Proses sonunda, iletkenlik değerleri, tüm deneylerde artmıştır. Bu durumun, oluşan ara ürünlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çözünmüş oksijen değerleri, proses başlangıcında 8,89-9,61 mg/L, proses sonunda 0,57-1,18 mg/L aralığında değişmiştir. Proses sonunda, çözünmüş oksijen değerleri azalmıştır. Reaktör kapalı olup, oksijen kazanımı olmamaktadır. Ayrıca, gerçekleşen reaksiyonlarda oksijen harcandığından, reaktör içindeki oksijen sifıra yaklaşmıştır.

Bulanıklık değerleri, proses başlangıcında 1,06-70,1 NTU, proses sonunda 1,21-61,2 NTU aralığında değişmiştir.

UV-abs (254 nm) (% T) değerleri, proses başlangıcında 0,147 (%71,3)-0,784 (%16,4), proses sonunda 0,224 (%59,7)-0,910 (%12,3) aralığında değişmiştir. Proses sonunda, UV-abs değerleri, tüm deneylerde artmıştır. Bu durumun, oluşan ara ürünlerden veya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>’nin parçalanmasıyla açığa çıkan ürünlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Muhtemelen, oluşan ara ürünlerin ışık absorbanları daha fazladır.

Kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu 20-45 mg/L arasında değişmektedir. En hızlı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tüketimi, KOİ: 90 mg/L, AKM:0 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L şartlarında gerçekleşmiştir.



**Çizelge 4.34.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (karıştırmasız) prosesi için başlangıç ve çıkışta çeşitli parametrelerin değerleri

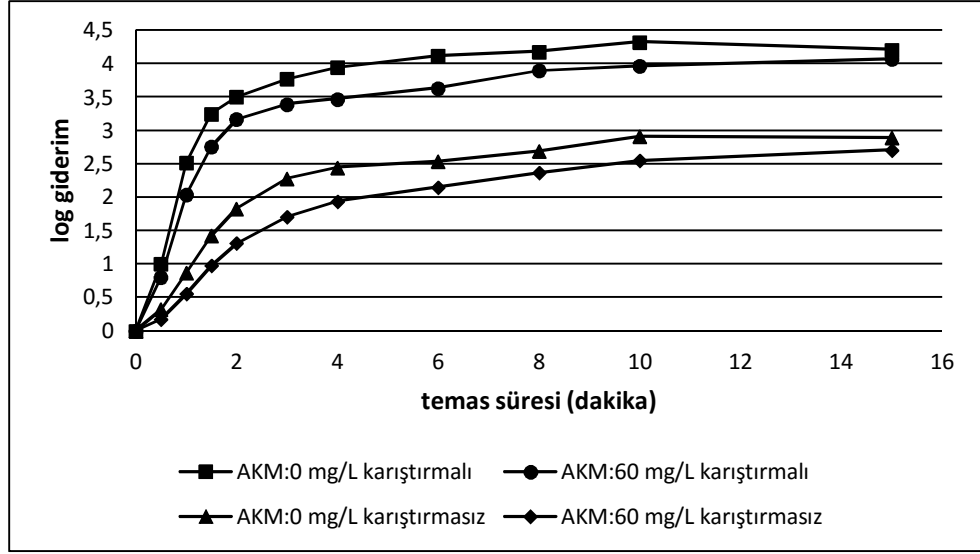
DENEYLER	PARAMETRE						
		pH	Sıcaklık (°C)	İletkenlik (µs/cm)	Çözülmüş oksijen (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	UV-abs 254 nm (%T)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	Başlangıç	7.03	21.3	76.3	-	1.06	0.147 (%71.3)
	Çıkış	6.02	22	88.7	0.57	1.39	0.224 (%59.7)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	Başlangıç	-	-	-	-	1.34	0.523 (%30)
	Çıkış	6.72	22.6	207.3	0.78	1.21	0.635 (%23.3)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	Başlangıç	7.07	21.7	72.7	9.61	46	0.398 (%40)
	Çıkış	6.38	21.9	83.8	1.18	36.8	0.432 (%37)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	Başlangıç	7.00	21.3	205.9	8.89	70.1	0.784 (%16.4)
	Çıkış	6.88	21.8	212.4	0.64	61.2	0.910 (%12.3)

**Çizelge 4.35.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (karıştırmasız) prosesi sonrası kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri

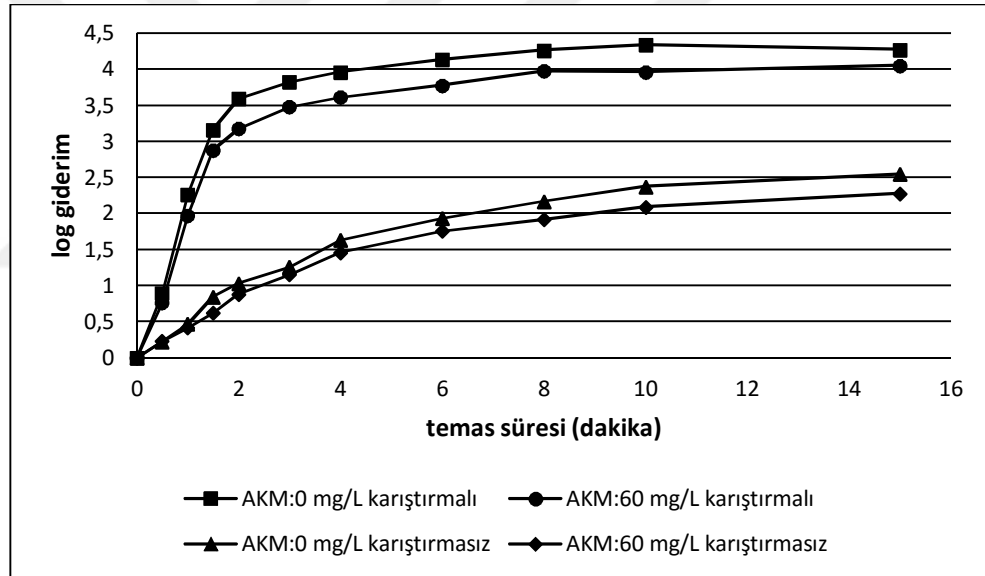
<b>DENEYLER</b>	<b>Kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b> 65 mg/L
	<b>Çıkış</b> ~20 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:0 mg/L	<b>Başlangıç</b> 65 mg/L
	<b>Çıkış</b> ~35-40 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:90 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b> 65 mg/L
	<b>Çıkış</b> ~20-25 mg/L (60 dk.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :65 mg/L, KOİ:430 mg/L, AKM:60 mg/L	<b>Başlangıç</b> 65 mg/L
	<b>Çıkış</b> ~40-45 mg/L (60 dk.)

Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.85 ve Şekil 4.86’da, karıştırmasız deneylere ait grafikler aşağıda kalmıştır ve karıştırmalı deneylerin, karıştırmasız deneylere göre daha etkili olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.83’e göre, KOİ:90 mg/L konsantrasyonunda, 180 sn. sonunda, 0 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız şartlarda, sırasıyla, 3,78-log ve 2,28-log giderim elde edilirken, 60 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız şartlarda, sırasıyla, 3,39-log ve 1,71-log giderim elde edilmiştir. Karıştırmalı şartların uygulanması ile, mikroorganizma gideriminde, 0 ve 60 mg/L AKM için, % 66 ve % 98 artış gerçekleşmiştir.

Şekil 4.84’e göre, KOİ:430 mg/L konsantrasyonunda, 180 sn. sonunda, 0 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız şartlarda, sırasıyla, 3,83-log ve 1,26-log giderim elde edilirken, 60 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız şartlarda, sırasıyla, 3,48-log ve 1,15-log giderim elde edilmiştir. Karıştırmalı şartların uygulanması ile, mikroorganizma giderimi, 0 ve 60 mg/L AKM için, yaklaşık 3 katına çıkmıştır.



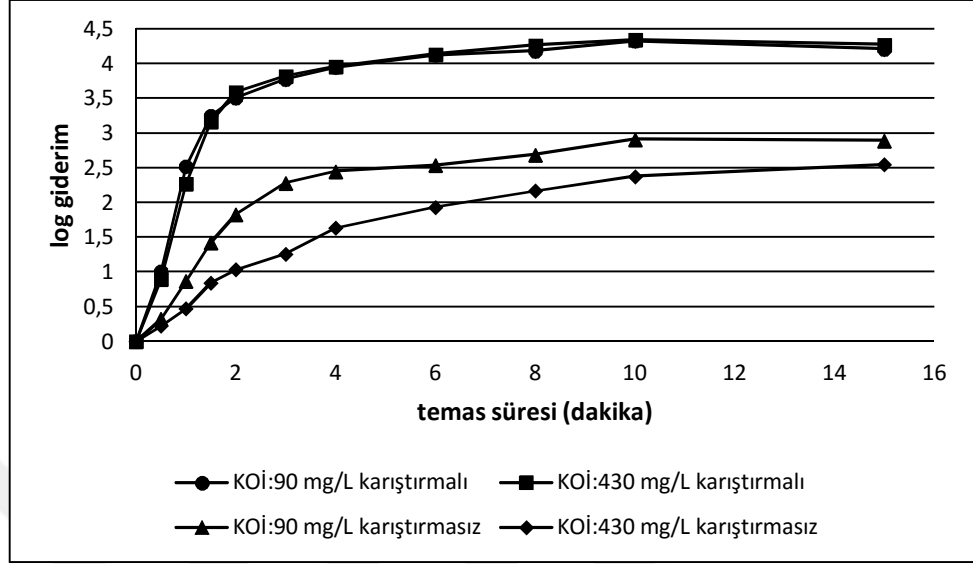
Şekil 4.83. KOİ: 90 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi



