

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HÜMİK MADDELERİN İÇME SUYU DEZENFEKSİYONU
PROSESİNE ETKİLERİ**

Ahu ATEŞLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA 2006

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HÜMİK MADDELERİN İÇME SUYU DEZENFEKSİYONU
PROSESİNE ETKİLERİ**

Ahu ATEŞLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA 2006

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HÜMİK MADDELERİN İÇME SUYU DEZENFEKSİYONU
PROSESİNE ETKİLERİ**

Ahu ATEŞLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu Tez 30.10.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç.Dr.Ufuk ALKAN
(Danışman)**

Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA

Prof. Dr. Habib UMUR

HÜMİK MADDELERİN İÇME SUYU DEZENFEKSİYONU PROSESİNE ETKİLERİ

Hümik maddelerin, UV (Ultraviyole) ve UV/H₂O₂ (Ultraviyole/Hidrojen peroksit) dezenfeksiyonuna etkileri ve bu dezenfeksiyon proseslerinin ardından sularda toplam koliformların sonradan çoğalma potansiyelleri araştırılmıştır. Deneyler; farklı konsantrasyonlarda (0-10 mg/L) fülvik ve hümik asit içeren sulara, 68-681 mWs/cm² arasında değişen UV dozları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Dezenfeksiyon verimlilikleri ve sonradan çoğalma potansiyelleri, UV ve UV/H₂O₂ proseslerinden hemen sonra ve 24 saat süren karanlık inkübasyonun ardından belirlenen toplam koliform sayılarına göre değerlendirilmiştir.

UV dezenfeksiyonu deney sonuçları; hümik maddelerin, UV ışığını absorbe etmeleri nedeniyle, UV dezenfeksiyonu verimini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Hümik madde içermeyen ve yüksek konsantrasyonlarda hümik madde içeren suların inaktivasyon katsayıları (*k*) karşılaştırıldığında; fülvik ve hümik asit konsantrasyonlarının artması ile birlikte *k* değerlerinde önemli bir düşüş belirlenmiştir. Karanlık inkübasyon deneyleri ile, fülvik ve hümik asitlerin bakterilerde sonradan çoğalmaya neden oldukları belirlenmiştir.

Hümik maddelerin UV dezenfeksiyonunda ve sonrasında neden oldukları olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için; UV dezenfeksiyonu hidrojen peroksit ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. İki farklı hidrojen peroksit konsantrasyonunda (0,125 ve 3,000 mg/L) gerçekleştirilen UV/H₂O₂ denemeleri, UV ışını ile dezenfeksiyon sırasında suya hidrojen peroksit ilave edilmesinin dezenfeksiyon verimliliğini arttırdığını göstermiştir. Hidrojen peroksitin suya ilave edilmesi ile birlikte; hümik maddelerin UV dezenfeksiyonunda neden oldukları etkiler azalmaya başlamıştır. Fakat hümik karakterdeki sularda UV ve UV/0,125 H₂O₂ prosesleri ile elde edilen bakteri inaktivasyon değerlerinin birbirinden çok farklı olmadığı ancak UV/3,000 H₂O₂ prosesinin bakteri gideriminde çok daha etkili olabildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak; bu çalışma ile ışık geçiriminin engellendiği ve bakteri inaktivasyonu için ilave bir mekanizmanın gerektiği yüzeysel hümik suların UV ile dezenfeksiyonunda, hidrojen peroksitin olumlu bir etkisinin olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca; UV dezenfeksiyonu uygulamasından sonra görülen sonradan çoğalma probleminin, sularda hümik madde bulunması durumunda bile hidrojen peroksit ilave edilerek gerçekleştirilen UV dezenfeksiyonunda yaşanmadığı belirlenmiştir.

Hem UV hem de UV/H₂O₂ uygulamaları, hümik maddelerin iki ana fraksiyonu olan hümik ve fülvik asitlerin, dezenfeksiyona yaptıkları etkilerin aynı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak UV dezenfeksiyonu sonrası meydana gelen sonradan çoğalmanın hümik asitlere göre daha düşük moleküler ağırlığa sahip olması nedeniyle bakterilerce daha kolay kullanılabilen fülvik asitlerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: UV dezenfeksiyonu, toplam koliformlar, hümik asit, fülvik asit, hidrojen peroksit, UV/H₂O₂, sonradan çoğalma, inaktivasyon, yüzeysel sular.

INTERACTION OF HUMIC SUBSTANCES IN DISINFECTION PROCESSES

The efficiency of UV (Ultraviolet) and UV/H₂O₂ (Ultraviolet/hydrogen peroxide) disinfection processes and regrowth potentials of total coliforms were investigated in humic waters. Experiments were conducted according to an experimental design in which UV radiation dose range of 68-681 mWs/cm² was applied to waters containing various concentrations (0-10 mg/L) of fulvic and humic acid. Total coliform numbers were determined after UV and UV/H₂O₂ disinfection and dark incubation of the samples.

UV disinfection experimental results strongly suggested that the harmful effect of UV radiation to bacteria was diminished in humic waters due to absorption of UV light. Comparison of *k* (inactivation coefficient) values for nonhumic water to highly humic water indicated that the *k* decreased proportionally as fulvic and humic acid concentration of water was increased. The results of dark-incubation tests indicated significant regrowth of bacteria in fulvic and humic acid containing waters.

To reduce hampering effects of humic substances during and after UV disinfection, UV irradiation was applied in the presence of hydrogen peroxide. Results of UV/H₂O₂ experiments at two different hydrogen peroxide concentration (0.125 and 3.000 mg/L) demonstrated that the addition of H₂O₂ to water during UV radiation was able to increase the efficiency of disinfection. The addition of hydrogen peroxide at a certain concentration was able to reduce counteracting effect of humic substances against the lethal effect of UV radiation to the bacteria. At humic waters, results of UV and UV/0.125 H₂O₂ processes were similar. On the other hand, stronger disinfection performance was achieved by the UV/3.000 H₂O₂ process. Overall assessment of the results suggests that hydrogen peroxide appears to be highly beneficial in the UV disinfection of humic surface waters where penetrating of UV light is prevented and second disinfection process is needed. In contradiction to significant regrowth which occurred in the single UV radiation treatment, regrowth of bacteria did not occur despite the presence of humic substance in water when the UV disinfection was accompanied with hydrogen peroxide addition.

Results of both UV and UV/H₂O₂ processes indicated that the harmful effects of humic and fulvic acid which are the main fraction of humic substances, are similar. However, regrowth results demonstrated that fulvic acids caused higher bacterial regrowth than humic acids due to the fact that fulvic acids are composed of molecules of lower weight, which are decomposed by microorganisms are easily.

KEY WORDS : UV disinfection, total coliforms, humic acid, fulvic acid, hydrogen peroxide, UV/H₂O₂, regrowth, inactivation, surface waters.

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Hümik Maddeler	4
2.2. İçme Sularının Dezenfeksiyonu	6
2.3. Dezenfeksiyon Yöntemleri	8
2.3.1. UV Işını İle Dezenfeksiyon	13
2.3.1.2. UV Işını Kaynağı	14
2.3.1.3. UV Dezenfeksiyonu Reaksiyonları	15
2.3.1.4. UV Işınlarının Germisidal Etkileri	16
2.3.1.5. UV Dezenfeksiyonunu Etkileyen Çevresel Faktörler	19
2.3.1.6. UV Radyasyonunun Avantajları ve Dezavantajları	21
2.3.2. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Dezenfeksiyonu	22
2.3.3. UV/Hidrojen Peroksit (UV/H ₂ O ₂) Dezenfeksiyonu	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM	26
3.1. Materyal	26
3.2. Yöntem	26
3.2.1. Toplam Koliformların İzolasyonu, Doğrulanması ve Saklanması	26
3.2.2. Mikroorganizma Süspansiyonlarının Hazırlanışı	27
3.2.3. Toplam Koliform Sayısının Belirlenmesi	28
3.2.4. Hümik Madde Ekstraksiyonu	28
3.2.5. UV Dezenfeksiyonu	28
3.2.6. UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu	29
3.2.7. Yeniden Çoğalma Potansiyelinin Belirlenmesi	30
3.2.8. Kimyasal ve Fiziksel Analizler	30
3.2.9. İnaktivasyon Katsayısının (k) Belirlenmesi	30

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	31
4.1. UV Dezenfeksiyonu	31
4.2. UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu	41
4.3. UV ve UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu Bulgularının Karşılaştırılması	52
5. SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR	65
EKLER	73
TEŞEKKÜR	92
ÖZGEÇMİŞ	93

ŞEKİLLER DİZİNİ	Sayfa No
Şekil 2.1. Hümik Maddelerin Kimyasal Özellikleri	5
Şekil 2.2. Fülvik Asitlerin Buffle Model Yapısı.....	6
Şekil 2.3. Hümik Asitlere Ait Model Yapısı	6
Şekil 2.4. Dezenfeksiyon İşlemlerinde Uygulanan Yöntemler.....	9
Şekil 2.5. Elektromagnetik Spektrum.	14
Şekil 2.6. DNA Molekülünün Şematik Görünümü ve Timin Nükleotidlerinin Dimerizasyonu	17
Şekil 3.1. Toplam Koliformlara Ait Büyüme Logaritmik Büyüme Eğrileri.....	27
Şekil 3.2. UV Reaktörünün Şematik Gösterimi.....	29
Şekil 4.1.(a). Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu ile Elde Edilen Bakteri Giderimleri	32
Şekil 4.1.(b). Farklı Konsantrasyonlarda Hümik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu ile Elde Edilen Bakteri Giderimleri	32
Şekil 4. 2.(a). Fülvik Asit ve UV Radyasyonunun Bakteri Giderimindeki Etkileri.....	34
Şekil 4. 2.(b). Hümik Asit ve UV Radyasyonunun Bakteri Giderimindeki Etkileri.....	34
Şekil 4. 3.(a). Fülvik Asit İçeren Sularda UV Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları	36
Şekil 4. 3.(b).Hümik Asit İçeren Sularda UV Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları.....	37
Şekil 4. 4. Farklı Konsantrasyonlarda Hümik ve Fülvik Asit İçeren Suların UV Dezenfeksiyonu Sonrasında Bulunan İnaktivasyon Katsayılarının Karşılaştırılması.....	38
Şekil 4. 5.(a). Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu Sonrası Bakteriyel Çoğalma Potansiyeli.....	39
Şekil 4. 5.(b). Farklı Konsantrasyonlarda Hümik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu Sonrası Bakteriyel Çoğalma Potansiyeli.....	39
Şekil 4. 6.(a). Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu Bakteri Giderimleri	42
Şekil 4. 6.(b). Farklı Konsantrasyonlarda Hümik Asit İçeren Sularda UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu Bakteri Giderimleri	42
Şekil 4.7.(a).Fülvik Asit ve UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonunu Bakteri Giderimindeki Etkileri.....	43

Şekil 4.7.(b).Hümik Asit ve UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonunu Bakteri Giderimindeki Etkileri.....	43
Şekil 4.8.(a). Fülvik Asit İçeren Sularda UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları	44
Şekil 4.8.(b). Hümik Asit İçeren Sularda UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları	45
Şekil 4. 9. Farklı Konsantrasyonlarda Hümik ve Fülvik Asit İçeren Suların UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Bulunan İnaktivasyon Katsayılarının Karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.10.(a) Farklı Fülvik Asit Konsantrasyonlarındaki Su Numunelerinin İnkübasyon Öncesi Logaritmik Bakteri Sayıları	48
Şekil 4.10.(b) Farklı Fülvik Asit Konsantrasyonlarındaki Su Numunelerinin İnkübasyon Öncesi Logaritmik Bakteri Sayıları	48
Şekil 4.11.(a) Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen UV Absorbansı Değerleri.....	50
Şekil 4.11.(b) Farklı Konsantrasyonlarda Hümik Asit İçeren Sularda UV/H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen UV Absorbansı Değerleri.....	50
Şekil 4. 12. UV, UV/0,125 mg/L H ₂ O ₂ ve UV/3,000 mg/L H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonları ile Elde Edilen Bakteri Giderimlerinin Karşılaştırılması	54
Şekil 4. 13.(a). 0 ve 1 mg ÇOK/L Konsantrasyonunda Fülvik Asit İçeren Sularda UV, UV/0,125 mg/L H ₂ O ₂ ve UV/3,000 mg/L H ₂ O ₂ Dezenfeksiyon Prosesleri Sonucunda Belirlenen İnaktivasyon Katsayısı Değerleri	56
Şekil 4. 13.(b). 5 ve 10 mg ÇOK/L Konsantrasyonunda Fülvik Asit İçeren Sularda UV, UV/0,125 mg/L H ₂ O ₂ ve UV/3,000 mg/L H ₂ O ₂ Dezenfeksiyon Prosesleri Sonucunda Belirlenen İnaktivasyon Katsayısı Değerleri	57
Şekil 4.14. Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Suların UV, UV/0,125 mg/L H ₂ O ₂ ve UV/3,000 mg/L H ₂ O ₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Bulunan İnaktivasyon Katsayılarının Karşılaştırılması.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ	Sayfa No
Çizelge 2.1. Sık Kullanılan Dezenfeksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması	12
Çizelge 2.2. Patojenik Bakteri ve Virüslerin UV Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması	19
Çizelge 2.3. UV Dezenfeksiyonu Uygulanacak Suda Olması Gereken Maksimum Değerler.....	21
Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Suyun Özellikleri	26

1. GİRİŞ

Su, insanlar ve diğer canlılar için vazgeçilmez bir ihtiyaç olup, insan sağlığını ilgilendiren en önemli fiziksel etmendir. İçme sularının kimyasal ve mikrobiyolojik standartlara uygun olması, halk sağlığı açısından çok büyük önem taşımaktadır. İçme suyu amaçlı kullanılacak olan sular; zararlı kimyasallar ve organik maddeler içermemeli ve ayrıca içersinde hastalık yapıcı mikroorganizmalar barındırmamalıdır. Bu özellikleri suya kazandırabilmek için, içme suyunun temin edildiği kaynağın karakterine göre su, belirli arıtma işlemlerinden geçirildikten sonra tüketiciye ulaştırılmalıdır.

İçme suyunun içindeki mikroorganizmalar halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. İçerisinde sağlığa zararlı mikroorganizma ihtiva eden sular, yetişkinlerde ve özellikle çocuklarda bazı hastalıklar meydana getirmektedir. Etkin bir arıtma ile bakteriler % 99,5 oranında giderilebilmektedir. Ancak iyi arıtılmış sulara dezenfeksiyon uygulanmasıyla hastalık yapıcı bakterilerin tamamı yok edilebilmektedir.

İçme suları, farklı metotlarla dezenfekte edilebilmektedir. Dezenfeksiyon amacıyla kullanılan klasik yöntemler; kimyasal dezenfektan kullanımı ile dezenfeksiyon ve mekanik dezenfeksiyondur. Suları kaynatarak da dezenfekte etmek mümkündür. Ancak suda erimiş durumda bulunan gazlar uçacağından su tatsızlaşabilmektedir. Ayrıca bu işi toplum çapında uygulamak çok güç hatta olanaksızdır (Eroğlu 1995).

Bakteri ve virüs gideriminde oldukça etkili olan UV radyasyonu ($\lambda = 253,7$ nm), son yıllarda içme suyu ve atıksu arıtımında kimyasal dezenfektanlara alternatif bir metot olarak kullanılmaya başlanmıştır (Cairns 1994). Kanserojenik yan ürünler oluşturmaması ve düşük maliyetli olması, UV dezenfeksiyonunun kullanımını cazip hale getirmektedir (Cairns 1994, Lehtola ve ark. 2003).

UV radyasyonu; mikroorganizmaları, hücre için önemli moleküler bileşiklerde değişikliklere neden olarak inaktive etmektedir. UV ışınları hücre duvarına nüfuz ederek primidin ve timin türevlerinin fotokimyasal dimerizasyonu ile deoksiribonükleik asit (DNA) replikasyonunu engellemektedir (Shaw ve ark. 2000).

Sularda dezenfeksiyon için gerekli olan UV ışını miktarı, suyun UV transmisyonuna ve mikroorganizmaların direncine bağlı olarak değişmektedir. UV transmisyonu düşük olan suda, mikroorganizmalara ulaşan UV ışını miktarı da az olmaktadır. Sertlik, demir, AKM ve hümik madde konsantrasyonu sulardaki UV transmisyonunu etkileyen parametrelerdir (Anonim 2004). Hayvansal ve bitkisel

materyallerin ayrışması ile oluşan hümik maddeler doğal sularda bulunan en önemli UV ışını absorblayıcılarıdır. Hümik maddeler, yüksek molekül ağırlığına sahiptirler ve normal koşullarda mikroorganizmalar tarafından parçalanmaları zordur. Fülvik asit (FA), hümik asit (HA) ve hümin (H) gibi fraksiyonlardan oluşmaktadırlar. HA, asidik koşullarda (<pH 2) sularda çözünmez ancak yüksek pH değerlerinde çözünebilir hale gelmektedir. FA, her pH değerinde sularda çözünebilmektedir. Hüminler, ise tersine hiçbir pH değerinde çözünmeyen hümik madde fraksiyonudur (Corin ve ark. 1996).

Hümik madde içeren sulara UV dezenfeksiyonu uygulanırken hümik maddelerin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılabilmesi için son yıllarda ileri oksidasyon prosesleri uygulanmaya başlanmıştır.

İleri oksidasyon, UV radyasyonu ile etkileşimi sonucu serbest hidroksil radikalleri (OH^\bullet) oluşturabilen ikincil bir kimyasal oksidantın kullanılması esasına dayanmaktadır. Hidroksil radikali, su arıtımındaki en reaktif oksitleyicidir. Organik ve inorganik bileşiklerin oksidasyonunda ve dezenfeksiyon proseslerinde kullanılmaktadır.

İçme sularının dezenfeksiyonunda H_2O_2 tek başına kullanıldığında, mikroorganizmaların inaktivasyonu serbest oksijen radikalleri sayesinde gerçekleşmektedir.

Ancak hidrojen peroksit kullanımında etkili bir bakteri ve virüs inaktivasyonu için yüksek konsantrasyonlar ve uzun temas süreleri gerekmektedir. Bu sebeple H_2O_2 , içme suyu arıtımında daha çok UV radyasyonu ile birlikte kullanılmaktadır (USEPA 1999).

Hümik asit içeren sulara UV/ H_2O_2 prosesi uygulandığında; hidrojen peroksitin UV ışını ile fotolizi sonucunda oluşan hidroksil radikalleri, hümik asitler ile reaksiyona girmektedirler. Böylelikle hümik asitler okside olarak sulardan giderimi gerçekleşmektedir (Wang ve ark 2000).

Yüksek dozlardaki UV radyasyonu, sulardaki hümik maddeleri ayrıştırabilmekte ve böylece sulardaki çözünmüş organik karbon (ÇOK) miktarı da azalmaktadır (Lehtola ve ark. 2003). Fakat dezenfeksiyon amacıyla çok daha düşük dozlarda uygulanan UV radyasyonu, tek başına içme sularının ÇOK miktarında herhangi bir değişikliğe sebep olmamaktadır (Anonim 2001a). Oysa hümik karakterdeki sulara, UV dezenfeksiyonu sırasında H_2O_2 ilave edilmesiyle meydana gelen OH^\bullet radikalleri ile kısa temas sürelerinde bile ÇOK, dolayısı ile renk ve UV absorbansı

giderimi sağlanabilmektedir. Byöylece dezenfeksiyon verimi arttırılabilmektedir (Backlund, 1992).

İdeal bir dezenfektan, suda organik yan ürünler oluşturmamalı, bakteri ve virüslerde yüksek dezenfeksiyon verimi sağlayabilmeli, protozoaların gideriminde de etkili olabilmeli ve dağıtım şebekesini bulaşmalara karşı koruyabilecek kalıntı bırakabilmelidir. Hiçbir dezenfeksiyon yöntemi tek başına bu özelliklerin tümünü yerine getirememektedir. Ancak dezenfeksiyon yöntemleri arasında sinerji oluşturulması ile söz konusu ideal dezenfeksiyon yöntemine ulaşılması mümkündür. UV radyasyonu ile dezenfeksiyon, mikroorganizma inaktivasyonunda oldukça etkili oluşu ve suda kanserojenik yan ürünler oluşturmaması nedeniyle en iyi dezenfeksiyon yöntemi olarak gözükse de dağıtım sistemlerinde kalıcı bir dezenfeksiyon etkisinin olmaması ve oluşabilecek mikrobiyolojik bulaşmalara karşı sistemi korunmasız bırakması dezavantaj yaratmaktadır. UV radyasyonu; klor, klordioksit, kloramin ve hidrojen peroksit gibi dezenfektanlarla birlikte kullanımı bu dezavantajları ortadan kaldırılabilir (Cairns 1993, USEPA 1999, Meriç 1996).

Bu çalışmada, içme sularının dezenfeksiyonuna hümik maddelerin yaptıkları etkiler ortaya konmuştur. Bu amaçla, içerisinde yaklaşık 10^6 CFU/100 ml kadar toplam koliform ve farklı konsantrasyonlarda hümik madde (hümik ya da fülvik asit) bulunan sulara UV ve UV/H₂O₂ dezenfeksiyonları uygulanmıştır. Ayrıca dezenfeksiyon işlemleri sonrasında karanlık inkübasyon uygulanarak numunelerin yeniden çoğalma potansiyelleri incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hümik Maddeler

Toprak, sediment ve sularda bulunan doğal organik maddeler, değişik yapılarıdaki organik bileşiklerden oluşurlar. Bu organik bileşikleri de esas olarak iki ana bölüme ayırmak mümkündür:

- hümik maddeler
- hümik olmayan maddeler.

Hümik olmayan maddeler; karbonhidrat, protein, peptit, aminoacid, yağ ve alkan içeren basit bir kimyasal yapıya sahip olan düşük molekül ağırlıklı organik asitlerdir. Bu yapıdaki organik maddeler, mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanabildiklerinden akuatik ortamlardan ve topraktan çok kısa sürelerde yok olabilirler.

Hümik maddeler, topraklardaki ve sulardaki organik maddelerin esas kısmını oluştururlar. Hümik maddeler hidrofilik, asidik, kısmen aromatik, amorf ve kimyasal olarak oldukça kompleks yapıdadırlar. Yüksek moleküler ağırlığına sahiptirler. Koyu renklidirler (Khan ve Schnitzer 1978). Yüzeysel sulardaki organik yapının bir göstergesi olan çözünmüş organik karbon(ÇOK) içeriğinin, yaklaşık %50'sini hümik maddeler oluşturmaktadır. Bu oran yüzeysel suyun özelliğine göre %80'e kadar çıkabilmektedir (Singer 1999, Bolto ve ark 2004).

Hümik maddeler, alkali ve asidik ortamlardaki çözünürlüklerine bağlı olarak üç ana fraksiyona ayrılırlar.

Hümik asitler(HA): asidik şartlardaki sularda(ph<2) çözünemeyen ancak yüksek ph değerlerinde çözünebilir hale gelen hümik madde fraksiyonudur. Hümik asitler, topraktan daha kolay ekstrakte edilebilirler. Koyu kahverengi-siyah renktedirler.

Fülvik asitler(FA): her pH değerindeki sularda çözünebilirler. Sarı-kanverengi bir renge sahiptirler.

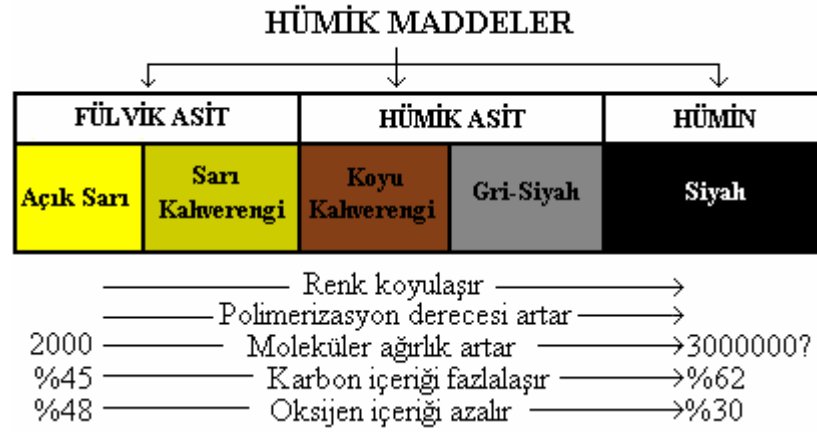
Hümin(H): hiçbir pH değerinde çözünemeyen koyu siyah renkli hümik madde fraksiyonudur (Anonim 2000).

Hümik ve fülvik asitler, hümik maddelerin başlıca fraksiyonlarıdır. Yapılan birçok araştırma sonucunda HA ve FA birbirleriyle benzer yapıda oldukları tespit edilmiştir. Ancak moleküler ağırlıkları, fonksiyonel grup içerikleri ve polimerizasyon

derecelerine göre birbirlerinden farklı özellikler göstermektedir(Khan ve Schnitzer 1978, Anonim 2000).