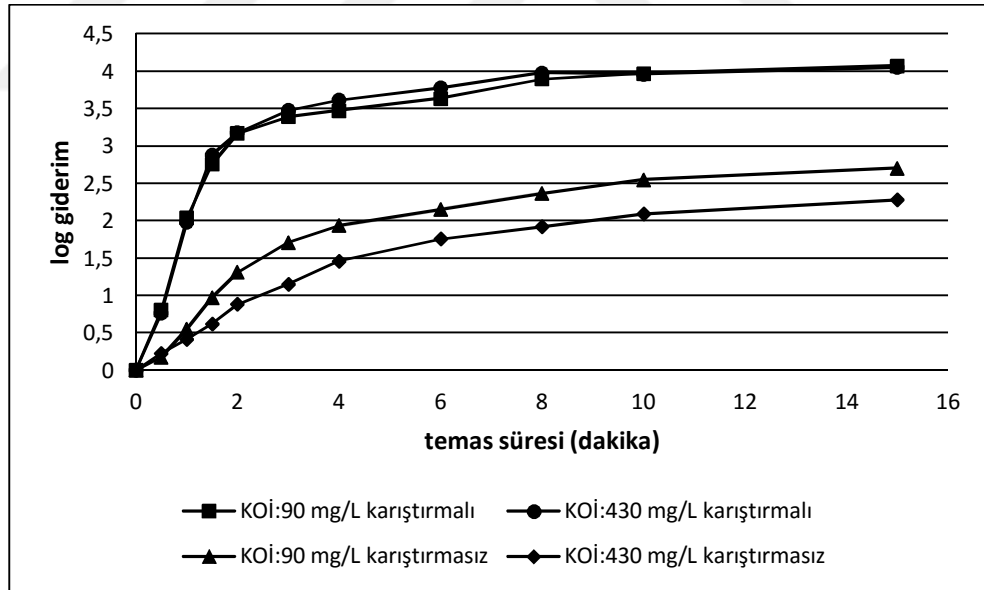
Şekil 4.84. KOİ: 430 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi

Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'da, üstte kalan karıştırılmı deneylere ait grafiklerin tamamen çakıştığı ve 90 ve 430 mg/L organik madde konsantrasyonunun dezenfeksiyona etkisinin ortaya çıkmadığı görülmektedir. Karıştırmanın kapatılmasıyla, bu fark ortaya çıkmıştır. Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'ya göre, AKM 0 mg/L konsantrasyonunda, karıştırılmı şartlarda, 180 sn. sonunda, 90 mg/L ve 430 mg/L KOİ için, sırasıyla, 2,28-log ve 1,26-log giderim elde edilirken, AKM 60 mg/L konsantrasyonunda, karıştırılmı şartlarda, 180 sn. sonunda, 90 mg/L ve 430 mg/L KOİ için, sırasıyla, 1,70-log ve 1,15-log giderim

elde edilmiştir. Karıştırmasız şartlarda mikroorganizma gideriminin çok azaldığı ortadadır.



Şekil 4.85. AKM: 0 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi



Şekil 4.86. AKM: 60 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L değerlerinde karıştırmanın etkisi

#### 4.2.5. *B.subtilis* sporları ile gerçekleştirilen UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dezenfeksiyonu çalışmaları

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin evsel atıksulardan *B.subtilis* sporları giderimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla denemeler gerçekleştirilmiştir. Deneysel dizayn yöntemine bağlı kalınmadan, *E.coli* için kullanılan şartlardan bazıları seçilerek bu deneylerde de uygulanmıştır. Düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarının *B.subtilis* spor gideriminde etkili olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle, sadece 65 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda çalışılmıştır. Uygulanan deneylerde, 180 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderim değerleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.36). Ayrıca, her denemeden elde edilen grafikler Şekil 4.87’de verilmiştir.

**Çizelge 4.36.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen sonuçlar

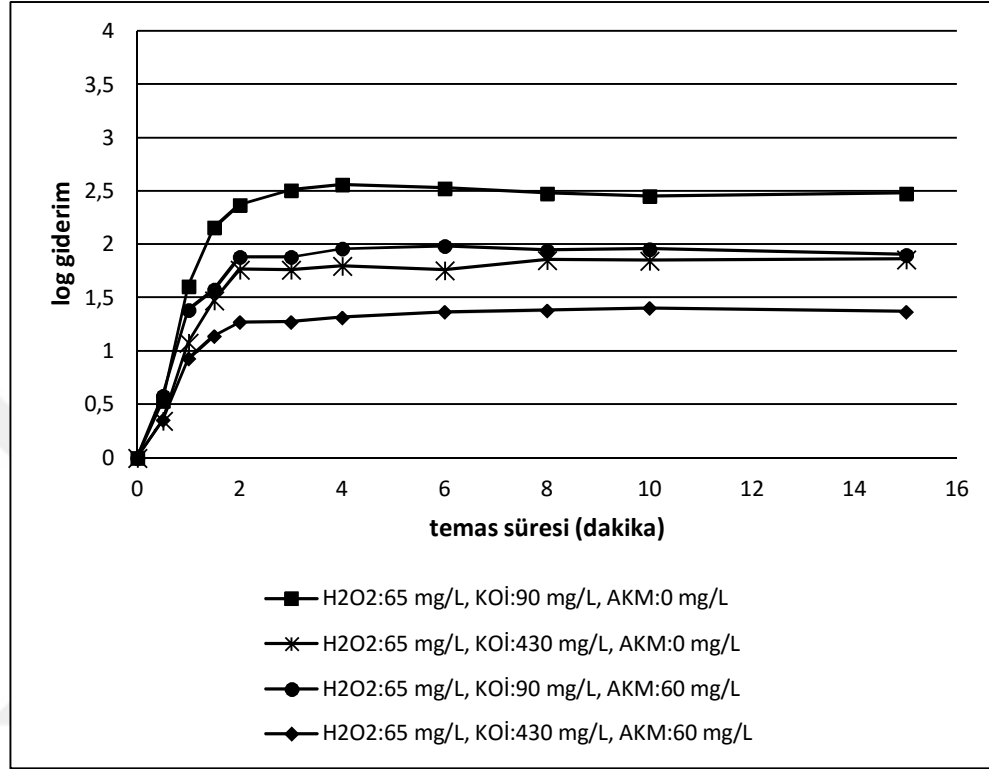
Deneme	Deney şartları			Karşırmalı
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Log giderim (180 sn. sonunda)
1	430	65	0	1,76
2	430	65	60	1,27
3	90	65	0	2,51
4	90	65	60	1,88

Şekil 4.87’de görüldüğü gibi, en yüksek *B.subtilis* spor giderimi, KOİ: 90 mg/L ve AKM 0 mg/L konsantrasyonunda sağlanmıştır ve 180 sn. sonunda 2,51-log giderim elde edilmiştir. En düşük *B.subtilis* spor giderimi, KOİ: 430 mg/L ve AKM 60 mg/L konsantrasyonunda gerçekleşmiştir ve 180 sn. sonunda 1,27-log giderim elde edilmiştir. AKM ve organik madde sebebi ile suyun bulanıklığı ve absorbansı arttıkça, *B.subtilis* spor giderimi azalmıştır.

KOİ: 90 mg/L’de AKM’nin 60 mg/L’ye çıkarılmasıyla, giderim 2,51-log’dan 1,88-log’a düşmüş ve % 25 azalmıştır. KOİ: 430 mg/L’de AKM’nin 60 mg/L’ye çıkarılmasıyla, giderim 1,76-log’dan 1,27-log’a düşmüş ve % 28 azalmıştır.

KOİ: 430 mg/L ve AKM: 0 mg/L konsantrasyonları ile, 180 sn. sonunda, 1,76-log giderim elde edilirken, KOİ: 90 mg/L ve AKM: 60 mg/L konsantrasyonları ile, 180 sn. sonunda,

1,8-log giderim elde edilmiştir ve görüldüğü gibi, sonuçlar birbirine çok yakındır. KOİ: 90 mg/L iken AKM'nin 60 mg/L'ye çıkarılması veya KOİ'nin 430 mg/L'ye çıkarılması aynı etkiyi oluşturmuştur.



Şekil 4.87. *B.subtilis* sporları ile gerçekleştirilen UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> deneylerinin karşılaştırılması

#### 4.2.5.1. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisi

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine karıştırmanın etkisini değerlendirmek amacıyla, *B.subtilis* sporları ile yapılan deneyler karıştırmasız olarakta gerçekleştirilmiştir. 180 sn. sonunda elde edilen sonuçlar ve istatistiksel değerlendirme tablosu Çizelge 4.37 ve Çizelge 4.38'de, elde edilen sonuçlara ait grafikler ise Şekil 4.88, Şekil 4.89, Şekil 4.90 ve Şekil 4.91'de verilmiştir.

Karıştırmanın mikroorganizma giderimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, eşleştirilmiş t testi uygulanmıştır. Çizelge 4.38'e göre, aradaki farklar istatistiksel olarak önemli olup, karıştırmalı deneyler, karıştırmasız deneylere göre mikroorganizma gideriminde daha etkilidir.

**Çizelge 4.37.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için karıştırmalı ve karıştırmasız deney sonuçları

Deneme	Deney şartları			Karıştırmalı	Karıştırmasız
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Log giderim (180 sn. sonunda)	Log giderim (180 sn. sonunda)
1	430	65	0	1,76	0,98
2	430	65	60	1,27	0,84
3	90	65	0	2,51	1,50
4	90	65	60	1,88	1,31

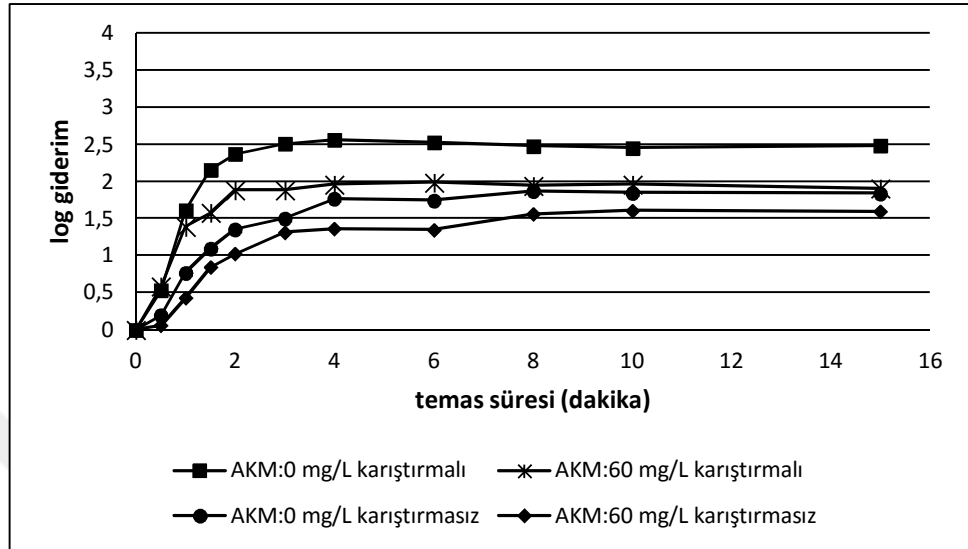
**Çizelge 4.38.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için karıştırmanın etkisinin karşılaştırılması

Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> kons. (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	İstatistiksel test sonuçları	Sonuç
430	65	0	$t = -9,00 < t_{0,05} = -2.26$	Karıştırmalı şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi
430	65	60	$t = -3,08 < t_{0,05} = -2.26$	Karıştırmalı şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi
90	65	0	$t = -10,73 < t_{0,05} = -2.26$	Karıştırmalı şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi
90	65	60	$t = -8,74 < t_{0,05} = -2.26$	Karıştırmalı şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi > Karıştırmasız şartlarda <i>B.subtilis</i> spor giderimi

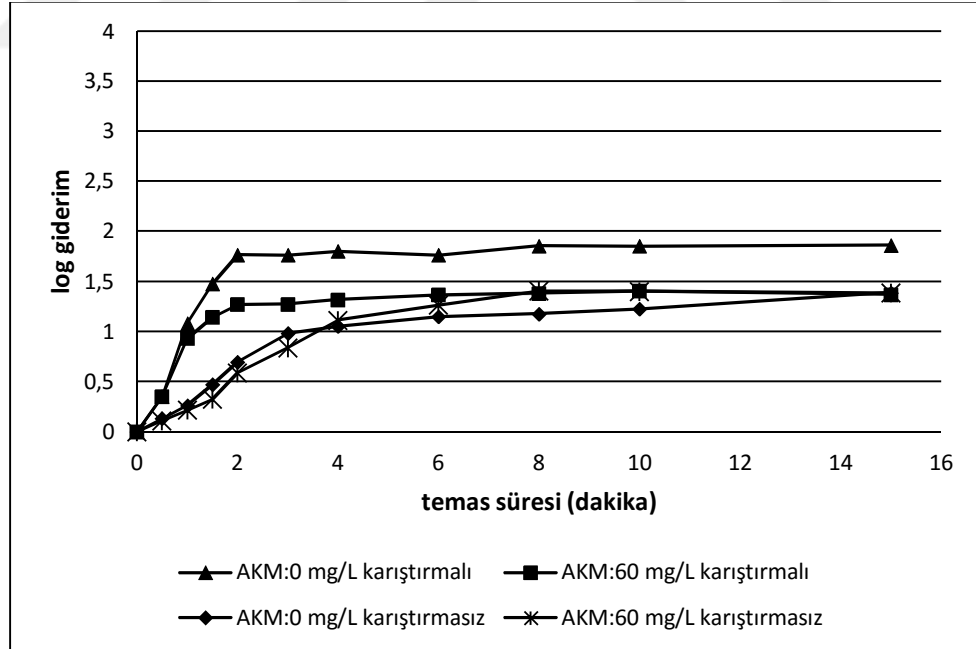
Şekil 4.88, Şekil 4.89, Şekil 4.90 ve Şekil 4.91’de, karıştırmasız deneylere ait grafikler aşağıda kalmıştır ve karıştırmalı deneylerin, karıştırmasız deneylere göre daha etkili olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.88’e göre, KOİ:90 mg/L konsantrasyonunda, 180 sn. sonunda, 0 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız şartlarda, sırasıyla, 2,51-log ve 1,50-log giderim elde edilirken, 60 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız şartlarda, sırasıyla, 1,88-log ve 1,31-log giderim elde edilmiştir. Karıştırmalı şartların uygulanması ile, mikroorganizma gideriminde, 0 ve 60 mg/L AKM için, % 67 ve % 44 artış gerçekleşmiştir.

Şekil 4.89’a göre, KOİ:430 mg/L konsantrasyonunda, 180 sn. sonunda, 0 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız şartlarda, sırasıyla, 1,76-log ve 0,98-log giderim elde edilirken, 60 mg/L AKM konsantrasyonunda karıştırmalı ve karıştırmasız

şartlarda, sırasıyla, 1,27-log ve 0,84-log giderim elde edilmiştir. Karıştırmalı şartların uygulanması ile, mikroorganizma gideriminde, 0 ve 60 mg/L AKM için, % 80 ve % 51 artış gerçekleşmiştir.



Şekil 4.88. KOİ: 90 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L için karıştırmalı ve karıştırmazın etkisi

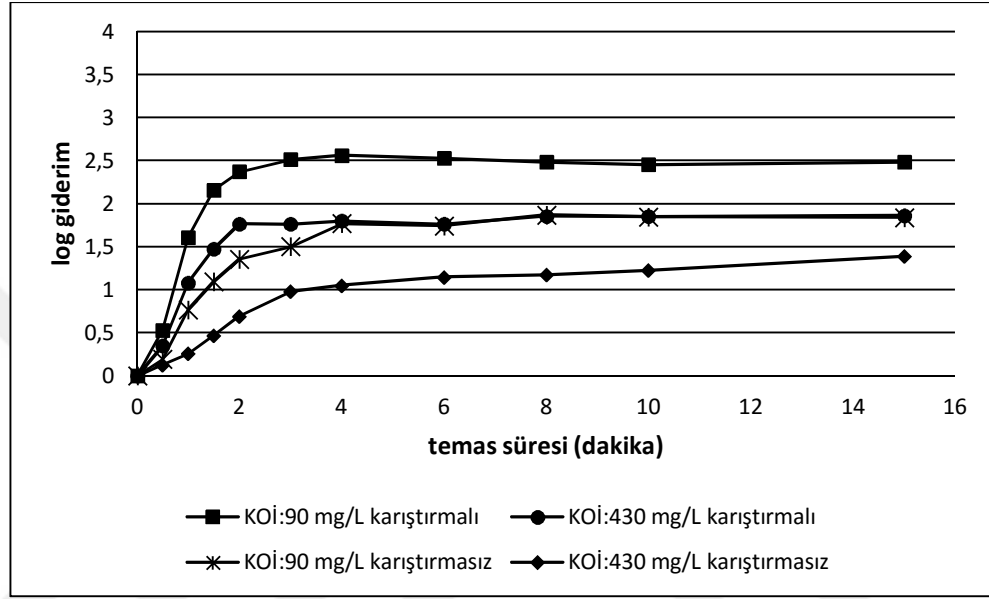


Şekil 4.89. KOİ: 430 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L için karıştırmalı ve karıştırmazın etkisi

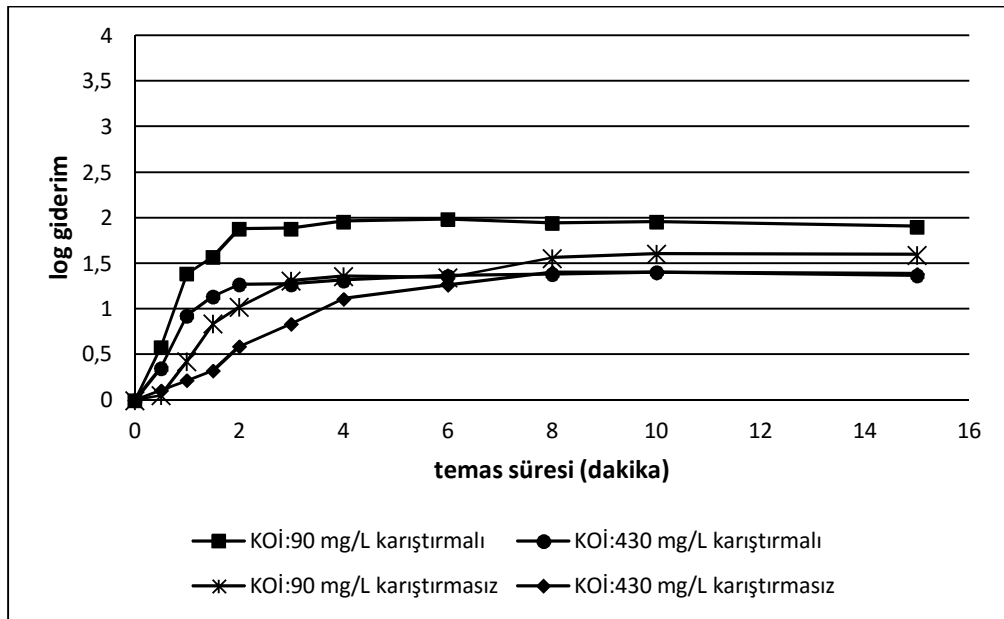
Şekil 4.90'a göre, AKM 0 mg/L konsantrasyonunda, karıştırmalı ve karıştırmaz şartlarda, 180 sn. sonunda, 90 mg/L için 2,51-log ve 1,51-log giderim elde edilirken; 430



mg/L için, 1,76-log ve 0,98-log giderim elde edilmiştir. Şekil 4.91'e göre, AKM 60 mg/L konsantrasyonunda, karıştırmalı ve karıştırmaz şartlarda, 180 sn. sonunda, 90 mg/L için 1,88-log ve 1,31-log giderim elde edilirken; 430 mg/L için, 1,27-log ve 0,84-log giderim elde edilmiştir. Şekil 4.91'de AKM'nin etkisi sebebiyle, grafikler birbirine yaklaşmış ve KOİ ve karıştırmanın etkisi net olarak ortaya çıkmamıştır.