Hümik ve fülvik asitlerin aquatik ortamlarda ve topraklardaki dağılımları birçok etkene bağlı olarak değişebilmektedir. Ortalama bir yüzeysel suda bulunan organik bileşiklerin; %40'ı fülvik asitlerden, %10'u hümik asitlerden, %30'u hidrofilik asitlerden, %10'u karbonhidratlardan, %6'sı karboksilik asitlerden ve %4'ü de aminoasitlerden oluşur (Bolto ve ark 2004).

Şekil 2.1'de hümik madde fraksiyonları arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Buna göre; karbon ve oksijen içeriği, asidite ve polimerizasyon derecesi molekül ağırlığının artışı ile sistematik olarak değişmektedir (Anonim 2000).

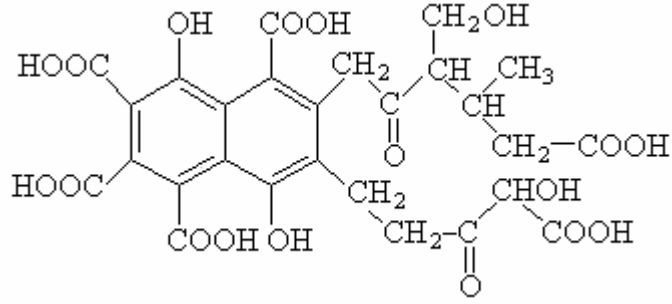


Şekil 2.1. Hümik Maddelerin Kimyasal Özellikleri (Anonim 2000).

Düşük moleküler ağırlığa sahip olan fülvik asitler, yüksek moleküler ağırlığa sahip hümik asitlerden daha fazla oksijen fakat daha düşük miktarda karbon içermektedirler. Fülvik asitler, asidik yapıları nedeniyle daha fazla fonksiyonel gruba (özellikle COOH) sahiptirler. Fülvik asitlerin toplam asiditeleri (900-1400 meq/100 g) hümik asitlerden (400-870 meq/100 g) daha fazladır.

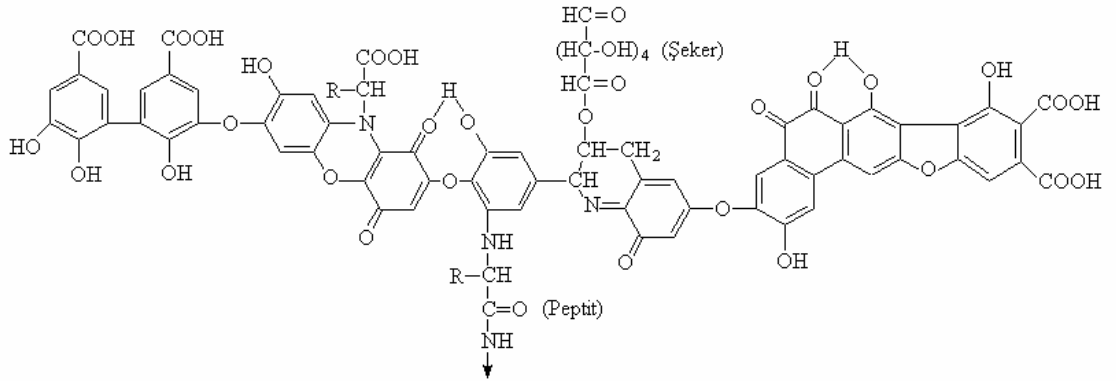
Diğer önemli bir fark ise, fülvik asitlerde bulunan oksijen molekülleri fonksiyonel gruplarda (COOH, OH, C=O) yer alırken, hümik asitlerdeki oksijen moleküllerinin büyük bir bölümü çekirdeğin yapısal bileşiminde bulunmaktadır (Anonim 2000).

Fülvik asitlerin kuramsal model yapısı (Buffle Modeli) Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Fülvik Asitlerin Buffle Model Yapısı (Anonim 2000).

Hümik asitler, Şekil 2.3’de yer alan kuramsal model yapısında da gösterildiği gibi serbest ve bağlı fenolik OH grupları, kuin yapıları, köprü görevi gören nitrojen ve oksijen bileşikleri ve aromatik zincirlerde bulunan COOH gruplarından oluşmaktadırlar (Anonim 2000).



Şekil 2.3. Hümik Asitlere Ait Model Yapısı (Anonim 2000).

Hümik maddeler; birbirlerinden farklı karakteristیک yapıya sahip olmalarına karşın ortak birçok özelliklere sahiptirler. Mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençlidirler, metal iyonlarıyla suda çözünen ve çözünemeyen bileşikler oluştururlar, kil mineralleri ve alkanlar, yağ asitleri, pestisitler gibi hidrofobik organik bileşikler ile etkileşime girebilmektedirler (Khan ve Schnitzer 1978).

2.2. İçme Sularının Dezenfeksiyonu

İçme sularının tüketiciye sunulması sırasında, suya uygun özelliklerin kazandırılabilmesi için birçok temel işlem (ızgara, havalandırma, koagülasyon, çöktürme, filtrasyon, dezenfeksiyon) geçirilmesi gerekmektedir. İçme ve kullanma suları herhangi bir patojenik mikroorganizma içermemelidir. Yukarıda sayılan temel işlemler arasında mikroorganizma gideriminde en etkili proses dezenfeksiyon prosesidir (Eroğlu 1995, Molt 1978).

İçme sularının arıtımı sırasında genellikle son proses olarak uygulanan dezenfeksiyon ile suyun mikrobiyal kalitesi standartlara uygun bir hale getirilmekte ve dezenfeksiyon kalıntısı ile dağıtım sisteminde mikroorganizmaların gelişimi engellenebilmektedir (USEPA 2001).

İçme sularının dezenfeksiyonunu etkileyen birçok faktör vardır: (1) temas süresi (2) kimyasal madde tipi ve konsantrasyonu (3) fiziksel dezenfektanın yoğunluğu ve yapısı (4) sıcaklık (5) mikroorganizma sayısı (6) mikroorganizma tipi ve (7) suyun özellikleri.

Dezenfeksiyon sürecinin verimini etkileyen en önemli unsur temas süresidir. Genellikle dezenfeksiyon verimi temas süresi arttıkça artar. Bu da “Chick Kanunu” ile açıklanabilmektedir. Chick Kanunu’nun geçerli genel bir ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -(k)(t)^m$$

Burada; N_t : t zamanındaki organizma sayısı t: süre

N_0 : t = 0 anında mikroorganizma sayısı “k” ve “m”: sabiti göstermektedir.

Dezenfeksiyon verimliliği, kullanılan dezenfektanın konsantrasyonu (kimyasal dezenfektanlar) veya şiddeti (fiziksel dezenfektanlar) ile belirli limitler içerisinde doğru orantılı olarak artmaktadır (Metcalf 1991).

Bakterilerin endospor, protozoaların kist oluşturmaları kimyasal dezenfeksiyon verimini etkileyen bir biyolojik faktördür. Patojen inaktivasyonunda dezenfektanlar hücre duvarı ve yarı geçirgen membranlara zarar vermekte, enzim substrat yapılarında girişimlere neden olarak enzimlerin fonksiyonelliğini bozmakta; protein, nükleik asit ve diğer sentez ürünlerinin oluşumunu etkilemektedirler.

Sıcaklık ve pH dezenfeksiyon proseslerinde çok önemli rol oynayan iki fiziksel faktördür. Mikroorganizmaların tutunmasına olanak sağladığı için bulanıklık ve partikül içeriği de dezenfeksiyon verimini etkileyen diğer fiziksel faktörlerdir (USEPA 2001).

İçme suyu arıtımındaki kimyasal dezenfeksiyon prosesleri, sularda potansiyel sağlık riskleri nedeniyle istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünleri (DBP) meydana getirmektedirler. Klorlama sırasında klorofenoller, trihalometanlar (THMs) ve haloasetik asitler (HAAs); ozonlama sırasında ise; aldehitler, ketonlar, karboksilik asit ve bromat meydana gelmektedir (Gunten 2001).

Halojenli organik yan ürünler, doğal organik materyalin (NOM) serbest klor ve serbest brom ile reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Serbest klor, birincil veya ikincil dezenfektan olarak klordioksit veya kloraminlerle suya direkt olarak ulaşabilmektedir. Serbest brom ise sudaki bromür iyonlarının oksidasyonu ile oluşmaktadır. Halojenli dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu, doğal organik materyalin tip ve konsantrasyonuna, oksidantın tipi ve dozuna, zamana, bromür iyonu konsantrasyonuna, pH'a, organik nitrojen konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. Organik nitrojen haloasetonitriller, halopikrinler ve saykonejonler gibi nitrojen içeren dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna sebep olmaktadır.

Halojenli olmayan dezenfeksiyon yan ürünleri de sudaki organik bileşiklerin güçlü oksidantlarla etkileşmesi sonucu meydana gelmektedirler. Organiklerin, ozon ve peroksitle oksidasyonu aldehitlerin, aldo ve keto asitlerin, organik asitlerin ve eğer ortamda bromür iyonları bulunuyorsa bromlu organiklerin oluşumuna neden olmaktadır. Oksitlenebilen yan ürünlerin çoğu biyolojik olarak parçalanabilirler ve arıtılan suda biyolojik ayrışabilir çözünmüş organik karbon (BDOC) ve asimile edilebilir organik karbon (AOC) olarak yer almaktadırlar (USEPA 1999).

Dağıtım sisteminde biyolojik stabilitenin sağlanması ve sonradan çoğalmanın önlenmesi halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Arıtılmış içme suyundaki biyobozunabilir organik bileşikler ve amonyak, dağıtım sisteminde sonradan mikrobiyal çoğalmaya neden olmaktadır. Suda mikrobiyolojik çoğalmayı destekleyecek herhangi bir faktörün bulunmaması olarak tanımlanan biyolojik stabilitenin sağlanması için, nütrientler suyun arıtılması sırasında dezenfeksiyondan önce giderilmeli ve arıtılmış suda dezenfektan kalıntısının sürekliliği sağlanmalıdır (USEPA 2001).

2.3. Dezenfeksiyon Yöntemleri

Dezenfeksiyon işlemlerini sadece kimyasal madde ilavesiyle değil, mekanik, fiziksel yöntemler ve radyasyonla muamele işlemleriyle de gerçekleştirmek mümkündür. Dezenfektan olarak klor ve klor bileşikleri, brom ve iyot bileşikleri, ozon, fenol ve fenolik bileşikler, alkoller, ağır metaller, çeşitli boyalar, sabunlar ve sentetik deterjanlar, amonyum bileşikleri, hidrojen peroksit, çeşitli alkaliler ve asitler kullanılabilir (Şekil 2.4). Dezenfeksiyon prosesinde kullanılan fiziksel yöntemler ise, ısı ve ışık (ultraviyole) ile muamele yöntemleridir (Kestioğlu 2001).

DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİ

Fiziksel Yöntemler

1. Isı ile Dezenfeksiyon
2. Ultraviyole Işığın ile Dezenfeksiyon

Kimyasal Yöntemler

1. Alkali ve Asitlerle Dezenfeksiyon
2. Yüzey Aktif Maddelerle Dezenfeksiyon
3. Metal İyonları ile Dezenfeksiyon
4. Halojenler ile Dezenfeksiyon
5. Ozon ile Dezenfeksiyon
6. Potasyum Permanganat ile Dezenfeksiyon

Şekil 2.4. Dezenfeksiyon İşlemlerinde Uygulanan Yöntemler (Kestioğlu 2001)

Isı ile dezenfeksiyon işlemi daha çok, debisi düşük olan içme suyu arıtma ünitelerinde kullanılmaktadır (Kestioğlu 2001).

Potasyum permanganat; zararlı organizmaların kontrolünde kullanılabilir. Belirli virüslere karşı etkili olabilmesine karşın iyi bir dezenfektan değildir. Uzun süreli temas süreleri gerektirir. Demiri, mangani ve koku ve tat problemlerine sebep olan bileşikler okside eder. Potasyum permanganat, THM ve diğer dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolünde kullanılabilen bir kimyasaldır. Yapılan araştırmalarda potasyum permanganatın herhangi bir dezenfeksiyon yan ürünü oluşturmadığı tespit edilmiştir. Potasyum permanganat toksiktir ve yutulduğunda ciddi sağlık problemlerinin oluşmasına neden olur (USEPA 1999). Potasyum permanganat dezenfektan olarak çok küçük ölçeklerde ve evsel amaçlarla kullanılmaktadır (Tünay 1996).

Gümüş, civa, kobalt, bakır ve nikel iyonları kuvvetli dezenfektanlardır. Bunlardan bakır; bakır sülfat olarak arıtma tesislerinde, alg gelişimini önlemek için kullanılır. Civa, insan ve diğer canlılara zehirli etkisi nedeniyle kullanılmaz. Diğer metaller ancak özel ve küçük çaplı uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak bunlardan gümüşün elektrolitik olarak uygulanması yüzme havuzu v.b. tesislerde giderek artmaktadır .

Katyonik deterjanlar sağlık kuruluşlarında dezenfektan olarak kullanılırlar.

İyot, brom ve klor; sularda dezenfeksiyon amacıyla kullanılabilen halojenlerdir. Klora nazaran daha zayıf bir dezenfektan olan brom, amonyak içeren sularda oluşan monobrom aminin kuvvetli bir, bakteri öldürücü olması ve tribromamin

oluşumu olması nedeniyle, küçük çaplı uygulamalarda yüzme havuzlarında kullanılmaktadır İyot organik maddelerle klor kadar kolay reaksiyon vermemesi ve yüksek dezenfeksiyon gücü nedeniyle, avantajlı bir dezenfektandır. İyot amonyakla iyotaminler oluşturmaz ancak amonyağı oksitler. Dezenfeksiyon sonrası artık iyotun kararlı olması ve tad ve koku oluşturmaması da bir avantajdır. Su arıtımında etkilerinin iyi bilinmemesi nedeniyle kullanılmamaktadır. Yüzme havuzları gibi küçük çaplı dezenfeksiyon uygulamalarında kullanılmaktadır (Tünay 1996).

En yaygın dezenfektan olan klor, tüm yer altı ve yerüstü suları arıtma tesislerde dezenfektan olarak tercih edilmektedir. Klorla dezenfeksiyonda klorun üç formu olan klor gazı, sodyum hipoklorit veya klorit kullanılmaktadır. Kloru pek çok kullanıcı için cazip hale getiren özellikleri; suda bulunan patojenlerin büyük bir kısmını etkin bir şekilde inaktive etmesi, kolay ölçülüp kontrol edilebilen kalıntı bırakması ve ekonomik olmasıdır. Bununla birlikte kullanımını kısıtlayan faktörlerde mevcuttur:

- Suda bulunan doğal organik ve inorganik bileşiklerle reaksiyona girerek istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünlerini meydana getirmesi
- Özellikle klor gazı kullanımına bağlı olarak meydana gelen tehlikeli bileşiklerin özel arıtma işlemleri gerektirmesi
- Yüksek klor dozlarının tat ve koku problemlerine yol açması (USEPA 1999).

Klorlama esnasında oluşan kloraminler de dezenfektan olarak içme sularının arıtımında kullanılmaktadır. Önceleri tat ve koku kontrolünde kullanılan kloraminler, daha sonraları dağıtım şebekelerinde serbest klordan daha stabil ve bakteriyel çoğalmanın kontrolünde etkili oldukları fark edilmesi ile birlikte mikroorganizma giderimi sırasında tercih edilmeye başlanmışlardır. Son yirmi yıl içerisinde klorlu organik bileşikler (örneğin THM ve HAA) konusundaki endişelerin artması, kloraminlerin de suda çok az dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturmalarından kloraminlerin kullanımını arttırmıştır (USEPA 1999).

Ozon da suların arıtımında dezenfeksiyon ve oksidasyon amacıyla kullanılan bir kimyasaldır. Diğer zayıf dezenfektanlara göre daha az temas süresi ve konsantrasyonlarda bile etkili olabilen güçlü bir oksidanttır. Fakat dağıtım sistemlerinde dezenfeksiyon sürekliliği sağlayamadığı için yalnızca primer dezenfektan olarak tercih edilmektedir (USEPA 1999). Ozonlama, bakteri ve virüslerde etkili bir dezenfektan

olmasının yanında sistli yapılara sahip olan ve diğer dezenfektanlara karşı dirençli *Cryptosporidium* ve *Giardia*'larda da etkilidir (Lazarava ve ark. 1999).

UV ışını radyasyonu su arıtımında 1900'lerde kullanılmaya başlanmıştır (Metcalf 1991). Kanserojenik yan ürünler oluşturmaması ve düşük maliyetli olması, UV dezenfeksiyonunun kullanımı cazip hale getirmektedir (Cairns 1994, Lethola ve ark 2003). Ancak bu prosesin dezavantajı dağıtım sistemlerinde kalıcı bir dezenfeksiyon etkisinin olmaması ve oluşabilecek mikrobiyolojik bulaşmalara karşı sistemi korunmasız bırakmasıdır. Bu yüzden hem suda kalıcı bir dezenfeksiyon etkisi hem de daha etkili bir dezenfeksiyon sağlanabilmesi için klor, klordioksit, kloramin ve hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi ilave kimyasallar kullanılmaktadır (USEPA 1999).

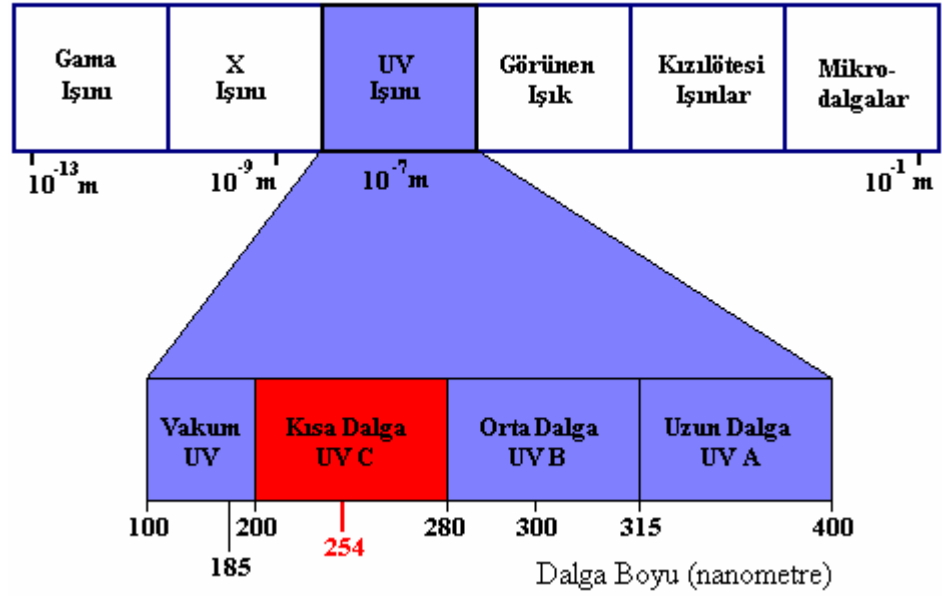
Çizelge 2.1'de en çok kullanılan dezenfeksiyon metotlarının birbiri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

2.3.1. UV Işını İle Dezenfeksiyon

1970'lerde THM'lerin (Trihalometan) kanserojenik etkilerinin anlaşılması ile birlikte içme suyu dezenfeksiyonunda kimyasal dezenfektanlara (özellikle klor) alternatif metotlar araştırılmaya başlanmıştır (Lund ve Hongve 1994). UV dezenfeksiyonu da hem etkili bir dezenfeksiyon verimi sağlayabilmesi hem de kanserojenik yan ürünler oluşturmaması nedeniyle son yıllarda sıkça kullanılan bir dezenfeksiyon yöntemi olmuştur (Cairns 1994).

UV; ayrıca eczacılık, kozmetik, meşrubat ve elektronik sanayisinde kullanılmaktadır. UV ışınları içme sularının arıtımında ilk kez 1900'lülerin başlarında kullanılmış fakat yüksek işletme maliyeti, güvensiz ekipmanı ve klorla dezenfeksiyonun popülaritesinin artması nedeniyle vazgeçilmiştir. Daha sonraları klorla dezenfeksiyon yolunun güvenli olup olmadığı sorgulanmaya başlamış ve UV hem kentsel hem de evsel sistemlerde daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Şimdi Avrupa'da 2000'den fazla UV sistemi olmasına karşın ABD'de çok daha az UV sistemi bulunmaktadır (Wagenet 1993).

Şekil 2.5'de de görüldüğü gibi, elektromagnetik spektrumun ultraviyole bölgesi genellikle en uzun X-ışınlarından daha büyük dalga boylarındaki radyasyonlar ve insan gözünün görebildiği en kısa X-ışınlarından daha kısa dalga boylarındaki radyasyonlar olarak tanımlanmaktadır. UV ışınının miktarı, hemen hemen tüm dünyada, ultraviyole radyasyonunun dalga boyu olarak nanometre (nm) veya 10^{-9} m birimi ile ifade edilmektedir. Bu dalga boyları tipik olarak 10 - 400 nanometre arasında aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir (Erenler 1996).



Şekil 2.5. Elektromagnetik Spektrum (Anonim 2002).

- UV-A : 400 nm ile 315 nm aralığındaki dalga boyları
 UV-B : 315 nm ile 280 nm aralığındaki dalga boyları
 UV-C : 280 nm ile 200 nm aralığındaki dalga boyları
 Vakum UV : 200 nm ile 10 nm aralığındaki dalga boyları

Atmosferdeki optik pencereler, 280 nm dalga boyundan, kızıl ötesi ışınlar kadar olan aralıktaki ışınların dünya yüzeyine ulaşmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle UV-A ve UV-B bandındaki radyasyon yeryüzüne ulaşmakta ve 290 nm dalga boyunda insanda cilt bronzlaşması ve güneş yanığına neden olmaktadır. 280 nm ile 290 nm arası dalga boyunda D vitamini sentezi artmaktadır. Bu, kemik hastalıklarına (özellikle raşitizm) karşı koruyucu bir etki göstermektedir.

UV radyasyonunun canlı hücreler üzerindeki en olumsuz etkileri 280 nm ile 240 nm arası dalga boyunda meydana gelmektedir. Dolayısıyla, en güçlü mikroorganizma öldürücü (germisidal) etki UV-C bandındaki radyasyon tarafından sağlanmaktadır (Erenler 1996).

2.3.1.2. UV Işını Kaynağı

Dezenfeksiyon maksatlı UV radyasyonunun uygulanması, istenilen dalga boyunda yüksek ışın şiddetine (yoğunluğuna) sahip bir kaynak gerektirir. Suni ışık üretimi, elektrik enerjisinin elektromagnetik radyasyona dönüşümünden oluşmaktadır. Günümüzde kullanılan UV-C radyasyonunun temel yapay kaynakları, enerji yükü

boşalabilen tipte olan düşük cıva basınçlı lambalar ve yüksek cıva basınçlı lambalardır. Bu genel olarak dezenfeksiyon sistemi uygulamasında hemen hemen en yeterli ve etkin kaynak olarak kabul edilmektedir. Bu tip lambalarda elektrik akımı iki elektrot arasındaki cıva yüklü bir inert gaz içerisinde akar. Cıva iyonları elektrik akımı ile uyarılır ve karakteristik radyasyonu üretir. Cıvanın uyarılması ile enerji yükünün boşalması, UV ışınlarının emisyonuna (yayılmasına) neden olur (Erenler 1996).

Dezenfeksiyon uygulamalarında hem düşük basınçlı hem de orta basınçlı lambalar kullanılabilir. Düşük basınçlı lambalar maksimum 253,7 nm dalga boyu ışın üretebilmekteyken orta basınçlı lambalar 180-1370 nm dalga boylu ışın meydana getirebilmektedirler. Orta basınçlı lambaların yoğunlukları, düşük basınçlı lambaların yoğunluklarına göre daha büyüktür. Küçük sistemler için genellikle düşük basınçlı lambalar önerilmektedir. Kuvars kılıfa alternatif olarak teflon kılıf da kullanılabilir. Fakat kuvars kılıf UV ışının %5'ini absorblarken teflon kılıf %35'ini absorblamaktadır. Bu nedenle teflon kılıf tavsiye edilmemektedir (De Mers ve Renner 1992).

Dezenfeksiyon amacıyla kullanılan UV reaktörleri kapalı kap ve açık kanal tipi olmak üzere iki tiptedir. İçme suyu uygulamalarında kapalı kap tipi UV reaktörleri tercih edilmektedir. Bu tip reaktörlerde havadan gelecek materyallerle kirlenme minimum seviyededir, kullanıcı UV ışınına maruz kalmaz ve donanım kolaylığına sahiptir. Dakikada 600 galon akış hızına sahip olabilen bu reaktörler, bakteri ve virüs inaktivasyonu için gerekli UV dozunu sağlayabilirken protozoa kistleri için gerekli dozu sağlayamayabilir. Bu nedenle dozu arttırmak için hem lamba sayısını hem de temas süresi artırılmalıdır. Kapalı kap UV reaktörlerinin dizaynında dispersiyon, türbilans, etkin hacim, bekleme süresi ve akış hızı gibi hidrolik dizayn parametreleri önem taşımaktadır (USEPA 1999).