Şekil 4.90. AKM: 0 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L için karıştırmanın etkisi



Şekil 4.91. AKM: 60 mg/L ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L için karıştırmanın etkisi

#### 4.2.6. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile *E.coli* ve *B.subtilis* sporları gideriminin karşılaştırılması

Bu bölümde, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin *E.coli* ve *B.subtilis* sporları giderimindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Karıştırmalı ve karıştırmasız şartlar için karşılaştırma yapılmıştır. 180 sn. sonunda elde edilen logaritmik mikroorganizma giderimleri Çizelge 4.39’da verilmiştir. Şekil 4.92’de UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin karıştırmalı şartlarda *E.coli* ve *B.subtilis* sporları giderimindeki etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 4.93’de UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin karıştırmasız şartlarda *E.coli* ve *B.subtilis* sporları giderimindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.40’da ise UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile bu iki mikroorganizmanın gideriminin karıştırmalı şartlar için istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Eşleştirilmiş t testi uygulanmıştır. Çizelge 4.40’a göre, aradaki farklar istatistiksel olarak önemli olup, karıştırmalı UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi, *E.coli* gideriminde daha etkilidir.

Çizelge 4.41’de ise UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile bu iki mikroorganizmanın gideriminin karıştırmasız şartlar için istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Eşleştirilmiş t testi uygulanmıştır. Çizelge 4.41’e göre, aradaki farklar istatistiksel olarak önemli olup, karıştırmasız UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi, *E.coli* gideriminde daha etkilidir.

**Çizelge 4.39.** Karıştırmalı ve karıştırmasız UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile *E.coli* ve *B.subtilis* sporları gideriminin karşılaştırılması

Deneş no.	Deneş şartları			<i>B.subtilis</i> sporları		<i>E.coli</i>	
	Org. madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> kons. (X <sub>2</sub> )	AK M (X <sub>3</sub> )	Log giderim (180 sn. sonunda)	Log giderim (180 sn. sonunda)	Log giderim (180 sn. sonunda)	Log giderim (180 sn. sonunda)
1	430	65	0	1,76	0,98	3,83	1,26
2	430	65	60	1,27	0,84	3,48	1,15
3	90	65	0	2,51	1,50	3,78	2,28
4	90	65	60	1,88	1,31	3,39	1,71

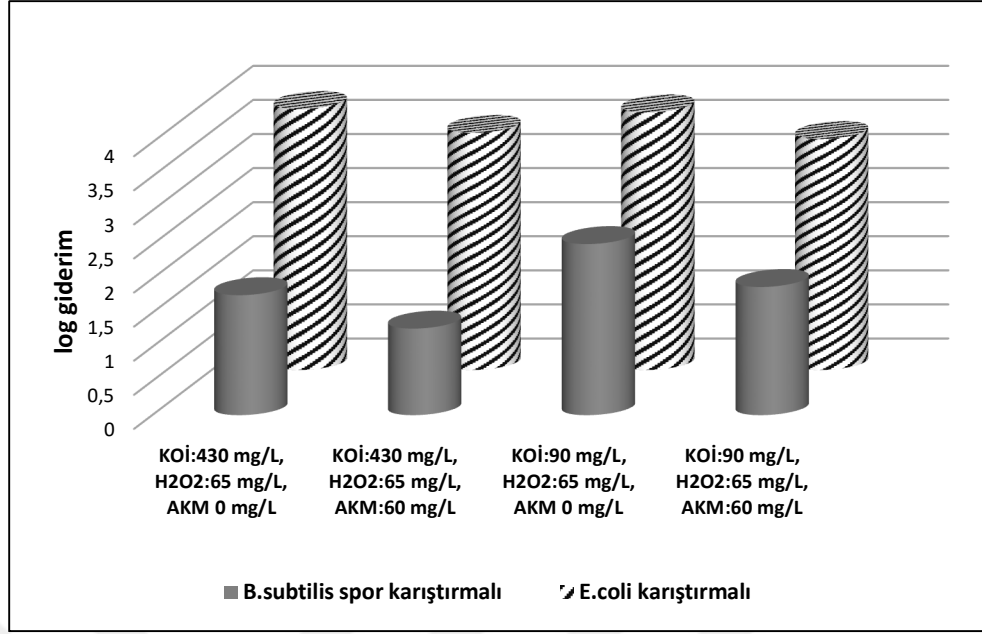
**Çizelge 4.40.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için karıştırmalı şartlarda *E.coli* ve *B.subtilis* sporlarının gideriminin karşılaştırılması

Org. madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> kons. (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	İstatistiksel test sonuçları	Sonuç
430	65	0	$t = -9,60 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi
430	65	60	$t = -8,47 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi
90	65	0	$t = -9,65 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi
90	65	60	$t = -7,33 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi

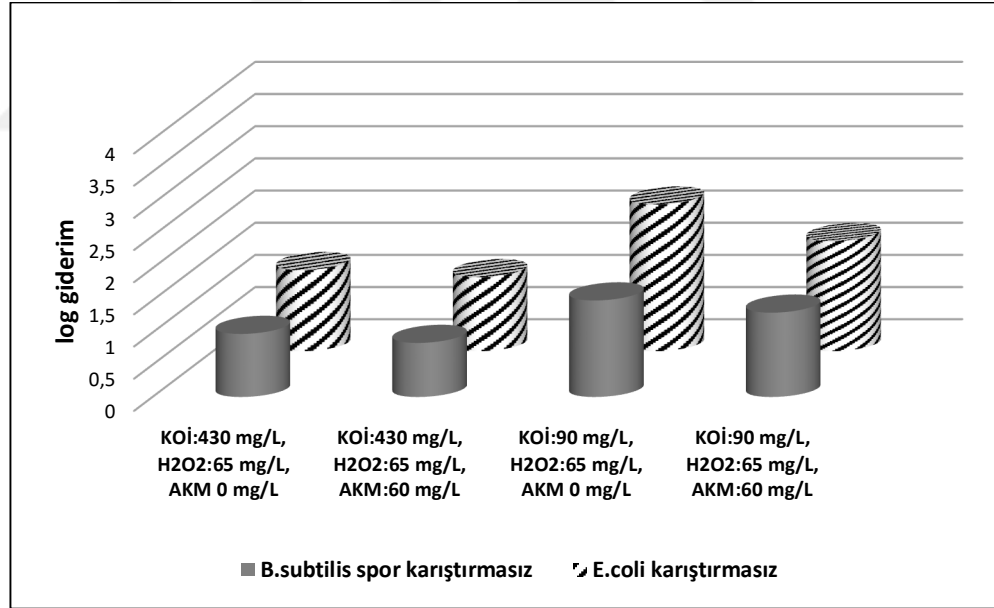
**Çizelge 4.41.** UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi için karıştırmasız şartlarda *E.coli* ve *B.subtilis* sporlarının gideriminin karşılaştırılması

Org. madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> kons. (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	İstatistiksel test sonuçları	Sonuç
430	65	0	$t = -4,72 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi
430	65	60	$t = -5,65 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi
90	65	0	$t = -5,63 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi
90	65	60	$t = -4,56 < t_{0,05} = -2.26$	<i>E.coli</i> giderimi > <i>B.subtilis</i> spor giderimi

Karıştırmalı ve karıştırmasız UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile *E.coli* ve *B.subtilis* sporları giderimlerini karşılaştıran grafikler Şekil 4.92 ve Şekil 4.93'de verilmiştir. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile hem karıştırmalı hem de karıştırmasız şartlarda, daha az *B.subtilis* sporları giderimi elde edilmiştir. Karıştırmalı UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, *E.coli* ve *B.subtilis* sporları için elde edilen log giderim değerleri arasındaki fark daha fazladır. Karıştırmasız UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, *E.coli* ve *B.subtilis* sporları için elde edilen log giderim değerleri birbirine daha yakındır.



Şekil 4.92. Karıştırırmalı UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile *E.coli* ve *B.subtilis* sporları giderimi



Şekil 4.93. Karıştırmasız UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile *E.coli* ve *B.subtilis* sporları giderimi

#### 4.2.7. Uygulanan proseslerin karşılaştırılması

##### 4.2.7.1. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması

Bu bölümde, *E.coli* için solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 4.42). Bu karşılaştırmada proses sonu değerleri esas alınmıştır. Çizelge 4.42’de UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile ulaşılan giderim değerlerinin, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine göre daha yüksek olduğu görülmektedir ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde daha kısa sürede bu değerlere ulaşılmıştır. Sadece KOİ: 90 mg/L, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 65 mg/L ve AKM: 0 mg/L şartlarında solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile daha fazla giderim elde edilmiştir. Evsel atıksuların dezenfeksiyonunda, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinin, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine göre daha etkili olduğu söylenebilir.

**Çizelge 4.42.** Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması

Deneme	Deney şartları			Solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (240 dk. sonunda)	UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (60 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Log giderim	Log giderim
1	430	65	60	2,19	3,70
2	430	10	60	1,44	3,63
3	430	10	0	1,96	4,64
4	90	10	60	1,63	3,81
5	90	10	0	3,21	4,46
6	260	37,5	30	1,60	3,78
7	260	37,5	30	1,70	3,66
8	90	65	0	4,47	4,31
9	90	65	60	2,49	3,88
10	260	37,5	30	2,23	3,44
11	430	65	0	4,05	4,31

##### 4.2.7.2. Solar/TiO<sub>2</sub> ve UV/TiO<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması

Bu bölümde, *E.coli* için solar/TiO<sub>2</sub> ve UV/TiO<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 4.43). Çizelgede TiO<sub>2</sub> parametresi için parantez içinde verilen değerler UV/TiO<sub>2</sub> prosesine ait olan değerlerdir. Bu karşılaştırmada proses sonu değerleri esas alınmıştır. Çizelge 4.43’de UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile ulaşılan giderim değerlerinin, solar/TiO<sub>2</sub> prosesine

göre daha yüksek olduğu görülmektedir ve UV/TiO<sub>2</sub> prosesinde daha kısa sürede bu değerlere ulaşılmıştır. UV/TiO<sub>2</sub> prosesinde, 15 dk. sonunda elde edilen en yüksek giderim değeri 5,22-log iken, solar/TiO<sub>2</sub> prosesinde, 240 dk. sonunda elde edilen en yüksek giderim değeri 3,60-log'da kalmıştır. UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen en düşük giderim değeri 4,32-log olup, Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen giderimlerin üzerinde kalmıştır. Evsel atıksuların dezenfeksiyonunda, UV/TiO<sub>2</sub> prosesinin, solar/TiO<sub>2</sub> prosesine göre daha etkili olduğu söylenebilir.