2.3.1.3. UV Dezenfeksiyonu Reaksiyonları

UV radyasyonu ile sağlanabilecek mikroorganizma inaktivasyonu direk olarak UV dozuna bağlıdır. UV dozu aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$D = I \times t$$

Burada "D" Ultraviyole ışık dozunu ($mWsn/cm^2$), "I" = UV yoğunluğu (mW/cm^2), "t" temas süresini (sn) ifade temektedir.

Araştırmacılar, mikroorganizmaları UV radyasonuna maruz bıraktıklarında, zamanın artışı ile birlikte mikroorganizma populasyonlarının da sabit miktarlarda inaktivasyona uğradıklarını tespit etmişlerdir (USEPA 1999). Germisidal etkiadaki bu ilişki; kısa süreli yüksek yoğunluktaki UV enerjisi ile uzun süreli düşük yoğunluktaki UV enerjisinin aynı miktarda inaktivasyon sağlayabileceğini göstermektedir.

Ekin bir inaktivasyon için gerekli UV dozu su kalitesi ve log giderimine bağlı özel verilerle belirlenebilmektedir. Doz ve temas süresinin fonksiyonu olarak mikroorganizmaların dağılımı birinci derece kinetiklerle hesaplanabilmektedir (USEPA 1999).

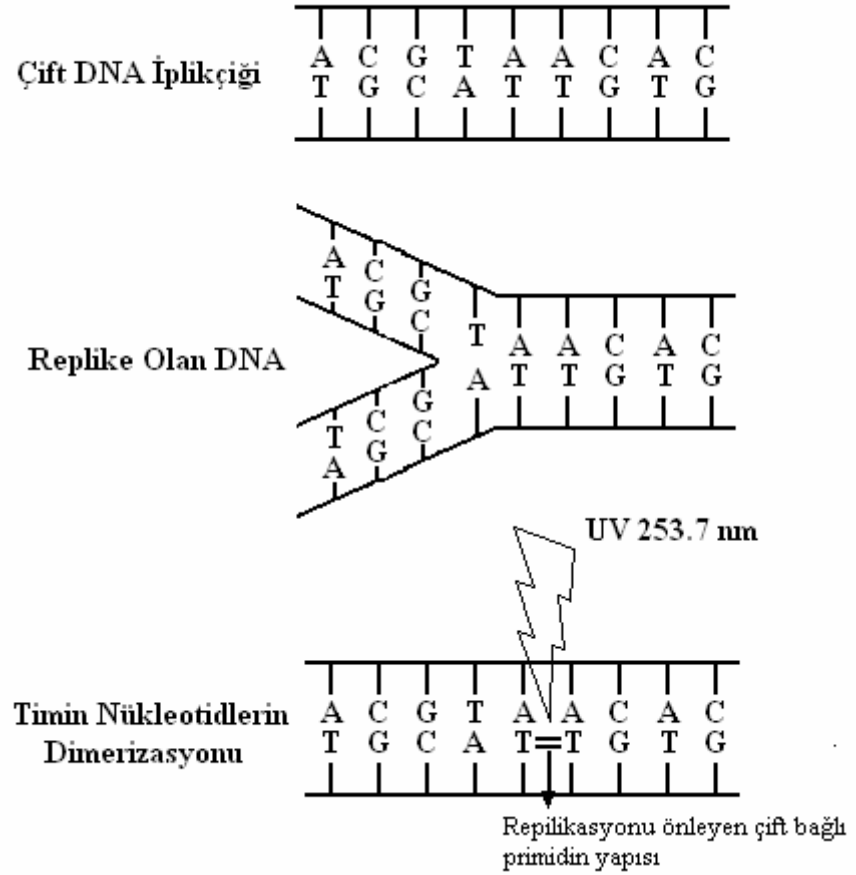
2.3.1.4. UV Işınlınının Germisidal Etkileri

Kimyasal dezenfektanlar mikroorganizmaların sadece yüzeyine etki etmektedirler. Oksidasyon ile hücrelerin öldürülmesi için belirli bir temas süresi gerekmektedir. Dezenfektanın daha yüksek miktarda dozlanması da proses süresinin kısılmasını sağlamamaktadır.

UV ışınları ile dezenfeksiyon işlemi ise, bir kaynaktan gelen elektromagnetik enerjinin bir organizmanın hücresel materyaline (özellikle hücrenin genetik materyaline) transferine dayanan fiziksel bir işlemdir (Erenler 1996).

240 ve 280 nm dalga boyundaki elektromagnetik radyasyon ışınları mikroorganizmaların nükleik asitlerinde onarılamayan tahribatlar meydana getirirler. Mikroorganizmaların Deoksiriboz Nükleik Asitlerinde (DNA) hasara yol açan en etkili dalga boyu 254 nm'dir.

UV ışınları, mikroorganizmaların RNA ve DNA'sında fotokimyasal zararlara neden olan germisidal etkiler yaratmaktadırlar. Nükleik asitler, 240 ve 280 nm dalga boylarındaki ışık enerjisini absorbe eden en önemli absorblayıcılarıdır. 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 (Snider ve ark. 1991).



Şekil 2.6. DNA Molekülünün Şematik Görünümü ve Timin Nükleotidlerinin Dimerizasyonu (Erenler 1996)

Dimerizasyon direkt olarak DNA'nın aynı iplikçığı üzerindeki komşu timin molekülleri arasında meydana gelmektedir (Şekil 2.6).

DNA, nükleotidlerin bir çift sarmal zincirinden oluşmaktadır. Bu nükleotidlerin sırası, hücre üzerindeki genetik bilgiyi tayin etmektedir. Bunlar Şekil 2.6'da Adenin (A), Guanin (G), Sitozin (C) ve Timin (T) harfleri ile temsil edilmiştir. İki iplikçikte daima G, C'nin karşısında ve T, A'nın karşısındadır. Eğer bir iplikçikte harabiyet olursa, bilgi ikinci iplikçikte kalır. Harabiyeti tamir etmek için G'nin karşısına bir C ve A'nın karşısına da bir T girer ve zincir böylece devam eder. Bir iplikçik üzerinde bilgi bulunduğu sürece ikinci iplikçığın harabiyeti düzeltilebilmektedir. Bunlar enzimatik işlemlerdir.

UV ışınına maruz kalan iki komşu timin monomer arasında yeni bağlar şekillenmektedir. Bir DNA iplikçığı üzerinde pek çok dimer oluşumu, kopyalama (repilikasyon) işlemini çok zor hale getirmektedir.

Pirimidin dimerizasyonun esas etkisi, normal replikasyon işlemini bloke etmesidir. DNA replikasyonun toplam ve kalıcı inhibisyonun kendisi bir lethal etkidir. Replikasyonun bu çarpıklığı, alternatif olarak, kopyalamada bir hata oluşturup, replike olamayan bir mutant yavru hücre oluşturmak suretiyle atlatılabilir (Erenler 1996).

Bakteri ve virüs inaktivasyonu için gerekli UV dozları oldukça düşüktür. Slade ve ark.(1986) serbest klor ve UV radyasyonunun dezenfeksiyon etkisini karşılaştırmak için virüs içeren yer altı suyunda yaptıkları çalışmada 25 mWs/cm² lik UV dozunun, 18 dakika temas süresi ve 1,25 mg/L konsantrasyonundaki klordan çok daha etkili olduklarını bulmuşlardır.

Chang ve ark. (1985) *E. coli*, *S.aureus*, *S. sonnei* ve *S. typhi* vegetatif bakterileri ile yaptıkları çalışmada %99,9 luk bir giderim için tüm bakteri türlerinde birbiri ile benzer (5-10 mWs/cm²) UV dozlarının gerekliliğini tespit etmişlerdir. Chang ayrıca bu çalışmasında, vegetatif bakterilerden; virüslerin 3-4 kez, sporluların 9 kez, sistlilerin ise 15 kez daha dirençli olduklarını bulmuştur. Bu sebeple; tüm patojenleri inaktive etmek için gerekli minimum UV dozunu belirlemek oldukça güçtür. Ayrıca sulardaki fekal kirlenmenin göstergesi olan koliform gibi indikatör bakterin, sulardan giderimi için gerekli olan UV dozunun virüs, sporlu ve sistli patojenlerin giderimi için gereken UV dozundan çok düşük olması, bu bakterilerin, patojen giderimi için gerekli olan UV dozunu belirlemede kullanılmasını kısıtlamaktadır (Chang ve ark. 1985).

Protozoaların önceleri, UV radyasyonuna karşı dirençli oldukları belirtilmiştir. Fakat son zamanlarda yapılan çalışmalar, UV radyasyonunun protozoa parazitlerini inaktive edebililiğini göstermiştir. Ancak yapılan bu çalışmalarda bu tür mikroorganizmalar için gerekli UV radyasyonu dozunun, diğer patojenlerin inaktivasyonu için gerekli dozdan oldukça fazla olduğu bulunmuştur (USEPA 1999).

Çizelge 2.2'de çeşitli literatür araştırmalarından elde edilen bakteri ve virüs giderimleri gösterilmektedir. Bu çizelgeye göre UV dezenfeksiyonuna karşı en hassas patojen *Vibrio cholera* iken, UV dezenfeksiyonunu en dirençli patojen Adenovirüs'tür.

Çizelge 2. 2.Patojenik Bakteri ve Virüslerin UV Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Organizma	UV dozu (Jm⁻²)	log giderim	Kaynak
<i>Escherichia coli</i>	80	4	Chang ve ark. 1985
<i>Vibrio cholera</i>	30	4	Wilson ve ark. 1992
Polivirüs	210	4	Meng ve ark. 1996
Rotavirüs-Wa	500	4	Snicer ve ark. 1998
MS2	830	4	Nieuwtad ve ark. 1994
Adenovirüs 40	1210	4	Meng ve ark. 1996
<i>Giardia muris</i>	<250	~3	Craik 2000

UV radyasyonu bakteri ve virüslerde oldukça etkili olmasına rağmen *Giardia* ve *Cryptosporidium*'da sınırlı etkilere sahiptir (Wagenet,1993).

Karanis (1992) tarafından yapılan araştırmada 2 log *Giardia* inaktivasyonu için 180 mWs/cm²'lik UV dozunun gerekli olduğunu tespit etmiştir. Aynı şekilde yapılan benzer bir çalışmada *Cryptosporidium parvum* sistlerinin 2-3 log giderimleri için 8.748 mWs/cm² kadar yüksek bir dozun gerekli olduğu bulunmuştur (Campbell 1995).

UV ışınlarına karşı en hassas olan mikroorganizmalar, hassasiyet derecelerine göre sırasıyla *Salmonella spp.* > *Shigella spp.* > *Escherichia coli*, *Streptococcae* > *Bacterium prodigiosum*, *Pseudomonas fluorescens* > *Bacillus proteus* >> *Bacillus spores* olarak verilebilir (Erenler 1996).

UV radyasyonun mikroorganizmalar üzerinde direkt etkisi olduğu gibi suyun kimyasal yapısını değiştirerek de indirekt etkilere sebep olmaktadır. Sudaki organik maddelerin, özellikle hümik maddelerin yapısında meydana gelen değişimler mikroorganizmalar üzerinde toksik ya da olumlu etkiler yaratabilmektedir (Carin ve ark 1998). Mikroorganizmalar üzerinde olabilecek bu olumlu ya da olumsuz etki, organik maddenin kaynağına göre değişim göstermektedir. Eğer organik madde, ligninli ve damarlı yapıya sahip bir bitkiden kaynaklanıyorsa, bu durumda organik madde, UV radyasyonu ile bakteriyel nütrientlere dönüşebilmektedir (Tranvik ve Bertilsson 2001).

2.3.1.5. UV Dezenfeksiyonunu Etkileyen Çevresel Faktörler

İnaktivasyonun sağlanabilmesi için UV ışınlarının mikroorganizmalar tarafından absorblanması gerekmektedir. UV ışınlarının mikroorganizmalara ulaşmasını önleyen her hangi bir çevresel faktör dezenfeksiyon veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda pH'ın, UV dezenfeksiyonu üzerinde herhangi bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Ancak lamba yüzeyinde oluşan

biyolojik ve kimyasal filmler, çözünmüş organikler ve inorganikler, mikroorganizmaların kümeleşmesi, bulanıklık ve renk UV dezenfeksiyonun verimini etkileyen faktörlerdir (USEPA 1999).

Sularda dezenfeksiyon için gerekli olan UV ışını miktarı, suyun UV transmisyonuna ve mikroorganizmaların direncine bağlı olarak değişmektedir. UV transmisyonu düşük olan suda, mikroorganizmalara ulaşan UV ışını miktarı da az olmaktadır. Sertlik, demir, AKM ve hümik madde miktarı sulardaki UV transmisyonunu etkileyen parametrelerdir. Organik hümik asit ve fülvik asitler, mikroorganizmaların dezenfeksiyonunda kullanılacak UV ışınlarını absorbe ederek dezenfeksiyon verimliliğini düşürmektedirler. Bu nedenle dezenfeksiyon prosesinden önce dezenfeksiyonu etkileyen bu organiklerin sudan giderilmesi gerekmektedir (Anonim 2004). Ayrıca sularda bulunan partiküler maddeler de mikroorganizmaların UV ışınından kaçmalarına imkan sağlamaktadırlar (Anonim 2003).

Sularda UV absorblayıcı olan organik maddeler; UV radyasyonu ve ozonlama gibi içme sularının arıtımında genellikle dezenfeksiyon amaçlı kullanılan prosesler ile sulardan giderilebilmektedirler. Corin ve ark. (1998), hümik maddelerin UV radyasyonu giderimini araştırabilmek için 2, 4, 6 ve 8 saat aralıklarla hümik karakterdeki sulara UV ışını uygulamışlardır. Araştırma ile suyun 254 nm.'deki UV absorbansında; 2, 4, 6 ve 8 saat temas süresi sonunda sırasıyla %10'luk, %17'lik, %24'lük ve %31'lik bir giderim elde etmişlerdir. Suyun ÇOK içeriğinde ise 2, 4, 6 ve 8 saatlik temas süreleri sonunda sırasıyla %6'luk, %9'luk, %15'lik ve %19'luk bir giderim sağlanmıştır.

Hümik madde içeren sulara UV dezenfeksiyonu uygulanırken hümik maddelerin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılabilmesi için ayrıca son yıllarda ileri oksidasyon prosesleri uygulanmaya başlanmıştır. İleri oksidasyon prosesi; arıtma prosesine ek olarak ikincil bir oksidantın kullanılması esasına dayanmaktadır (Anonim 2004).

Çizelge 2.3'de UV dezenfeksiyonu uygulanabilecek bir suda müsaade edilebilir maksimum değerlere yer verilmiştir. Eğer bir suda değerler aşağıdaki sınır değerlerin üzerinde ise, suyun bazı işlemlerden (ters osmoz gibi) geçirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde UV dezenfeksiyonu istenen verimi verememektedir (Anonim 2003).

Çizelge 2.3. UV Dezenfeksiyonu Uygulanacak Suda Olması Gereken Maksimum Değerler (Anonim 2003)

Suyun Özelliği	UV dezenfeksiyonu uygulanabilmesi için izin verilebilir maksimum değer
Bulanıklık	5 NTU
AKM	10 mg/L
Renk	Suyun rengi UV dezenfeksiyonunu etkilememelidir.
Demir	0,3 mg/L
Manganez	0,05 mg/L
pH	6,5-9,5
Sertlik	< tane

2.3.1.6. UV Radyasyonunun Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları:

UV ışını ile dezenfeksiyon, diğer dezenfeksiyon yöntemlerine nazaran daha basittir. Mikroorganizma inaktivasyonu, su reaktörün içerisinde geçerken anında olmaktadır. UV ile dezenfeksiyon işleminde klorlama işleminin aksine, su içerisine mikroorganizma inaktivasyonu için yeterli olacak miktarda bir kimyasal madde ilave edilmemektedir. Burada temas süresi, spesifik bir reaksiyonun oluşması için değil, yeterli dozu sağlamak için gereklidir. Dolayısıyla çok kısa zaman periyotlarında bile verimli bir dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir. UV ışını; mikroorganizmaların DNA yapısını bozarak, mikroorganizma inaktivasyonunu sağlamaktadır.

UV ışını ile dezenfeksiyonun diğer bir avantajı, sistem esnekliği ve talep değişikliğine karşı çabuk cevap verme yeteneğine sahip olmasıdır. Dolayısıyla, ozon veya hidrojen peroksit ile birleşip hidroksil radikalleri oluşturarak organik kirleticileri ve tat-koku bileşiklerini giderebilmektedir (Erenler 1996). Bu tür sistemler, kimyasal dezenfeksiyon sistemlerine nazaran daha az komplike, işletilmesi basit ve daha düşük maliyete sahiptirler. Özellikle yüksek elektrik yükü ve kişilerin UV radyasyonuna maruz kalma riski çok azdır.

UV dezenfeksiyonun en önemli avantajı uygulanan UV ışınının dezenfekte edilmiş su içerisinde halk sağlığı açısından kanserojen etkiye sahip toksik yan ürünler oluşturmaması ve suyun doğal yapısını bozmamasıdır. Radyasyonun enerji düzeyi kimyasal reaksiyonları etkileyecek kadar yüksek olmadığından, yüksek UV dozlarında

bile, dezenfeksiyon işlemi esnasında oluşan önemli bir ara ürün bulunmamaktadır (Meriç 1996).

Dezavantajları:

UV ışını dezenfeksiyonunun, en büyük dezavantajı UV teknolojisi ve UV dezenfeksiyon verimliliğine etki eden faktörlerin neler olduğu konusunda bilginin sınırlı olması ve belirli bir standart bulunmamasıdır. Bu, UV dezenfeksiyon sistemlerinin projelendirilmesinde teknolojik sınırlamalara ve UV dozunun ölçümünde belirsizliklere neden olmaktadır. Dolayısıyla sistemin verimlilik kontrolü güçleşmektedir. UV dezenfeksiyon sisteminde doz ihtiyacının standart bir değer olarak belirlenebilmesi için büyük ölçekli sistemlerde, daha geniş çaplı deneysel çalışmalar yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir diğer dezavantajı ise dağıtım sistemlerinde kalıcı bir dezenfeksiyon etkisinin olmaması ve oluşabilecek mikrobiyolojik bulaşmalara karşı sistemin korunmasız olmasıdır. Bu nedenle, dağıtım sistemlerinde nihai dezenfeksiyona ihtiyaç duyulabilmektedir (Meriç 1996).

2.3.2. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Dezenfeksiyonu

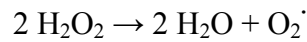
Hidrojen peroksit doğada çok düşük konsantrasyonlarda bulunabilen bir bileşiktir. Gaz formundaki hidrojen peroksit atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Çok düşük miktarlarda da su ortamında yer almaktadır.

Hidrojen peroksit, birbirine tek bağla bağlı iki oksijen atomu (O-O)⁻² içeren güçlü bir oksidanttır. Kimyasal formülü “H-O-O-H” şeklindedir.

Oksijen atomları arasındaki bağların kopması ile oluşan H-O radikalleri, diğer bileşiklerle hızlı bir şekilde reaksiyona girmektedir.

Mikroorganizma inaktivasyonunda ve organik ve inorganik kirleticilerin oksidasyonunda kullanılan hidrojen peroksit, çoğunlukla arıtım proseslerinin verimini arttırmak için sulara ilave edilmektedir.

Hidrojen peroksit, dezenfektan olarak ve dağıtım sistemlerinde büyümeyi engellemek amacıyla mikroorganizma inaktivasyonunda kullanılmaktadır. Hidrojen peroksit dezenfeksiyonu, açığa çıkan oksijen radikalleri ile gerçekleşir.



Hidrojen peroksit, içme sularının dezenfeksiyonunda ilk kez 1950'lerde Doğu Avrupa'da kullanılmıştır. Fakat son yıllarda ozon ve UV ile dezenfeksiyonda ikincil dezenfektan olarak kullanılmaya başlanmıştır (Anonim 2005).

Yapılan birçok araştırma, bakteri ve virüslerin etkili inaktivasyonu için yüksek hidrojen peroksit konsantrasyonları ve uzun temas süreleri gerekli olduğunu göstermiştir (Lund 1963). Purer (1968) ve Mentel (1973) tarafından yapılan araştırmalara göre %99'luk bir poliovirüs inaktivasyonu için ya 360 dakika 3,000 mg/L H_2O_2 ya da 24 dakika 15.000 mg/L H_2O_2 gerekmektedir.

Avantajları:

Hidrojen peroksit klor, klor dioksit ve potasyum permanganattan daha güçlü bir oksidanttır. Oksidasyon özelliği ile, oldukça zor arıtılan birçok kirleticinin giderimini sağlayabilmektedir. Ayrıca dezenfeksiyon sırasında, suda sağlığa zararlı yan ürünler meydana getirmemektedir (Anonim 2005, USEPA 1999).

Dezavantajları:

Hidrojen peroksitin dezenfeksiyon amaçlı kullanımında karşılaşılan en büyük problem uzun temas süreleri ve yüksek konsantrasyonlar gerektirmesidir. Bu sebeple ozon veya UV dezenfeksiyonu ile birlikte kullanılmaktadır.

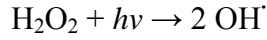
Hidrojen peroksitin verimliliği sıcaklık, pH ve suyun kompozisyonu gibi birçok faktöre bağlıdır. Güçlü bir oksidant olması nedeniyle insanlarla olabilecek direk teması oldukça tehlikelidir (Anonim 2005, USEPA 1999).

2.3.3. UV/Hidrojen Peroksit (UV/ H_2O_2) Dezenfeksiyonu

UV ışını, su arıtımında sadece dezenfektan olarak değil sularındaki kirletici bileşiklerin gideriminde de kullanılır. Özellikle, kirleticileri oksitleyebilen en reaktif oksitleyici olan hidroksil radikallerinin oluşumunu arttıran hidrojen peroksit gibi ikincil bir oksidantın kullanılması (İleri Oksidasyon) sonucu sularındaki organik ve inorganik bileşiklerin giderim verimi arttırılabilmektedir (Adedapo 2005).

Hümkik madde içeren suların dezenfeksiyonunda UV ışını ile birlikte, hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılması ile hem dezenfeksiyon verimi arttırılmakta hem de hümkik maddelerin olumsuz etkileri ortadan kaldırılabilir (Anonim 2004).

Hidrojen peroksit içeren suya UV radyasyonu uygulandığında hidrojen peroksitin bozunma süresi kısalmır ve çok daha kısa sürede hidroksil radikalleri oluşur.



Oluşan bu hidroksil radikalleri su arıtımındaki en reaktif oksidanttır ve organik ve inorganik bileşiklerin oksidasyonunda ve dezenfeksiyon amaçlı kullanılırlar (Koivunen ve Heinonen-Tanski 2005).

Hidroksil radikallerinin yarılanma süreleri yaklaşık 10^{-9} saniyedir. Mikroorganizmalar için oldukça toksik radikallerdir ve lipid, protein ve nükleik asit gibi biyolojik makromolekülleri oksitleyebilmektedirler (Fantel 1996). Bu radikaller, UV/H₂O₂ prosesindeki mikroorganizma inaktivasyonunda esas rolü oynayan elemanlardır (Wang 2001).

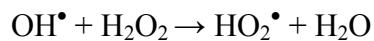
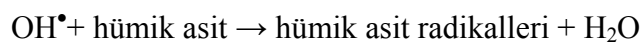
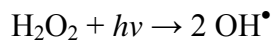
Bayliss ve Waites (1979,1980) yaptıkları iki çalışmalarında da, UV/H₂O₂ uygulaması sonucunda bakterileri inaktive eden OH[•] radikalleri oluşumunun UV ve H₂O₂ in tek başına kullanımına göre çok daha hızlı olduğunu bulmuşlardır.

Wang ve ark. (2001) da benzer şekilde, UV/H₂O₂ ile UV radyasyonunu karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada mikroorganizma dekompozisyonunun ve organik madde mineralizasyonunun UV/H₂O₂ ile çok daha kısa sürede olduğunu tespit etmişlerdir.

Lupello ve ark.(2002) ve Caretti ve Lubello (2003) tarafından, UV ışını ile kimyasal oksidantların dezenfeksiyona birlikte yaptıkları etkileri tespit edebilmek için, atık suların UV radyasyonunu hem PAA (perasetik asit) hem de H₂O₂ ilave edilerek gerçekleştirmişlerdir. Her iki çalışmada da, UV/PAA prosesinin, UV/H₂O₂ prosesine göre dezenfeksiyon verimini çok daha fazla miktarlarda arttırdığı bulunmuştur.