**Çizelge 4.43.** Solar/TiO<sub>2</sub> ve UV/TiO<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması

Deneme	Deney şartları			Solar/TiO <sub>2</sub> (240 dk. sonunda)	UV/TiO <sub>2</sub> (15 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )(Solar)(UV)	Log giderim	Log giderim
1	430	5	287,5 (5)	2,64	4,58
2	260	7	75,0 (1)	2,07	5,00
3	260	6	287,5 (5)	2,43	4,58
4	90	5	287,5 (5)	3,51	5,13
5	260	5	75,0 (1)	2,67	4,65
6	260	6	287,5 (5)	1,55	4,37
7	430	6	75,0 (1)	0,46	4,32
8	430	6	500,0 (9)	0,79	4,68
9	260	6	287,5 (5)	1,73	4,64
10	430	7	287,5 (5)	0,51	4,99
11	90	7	287,5 (5)	2,45	5,06
12	90	6	500,0 (9)	3,60	4,90
13	260	5	500,0 (9)	2,05	4,91
14	260	7	500,0 (9)	1,47	4,68
15	90	6	75,0 (1)	2,98	5,22

#### 4.2.7.3. Solar/TiO<sub>2</sub> ve Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması

Bu bölümde, *E.coli* için solar/TiO<sub>2</sub> ve solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 4.44). Bu karşılaştırmada proses sonu değerleri esas alınmıştır. Çizelge 4.44'e göre, bazı şartlarda, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile 4-log'un üzerinde giderimlerin elde edildiği görülmektedir. Solar/TiO<sub>2</sub> prosesi ile ise, elde edilen en yüksek giderim 3,60-log'da kalmıştır. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile elde edilen en düşük giderim değeri 1,44-log iken, solar/TiO<sub>2</sub> prosesinde, 1-log'un altında giderimler elde edilmiştir. İstatistiksel yöntem olarak, iki örnek ortalamasının karşılaştırıldığı t testi uygulanmıştır. Testin sonucuna göre,  $t = 0,982 < t_{\text{tablo}} = 2,064$  olduğundan, ortalamaların birbirinden farklı olmadığı söylenebilir. Her iki yöntemde, proses üzerinde aynı etkiye sahiptir.

**Çizelge 4.44.** Solar/TiO<sub>2</sub> ve Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması

<b>Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>				
<b>Deneme</b>	<b>Deney şartları</b>			<b>Sonuç (240 dk. sonunda)</b>
	<b>Organik madde kons. (X<sub>1</sub>)</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>2</sub>)</b>	<b>AKM (X<sub>3</sub>)</b>	<b>Log giderim</b>
1	430	65	60	2,19
2	430	10	60	1,44
3	430	10	0	1,96
4	90	10	60	1,63
5	90	10	0	3,21
6	260	37,5	30	1,60
7	260	37,5	30	1,70
8	90	65	0	4,47
9	90	65	60	2,49
10	260	37,5	30	2,23
11	430	65	0	4,05

<b>Solar/TiO<sub>2</sub></b>				
<b>Deneme</b>	<b>Deney şartları</b>			<b>Sonuç (240 dk. sonunda)</b>
	<b>Organik madde kons. (X<sub>1</sub>)</b>	<b>pH (X<sub>2</sub>)</b>	<b>TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu (X<sub>3</sub>)</b>	<b>Log giderim</b>
1	430	5	287,5	2,64
2	260	7	75,0	2,07
3	260	6	287,5	2,43
4	90	5	287,5	3,51
5	260	5	75,0	2,67
6	260	6	287,5	1,55
7	430	6	75,0	0,46
8	430	6	500,0	0,79
9	260	6	287,5	1,73
10	430	7	287,5	0,51
11	90	7	287,5	2,45
12	90	6	500,0	3,60
13	260	5	500,0	2,05
14	260	7	500,0	1,47
15	90	6	75,0	2,98



#### 4.2.7.4. UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması

Bu bölümde, *E.coli* için UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 4.45). Bu karşılaştırmada proses sonu değerleri esas alınmıştır. Çizelge 4.45'e göre, UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile, 15 dk. sonunda elde edilen en yüksek giderim değeri 5,22-log, en düşük giderim değeri ise 4,32-log'dur. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile, 60 dk. sonunda elde edilen en yüksek giderim değeri 4,64-log, en düşük giderim değeri ise 3,44-log'dur. İstatistiksel yöntem olarak, iki örnek ortalamasının karşılaştırıldığı t testi uygulanmıştır. Testin sonucuna göre,  $t = -6,25 < t_{\text{tablo}} = -2,064$  olduğundan, ortalamaların birbirinden farklı olduğu söylenebilir. Evsel atıksuların dezenfeksiyonunda, UV/TiO<sub>2</sub> prosesinin, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesine göre daha etkili olduğu söylenebilir.

**Çizelge 4.45.** UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin *E.coli* için karşılaştırılması

UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>				
Deneme	Deney şartları			Sonuç (60 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	430	65	60	3,70
2	430	10	60	3,63
3	430	10	0	4,64
4	90	10	60	3,81
5	90	10	0	4,46
6	260	37,5	30	3,78
7	260	37,5	30	3,66
8	90	65	0	4,31
9	90	65	60	3,88
10	260	37,5	30	3,44
11	430	65	0	4,31

UV/TiO <sub>2</sub>				
Deneme	Deney şartları			Sonuç (15 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	430	5	5	4,58
2	260	7	1	5,00
3	260	6	5	4,58
4	90	5	5	5,13
5	260	5	1	4,65
6	260	6	5	4,37
7	430	6	1	4,32
8	430	6	9	4,68
9	260	6	5	4,64
10	430	7	5	4,99
11	90	7	5	5,06
12	90	6	9	4,90
13	260	5	9	4,91
14	260	7	9	4,68
15	90	6	1	5,22

#### 4.2.7.5. UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin *B.subtilis* sporları için karşılaştırılması

Bu bölümde, *B.subtilis* sporları için UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 4.46). Bu karşılaştırmada proses sonu değerleri esas alınmıştır. Çizelge 4.46'ya göre, UV/TiO<sub>2</sub> prosesi ile, 15 dk. sonunda elde edilen en yüksek giderim değeri 1,84-log, en düşük giderim değeri ise 1,39-log'dur. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile, 15 dk. sonunda elde edilen en yüksek giderim değeri 2,48-log, en düşük giderim değeri ise 1,37-log'dur. İstatistiksel yöntem olarak, iki örnek ortalamasının karşılaştırıldığı t testi uygulanmıştır. Testin sonucuna göre,  $t = 1,383 < t_{\text{tablo}} = 2,365$  olduğundan, ortalamaların birbirinden farklı olduğu söylenemez. Her iki yöntemde, proses üzerinde aynı etkiye sahiptir.

**Çizelge 4.46.** UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin *B.subtilis* sporları için karşılaştırılması

UV/TiO <sub>2</sub> prosesi				
Deneme	Deney şartları			Sonuç (15 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	pH (X <sub>2</sub> )	TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	90	5	1	1,72
2	90	5	9	1,84
3	90	7	1	1,60
4	90	7	9	1,43
5	430	5	1	1,39

UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> prosesi				
Deneme	Deney şartları			Sonuç (15 dk. sonunda)
	Organik madde kons. (X <sub>1</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu (X <sub>2</sub> )	AKM kons. (X <sub>3</sub> )	Log giderim
1	430	65	0	1,86
2	430	65	60	1,37
3	90	65	0	2,48
4	90	65	60	1,90

## 5. SONUÇ

- Güneş ışığı ve UV ışığına dayalı ileri oksidasyon proseslerinin, orta kuvvetli evsel atıksu ve atıksu arıtma tesisi çıkış suları dezenfeksiyonunda etkili olduğu görülmüştür.
- UV ışığı ile gerçekleştirilen proseslerde, güneş ışığı ile gerçekleştirilen proseslere göre daha fazla *E.coli* giderimi sağlanmıştır.
- Sadece solar ışık prosesi ile karşılaştırıldığında, Solar/TiO<sub>2</sub> ve Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinin *E.coli* inaktivasyonunu arttırdığı görülmüştür.
- UV ışığı prosesi ile UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV/TiO<sub>2</sub> prosesleri arasında, *E.coli* giderimi açısından hemen hemen fark yoktur.
- Solar/TiO<sub>2</sub> prosesinde, düşük ve yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının giderim üzerinde farklı etkisi yoktur. En iyi giderim verimleri, düşük pH'ta elde edilmiştir. Ayrıca, bu proses, düşük organik madde konsantrasyonunda daha etkilidir.
- Saha şartlarında gerçekleştirilen solar/TiO<sub>2</sub> prosesi için, en yüksek giderim verimleri, yüksek TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında ve yüksek akış hızlarında elde edilmiştir.
- Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu daha etkilidir. AKM konsantrasyonunun arttırılmasıyla, mikroorganizma giderimi azalmaktadır. AKM'nin olumsuz etkisinin giderilmesi içinde, yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları gerekmektedir. Bu proses için, organik madde konsantrasyonunun etkisi belirgin değildir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve AKM konsantrasyonlarının etkisi daha ön plandadır.
- UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde, AKM konsantrasyonu proses üzerinde etkilidir.
- UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi, karıştırmalı ve karıştırmaz olmak üzere iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Karıştırmalı şartlarda, mikroorganizmaların lambaya olan uzaklıkları sürekli değiştiğinden ve böylece mikroorganizmalar daha çok ışığa maruz kaldıklarından, daha fazla *B.subtilis* sporları ve *E.coli* giderimi sağlanmıştır.
- UV/TiO<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesleri ile *B.subtilis* sporlarının inaktive edilmesi çok daha güç olup, elde edilen giderimler *E.coli*'ye göre düşüktür.
- UV/TiO<sub>2</sub> prosesi, hızlı ve yavaş karıştırma uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Hızlı karıştırma ile mikroorganizmalar, daha fazla ışığa maruz kaldıklarından, daha fazla *E.coli* giderimi sağlanmıştır.