Rincon ve ark. (2001), hidroksil radikallerinin mikroorganizmaların gideriminde toksik etki yaratmalarının yanı sıra hümik maddeler gibi organik bileşiklerin oksidasyonunda etkili olabildiklerini ortaya koymuşlardır.

Hümik asit varlığında, UV/H₂O₂ prosesi ile suda aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir (Wang ve ark 2000).



Yüksek dozlardaki UV radyasyonu, sulardaki hümik maddeleri ayrıştırabilmekte ve böylece sulardaki çözünmüş organik karbon (ÇOK) miktarı da azalmaktadır (Lehtola ve ark. 2003). Fakat dezenfeksiyon amacıyla çok daha düşük dozlarda uygulanan UV radyasyonu, tek başına içme sularının ÇOK miktarında herhangi bir değişikliğe sebep olmamaktadır (Anonim 2001a). Oysa hümik karakterdeki sulara, UV dezenfeksiyonu sırasında H_2O_2 ilave edilmesiyle meydana gelen OH^\bullet radikalleri ile kısa temas sürelerinde bile ÇOK, dolayısı ile renk ve UV absorbansı giderimi sağlanabilmektedir. Böylece dezenfeksiyon verimi artırılabilir (Backlund 1992).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak iyi kalitede şişe suyu kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de bu suya ait özellikler gösterilmektedir. Hümik maddeler ve bakteri sonradan suya ilave edilmiştir.

Çizelge 3. 1. Çalışmada Kullanılan Suyun Özellikleri

PARAMETRE	DEĞER
Renk	2 PrCo
Bulanıklık	-
Aktif Klor	Yok
Org.Madde için Sarfedilen O ₂	1,4 mg/L
pH	6,5
Nitrit	Yok
Amonyak	Yok
Florür	0,17 mg/L
Klorür	4,3 mg/L
Nitrat	3,52 mg/L
Sülfat	Yok
Kalsiyum	2,69 mg/L
Magnezyum	3,25 mg/L
T.Fenolik Madde	Yok
Toplam Sertlik	0,7 Fr

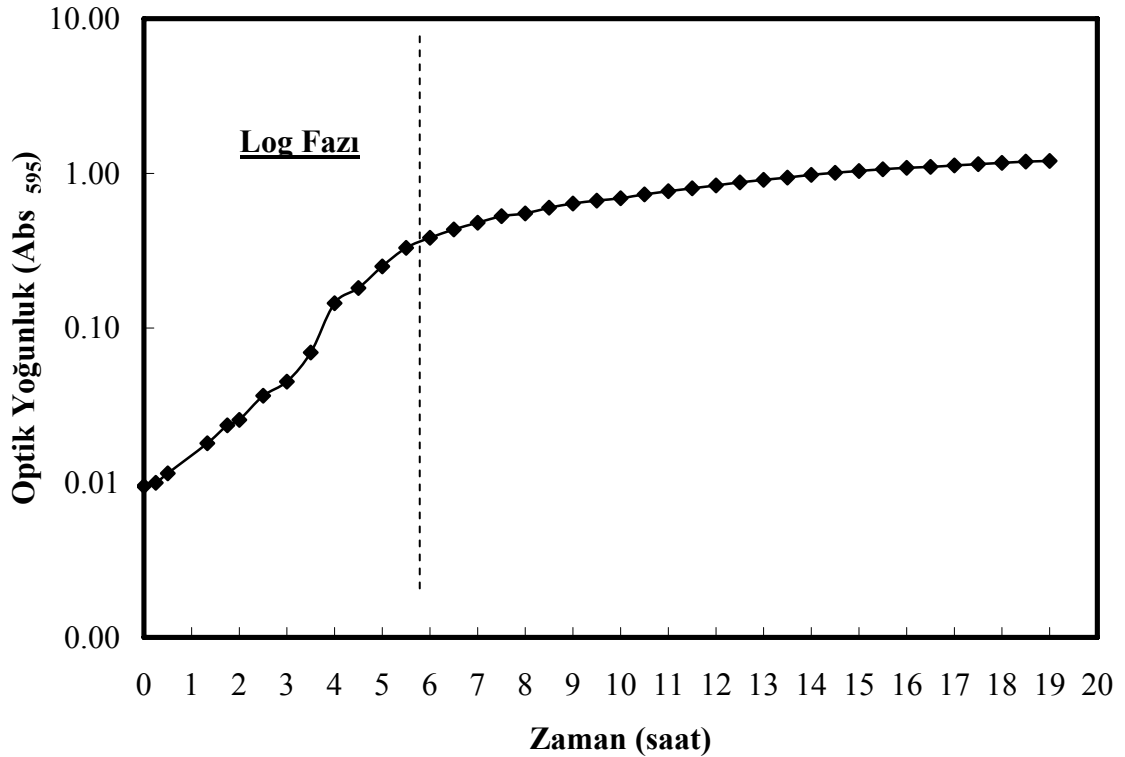
3.2. Yöntem

3.2.1. Toplam Koliformların İzolasyonu, Doğrulanması ve Saklanması

Toplam koliformlar membran filtrasyon yöntemi kullanılarak kanalizasyon suyundan izole edilmiştir. 35 °C de 24 saat inkübasyon sonunda M-Endo agar (Merck, Darmstadt, Germany) üzerinde gelişen metalik parlaklığa sahip pembe-koyu kırmızı koloniler öze yardımı ile alınarak lauril triptoz broth (Oxoid, Hampshire, England) besiyerine aşılanmış ve 35 °C de 24-48 saat inkübe edilmiştir. Pozitif olan lauril triptoz broth tüplerinden öze yardımı ile brilliant green bile broth (Oxoid, Hampshire, England) tüplerine aşılama yapılmıştır. 35 °C de 24-48 saat inkübasyon sonunda meydana gelen gaz üretimi koliform varlığını doğrulamıştır (Csuros ve Csuros 1999). Daha sonra koliform kültürü yatık nutrient agara transfer edilmiştir. İzolatlar 4° C’de saklanmış ve ayda bir yeni besiyerine aktarılmıştır.

3.2.2. Mikroorganizma Süspansiyonlarının Hazırlanışı

Yatık nutrient agar üzerindeki koloniler, 100 ml steril nutrient broth'a (Oxoid, Hampshire) aktarılmış ve 35 °C'de orbital karıştırıcılı inkübatörde 18 saat tutularak çoğaltılmıştır. Mikroorganizmaların logaritmik çoğalma fazının ortasına (mid-log fazı) ulaşabilmeleri için kültürler, 1:7 oranında steril ılık nütrient broth ile seyreltilmiş ve orbital inkübatörde 35 °C'de 2 saat 45 dakika inkübe edilmiştir. Mid-log fazı, örneklerin 595 nm'deki optik yoğunluk (OY) değerleri kullanılarak çizilen çoğalma eğrisi yardımı ile belirlenmiştir. Mid log fazının belirlenebilmesi için belirli aralıklarla mikroorganizmaların OY değerleri ölçülmüştür. Elde edilen grafik Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Daha sonra toplam koliformlar 4000 rpm'de 20 dakika boyunca santrifüjlenmiş, steril ringer çözeltilisi ile iki kez yıkanmış ve ringer içerisinde bulunan bakteri yumaklarının dağılması için 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen süspansiyon yaklaşık 10^6 CFU/100 ml bakteri içerecek şekilde seyreltilerek 4°C'de saklanmıştır. Toplam koliform sayısını kontrol edebilmek amacıyla her deney öncesinde süspansiyonun OY değeri ölçülmüştür (Hassen ve ark. 2000, Fujikowa ve ark. 2004, Rauprich ve ark. 2004).



Şekil 3. 1. Toplam Koliformlara Ait Büyüme Logaritmik Büyüme Eğrileri.

3.2.3. Toplam Koliform Sayısının Belirlenmesi

Toplam koliform sayısı Standart Metotlar'da belirtilen membran filtrasyon yöntemi ile M-Endo Agar kullanılarak belirlenmiştir (Anonim 1998). Petriler, 35°C'de 24 saat inkübe edildikten sonra besiyeri üzerinde gelişen pembe-koyu kırmızı renkli metalik parlaklığa sahip koloniler sayılmıştır.

3.2.4. Hümik Madde Ekstraksiyonu

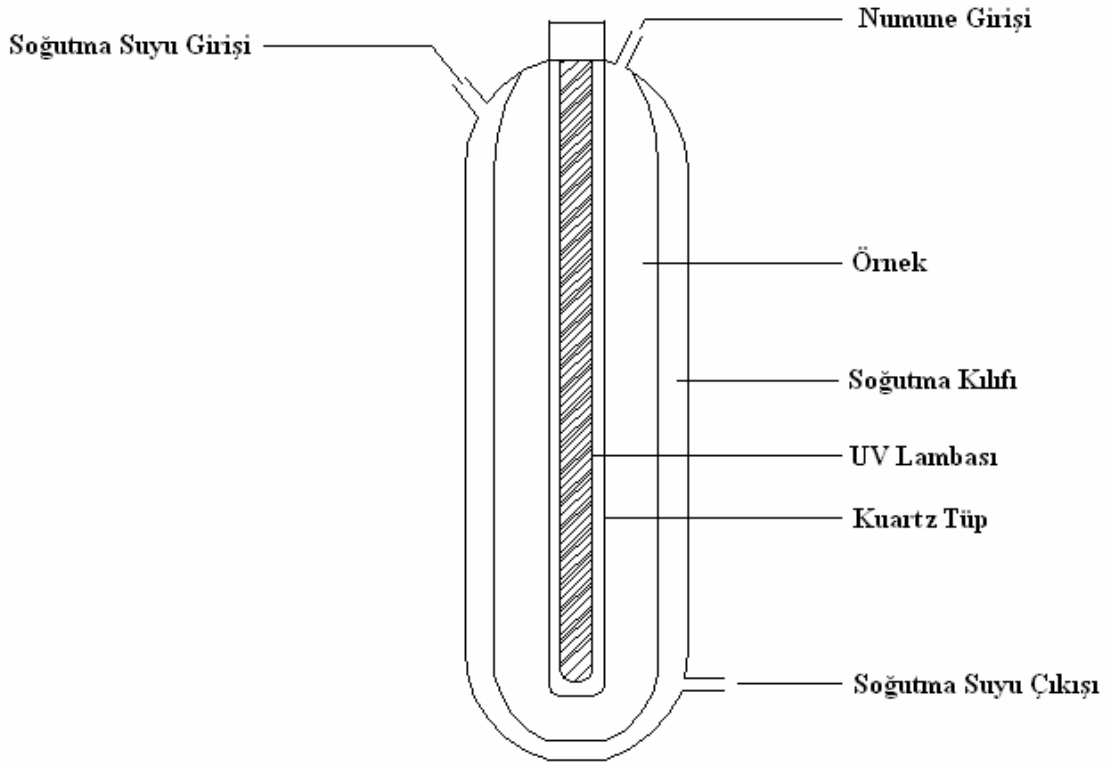
Hümik maddeler, Bursa İli'nin en büyük içme suyu kaynağı olan Doğanlı Barajı etrafından alınan toprak örneklerinden ekstrakte edilmiştir. Toprak örnekleri laboratuarda havada kurumaya bırakılmıştır. İçerisindeki yaprak ve köklerin ayrılması için 4 ve 2 mm lik eleklerden geçirilmiş ve porselen havanda öğütülmüştür. 50 gr öğütülmüş toprak, içerisinde 200 ml 0,1 N NaOH bulunan plastik şişeye aktararak 1 saat çalkalanmış ve 18 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Bu süre sonunda 1 saat daha çalkalanmış ve 30 dakika 5000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme sonunda üstte kalan sıvı alınarak katlı filtreden (Schleicher&Schnell,595½) geçirilmiş ve pH'ı derişik H₂SO₄ kullanılarak 1'e ayarlanmıştır. pH'sı ayarlanan örnek 80°C'de 30 dakika etüvde tutulduktan sonra hümik asit ve fülvik asitlerin birbirinden ayrılabilmesi için 18 saat oda sıcaklığında bırakılmıştır. Asidik ortamda çözünebilen fülvik asitler üst kısımda, hümik asitler ise dipte toplanmıştır. Üst faz (fülvik asit) ve çökeleğin (hümik asit) birbirinden daha kolay ayrılabilmesi için numune 30 dakika 5000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Fülvik asitler direkt alınarak, hümik asitler ise 0,1 N NaOH'de çözülerek deneylerde kullanılmak üzere stok çözelti olarak saklanmıştır (Başkaya 1975). Bu stok çözeltilerin çözünmüş organik karbon değeri, Shimadzu TOC-V CSH Toplam Karbon Analizörü ile belirlenmiştir.

3.2.5. UV Dezenfeksiyonu

UV dezenfeksiyonunda örneklere eklene hümik madde (fülvik veya hümik asit) konsantrasyonları 0.4, 1, 2, 5 ve 10 ÇOK mg/L'dir. UV deneyleri, iki tekrarlı olarak yapılmıştır.

UV dezenfeksiyonu; 254 nm. dalga boyunda UV ışığı yayan düşük basınçlı civa lamba (Ligtech) ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Silindir şeklindeki UV

fotoreaktörünün iç çapı 7 cm ve uzunluğu 45 cm olup pyreks camdan yapılmıştır. Şekil 3.2’de deneylerde kullanılan UV reaktörü gösterilmektedir.



Şekil 3. 2. UV Reaktörünün Şematik Gösterimi

UV lambası, kuvars cam kılıf içerisinde reaktörün ortasına yerleştirilmiştir. UV yoğunluğu, Lutron UV ışık metre (UVC-254) kullanılarak ölçülmüş ve $2,27 \text{ mW/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Her uygulama öncesinde UV lambası sabit ışık çıkışının elde edilebilmesi ve cam silindirin sterilizasyonunu sağlanabilmesi için en az 10 dakika boş olarak çalıştırılmıştır. Daha sonra sırasıyla toplam koliform ve hümik madde (hümik veya fülvik asit) ilave edilmiş olan su numunelerine 68, 136, 204, 272, 341, 409, 545, 681 mWs/cm^2 dozlarında UV radyasyonu uygulanmıştır. Daha sonra toplam koliform, sonradan büyüme potansiyeli, pH ve 254 nm’deki UV-abs’larının belirlenebilmesi için örnekler alınmıştır.

3.2.6. UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu

UV/H₂O₂ dezenfeksiyonunda örneklere eklenen hümik madde (fülvik veya hümik asit) konsantrasyonları 1, 5 ve 10 ÇOK mg/L’dir. UV/H₂O₂ deneyleri, iki tekrarlı olarak yapılmıştır.

UV/H₂O₂ dezenfeksiyonunda, UV dezenfeksiyonundaki prosedür uygulanarak aynı UV dozları kullanılmıştır. Ancak her temas süresi öncesi 600 ml lik su örneklerine 0,125 mg/L hidrojen peroksit (%3'lük Merck) ilave edilmiş ve daha sonra 30 saniye (Koivunen ve Heinonen-Tanski 2005) karıştırılmıştır. 0,125 mg/L H₂O₂ içeren örnek, fotoreaktöre koyularak UV radyasyonu uygulanmıştır.

3.2.7. Yeniden Çoğalma Potansiyelinin Belirlenmesi

Her bir dezenfeksiyon uygulamasının ardından örneklerin yeniden çoğalma potansiyellerinin belirlenmesi için 250 ml lik kahverengi steril şişelere numuneler alınmış, 24 saat boyunca 28°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında örneklerin toplam koliform, pH ve 254 nm'deki UV-abs'ları belirlenmiştir.

3.2.8. Kimyasal ve Fiziksel Analizler

ÇOK konsantrasyonları Shimadzu TOC-V CSH Toplam Karbon Analizörü ile belirlenmiştir. Örneklerin 254 nm deki UV absorbansı ve 595 nm deki Optik Yoğunluğu Jenway marka UV/Vis spektrofotometre ile ölçülmüştür. UV absorbansı ve ÇOK ölçümleri öncesinde örnekler 0,45 µm Millipore filtrelerden geçirilmiştir. pH ise Metrohm 704 pH-metre ile belirlenmiştir.

3.2.9. İnaktivasyon Katsayısının (k) Belirlenmesi

İnaktivasyon katsayıları UV dezenfeksiyonuna göre modifiye edilmiş Chick-Watson Modeli kullanılarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır (Hassen ve ark. 2000).

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kI^n T$$

Burada; N bakteri sayısını, I UV radyasyonu yoğunluğunu, k spesifik inaktivasyon katsayısını, T temas süresini ve n suyun kalitesine bağlı katsayıyı (genellikle 1'e yakın) ifade etmektedir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. UV Dezenfeksiyonu

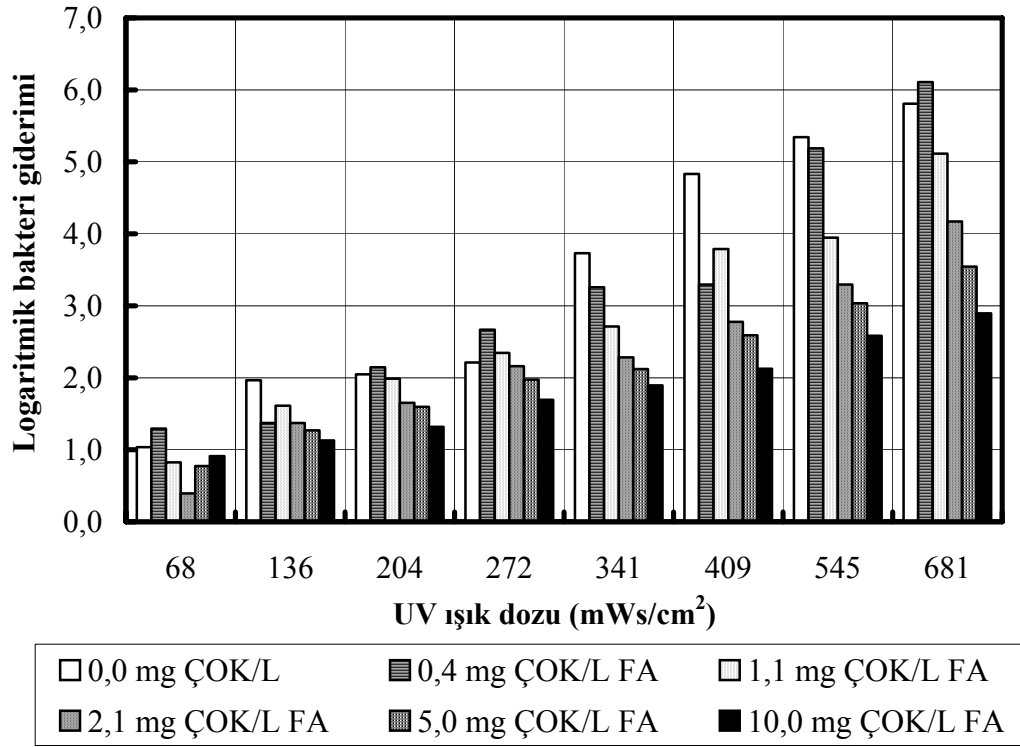
Yüzeysel suların UV ile dezenfeksiyonuna; suyun kalitesi özellikle de AKM'ler ve hümik maddeler girişim yapmaktadır. Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda hümik ve fülvik asit içeren sulara UV radyasyonu uygulanarak toplam koliform giderimleri araştırılmıştır.

Toplam koliform ve 0,4, 1, 2, 5 ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonlarında hümik madde içeren ve içerisinde hümik madde bulunmayan sulara; 8 farklı UV dozu uygulanarak elde edilen toplam koliform, UV absorbansı, pH ve sıcaklık değerleri ile bu su numunelerinin 24 saatlik inkübasyonu sonucu belirlenen toplam koliform, UV absorbansı, pH ve sıcaklık değerleri EK 1'de verilmiştir.

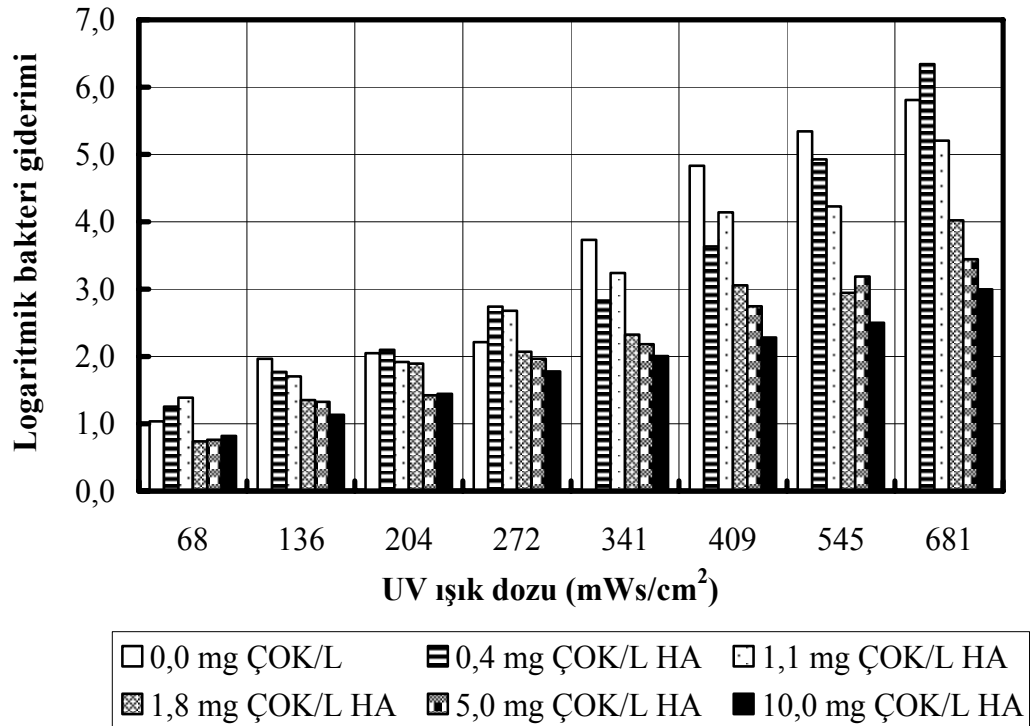
Sekiz farklı UV radyasyonu sonucunda elde edilen bakteri inaktivasyonu değerleri Şekil 4.1(a) (Fülvik asit içeren numuneler) ve Şekil 4.1(b) (Hümik asit içeren numuneler)'de gösterilmektedir. Koliform bakterilerinin logaritmik giderim değerleri, UV öncesi (ham su bakteri değeri "t = 0 anı") ve belirli temas sürelerinde UV radyasyonu uygulandıktan sonra elde edilen bakteri değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.1(a) ve Şekil 4.1(b)'den de açıkça görülebileceği gibi UV radyasyonundaki artışla birlikte bakteri giderimi de artmaktadır. İçerisinde hümik madde bulunmayan ve düşük konsantrasyonlarda hümik madde içeren su numunelerindeki bakteri giderimleri karşılaştırıldığında, maksimum UV dozundaki bakteri giderimi minimum UV dozunda belirlenen bakteri gideriminin yaklaşık 5 katı kadardır.

68 ve 204 mWs/cm² UV dozları arasında elde edilen logaritmik giderim değerleri tüm su numuneleri için oldukça düşüktür. Hümik maddelerin UV dezenfeksiyona olan etkisi 272 mWs/cm² ve daha yüksek UV dozlarında ortaya çıkmaya başlamıştır. Hem hümik asit hem de fülvik asit konsantrasyonlarındaki artışla birlikte UV dezenfeksiyonun etkisi de azalmaya başlamıştır. 681 mWs/cm² UV dozunda; 0,4 mg ÇOK/L konsantrasyonundaki logaritmik bakteri giderimi, 10 mg ÇOK/L'deki logaritmik bakteri gideriminin, fülvik asitler için 2,11, hümik asitler için 2,10 kat kadar daha fazladır.



Şekil 4. 1.(a). Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu ile Elde Edilen Bakteri Giderimleri



Şekil 4.1.(b). Farklı Konsantrasyonlarda Hümik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu ile Elde Edilen Bakteri Giderimleri

Şekil 4.2(a) ve 4.2(b) grafikleri, UV radyasyonunun ve hümik maddelerin, bakteri giderimine birlikte yaptıkları etkileri gösterebilmek için çizilmiştir. Bu grafikler, toplam koliform gideriminin en fazla, minimum hümik madde konsantrasyonunda ve maksimum UV radyasyonunda elde edildiğini göstermiştir. Maksimum UV dozunda bakteri giderimi 6 log'dan 3 log'a düşmektedir.

Eğer suda hümik maddeler gibi çözünmüş organik maddeler bulunuyorsa mikroorganizmalara ulaşan UV ışınları, bu organik maddelerce absorblanır ve bakterilerin inaktive olmaları engellenir (Backlund 1992). Benzer şekilde bu deney ile elde edilen sonuçlar, UV dezenfeksiyonun mikroorganizmalar üzerindeki etkisinin hümik maddelerin varlığında azalmaya başladığını açıkça ortaya koymaktadır.

Mikroorganizmaları inaktive etmek için gerekli olan UV miktarı suyun UV transmisyonuna ve AKM konsantrasyonuna bağlıdır. UV transmisyonu, mikroorganizmalara ulaşan UV ışınının yüzde olarak ifadesidir. Sudaki UV transmisyonunun azalması mikroorganizmalara ulaşan UV radyasyonunun da azaldığını gösterir. UV transmisyonu, suyun sertliğine, suda bulunan demir, partikül madde ve hümik madde konsantrasyonuna bağlıdır (Anonim 2004). Bu çalışmada ölçülen UV absorbansları ile hesaplanan UV transmisyonu değerleri;

0,4-2 mg ÇOK/L Fülvik Asit için, %99-94

5 mg ÇOK/L Fülvik Asit için, % 77

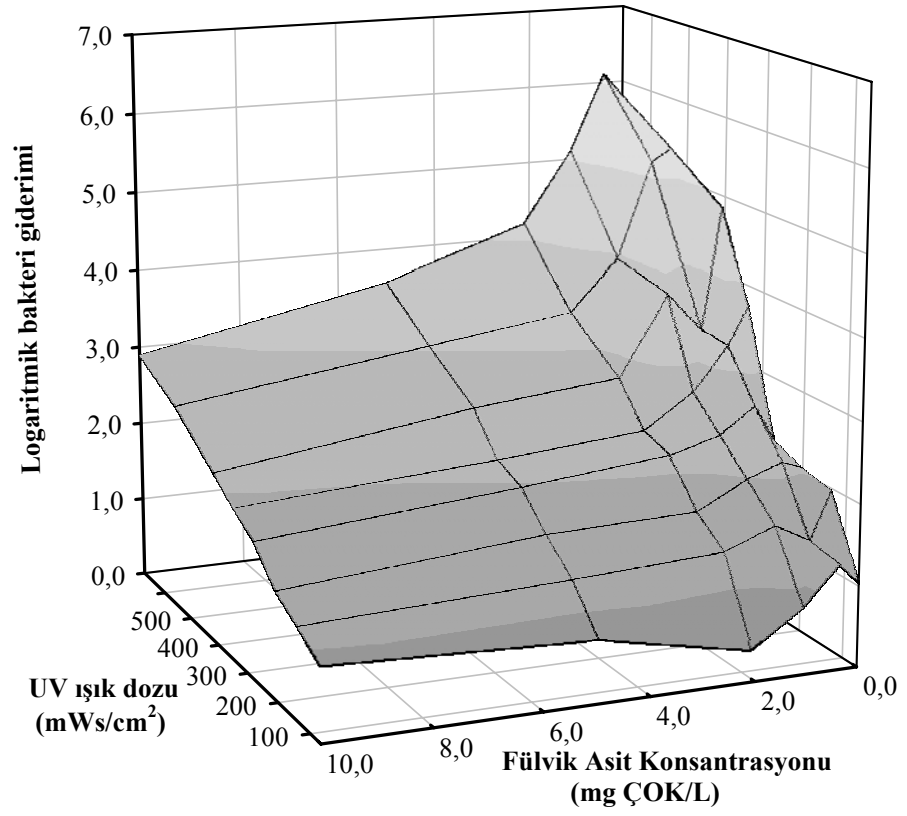
10 mg ÇOK/L Fülvik Asit için, % 62

0,4-2 mg ÇOK/L Hümik Asit için, % 97-90

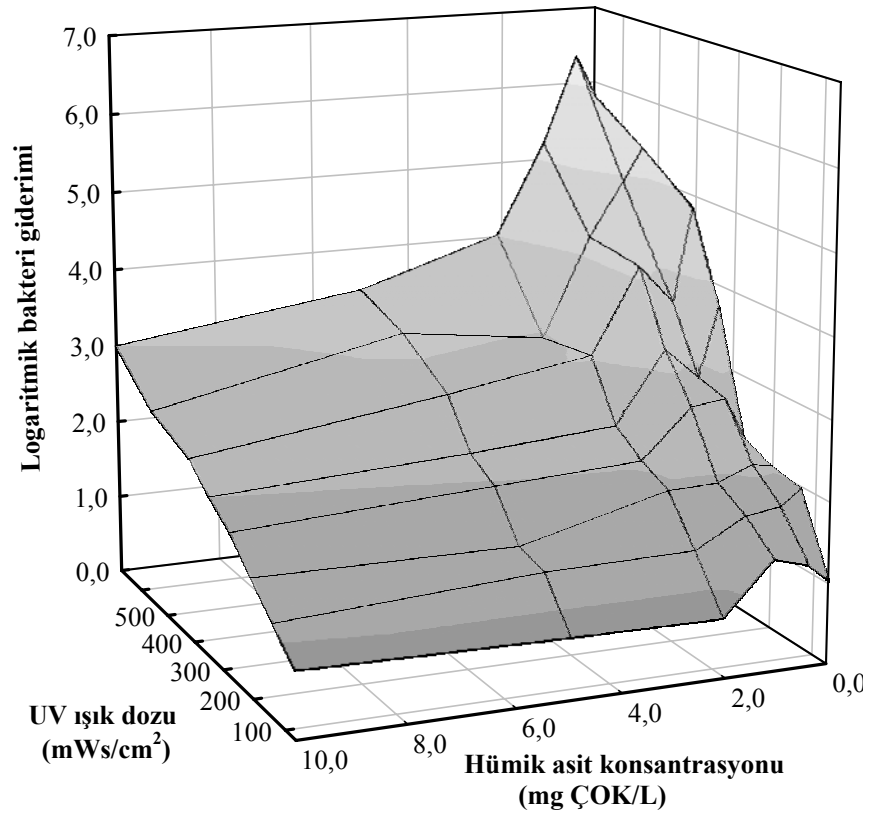
5 mg ÇOK/L Hümik Asit için, % 55

10 mg ÇOK/L Hümik Asit için, % 27 arasındadır.

Buna göre; UV dezenfeksiyonu verimi, sudaki hümik madde konsantrasyonunun artmasıyla birlikte azalmaktadır.



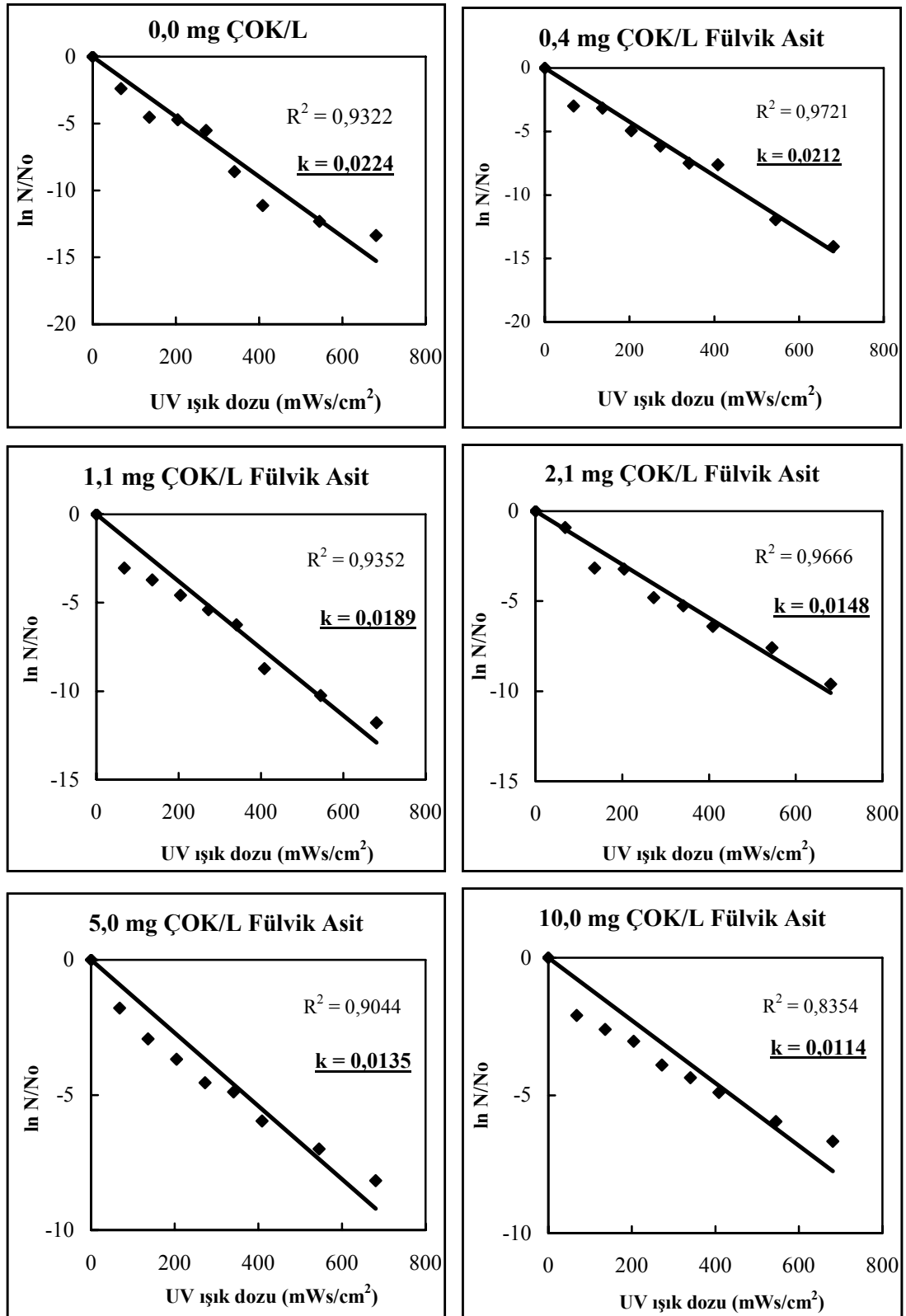
Şekil 4. 2.(a). Fülvik Asit ve UV Radyasyonunun Bakteri Giderimindeki Etkileri



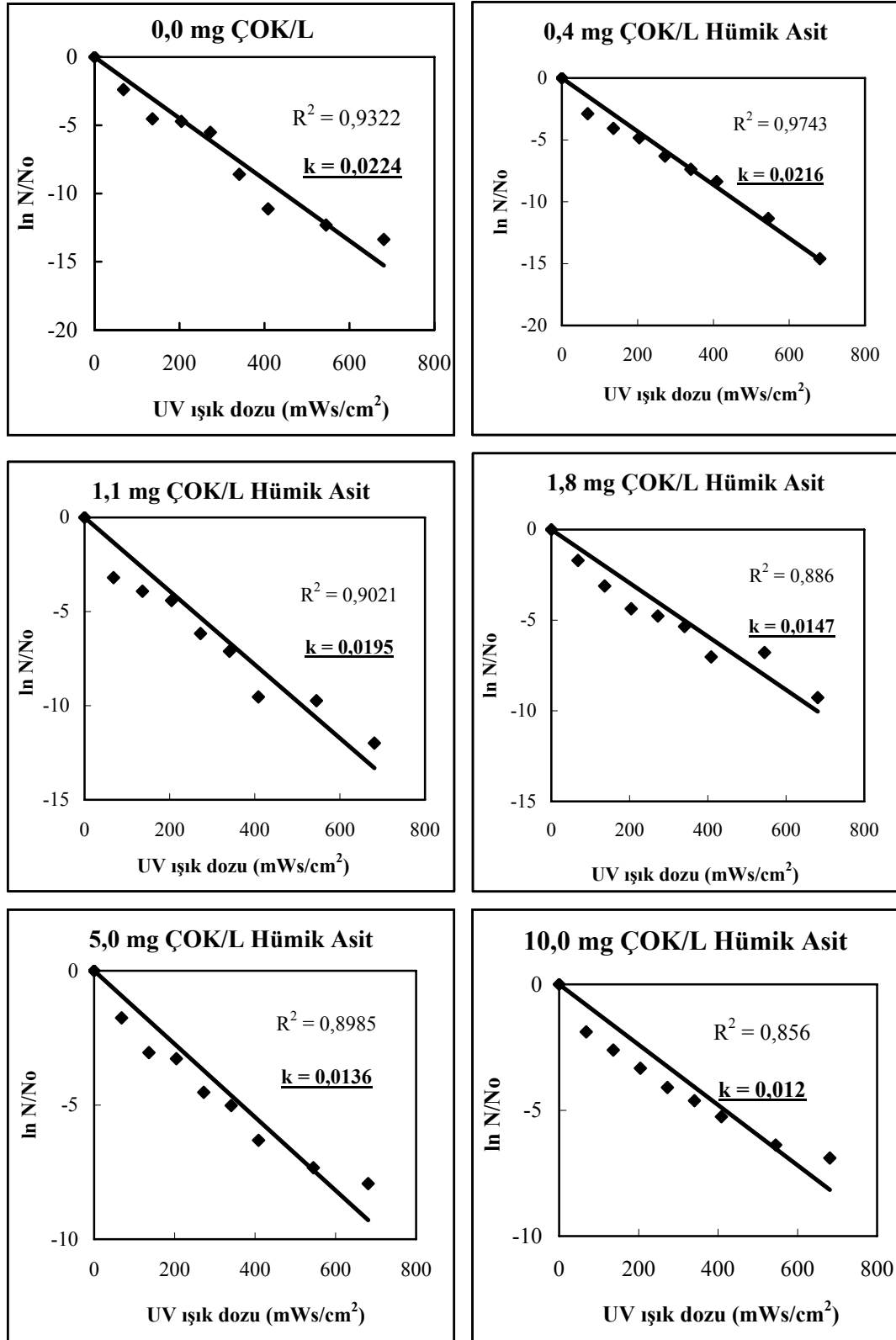
Şekil 4. 2. (b). Hümik Asit ve UV Radyasyonunun Bakteri Giderimindeki Etkileri

İnaktivasyon katsayısı (k), iki tekrarlı gerçekleştirilen deneylerin sonuçları kullanılarak, modifiye edilmiş Chick-Watson (Hassen ve ark. 2000) Model'ine göre hesaplanmıştır (Şekil 4.3.(a) ve Şekil 4.3.(b)). Sonuçların hassasiyetine, noktalardan geçirilen eğrinin determinasyon katsayısına (R^2) göre karar verilmiştir. Fülvik ve hümik asitler için hesaplanan k ve R^2 değerleri sırasıyla Şekil 4.3.(a) ve Şekil 4.3.(b)'de gösterilmektedir.

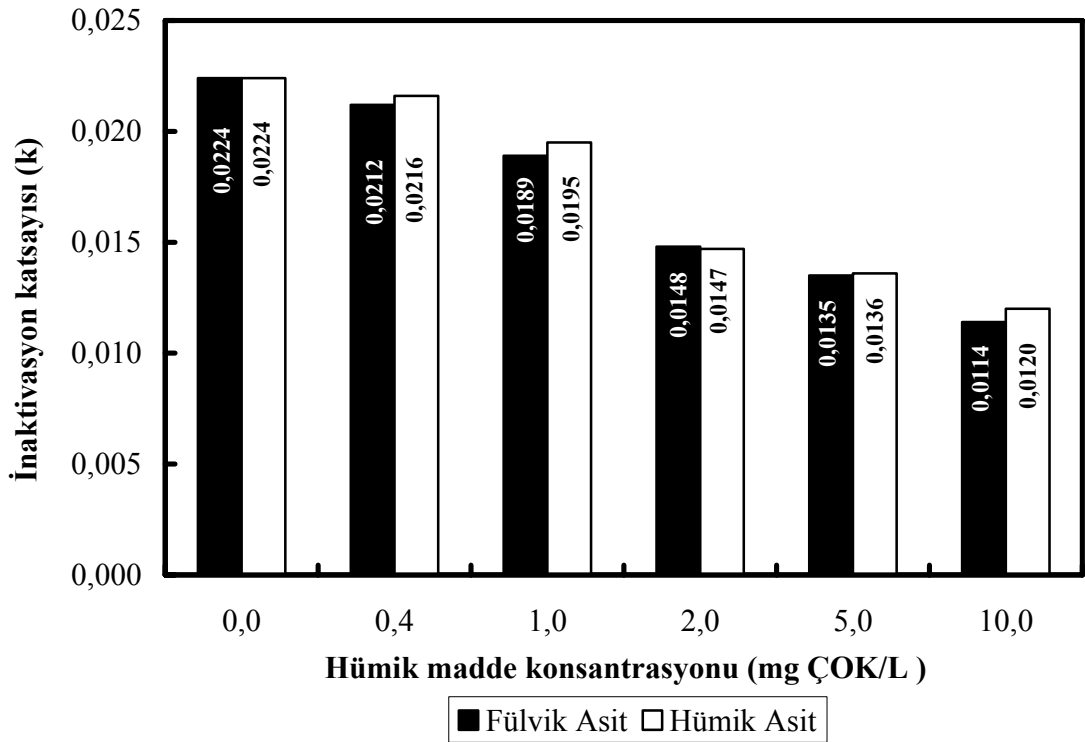
Şekil 4.4'de, farklı konsantrasyonlardaki fülvik ve hümik asitlerin, UV dezenfeksiyonu üzerindeki etkileri k değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Buna göre, inaktivasyon katsayısı (k), hümik karakterde olmayan suda en büyük değerdedir. Fakat hümik maddelerin konsantrasyonunun artmasıyla birlikte k değeri de azalmaya başlamaktadır.



Şekil 4. 3.(a).Fülvik Asit İçeren Sularda UV Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları



Şekil 4. 3.(b).Hümik Asit İçeren Sularda UV Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları

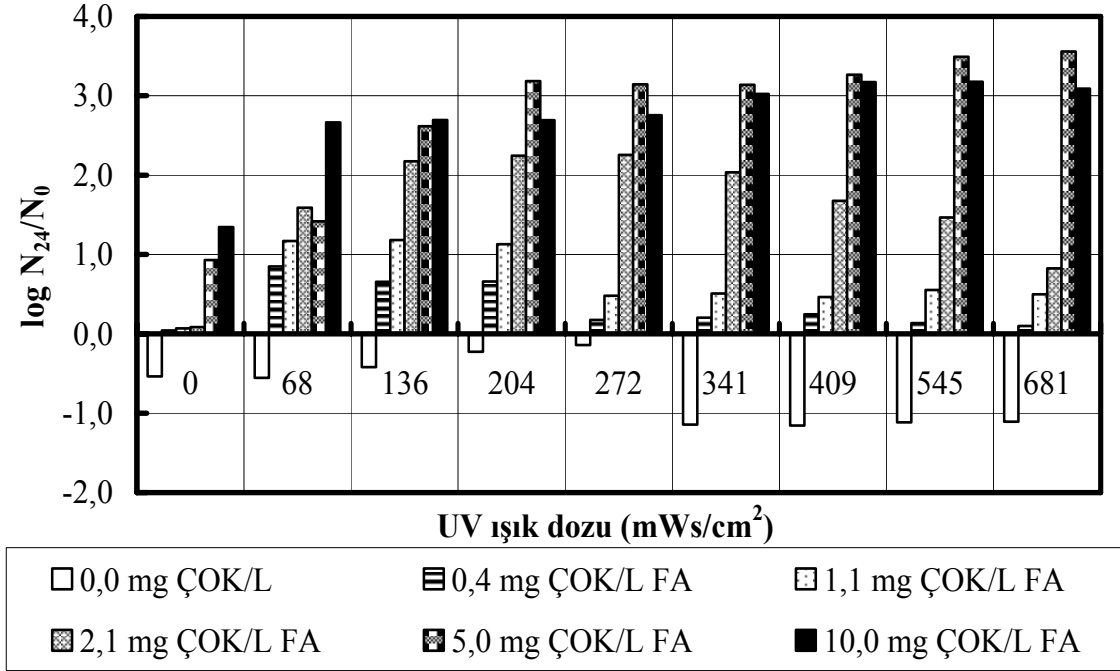


Şekil 4. 4. Farklı Konsantrasyonlarda Hümik ve Fülvik Asit İçeren Suların UV Dezenfeksiyonu Sonrasında Bulunan İnaktivasyon Katsayılarının Karşılaştırılması

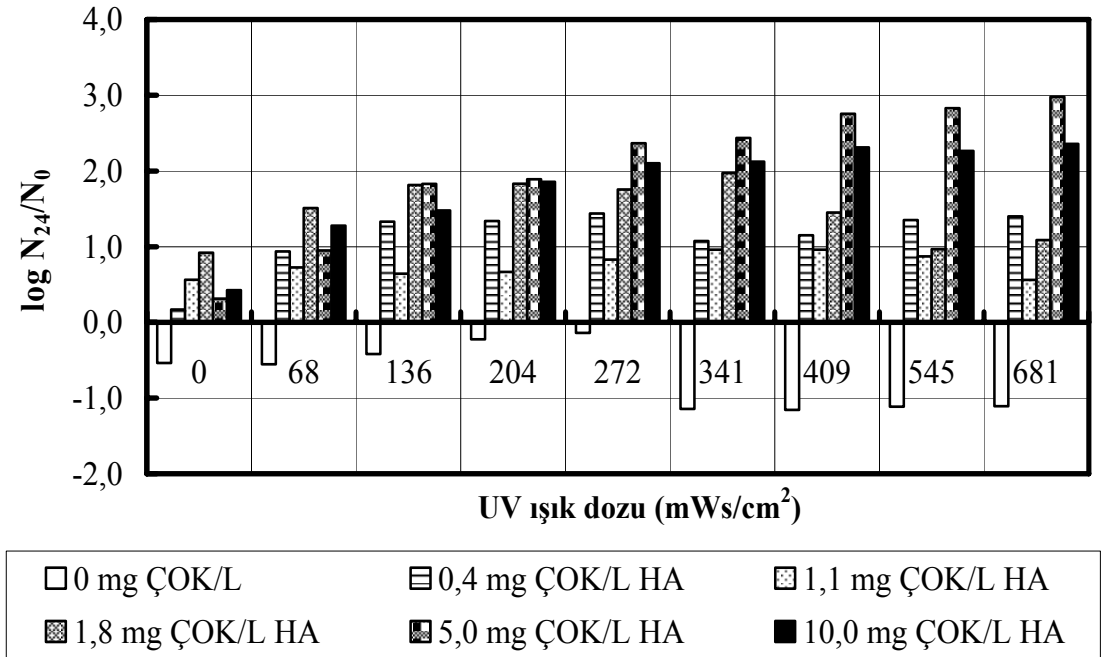
UV dezenfeksiyonun suda kalıcı bir etkisinin olmaması, bazı durumlar için bir avantaj olarak gözükse de yeniden çoğalma potansiyeli açısından bir dezavantaj yaratabilir. Dezenfeksiyon sonucu zarar gören mikroorganizmalar için, UV radyasyonunun ortadan kalkması ile birlikte oluşan yüksek nütrient ve dezenfekte edilmiş sudaki düşük rekabet ortamı, ya zamanla tekrardan çoğalmaya başlamaları ya da oluşan zararları onararak yaşamlarına devam edebilmeleri için potansiyel bir yaşama ortamı oluşturmaktadır. Bu çalışmada bütün su numuneleri, karanlık ve 28°C sıcaklıktaki ortamda 24 saat boyunca inkübasyona bırakılarak yeniden çoğalma potansiyelleri incelenmiştir. İnkübasyon deneylerinin sonuçları Şekil 4.5.(a) ve 4.5.(b)'de gösterilmektedir.

Şekil 4.5.(a) ve 4.5.(b)'de de görülebildiği gibi hümik karakterde olmayan sularda herhangi bir bakteriyel çoğalma gerçekleşmezken hümik maddelerin bulunduğu sularda bakteriler çoğalmaya devam etmektedir. 681 mWs/cm² UV dozu uygulanan suda 5 mg ÇOK/L fülvik asit ve 5 mg ÇOK/L hümik asit için bakteriyel çoğalma değerleri sırasıyla 3,5 ve 3 log'dur. Hümik madde içermeyen sulardaki bakterilerde azalma olurken, içerisinde hümik madde bulunan sularda bakteri sayılarının artması,

bakteriler için uygun yaşama ortamının hüküm sürdüğü inkübasyon süresi boyunca, hümik maddelerin bakterilere nütrient görevi yaptığının bir göstergesidir. Ayrıca hümik maddeler; UV radyasyonun uygulanmadığı suda da, inkübasyon süresi boyunca UV radyasyonu uygulanan numunelerdeki kadar olmasa da, bakterilerin yaşamalarını arttırıcı bir etki yapmışlardır.



Şekil 4. 5.(a). Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu Sonrası Bakteriyel Çoğalma Potansiyeli



Şekil 4. 5.(b). Farklı Konsantrasyonlarda Hümik Asit İçeren Sularda UV Radyasyonu Sonrası Bakteriyel Çoğalma Potansiyeli

Şekil 4.5.(a) ve Şekil 4.5.(b) karşılaştırıldığında, fülvik asit içeren su numunelerinde karanlık inkübasyon sonrası daha fazla sonradan çoğalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. 681 mWs/cm²'lik UV dozunda, 5 mg ÇOK/L fülvik asit ve hümik asit konsantrasyonlarında sırasıyla 3,5 ve 3 log'luk bir sonradan çoğalma meydana gelmiştir. Fülvik asit içeren numunelerde, UV dozunun artışı ile birlikte (204 mWs/cm² ve daha yüksek dozlarda) hümik asitlere göre sonradan çoğalma değerleri daha fazla olmuştur. Bu durum ise, fülvik asitlerin hümik asitlere göre daha düşük moleküler ağırlığa sahip olması ve bu yüzden bakteriler tarafından kullanılabilirliklerinin daha kolay olmasından kaynaklanmaktadır.