- Solar/TiO<sub>2</sub> ve UV/TiO<sub>2</sub> proseslerinde, atıksuyun yüzeysel sulara deşarjından önce, TiO<sub>2</sub>'nin mikrofiltrasyon gibi ileri filtrasyon yöntemleri ile ayrılması gerekir. Ancak, bu yöntemler, hem ekonomik hem de hızlı olmadığından, bu durum gözönüne alınmalıdır. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinde ise, kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının, standartlara uygun olmasına dikkat edilmelidir.



## KAYNAKLAR

- Abuşka, M. 2014.** Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notları. [http://akhisarmy.cbu.edu.tr/db\\_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf](http://akhisarmy.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf) (Erişim tarihi: 28.8.2014).
- Acra, A. 1990.** Water Disinfection by Solar Radiation: Assessment and Application. IDRC, Ottawa, Canada, pp.70.
- Agullo-Barcelo, M., Polo-López, M.I., Lucena, F., Jofre, J., Fernández-Ibáñez, P. 2013.** Solar Advanced Oxidation Processes as Disinfection Tertiary Treatments for Real Wastewater: Implications for Water Reclamation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 136-137:341-350.
- Ahn, K.H., Park, K.Y., Maeng, S.K., Song, K.G., Kim, K.P., Lee, S.H., Kweon, J.H. 2005.** Color Removal and Disinfection with UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> System for Wastewater Reclamation and Reuse. *Water Science and Technology:Water Supply*, 5(1):51-57.
- Alkan, U.1994.** The Effects of Solar Radiation, Adsorption and Sedimentation on the Population of Enteric Bacteria in Marine Waters. *Ph.D. Thesis*, University of Newcastle upon Tyne, England.
- Alkan U., Teksoy A., Ateşli A., Başkaya H.S. 2007.** Influence of Humic Substances on the Ultraviolet Disinfection of Surface Waters. *Water and Environment Journal*, 21: 61-68.
- Alkan, U. 2010.** Çevre Mikrobiyolojisi. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ders Notları (yayınlanmamış), Bursa, 165 s.
- Alkan, U. 2013.** Çevre Mühendisleri için İstatistik. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ders Notları (yayınlanmamış), Bursa, 74 s.
- Altınışık, M., 2000.** Serbest Oksijen Radikalleri ve Antioksidanlar. <http://www.mustafaaltinisik.org.uk/21-adsem-01.pdf> (Erişim tarihi: 30.06.2014).
- Ameta, R., Kumar, A., Punjabi, P.B., Ameta, S.C. 2013.** Advanced Oxidation Processes-Basics and Applications: Wastewater treatment-Advanced Processes and Technologies, Ed: Rao, D.G., Senthilkumar, R., Byrne, J.A., Feroz, S., IWA Publishing, U.S., pp:61-91.
- Anonim, 1989.** Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. WHO, Tech. Report Series No. 77, Geneva, Switzerland.
- Anonim, 2001.** Guidelines for Testing of Chemicals, Simulation Test-Aerobic Sewage Treatment, 303A, OECD, France.
- Anonim, 2002.** Disinfection of Treated Wastewater, Guidelines for Environment Management, Publication 730, EPA Victoria, Australia.
- Anonim, 2004.** Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete Sayısı: 25687, Ankara.
- Anonim, 2006.** Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule 815-R-06-007, USEPA, Office of Water.
- Anonim, 2007.** Economic and Health Effects of Increasing Coverage of Low Cost Household Drinking-Water Supply and Sanitation Interventions to Countries Off-Track to Meet MDG Target 10. WHO, WHO/SDE/WSH/07/05, Geneva.
- Anonim, 2008.** Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2012.** Guidelines for Water Reuse. EPA, EPA/600/R-12/618, Washington D.C.
- Anonim, 2015a.** Ultraviyole Elektromanyetik Dalgaların Sınıflandırılması. [http://www.permoakdeniz.com/uv\\_isinlari.html](http://www.permoakdeniz.com/uv_isinlari.html) (Erişim Tarihi: 30.08.2015)

- Anonim, 2015b.** Ozon ve Ultraviyole: UV radyasyonu. <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/ozon-ve-uv.aspx?s=uv> (Erişim tarihi: 28.08.2015).
- Anonim, 2015c.** Introduction to Solar Radiation. <https://www.newport.com/Introduction-to-Solar-Radiation/411919/1033/content.aspx>. (Erişim tarihi: 07.12.2012).
- Anonim, 2016.** Burden of disease and cost-effectiveness estimates. World Health Organization (WHO), [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/burden/en-](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/burden/en-) (Erişim tarihi: 24.04.2016).
- Arceivala, S.J. 2002.** Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı. Tata Mc Graw- Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, 473 s.
- Ateşli, A. 2006.** Humik Maddelerin İçme Suyu Dezenfeksiyonu Prosesine Etkileri. *Yüksek lisans tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Backhaus, K., Marugan, J., Grieken, R.V., Sordo, C. 2010.** Photocatalytic Inactivation of *E.Faecalis* in Secondary Wastewater Plant Effluents. *Water Science and Technology*, 61(9): 2355-2361.
- Bahnemann, D. 2004.** Photocatalytic Water Treatment: Solar Energy Applications. *Solar Energy*, 77:445–459.
- Barbeau, B., L. Boulos, R. Desjardins, J. Coallier, M. Prevost, D. Duchesne. 1997.** A Modified Method For The Enumeration Of Aerobic Spore-Forming Bacteria. *Canadian Journal Of Microbiology*, 43:976-980.
- Barbeau, B., R. Desjardins, C. Mysore, M. Prevost. 2005.** Impacts of Water Quality on Chlorine and Chlorine Dioxide Efficacy in Natural Waters. *Water Research*, 39:2024-2033.
- Bekbölet, M. 2010.** Fundamentals of Advanced Oxidation Processes: Water, Wastewater and Soil Treatment by Advanced Oxidation Processes(AOPs), Editörler: Belgiorno, V., Naddeo, V., Rizzo, L. SEED, Fisciano, Italy, pp: 13-21.
- Benabbou, A.K, Derriche, Z., Felix, C., Lejeune, P., Guillard, C. 2007.** Photocatalytic Inactivation of *Escherichia Coli*: Effect of Concentration of Tio<sub>2</sub> and Microorganism, Nature, and Intensity of UV irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 76:257–263.
- Bichai, F., Polo-López, M.I., Fernández-Ibáñez, P. 2012.** Solar disinfection of wastewater to reduce contamination of lettuce crops by *Escherichia coli* in reclaimed water irrigation. *Water Research*, 46:6040-6050.
- Bitton, G. 2011.** Wastewater Microbiology, Fourth edition. John Wiley & Sons Inc., Canada, 781 pp.
- Block, S.S. 2000.** Disinfection, Sterilization, and Preservation. Lippincott Williams & Wilkins, U.S.A., 1439 pp.
- Chen, J.P., Yang, L., Wang, L.K., Zhang, B. 2006.** Ultraviolet Radiation for Disinfection: Advanced Physicochemical Treatment Processes, Vol.4, Ed: Wang, L.K., Hung, Y.T., Shammas, N.K., Humana press, Totowa, New Jersey, pp:317-367.
- Cho, M., Chung, H., Choi, W., Yoon, J. 2004.** Linear Correlation Between Inactivation of *E.Coli* and OH Radical Concentration in Tio<sub>2</sub> Photocatalytic Disinfection. *Water Research*, 38(4):1069-1077.
- Christophersen, A. G., Jun, H., Jorgensen, K., Skibsted, L. H. 1991.** Photobleaching of Astaxanthin and Canthaxanthin: Quantum-Yields Dependence of Solvent, Temperature, and Wavelength of Irradiation in Relation to Packaging and Storage of Carotenoid Pigmented Salmonoids. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 192:433-439.

- Clescerl, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. 1998.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-20th ed., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation (APHA, AWWA & WEF), Washington, U.S.A., 1325 pp.
- Crompton, D.W.T. 1999.** How Much Human Helminthias Is There in the World?. *Journal of Parasitology*, 85:379-403.
- Crook, J. 1998.** Water Reclamation and Reuse Criteria: Wastewater Reclamation and Reuse, Ed:Asano, T., Technomic Publishing Co.Ltd., Lancaster, PA,pp: 627-702.
- Dağ, C.M. 2002.** Eysel Nitelikli Atıksular için Arıtma Prosesleri: Çevre Mühendisliği Uygulamaları, TMMOB Çevre Müh. Odası, Ankara, s:63-74.
- Daneshvar, N., Niaei, A., Akbari, S., Aber, S., Kazemian, N. 2005.** Photocatalytic Disinfection of Water Polluted By Pseudomonas Aeruginosa. The 9th International Conference on Environmental Science and Technology, 1-3 September 2005, Rhodes Island, Greece.
- Dejung,S., Fuentes,I., Almanza,G., Jarro,R., Navarro,L., Arias,G., Urquieta,E., Torrico,A., Fenandez,W., Iriarte,M., Birrer,C., Stahel, W.A., Wegelin, M. 2007.** Effect of Solar Water Disinfection (SODIS) on Model Microorganisms Under Improved and Field SODIS Conditions, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 56.4: 245-256.
- Eleren, S.Ç., Alkan, U., Teksoy, A. 2014.** Inactivation of *E.coli* and *B.Subtilis* by the Solar and the Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Processes in Humic Surface Waters. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(6):1397-1406.
- Fernandez, P., Blanco, J., Sichel, C., Malato, S. 2005.** Water Disinfection by Solar Photocatalysis Using Compound Parabolic Collectors. *Catalysis Today*, 101(3-4):345-352.
- Garcia-Fernandez, I., Polo-Lopez, M.I., Oller, I., Fernandez-Ibanez, P. 2012.** Bacteria and Fungi Inactivation Using Fe<sup>+3</sup>/Sunlight, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Sunlight and Near Neutral Photo-Fenton: A Comparative Study. *Applied Catalysis B: Environmental*, 121-122:20-29.
- Gerrity, D., Ryu, H., Crittenden, J., Abbaszadegan, M. 2008.** Photocatalytic Inactivation of Viruses Using Titanium Dioxide Nanoparticles and Low-Pressure UV Light. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 43:1261–1270.
- Gill, L.W., McLoughlin, O.A. 2005.** Solar Disinfection Kinetic Design Parameters for Continuous Flow Reactors. *Journal of Solar Energy Engineering*, 129(1):111-118.
- Gogate, P.R., Pandit, A.B. 2004.** A Review of Imperative Technologies for Wastewater Treatment I: Oxidation Technologies at Ambient Conditions. *Advances in Environmental Research*, 8:501–551.
- Gomez, E.O., Ibanez P.F., Martín, M.M.B., Lopez, M.I.P. 2012.** Water Disinfection Using Photo-Fenton: Effect of Temperature on *Enterococcus faecalis* Survival. *Water Research*, 46:6154-6162.
- Grabow, W. 2002.** Water and Public Health. UNESCO, in Encyclopedia of Life Support Systems, EOLSS Publishers, Paris, France.
- Grieken, R.V., Marugan, J., Pablos, C., Furones, L., Lopez, A. 2010.** Comparison Between the Photocatalytic Inactivation of Gram-Positive *E.faecalis* and Gram-Negative *E.coli* Faecal Contamination Indicator Microorganisms. *Applied Catalysis B: Environmental*, 100(1-2): 212-220.