Camper (2003) yaptığı çalışmada, hümik maddelerin dağıtım şebekesinde bakteriler için karbon ve enerji kaynağı olduğunu ortaya koymuştur. Lindenauer ve Darby (1994), yaşamını sürdürebilir durumda olmayan mikroorganizmaların UV radyasyonundan etkilenme derecelerine bağlı olarak yaşama yeteneklerini yeniden kazanabildiklerini tespit etmişlerdir. İnsanların kullanımına sunulacak sulara, dezenfeksiyon UV ışınları ile gerçekleştiriliyorsa, suya yeniden çoğalmaların oluşmayacağı miktarlarda UV radyasyonunun uygulandığından emin olunması gerekmektedir (Blatchey ve ark. 2001).

Bu çalışmada inkübasyon sonucunda gerçekleşen yeniden çoğalmanın, UV dezenfeksiyonu sonunda suda kalan mikroorganizmalardan mı yoksa dezenfeksiyon sonucu zarar gören bakterilerin inkübasyon süresince yaşama kabiliyetlerini yeniden kazanmalarında mı kaynaklandığını tespit edebilmek için ek bir çalışma yapılmıştır. Bunun için tüm su numunelerine, dezenfeksiyon sonundaki suda toplam koliform sayısı sıfır olana kadar UV ışını (4000 mWs/cm² UV dozunu kadar çıkılmıştır.) uygulanmış ve buradan alınan numuneler aynı şartlar altında inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonucunda farklı konsantrasyonlarda hümik madde içeren suların hiçbirinde yeniden çoğalmaya rastlanmamıştır. Bu sonuca göre, bu çalışmada hümik maddeler, UV dezenfeksiyonu sonucunda suda kalan bakterilerce nütrient olarak kullanılmış ve sudaki hümik madde konsantrasyonunun artışıyla birlikte toplam koliformların yeniden çoğalma potansiyelleri artmıştır.

UV dezenfeksiyonu uygulanan sular eğer hümik karakterde iseler, dezenfeksiyon sonucu suda kalan mikroorganizmalar, dağıtım şebekesinde hızla çoğalabilme tehlikesi yarattıklarından, % 100 mikroorganizma gideriminin sağlanması

gerekmektedir. Bu yüzden özellikle insanlar tarafından kullanılacak suların UV ile dezenfeksiyonunda, UV ışık dozunun suyun karakterine bağlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Hümik karakterdeki sulara daha yüksek UV dozları uygulanarak %100 giderim elde edilebilmektedir (Blatchley ve ark 2001). Ancak hümik karakterdeki suların UV ile dezenfeksiyonunda, suya ilave bir kimyasal katılarak dezenfeksiyon verimi arttırılabilmektedir (Backlund 1992).

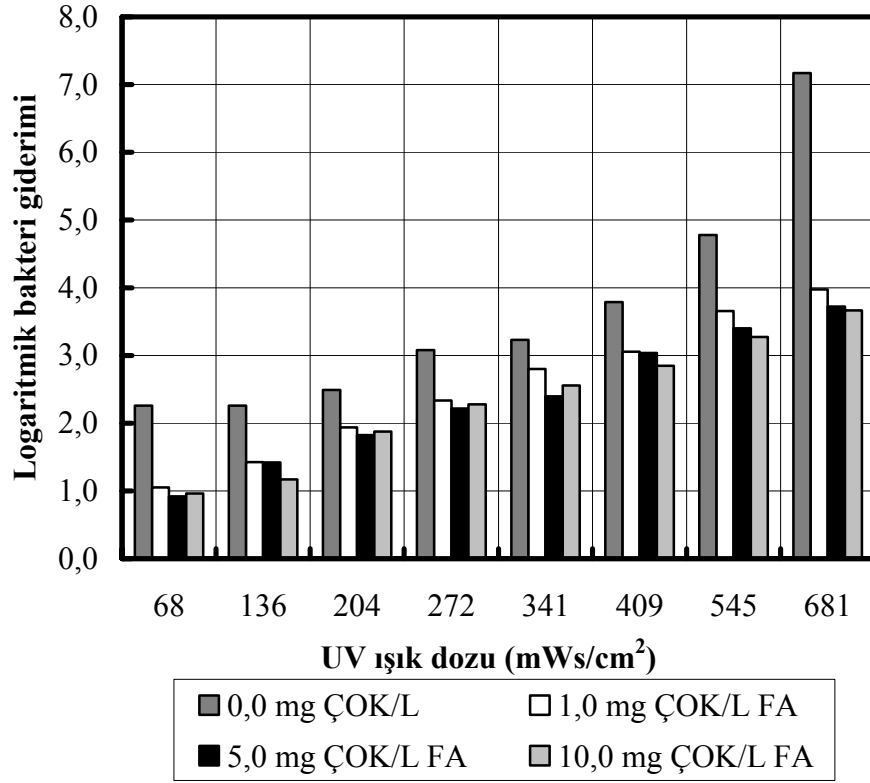
4.2. UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu

Toplam koliform ve 1, 5 ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonlarında hümik madde içeren ve içerisinde hümik madde bulunmayan sulara; 8 farklı UV dozu ve 0,125 mg/L H₂O₂ uygulanarak elde edilen toplam koliform, UV absorbansı, pH ve sıcaklık değerleri ile bu su numunelerinin 24 saatlik inkübasyonu sonucu belirlenen toplam koliform, UV absorbansı, pH ve sıcaklık değerleri EK 2’de verilmiştir.

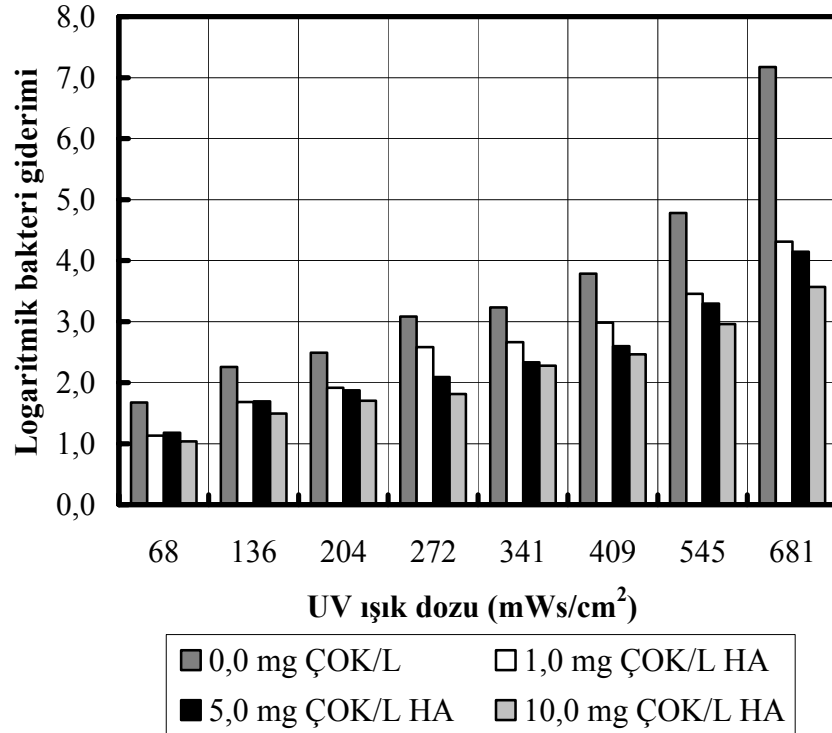
Üç farklı konsantrasyonda hümik madde içeren ve hümik madde içermeyen su örneklerine, farklı temas sürelerinde UV/H₂O₂ dezenfeksiyonu uygulanması sonucu elde edilen logaritmik bakteri giderimleri Şekil 4.6.(a) ve Şekil 4.6.(b)’de verilmektedir.

Elde edilen sonuçlar temas süresi arttıkça bakteri gideriminin de arttığını göstermektedir. Özellikle hümik madde içermeyen sularda, yüksek UV dozlarında elde edilen giderim, oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Buna karşın, hümik madde konsantrasyonunun artışı ile UV/H₂O₂ dezenfeksiyonu sonrası elde edilen giderimler azalmaya başlamıştır. Hümik madde içermeyen suda en yüksek UV dozu uygulaması sonrası belirlenen bakteri giderimi, en düşük UV dozu uygulaması sonucu elde edilen bakteri gideriminden 4,5 kat daha fazladır. Ancak 1, 5 ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonlarında hümik asit içeren sularda bu oran sırasıyla 3,8, 3,5 ve 3,4 kattır. Benzer sonuçlar 1, 5 ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonlarında fülvik asit içeren sularda da tespit edilmiştir.

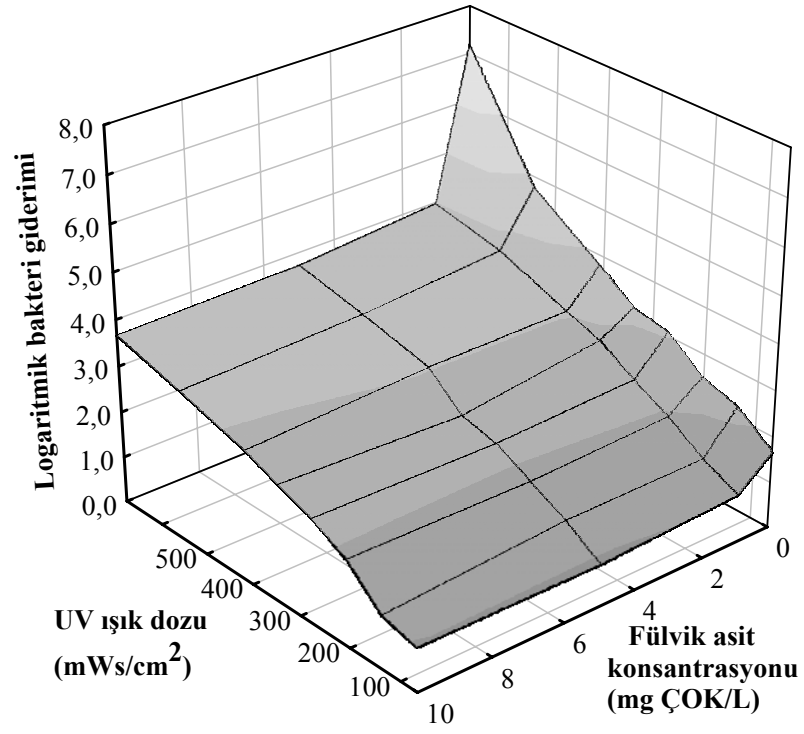
Şekil 4.7(a) ve 4.7(b), UV/H₂O₂ dezenfeksiyonun ve hümik maddelerin, toplam koliform giderimine birlikte yaptıkları etkiyi gösterebilmek için çizilmiştir. Bu grafiklere göre, en fazla toplam koliform giderimi, hümik madde içermeyen suda ve maksimum UV radyasyonunda elde edilmiştir.



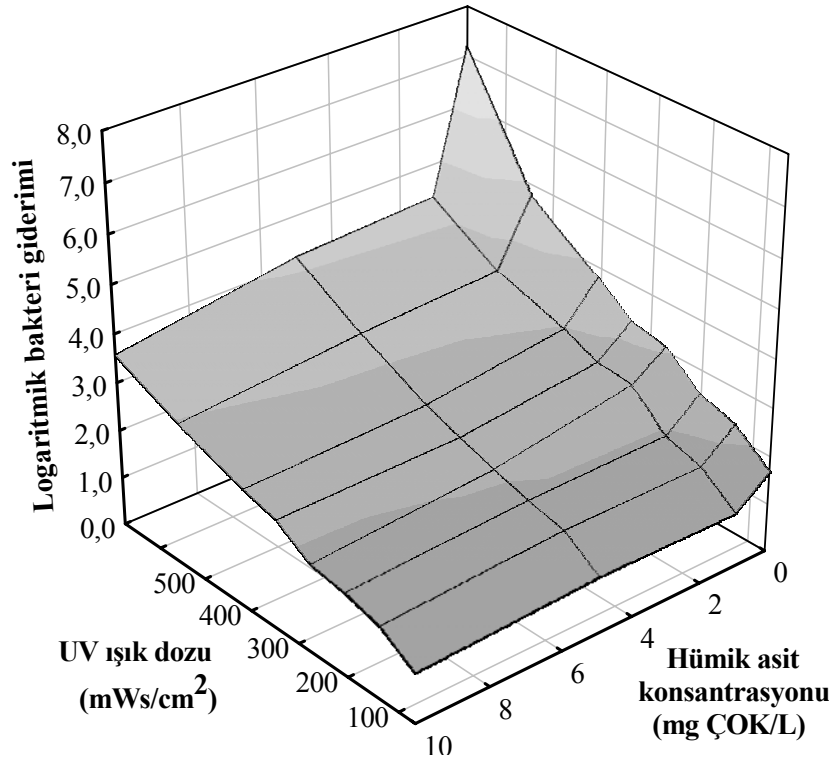
Şekil 4. 6.(a). Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu Bakteri Giderimleri



Şekil 4. 6.(b). Farklı Konsantrasyonlarda Hümkik Asit İçeren Sularda UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu Bakteri Giderimleri

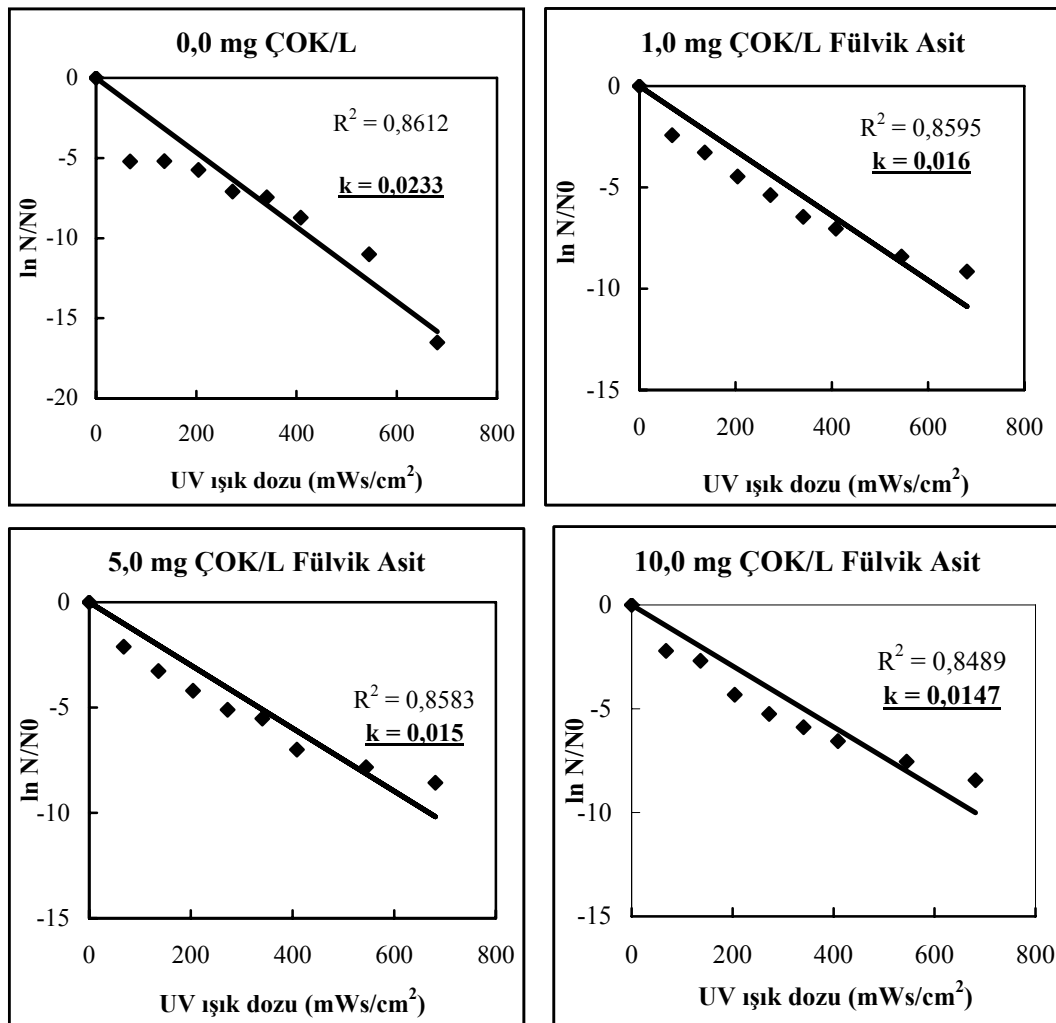


Şekil 4. 7.(a). Fülvik Asit ve UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonunu Bakteri Giderimindeki Etkileri

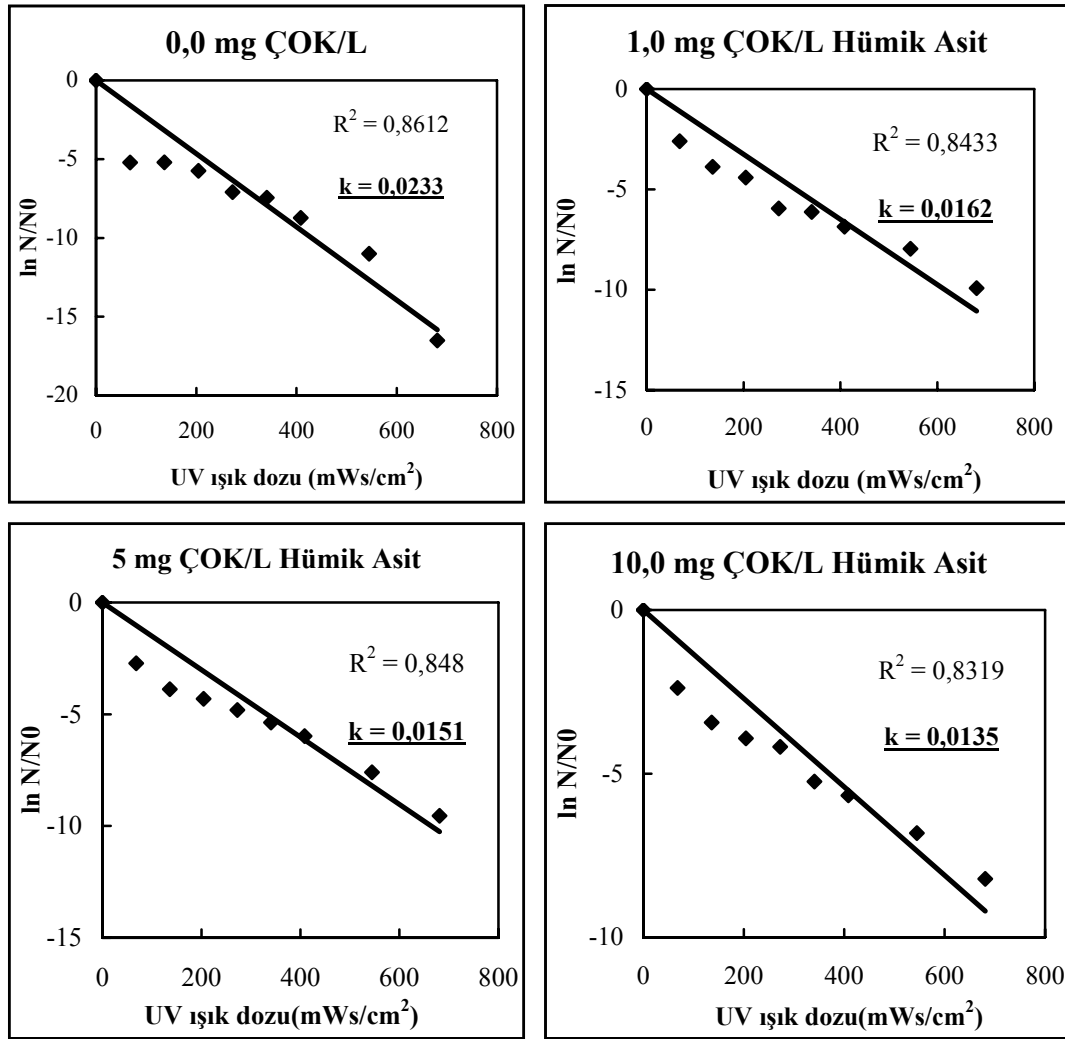


Şekil 4. 7.(b). Hümkik Asit ve UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonunu Bakteri Giderimindeki Etkileri

Bu çalışmada da hümik maddelerin UV/H₂O₂ dezenfeksiyonuna etkilerinin belirlenebilmesi için, Chick-Watson modeli kullanılarak inaktivasyon katsayıları (k) hesaplanmıştır. Değerlerin hassasiyeti, determinasyon katsayısına (R^2) göre belirlenmiştir. Şekil 4.8.(a) ve Şekil 4.8(b)'de hümik asit içeren ve içermeyen sularda hesaplanan k ve R^2 değerleri gösterilmektedir. İnaktivasyon katsayıları 0, 1, 5 ve 10 mg ÇOK/L fülvik asit konsantrasyonlarında sırasıyla 0,0232, 0,0160, 0,0150 ve 0,0147'dir. 0, 1, 5 ve 10 mg ÇOK/L hümik asit konsantrasyonları içinse k değerleri sırasıyla 0,0232, 0,0162, 0,0151 ve 0,0135'dir. k değerleri, hümik asit konsantrasyonunun artmasıyla azalmaktadır.

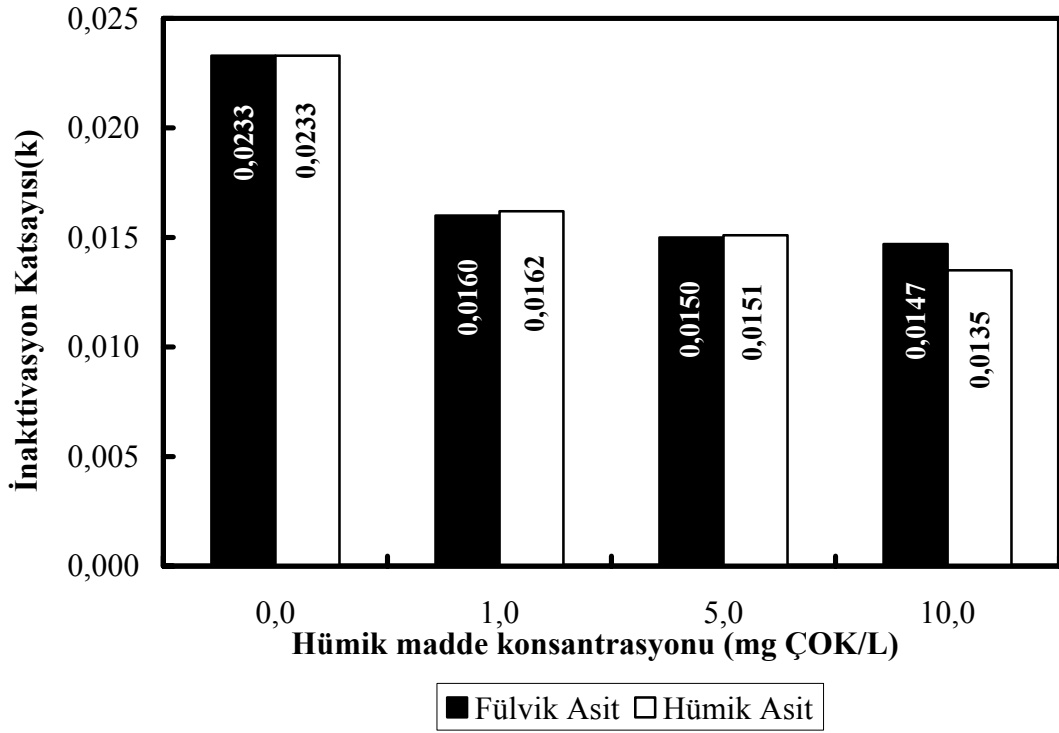


Şekil 4. 8.(a).Fülvik Asit İçeren Sularda UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları



Şekil 4.8.(b). Hümik Asit İçeren Sularda UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Chick-Watson Modeline Göre Hesaplanan İnaktivasyon Katsayıları

İçeren sularının UV/H₂O₂ ile dezenfeksiyonunda, hümik ve fülvik asitlerin yaptıkları etkileri belirleyebilmek için inaktivasyon katsayılarının karşılaştırmalı olarak gösterildiği grafik Şekil 4.9'da yer almaktadır. Her iki hümik madde fraksiyonunun aynı konsantrasyonlarda bulunduğu sularda, benzer sonuçlar elde edilmiştir.