- Hassen A., Mahrouk M, Ouzari H, Cherif M, Boudabous A, Damelin court JJ. 2000.** UV Disinfection of Treated Wastewater in a Large-Scale Pilot Plant and Inactivation of Selected Bacteria in a Laboratory UV Device, *Bioresource Technology*, 74:141-151.
- He, Z., Zhang, X., Xie, G. 2013.** Product Quality Improvement Through Response Surface Methodology: A Case Study. International Conference on Technology Innovation and Industrial Management, 29-31 May 2013, Phuket, Thailand.
- Helali, S., Polo-Lopez M.I., Fernandez-Ibanez P., Ohtani, B., Amano, F., Malato, S., Guillard, C. 2014.** Solar Photocatalysis: A Green Technology for *E.coli* Contaminated Water Disinfection. Effect of Concentration and Different Types of Suspended Catalyst. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 276:31-40.
- Herrera Melián, J.A., Doña Rodríguez, J.M., Viera Suárez, A., Tello Rendón, E., Valdés do Campo, C., Arana, J., Pérez Peña, J. 2000.** The Photocatalytic Disinfection of Urban Wastewaters. *Chemosphere*, 41(3):323-327.
- Ibáñez, P.F., Sichel, C., Polo-López, M.I., Cara-García, M., Tello, J.C. 2009.** Photocatalytic Disinfection of Natural Well Water Contaminated by *Fusarium solani* Using TiO<sub>2</sub> Slurry in Solar CPC Photo-Reactors. *Catalysis Today*, 144:62-68.
- Klavarioti, M., Mantzavinos, M., Kassinos, D. 2009.** Removal of Residual Pharmaceuticals from Aqueous Systems by Advanced Oxidation Processes. *Environment International*, 35(2): 402-417.
- Lamo, M.B., Buering, M., Bahnemann, D. 2015.** Effect of Flowrate, Photocatalyst Loading and Illumination Conditions on the Photocatalytic Disinfection of Recombinant *Escherichia coli*. *Materials Research Innovations*, 19 (1):20-23.
- Landi, M., Naddeo, V. 2010.** AOPs Technologies, An Overview: Water, Wastewater and Soil Treatment by Advanced Oxidation Processes(AOPs), Editörler: Belgiorno, V., Naddeo, V., Rizzo, L. SEED, Fisciano, Italy, pp: 23-40.
- Litter, M.I. 2005.** Introduction to Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: The Handbook of Environmental Chemistry (Vol:2 Part:M-Environmental Photochemistry, Part II, Editörler: Boule, P., Bahnemann, D.W., Robertson, P.K.J., Springer, Berlin, pp: 325-366.
- Lopez, M.I.P., Fernandez, I.G., Ibanez, P.F. 2011.** Solar Technologies for Plant Microbial Pathogens Inactivation on Water: Science Against Microbial Pathogens: Communicating Current Research and Technological Advances, Ed.: Mendez-Vilas, A., FORMATEX, Spain, pp.282-290.
- Luksiene, Z. 2005.** New Approach to Inactivation of Harmful and Pathogenic Microorganisms by Photosensitization. *Food Technol. Biotechnol*, 43(4):411–418.
- Lydakís-Simantiris, N., Riga, D., Katsivela, E., Mantzavinos, D., Xekoukoulotakis, N.P. 2010.** Disinfection of Spring Water and Secondary Treated Municipal Wastewater by TiO<sub>2</sub> Photocatalysis. *Desalination*, 250:351-355.
- Maier, R.M., Pepper, I.L., Gerba, C.P. 2000.** Environmental Microbiology, Third Edition. Academic Press, San Diego, California, U.S.A, 585 pp.
- Malato, S., Fernandez-Ibanez, P., Maldonado, M.I., Blanco, J., Gernjak, W. 2009.** Decontamination and Disinfection of Water by Solar Photocatalysis: Recent Overview and Trends. *Catalysis Today*, 147:1–59.
- Mamane H., Shemer H., Linden K.G. 2007.** Inactivation of *E. coli*, *B. subtilis* spores, and MS2, T4, and T7 phage using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation. *J.Hazard.Mater*, 146(3):479-86.

- Mani, S.K., Kanjur, R., Singh, I.S.B., Reed, R.H. 2006.** Comparative Effectiveness of Solar Disinfection Using Small-Scale Batch Reactors with Reflective, Absorptive and Transmissive Rear Surfaces. *Water Research*, 40:721-727.
- Manjon, F., Villen, L., Fresnadillo, D.G., Orellana, G. 2008.** On the Factors Influencing the Performance of Solar Reactors for Water Disinfection with Photosensitized Singlet Oxygen. *Environ. Sci. Technol.*, 42: 301–307.
- Mara, D. 2004.** Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. Earthscan, London, Sterling, 293 pp.
- Mathews, P.G. 2005.** Design of Experiments with MINITAB. ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, U.S.A., 487 pp.
- Matsunaga, T., Tomoda, R., Nakajima, T., Wake, H. 1985.** Photoelectrochemical Sterilization of Microbial Cells by Semiconductor Powders. *FEMS Microbiology Letters*, 29:211-214.
- McLoughlin, O.A., Ibanez, P.F., Gernjak, W., Malato, R.S., Gill, L.W. 2004.** Photocatalytic Disinfection of Water Using Low Cost Compound Parabolic Collectors. *Solar Energy*, 77(5):625-633.
- Miller, G.W. 2006.** Integrated Concepts in Water Reuse: Managing Global Water Needs. *Desalination*, 187:65-75.
- Navntoft, C., Araujo, P. 2007.** Field Tests of the Solar Water Detoxification SOLWATER in Los Pereyra. *Journal of Solar Energy Engineering*, 129:127-134.
- Oppenländer, T. 2003.** Photochemical Purification of Water and Air/Advanced Oxidation Processes (AOPs): Principles, Reaction Mechanisms, Reactor Concepts. Wiley-VCH, Germany, 353 pp.
- Pablos C., Marugán J., Grieken R., Serrano E. 2013.** Emerging Micropollutant Oxidation During Disinfection Processes Using UV-C, UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV-A/TiO<sub>2</sub> and UV-A/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Water Res*, 47(3): 1237-1245.
- Parsons, S. 2004.** Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment. IWA Publishing, UK, 368 pp.
- Polo-Lopez, M.I., Fernandez-Ibanez, P., Garcia, Fernandez, I., Oller, I., Salgado-Transito, I., Sichel, C. 2010.** Resistance of *Fusarium sp.* Spores to Solar TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Influence of Spore Type and Water (Scaling up Results). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85(8): 1038-1048.
- Polo-Lopez, M.I., Garcia-Fernandez, I., Oller, I., Fernandez-Ibanez, P. 2011.** Solar Disinfection of Fungal Spores in Water Aided by Low Concentrations of Hydrogen Peroxide. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 10:381-388.
- Polo-Lopez, M.I., Castro-Alferez, M., Oller, I., Fernandez-Ibanez, P. 2014.** Assessment of Solar Photo-Fenton, Photocatalysis and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for Removal of Phytopathogen Fungal Spores in Synthetic and Real Effluents of Urban Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 257:122-130.
- Ray M.B., Chen, J.P., Wang, L.K., Pehkonen, S.O. 2006.** Advanced Oxidation Processes: Advanced Physicochemical Treatment Processes, Vol.4, Ed.: Wang, L.K., Hung, Y.T., Shammas, N.K., Humana Press, Totowa, New Jersey, pp: 463-479.
- Rengifo-Herrera, J.A., Sanabria, J., Machuca, F., Dierolf, C.F., Pulgarin, C., Orellana, G. 2007.** A Comparison of Solar Photocatalytic Inactivation of Waterborne *E. coli* Using Tris(2,2'-bipyridine) ruthenium (II), Rose Bengal and TiO<sub>2</sub>. *Journal of Solar Energy Engineering*, 129:135-140.
- Rice, R.G. 1996.** Ozone Reference Guide. Electric Power Research Institute, St.Louis, MO, USA.

- Rincon, A.G., Pulgarin, C. 2003.** Photocatalytical Inactivation of *E. coli*: Effect of (Continuous–Intermittent) Light Intensity and of (Suspended–Fixed) TiO<sub>2</sub> Concentration. *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol.44, page 263–284.
- Rincon, A.G., Pulgarin, C., 2004a.** Effect of pH, Inorganic Ions, Organic Matter and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on *E. coli* K12 Photocatalytic Inactivation by TiO<sub>2</sub>. Implications in Solar Water Disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 51:283-302.
- Rincon, A.G., Pulgarin, C., 2004b.** Field Solar *E.coli* Inactivation in the Absence and Presence of TiO<sub>2</sub>: Is UV Solar Dose An Appropriate Parameter for Standardization of Water Solar Disinfection?. *Solar Energy*, 77(5): 635-648.
- Rincon, A.G., Pulgarin, C. 2007a.** Solar Photocatalytic and Photocatalytic Disinfection of Water at Laboratory and Field Scale. Effect of the Chemical Composition of Water and Study of the Postirradiation Events. *Journal of Solar Energy Engineering*, 129(1):100-110.
- Rincon, A.G., Pulgarin, C. 2007b.** Fe<sup>3+</sup> and TiO<sub>2</sub> Solar-Light-Assisted Inactivation of *E.Coli* at Field Scale: Implications in Solar Disinfection at Low Temperature of Large Quantities of Water. *Catalysis Today*, 122(1-2):128–136.
- Rizzo, L. 2010.** Wastewater Treatment by Solar Driven Advanced Oxidation Processes: Water, Wastewater and Soil Treatment by Advanced Oxidation Processes(AOPs), Ed.: Belgiorino, V., Naddeo, V., Rizzo, L. SEED, Fisciano, Italy, pp: 183-195.
- Roberts, R.S., Janovy, J. 1996.** Foundations of Parasitology, 5th Edition. Wm.C.Brown Publishers, Dubuque, 700 pp.
- Robertson, P.K.J., Bahnemann, D.W., Robertson, J.M.C., Wood, F. 2005.** Photocatalytic Detoxification of Water and Air: The Handbook of Environmental Chemistry (Vol:2 Part:M-Environmental Photochemistry,Part II, Editörler: Boule, P., Bahnemann, D.W., Robertson, P.K.J., Springer, Berlin, pp: 367-423.
- Rodríguez-Chueca, J., Polo-López, M.I., Mosteoa, R., Ormada, M.P., Fernández-Ibáñez, P. 2014.** Disinfection of Real and Simulated Urban Wastewater Effluents Using A Mild Solar Photo-Fenton. *Applied Catalysis B: Environmental*, 150-151:619-629.
- Rubio D., Nebot E., Casanueva J.F., Pulgarin C. 2013a.** Comparative Effect of Simulated Solar Light, UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Photo-Fenton Treatment (UV-Vis/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+,3+</sup>) in the *Escherichia coli* Inactivation in Artificial Seawater. *Water Res.*, 47(16):6367-6379.
- Rubio, D., Casanueva, J.F., Nebot, E. 2013b.** Improving UV Seawater Disinfection with Immobilized TiO<sub>2</sub>: Study of the Viability of Photocatalysis (UV<sub>254</sub>/TiO<sub>2</sub>) as Seawater Disinfection Technology. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 271: 16–23.
- Ryu, H., Gerrity, D., Crittenden, J.C., Abbaszadegan, M. 2008.** Photocatalytic Inactivation of *Cryptosporidium parvum* with TiO<sub>2</sub> and Low-Pressure Ultraviolet Irradiation. *Water Research*, 42(6–7):1523–1530.
- Shang, C., Cheung, L.M., Ho, C.M., Zeng, M. 2009.** Repression of Photoreactivation and Dark Repair of Coliform Bacteria by TiO<sub>2</sub>-Modified UV-C Disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 89(3–4):536–542.
- Sichel, C., Fernandez-Ibanez, P., Cara, M., Tello, J. 2009.** Lethal Synergy of Solar UV-Radiation and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on Wild *Fusarium solani* Spores in Distilled and Natural Well Water. *Water Research*, 43:1841-1850.
- Singer, C.P. 1999.** Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water. AWWA, USA, 424 pp.

- Singer, C.P., Reckhow, D.A. 1999.** Chemical Oxidation: Water Quality and Treatment, 5th edition, Ed: Letterman, R.D., McGraw-Hill Inc., Newyork, pp:12.1-12.51.
- Singh, K.P., Rai, P., Pandey, P., Sinha, S. 2012.** Modeling and Optimization of Trihalomethanes Formation Potential of Surface Water (A Drinking Water Source) Using Box-Behnken Design. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(1):113-127.
- Sousa, M.A., Goncalves, C., Vilar, V.J.P., Boaventura, R.A.R., Alpendurada, M.F. 2012.** Suspended TiO<sub>2</sub>-Assisted Photocatalytic Degradation of Emerging Contaminants in A Municipal Wastewater Treatment Plant Effluent Using A Solar Pilot Plant with CPCs. *Chemical Engineering Journal*, 198-199:301-309.
- Souza, B.S., Dantas, R.F., Agulló-Barceló, M., Lucena, F., Sans, C., Esplugas, S., Dezotti, M. 2013.** Evaluation of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for the Disinfection and Treatment of Municipal Secondary Effluents for Water Reuse. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 88(9):1697–1706.
- Sperling, M.V. 2007.** Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal (Volume 1). IWA Publishing, London, U.K., 292 pp.
- Spuhler, D., Rengifo-Herrera, J.A., Pulgarin, C. 2010.** The Effect of Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and the Photo-Fenton Reagent at Near Neutral pH on the Solar Disinfection (SODIS) at Low Temperatures of Water Containing *Escherichia coli* K12. *Applied Catalysis B:Environmental*, 96:126-141.
- Şengül, F., Çokay, E. 2006.** Toksik Kirleticilerin İleri Oksidasyon Prosesleri ile Arıtımı. *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2):1 -9.
- Şengül, B. 2009.** İçme Suyu Dezenfeksiyonunda Yan Ürün Oluşturmayan Metotların Verimliliği. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Tchobanoglous, G., Burton F.L., Stensel, H.D. 2004.** Wastewater Engineering:Treatment and Reuse-4th edition. Mc Graw-Hill, Singapore, 1820 pp.
- Tsydenova, O., Batoev, V., Batoeva, A. 2015.** Solar-Enhanced Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: Simultaneous Removal of Pathogens and Chemical Pollutants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12:9542-9561.
- Tünay, O., Kabdaşlı, I., Alaton, İ.A., Hancı, T.Ö. 2010.** Chemical Oxidation Applications for Industrial Wastewaters. IWA Publishing, U.S., 360 pp.
- Ubomba-Jaswa, E., Navntoft, C., Polo-López, M.I., Fernandez-Ibáñez, P., McGuigan, K.G. 2009.** Solar Disinfection of Drinking Water (SODIS): An Investigation of the Effect of UV-A Dose on Inactivation Efficiency. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 8:587-595.
- Varınca, K.B., Gönüllü, M.T. 2006.** Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23 Haziran 2006, ESOGÜ, Eskişehir.
- Venieri D, Chatzisyneon E, Gonzalo MS, Rosal R, Mantzavinou D. 2011.** Inactivation of *Enterococcus faecalis* by TiO<sub>2</sub>-Mediated UV and Solar Irradiation in Water and Wastewater: Culture Techniques Never Say the Whole Truth. *Photochem Photobiol Sci.*, 10:1744-1750.
- Wang, G.S., Hsieh, S.T., Hong, C.S. 2000.** Destruction of Humic Acid in Water by UV Light-Catalyzed Oxidation with Hydrogen Peroxide. *Water Research*, 34(15): 3882-3887.

- Wang, D. 2008.** Comparison of Disinfection Effects of UV light at 172, 222, 254 nm on *Bacillus Subtilis* Spores. *MSc Thesis*, University of Alberta, Edmonton, Canada.
- Watts, R.J., Kong, S., Orr, M.P., Miller, G.C., Henry, B.E. 1995.** Photocatalytic Inactivation of Coliform Bacteria and Viruses in Secondary Wastewater Effluent. *Water Research*, 29(1):95-100.
- Wegelin, M., Meierhofer, R. 2002.** Solar Water Disinfection: A Guide for the Application of SODIS. SANDEC-EAWAG, Report No:06/02, Switzerland.
- West, P.M., Olds, F.R. 1992.** Clinical Schistosomiasis. *R.I. Medical Journal*, 75:179.
- Xie RJ, Gomez MJ, Xing YJ. 2007.** Field Investigation of Advanced Oxidation of Secondary Effluent from Municipal Wastewater Treatment Plant. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.*, 42(13):2047-2057.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burcu ŞENGÜL TOPAÇ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 07.11.1978  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Atatürk Lisesi 1995  
Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Müh. Bölümü 2004  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Müh. A.B.D. 2009

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Bölümü, 2009 – 2015.

İletişim (e-posta) : burcusen@uludag.edu.tr  
burcusengul78@hotmail.com

### Yayımları

:

#### **Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler :**

**Teksoy, A., Alkan, U., Eleren, S.Ç., Topaç, B.Ş., Şağban, F.O.T., Başkaya, H.S. 2011.** Comparison of Indicator Bacteria Inactivation by the Ultraviolet and Ultraviolet/Hydrogen Peroxide Disinfection Processes in Humic Waters. *Journal of Water and Health*, 9(4):659-669.

**Topaç, B.Ş., Alkan, U. 2016.** Comparison of Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Solar Photo-Fenton Processes for the Disinfection of Domestic Wastewaters. *KSCE Journal of Civil Engineering*, DOI:10.1007/s12205-016-0416-6), (basım aşamasında).

#### **Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler :**

**Topaç, B.Ş., Alkan, U. 2013.** Disinfection of Water and Wastewater by Solar Radiation. International Conference on Science and Technology (ICOEST-Cappadocia), 18-21 Haziran, Ürgüp, Nevşehir.

#### **Diğer yayınlar :**

- 1. Alkan, U., Eleren, S.Ç., Teksoy, A., Topaç, B.Ş., Şağban, F.O.T., Başkaya, H.S. 2011.** Hüyük Madde İçeren Yüzeysel Sularda UV ve UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Proseslerinin Verimlilikleri. Uludağ Üniversitesi I. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri, 15-16 Kasım, Bursa.
- 2. Eleren, S.Ç., Alkan, U., Teksoy, A., Topaç, B.Ş. 2012.** Güneş Radyasyonu ile Yüzeysel Suların Dezenfeksiyonu. Uludağ Üniversitesi II. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri, 13-15 Kasım, Bursa.
- 3. Topaç, B.Ş., Alkan, U. 2013.** Güneş Işığının Su ve Atıksu Dezenfeksiyonunda Kullanımı. Uludağ Üniversitesi III. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri, 12-14 Kasım, Bursa.