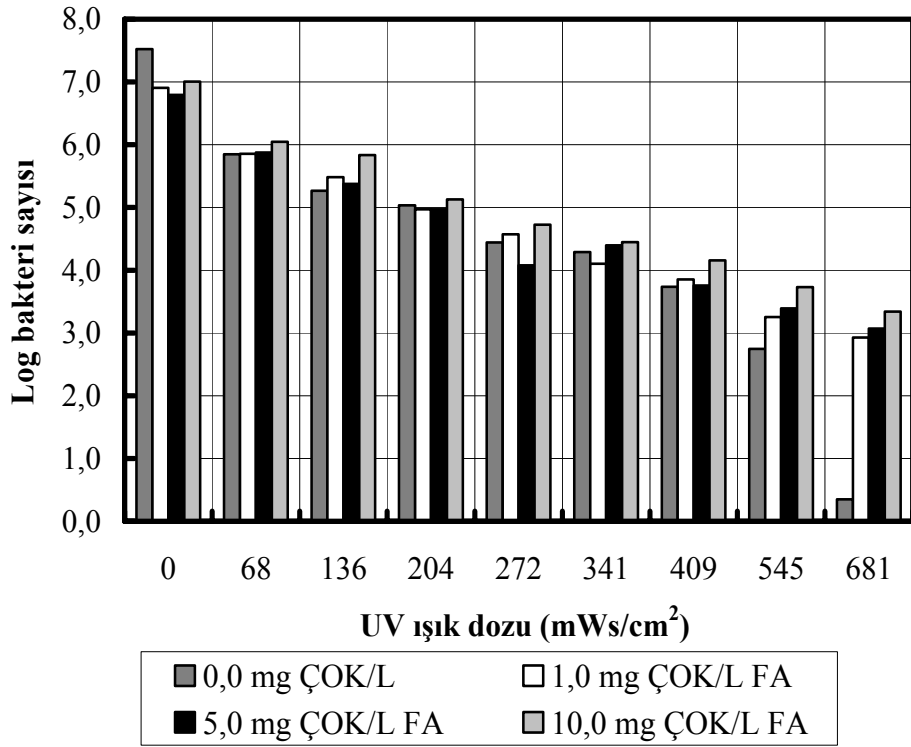
Şekil 4. 9. Farklı Konsantrasyonlarda Hümik ve Fülvik Asit İçeren Suların UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Bulunan İnaktivasyon Katsayılarının Karşılaştırılması

Şekil 4.6.(a ve b), Şekil 4.7. (a ve b), Şekil 4.8. (a ve b) ve Şekil 4.9, hümik maddelerin UV/H₂O₂ dezenfeksiyonuna etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Hümik madde içermeyen suda, bakteri giderimi ve inaktivasyon katsayısı (k) oldukça yüksek değerlerdeyken hümik maddelerin suya eklenmesiyle birlikte bakteri giderimleri ve k değeri hümik madde konsantrasyonuna bağlı olarak azalmıştır. Benzer şekilde Rincón ve ark. (2001) da organik madde varlığında UV ışınının dezenfeksiyon etkisinin azaldığını tespit etmişlerdir. Suya, aromatik yapıya sahip olan dihidroksi benzen izomerlerini ilave ettiklerinde, bu izomerlerin UV fotonlarının büyük bir kısmını absorbladıklarını dolayısı ile bakterilerin UV ışınından korunduğunu ve dezenfeksiyonun olumsuz etkilendiğini vurgulamışlardır.

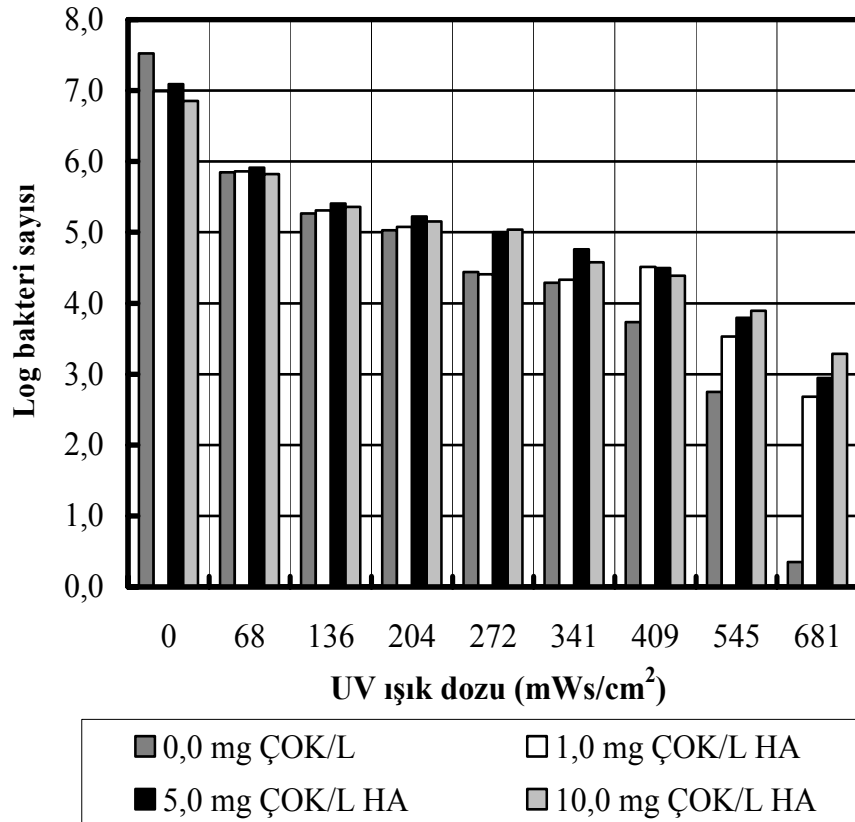
UV/H₂O₂ uygulamalarında hidrojen peroksit ilavesi ile elde edilen OH[•] radikallerinin sudaki davranışı, dezenfeksiyon açısından önem kazanmaktadır. Wang ve ark. (2000) yapmış oldukları çalışmada hidrojen peroksitin meydana getirdiği OH[•] radikallerinin hümik asitlerin oksidasyonunda kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada hümik madde içeren örneklerde bakteri giderimlerinin nispeten düşük bulunması, UV ışınının hümik madde tarafından absorplanmasının yanı sıra OH[•]

radikallerinin hem hümik madde oksidasyonunda hem de bakteri inaktivasyonunda kullanıldığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada hümik madde içermeyen suda H_2O_2 'in direkt fotolizi sonucu meydana gelen OH^\bullet radikallerinin tamamı toplam koliformların inaktivasyonunda kullanıldığı için bakteri giderimleri hümik madde içerenlere göre daha yüksek bulunmuştur. Literatürde hidrojen peroksit bozunması ile oluşan OH^\bullet radikallerinin yağ peroksidasyonuna ve DNA'da hasara yol açarak bakterileri inaktive ettiği bildirilmiştir (Anonim 2001b). Rincón ve ark. (2001) ise OH^\bullet radikallerinin koenzim A dimerizasyonuna neden olarak solunumu engellediğini ve hücre ölümüne yol açtığını bildirmişlerdir.

İçme sularının dezenfeksiyonunda UV radyasyonu kullanılmasının birçok avantajı olmasına rağmen, dağıtım sistemlerinde dezenfeksiyon sürekliliğini sağlayamaması suya ilave kimyasalların eklenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada UV radyasyonu ile birlikte H_2O_2 kullanılarak dezenfeksiyon sürekliliğinin sağlanması amaçlanmış, bu nedenle dezenfeksiyondan sonra oluşabilecek yeniden çoğalma potansiyeli belirlenmiştir. Şekil 4.10.(a)'da fülvik asit, Şekil 4.10.(b)'de ise hümik asit içeren suların farklı UV ışını dozları ve H_2O_2 uygulaması sonrasında suda kalan bakteri sayıları görülmektedir. Dezenfeksiyon işleminin hümik madde içeren sularda daha az etkili olduğu bu şekillerden de açıkça görülmektedir. Hümik madde içermeyen sularda ise $681 \text{ mWs/cm}^2 \text{ UV/ } H_2O_2$ uygulaması ile log bakteri sayısı 1 log'un altına düşmüştür. 28°C 'de 24 saat inkübasyon sonrasında ise örneklerin hiç birinde toplam koliform tespit edilememiştir. Başka bir deyişle Şekil 4.10.(a) ve (b)'de gösterilen UV/ H_2O_2 uygulaması sonucu örneklerde çeşitli sayılarda bulunan bakteriler, inkübasyon sonrası sıfırlanmıştır.

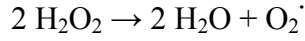


Şekil 4. 10.(a). Farklı Fülvik Asit Konsantrasyonlarındaki Su Numunelerinin İnkübasyon Öncesi Logaritmik Bakteri Sayıları



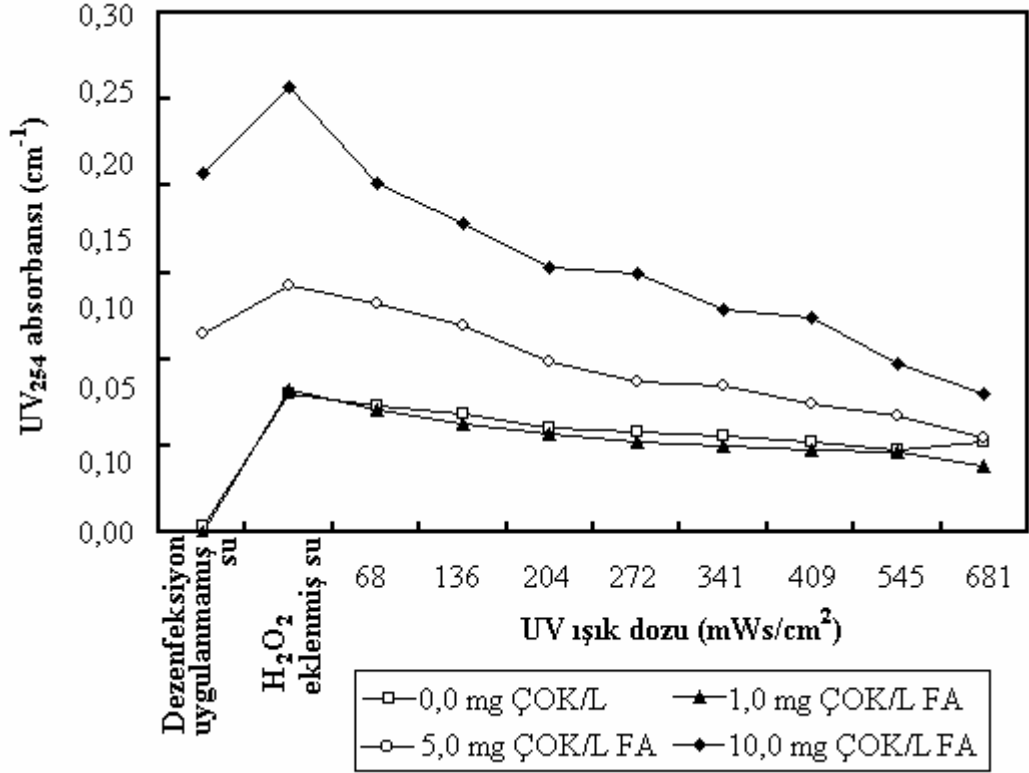
Şekil 4. 11.(b). Farklı Hüyük Asit Konsantrasyonlarındaki Su Numunelerinin İnkübasyon Öncesi Logaritmik Bakteri Sayıları

Mikroorganizmaların inaktivasyonunda, OH• radikallerinin yanı sıra UV ışınının ve H₂O₂ dekompozisyonu ile oluşan serbest oksijen radikalinin de etkisi söz konusudur. Yukarıdaki Şekil 4.10. (a) ve (b)'de gösterildiği gibi, UV/H₂O₂ dezenfeksiyonunun hemen sonrasında örneklerde belirli sayılarda toplam koliform bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak 24 saatlik karanlık inkübasyon sonunda örneklerdeki bakterilerin tamamı inaktive olmuş ve su örneklerindeki toplam koliform tamamen kaybolmuştur. OH• radikalının sudaki ömrünün çok kısa olması (yarı ömrü 10⁻⁹ sn) buradaki inaktivasyonun hidrojen peroksidin dekompozisyonu sonucu oluşan serbest oksijen radikalleri ile gerçekleştiğini işaret etmektedir. Hidrojen peroksidin yarılanma ömrünün (1-8 saat) uzun olması (Lund ve Hongve 1994) ve dezenfeksiyon sonrasında da

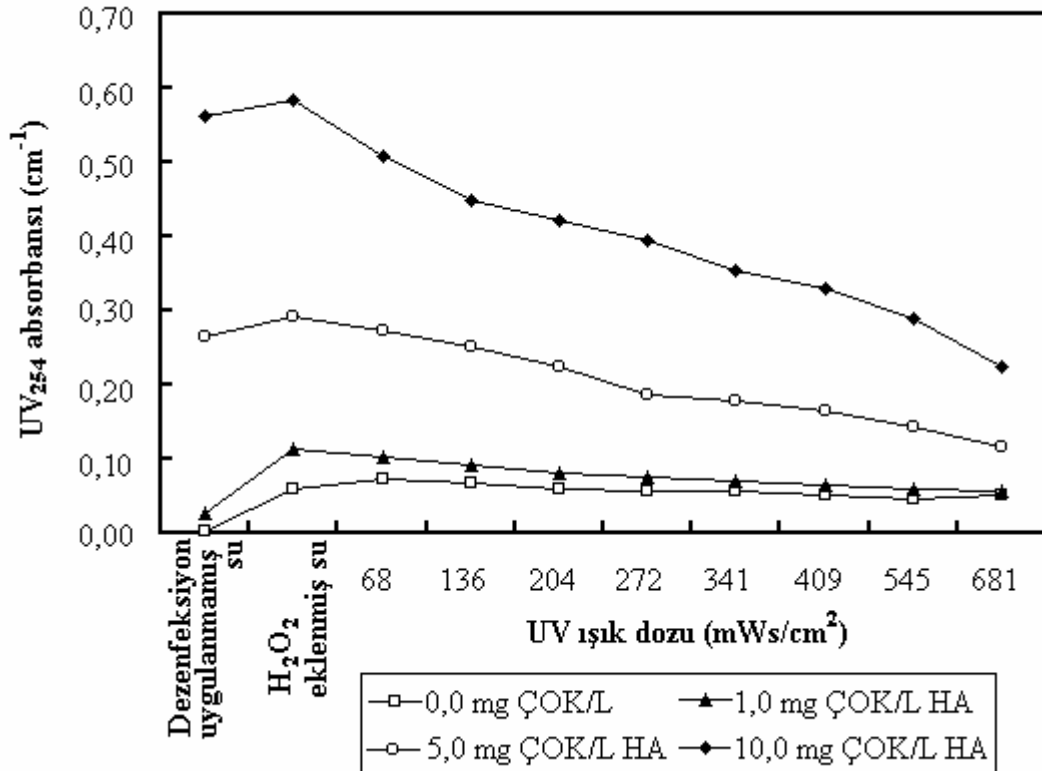


denklemini gereğince radikal oluşumunun devam etmesi inkübasyon süresince koliform inaktivasyonuna neden olmuştur. Drogui ve ark. (2001) elektrot kullanarak suda hidrojen peroksit elde ettikleri çalışmada, hidrojen peroksidin suda 20 saat kalabildiğini, bakterilerin ise 5 saatten az bir sürede önemli oranda azaldığını tespit etmişlerdir. Serbest oksijen radikalleri hücre membranından geçerek hayati merkezlere ulaşmış ve tamamen hücre yıkımına neden olmuştur (Drogui ve ark. 2001). Alam ve ark.(2000) hümik karakterdeki suların UV radyasyonu uygulanması ile H₂O₂ meydana getirebildiklerini ve bu H₂O₂'nin alg kontrolünde kalıntı etkisinin bulunduğunu bildirmişlerdir. UV radyasyonun hemen ardından aşılama yapılan örnekler inkübe edildiğinde bu örneklerdeki test organizmalarının bir günden az bir sürede tamamen yok olduğunu tespit etmişlerdir.

UV ışınını absorblayıcı bir bileşik olan H₂O₂'in suya eklenmesi ile, farklı konsantrasyonlarda hümik madde içeren ve hümik madde içermeyen örneklerin hepsinde UV-abs değerleri artmıştır. Bu artış 0 ve 1 mg ÇOK/L hümik madde içeren su örneklerinde oldukça yüksek iken 5 ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonlarında hümik madde içeren örneklerde daha azdır (Şekil 4.11.(a) ve Şekil 4.11.(b)).



Şekil 4. 11.(a). Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Sularda UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen UV Absorbansı Değerleri



Şekil 4. 11.(b). Farklı Konsantrasyonlarda Hümik Asit İçeren Sularda UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen UV Absorbansı Değerleri

UV radyasyonu uygulandıktan sonra ise örneklerin UV-abs değerleri, UV dozuna bağlı olarak azalmıştır. Hümik madde içermeyen ve 1 mg ÇOK/L hümik madde içeren su numunelerindeki UV-abs değerleri, UV dozunun artışı ile önemli bir azalma göstermemiştir. Ancak 5 ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonlarında hümik madde içeren su numunelerinde UV/H₂O₂ dezenfeksiyonu sonrasında UV-abs değerleri, UV dozunun artışıyla belirgin oranda azalmıştır. 5 ve 10 mg ÇOK/L fülvik asit içeren sulara, en yüksek UV dozunun uygulanması sonucunda UV-abs değerlerinde meydana gelen azalma sırası ile %52 ve %61 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde 5 ve 10 mg ÇOK/L hümik asit içeren sulara maksimum UV dozunun uygulanması ile UV-abs'ında sırası ile %57 ve %60'lık bir azalma meydana gelmiştir.

Çalışmadan elde edilen bulgular UV/H₂O₂ prosesinin hem organik madde oksidasyonunda hem de dezenfeksiyonda etkili olabildiğini göstermektedir. Şekil 4.11. (a) ve Şekil 4.11.(b)'de verilen UV abs değerlerindeki azalma da organik madde oksidasyonunun gerçekleştiğini açıkça ortaya koymaktadır. Kruithof ve ark. (2002) yapmış oldukları çalışmada UV/H₂O₂ uygulaması ile *E. coli* ve *Clostridia*'yı tamamen *Basillus* sporlarını ise 3,4 log oranında inaktive etmişlerdir. Aynı zamanda bu uygulama ile organik kirleticilerde %80'in üzerinde giderim elde etmişlerdir. Dolayısı ile bu prosesin hem organik kirletici kontrolünde hem de dezenfeksiyonda etkili olabildiğini ortaya koymuşlardır.

UV radyasyonu sırasında H₂O₂ ilavesi ile gerçekleştirilen ileri oksidasyon prosesi sırasında hümik karakterdeki sulara bir takım kimyasal değişiklikler meydana gelmektedir (Ahn ve ark. 2005). Backlund (1992) hidrojen peroksit varlığında gerçekleştirdiği UV radyasyonu ile, yüksek konsantrasyonlarda (17 mg ÇOK/L) hümik madde içeren sulara UV- abs ve ÇOK içeriğinde sırası ile %96 ve %77 giderim elde etmiştir. Bu çalışmada da UV/H₂O₂ uygulaması sonucu oluşan hidroksil radikalleri nedeniyle organik bileşiklerin okside olduğu ve dolayısıyla UV-abs değerlerinin önemli oranda azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.11. (a) ve Şekil 4.11.(b)).

Hümik madde içermeyen, 1 mg ÇOK/L fülvik asit ve 1 mg ÇOK/L hümik asit içeren sulara, hidrojen peroksit ilavesinden sonra artan UV-abs değerinin, 204 mWs/cm² UV dozundan sonra uygulanan UV radyasyonu ile önemli bir değişim göstermediği belirlenmiştir. 1 mg ÇOK/L konsantrasyonunda fülvik ve hümik asit içeren sulara, UV ışını dozunun artmasıyla ortaya çıkan radikaller hümik maddeleri

parçalamaya başlamış ve suyun UV-abs değeri azalmıştır. 204 mWs/cm² UV dozundan sonra UV-abs değerleri hümik madde içermeyen suyun UV-abs değerlerine yaklaşmıştır (Şekil 4.11. (a) ve Şekil 4.11.(b)). Bu durum, suda UV ışını absorblayıcı olarak sadece H₂O₂'in kaldığını, aromatik özelliğe sahip hümik maddelerin büyük oranda dekompozisyona uğradığını işaret etmektedir. Literatürde (Wang ve ark. 2000) daha yüksek H₂O₂ konsantrasyonları ile çalışılmış ve H₂O₂'in, hümik madde oksidasyonunu gerçekleştirici OH[•] radikali oluşumuna yol açtığı bulunmuştur. Buna göre; bu çalışmada hümik maddelerin belirli oranlarda dekompozisyonunun, kullanılan H₂O₂'e (0,125 mg/L) bağlı oluşan OH[•] radikali ile meydana geldiği sonucuna varılabilir. Yüksek hümik madde konsantrasyonlarına sahip sularda (5 ve 10 mg ÇOK/L) hidrojen peroksit ilavesi ile yükselen UV-abs değerleri, UV dozu artışına bağlı olarak belirgin bir şekilde azalmıştır. Hümik maddelerin, sadece UV ışını ile mineralizasyonu için çok uzun temas sürelerine ihtiyaç duyulması nedeni ile bu azalmanın H₂O₂ katkısından dolayı oluşan OH[•] radikallerinin oksitleyici etkisinden kaynaklandığı şüphesizdir. 10⁶ ile 10¹⁰ M⁻¹s⁻¹ hız sabitine sahip olan ve herhangi bir seçim yapmadan organik maddeleri okside eden OH[•] radikallerin redoks potansiyeli 2,8 V'tur (Wang ve ark. 2001). Bu çalışmadaki numunelerin en fazla 5 dakika UV radyasyonuna bırakıldığı göz önüne bulundurulduğunda bu kadar kısa sürede gerçekleşen hümik madde oksidasyonunun ilave edilen hidrojen peroksit sebebi ile meydana geldiği oldukça açıktır.

4.3. UV ve UV/H₂O₂ Dezenfeksiyonu Bulgularının Karşılaştırılması

Yüzeysel sularda bulunan hümik maddeler, UV dezenfeksiyonun verimliliğini engellediği Bölüm 4.1'de belirtilmiştir. Fakat bu olumsuz durum hidrojen peroksit gibi bir kimyasal maddenin suya ilave edilmesi ile giderilebilmektedir.

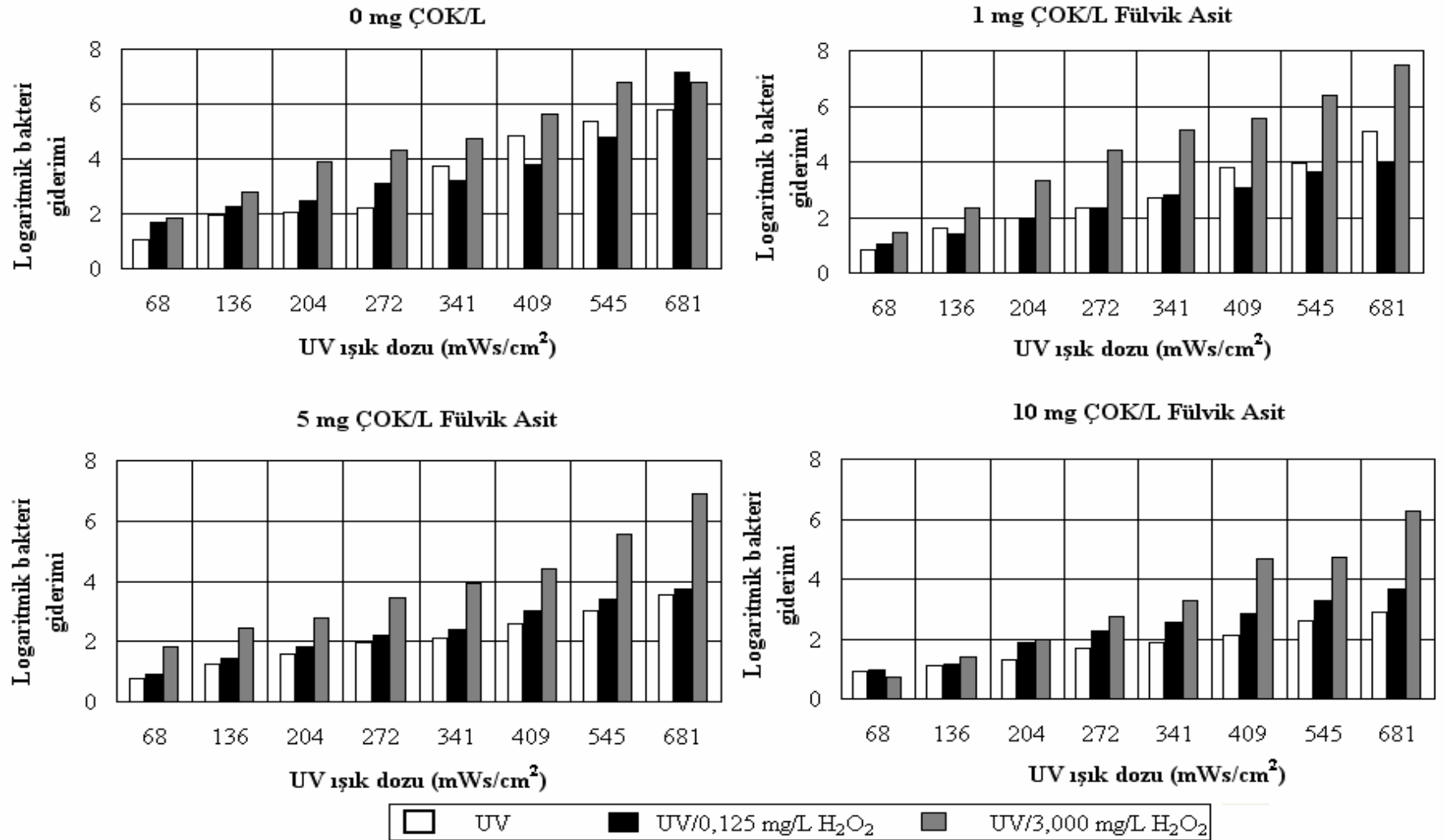
Bu bölümde içerisinde hümik madde bulunan sulara UV ve UV/H₂O₂ dezenfeksiyonu uygulanarak elde edilen bulguların karşılaştırılması yapılmıştır. Bölüm 4.1 ve Bölüm 4.2'de yapılan çalışmalar sonucunda, fülvik asit ve hümik asit içeren sularda benzer sonuçlar bulunduğundan, bu bölümde sadece fülvik asitlerle yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

İçerisinde toplam koliform ve 1, 5 ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonunda fülvik asit içeren ve içerisinde fülvik asit bulunmayan sulara, UV ve 0,125 mg/L H₂O₂ ilave

edilerek uygulanan UV dezenfeksiyonuna ek olarak, bu çalışmada suya 3,000 mg/L H₂O₂ eklenerek de UV uygulaması yapılmıştır.

UV, UV/0,125 mg/L H₂O₂ ve UV/3,000 mg/L H₂O₂ prosesleri sonucunda elde edilen bulgular Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Şekil 4.12'de de görüldüğü gibi, UV ışık dozundaki artış her üç deney şartlarında da bakteri gideriminin artmasına neden olmuştur. Hümik madde içermeyen numunede (0 mg ÇOK/L), UV ışık dozunun 68 mWs/cm²'den 681 mWs/cm²'ye çıkışı ile birlikte, logaritmik bakteri giderimi de 1-2 log'dan 6-7 log'a kadar çıkmıştır. Bu artış her üç dezenfeksiyon prosesi için de gerçekleşmiş olsa da, en çok UV/3,000 mg/L H₂O₂ dezenfeksiyonunda meydana gelmiştir. UV/3,000 mg/L H₂O₂ prosesince elde edilen bu farklılık, sudaki fülvik asit konsantrasyonunun artmasıyla birlikte daha belirginleşmiştir.

10 mg ÇOK/L fülvik asit içeren su numunesi dışındaki örneklerde, UV ve UV/0,125 mg/L H₂O₂ prosesleri ile elde edilen sonuçlar, birbirleri ile kıyaslanabilir değerlerdedir. Genellikle UV/0,125 mg/L H₂O₂ prosesi ile elde edilen bakteri giderimi, UV dezenfeksiyonu ile bulunan bakteri giderimine göre 0,5 log daha fazladır. Fakat 3,000 mg/L hidrojen peroksitin suya eklenmesiyle birlikte çok daha fazla bakteri giderimi elde edilmiştir. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda fülvik asit içeren sularda, UV/3,000 mg/L H₂O₂ dezenfeksiyonu ile UV ve UV/0,125 mg/L H₂O₂ dezenfeksiyonuna göre yaklaşık 1-3 log daha fazla bakteri giderimi tespit edilmiştir. UV/3,000 mg/L H₂O₂ dezenfeksiyonu ile bulunan en yüksek bakteri giderimi 7 log iken, UV ve UV/0,125 mg/L H₂O₂ proseslerinde bu değer en fazla 5 log'dur (Şekil 4.12).



Şekil 4. 12. UV, UV/0,125 mg/L H₂O₂ ve UV/3,000 mg/L H₂O₂ Dezenfeksiyonları ile Elde Edilen Bakteri Giderimlerinin Karşılaştırılması

Uygulanan bu üç prosesin dezenfeksiyondaki verimlilikleri, inaktivasyon katsayılarına (k) göre de karşılaştırılabilir. k değerleri, Modifiye edilmiş Chick-Watson (Hassen ve ark. 2000) Model'ine göre belirlenmiştir. Farklı fülvik asit konsantrasyonları içeren suların, üç dezenfeksiyon prosesi sonucunda elde edilen k ve R^2 değerleri Şekil 4.13.a (0 mg ÇOK/L ve 1 mg ÇOK/L Fülvik Asit) ve Şekil 4.13.b (5 mg ÇOK/L ve 10 mg ÇOK/L Fülvik Asit)'de gösterilmektedir.

Şekil 4.14'de; hem üç dezenfeksiyon prosesi karşılaştırılmakta hem de bakteri inaktivasyonunda fülvik asitlerin etkisi gösterilmektedir. Bu şekle göre hümik karakterde olmayan su numunesinin k değeri ile, fülvik asit içeren su örneklerinin k değerleri karşılaştırıldığında, bakteri inaktivasyonunun fülvik asit konsantrasyonunun artışı ile azaldığı açıktır. UV ve UV/0,125 mg/L H₂O₂ dezenfeksiyonları sonucunda belirlenen k değerleri birbirlerinden çok farklı değildir. Ancak UV dezenfeksiyonu sırasında suya eklenen hidrojen peroksit konsantrasyonunun 3,000 mg/L'ye yükseltilmesi ile birlikte k değerleri artmaya başlamıştır. Hümik madde içermeyen ve 10 mg ÇOK/L konsantrasyonunda fülvik asit içeren su numuneleri için, UV/3,000 mg/L H₂O₂ dezenfeksiyonu ile elde edilen inaktivasyon katsayısı, sadece UV dezenfeksiyonu uygulaması sonucu bulunan inaktivasyon katsayısından sırasıyla 1,44 ve 1,96 kat daha fazladır. Üç dezenfeksiyon prosesi sonucunda tespit edilen inaktivasyon katsayılarının büyükten küçüğe sıralanışı aşağıda yer almaktadır:

$$k_3 = 0.0322 > k_2 = 0.0232 > k_1 = 0.0224 \quad (\text{fülvik asit konsantrasyonu} = 0 \text{ mg ÇOK/L})$$

$$k_3 = 0.0314 > k_1 = 0.0189 > k_2 = 0.0160 \quad (\text{fülvik asit konsantrasyonu} = 1 \text{ mg ÇOK/L})$$

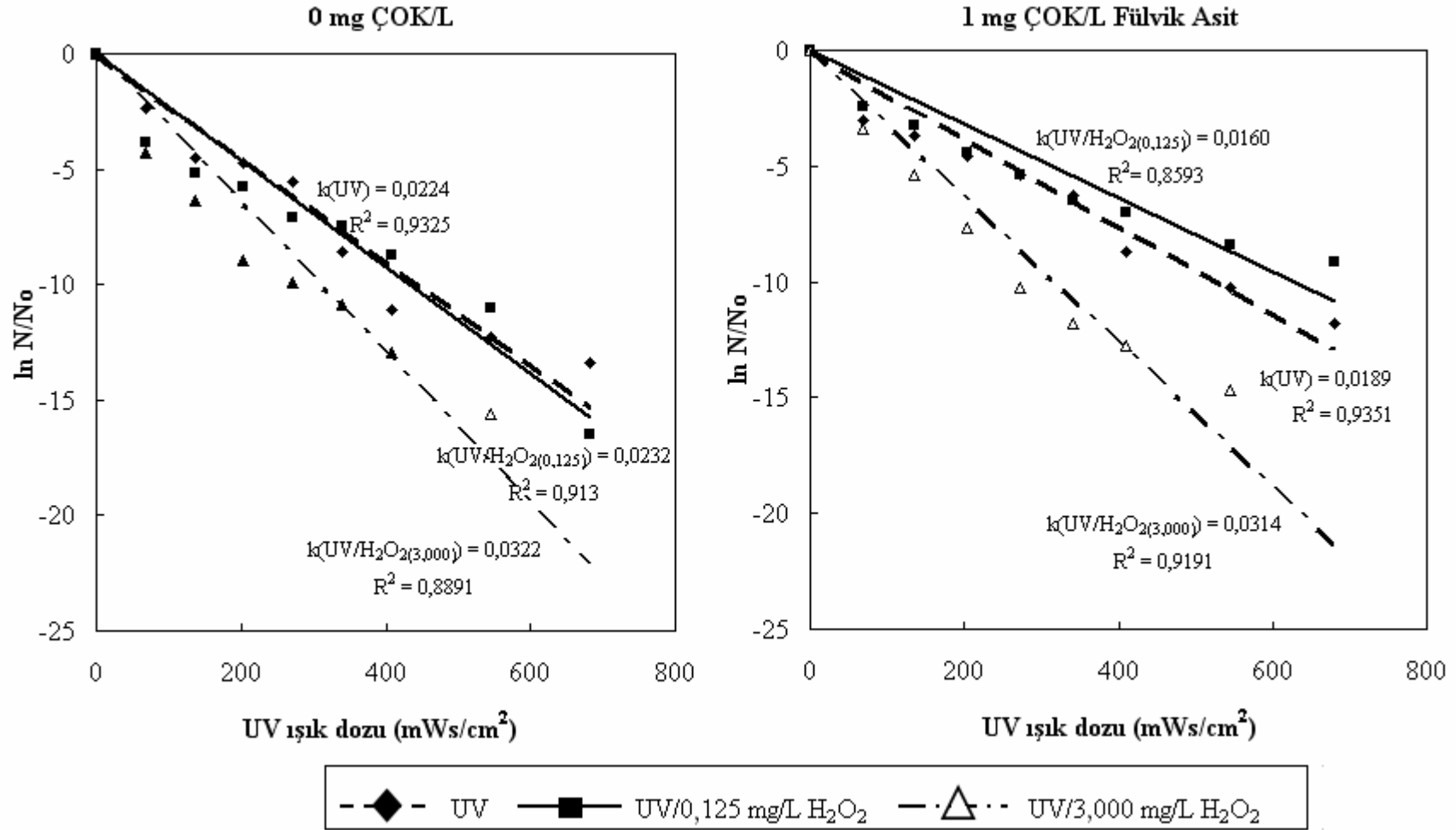
$$k_3 = 0.0260 > k_2 = 0.0150 > k_1 = 0.0135 \quad (\text{fülvik asit konsantrasyonu} = 5 \text{ mg ÇOK/L})$$

$$k_3 = 0.0224 > k_2 = 0.0147 > k_1 = 0.0114 \quad (\text{fülvik asit konsantrasyonu} = 10 \text{ mg ÇOK/L})$$

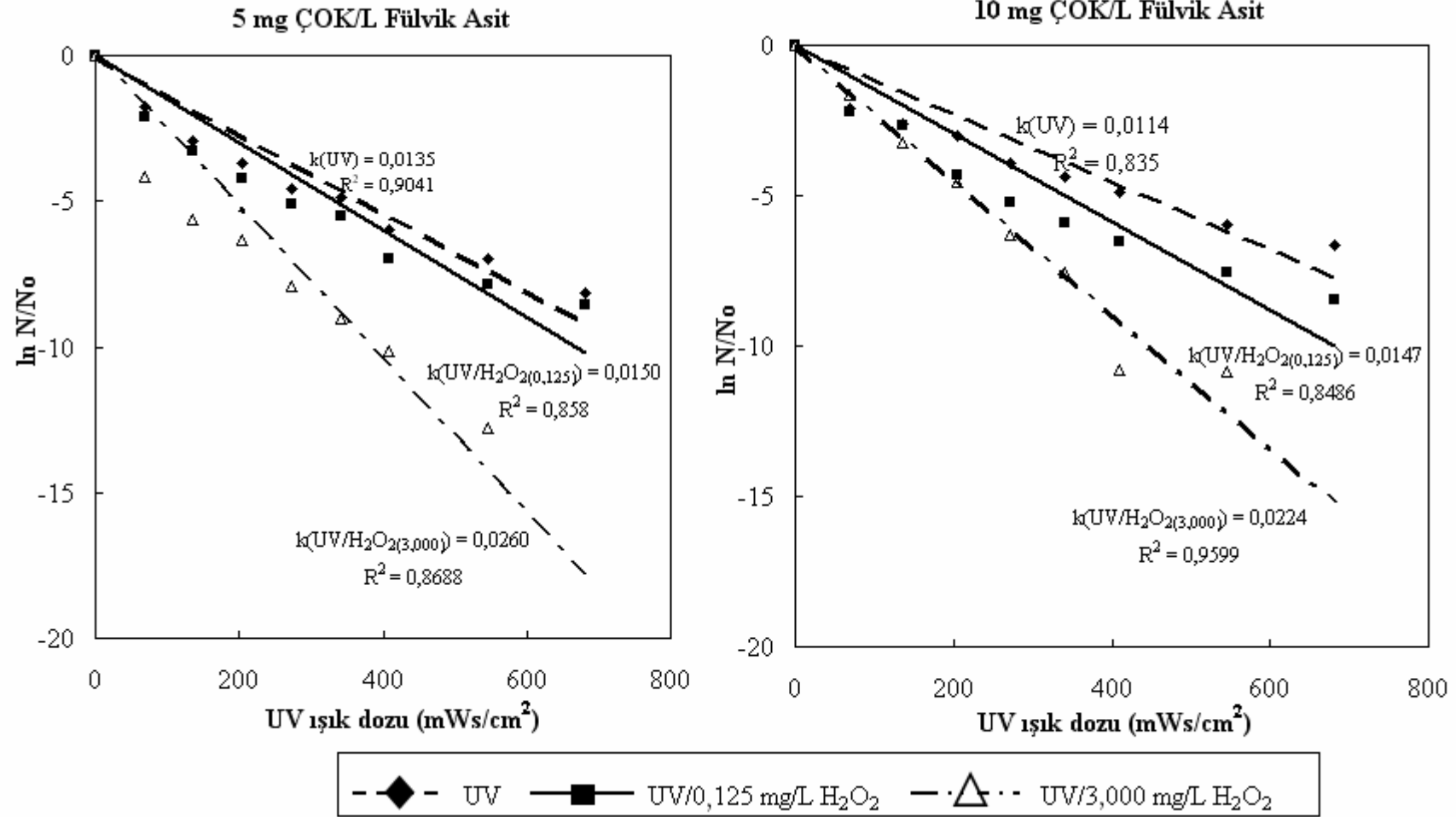
k_1 : UV prosesi inaktivasyon katsayısı

k_2 : UV/H₂O₂(0,125) prosesi inaktivasyon katsayısı

k_3 : UV/H₂O₂(3,000) prosesi inaktivasyon katsayısı

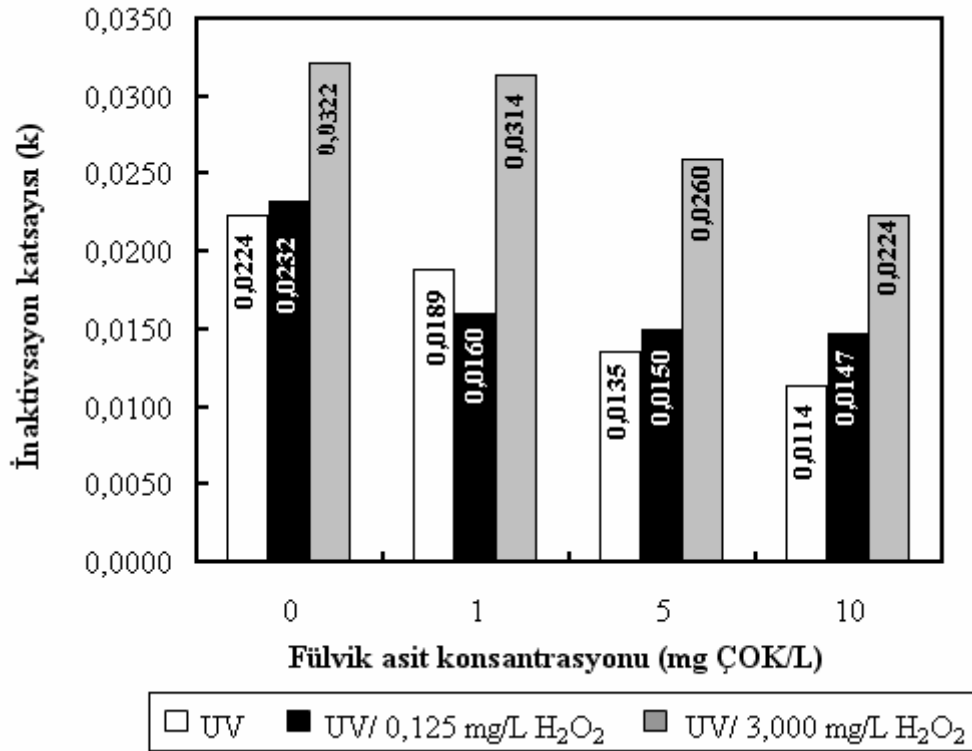


Şekil 4. 13.(a). 0 ve 1 mg ÇOK/L Konsantrasyonunda Fülvik Asit İçeren Sularda UV, UV/0,125 mg/L H₂O₂ ve UV/3,000 mg/L H₂O₂ Dezenfeksiyon Prosesleri Sonucunda Belirlenen İnaktivasyon Katsayısı Değerleri



Şekil 4. 13.(b). 5 ve 10 mg ÇOK/L Konsantrasyonunda Fülvik Asit İçeren Sularda UV, UV/0,125 mg/L H₂O₂ ve UV/3,000 mg/L H₂O₂ Dezenfeksiyon Prosesleri Sonucunda Belirlenen İnaktivasyon Katsayısı Değerleri

3,000 mg/L H₂O₂ ilave edilerek gerçekleştirilen UV dezenfeksiyonu ile elde edilen *k* değerleri incelendiğinde, 0 ve 1 mg ÇOK/L konsantrasyonlarındaki *k* değerlerinin birbirinden çok farklı olmadığı ancak fülvik asit konsantrasyonunun artmasıyla birlikte inaktivasyon katsayılarının azalmaya başladığı tespit edilmiştir. Bu durum ise, UV/3,000 mg/L H₂O₂ dezenfeksiyonuna, fülvik asitlerin yüksek konsantrasyonlar oldukları zaman, olumsuz etki yapabildiklerini ortaya koymaktadır. Buradan da; içme suyu uygulamalarında en çok karşılaşılan hümik madde konsantrasyonlarının (0,4-2,0 mg ÇOK/L gibi), 3,000 mg/L hidrojen peroksit ilave edilerek gerçekleştirilen UV dezenfeksiyonu prosesi üzerinde, fazla etkili olmadıkları sonucu çıkarılabilir.



Şekil 4. 14. Farklı Konsantrasyonlarda Fülvik Asit İçeren Suların UV, UV/0,125 mg/L H₂O₂ ve UV/3,000 mg/L H₂O₂ Dezenfeksiyonu Sonrasında Bulunan İnaktivasyon Katsayılarının Karşılaştırılması

Elde edilen sonuçlara göre (Şekil 4.14); fülvik asitlerin, UV dezenfeksiyonunda bakterilerin giderimine yaptıkları önleyici etkinin ortadan kaldırılabilmesi için belirli konsantrasyonlarda hidrojen peroksitin suya ilave edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlarla, ışık geçiriminin engellendiği ve bakteri inaktivasyonu için ilave bir mekanizmanın gerektiği yüzeysel hümik suların UV ile dezenfeksiyonunda, hidrojen peroksitin olumlu bir etkisinin olduğu vurgulamaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi, hidrojen peroksitin UV ışığı ile fotolizi sonucunda, oldukça reaktif bir oksidant olan hidroksil radikalleri oluşmaktadır (Backlund 1992, Wang ve ark. 2001, Kruithof ve ark. 2002, Koivunen ve Heinonen-Tanski 2005). Oluşan bu hidroksil radikalleri, ozon ve hidrojen peroksit göre çok daha hızlı reaksiyona girerler (hız sabitleri 10^6 - 10^{10} $M^{-1}s^{-1}$ arasındadır) (Buxton ve Sellers 1987). Hidroksil radikallerinin dezenfeksiyon prosesleri üzerindeki etkisi Şekil 4.14'de açıkça gösterilmektedir. Hidrojen peroksitin ilave edildiği su numunelerinde, UV radyasyonu boyunca oluşan hidroksil radikalleri oldukça yüksek değerlerde inaktivasyon katsayılarının oluşmasını sağlamışlardır. 3,000 mg/L H_2O_2 eklenen suda, 0,125 mg/L H_2O_2 eklenen suya göre çok daha fazla hidroksil radikali oluştuğundan, UV/3,000 mg/L H_2O_2 dezenfeksiyonunda daha yüksek bakteri giderimleri elde edilmiştir. Fakat oluşan hidroksil radikallerinin hem bakteri gideriminde hem de fülvik asit oksidasyonunda kullanılması nedeniyle, fülvik asit konsantrasyonlarının artışı ile birlikte, UV/ H_2O_2 dezenfeksiyonlarındaki bakteri inaktivasyonu da hümik karakterde olmayan sulara göre, azalmaya başlamıştır. İçme sularındaki organik madde oksidasyonun hidroksil radikalleri ile gerçekleştirilebileceğini gösteren birçok çalışma vardır (Hand ve ark.1995, Symons ve Worley 1995). Ayrıca, daha önce de belirtildiği gibi (Bölüm 4.2) birçok araştırmacı hümik madde oksidasyonunun UV/ H_2O_2 prosesi ile yaparak etkili sonuçlar elde etmiştir (Backlund 1992, Wang ve ark. 2000, Wang ve ark 2001; Liao ve ark. 2001). Bu çalışmalardan elde edilen bilgilerle,UV/ H_2O_2 prosesi ile belirlenen bakteri giderimlerinin hem hidroksil radikalleri hem serbest oksijen radikalleri hem de UV radyasyonunun birlikte yaptıkları etki sonucunda elde edilebildiği tespit edilmiştir.

Bu deney çalışması ile, hümik maddelerin, UV dezenfeksiyonuna yaptıkları olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması için 0,125 mg/L H_2O_2 'in suya ilave edilmesinin yeterliği olmadığı ancak 3,000 mg/L H_2O_2 'nin suya eklenmesi ile birlikte hümik maddelerin sularda oluştuğu negatif etkinin yok edilebileceği bulunmuştur. Bölüm 4.2'de de belirtildiği gibi hidrojen peroksit suda sadece dezenfeksiyonda ilave bakteri giderimi sağlamakla kalmamakta ayrıca suyun UV-abs değerinin de düşmesine neden olmaktadır. Ancak daha fazla bakteri giderimi için yapılacak yüksek

konsantrasyonlardaki hidrojen peroksit ilavesi düşünöldüğü gibi bir etki yapmayabilir. Backlund (1992), yaptığı çalışmasında belirli bir noktadan sonra yapılacak H₂O₂ ilavesinin, suyun ÇOK içeriğinde ve UV-abs'ında herhangi bir değişiklik yaratmadığını bulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile, hümik karakterdeki yüzeysel suların dezenfeksiyonunda, yeterli konsantrasyonlarda H₂O₂ ilavesi ile gerçekleştirilen UV radyasyonunun etkili bir metot olduğu bulunmuştur. Bu sonuca göre, UV dezenfeksiyonun verimini arttırmak için UV lambasının gücünü fazlalaştırmak yerine suya hidrojen peroksit ilave etmek, prosesin maliyeti açısından da olumlu bir durum yaratabilir. Koivunen ve Heinonen-Tanski (2005), iki dezenfeksiyon prosesinin, bir dezenfeksiyon prosesine göre çok daha fazla bakteri giderimi sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır. Çünkü bazı mikroorganizmalar UV radyasyonuna karşı dirençli olurken, kimyasal dezenfektanlara karşı oldukça duyarlı olabilmektedirler.

UV dezenfeksiyonunun en önemli avantajı, suda kanserojenik yan ürünler (THM vb.) ve diğer kimyasal kalıntılar oluşturmadan etkili bir dezenfeksiyon sağlamasıdır. Fakat bu avantaj; dağıtım şebekesine suyun verilmesi ile birlikte dezavantaja dönüşebilir. Organik madde içeren suların UV ile dezenfeksiyonu sonunda, suda yaşamlarını devam ettirebilen mikroorganizmalar yüksek nutrient içerikli ortamda üremeye devam ederler. Bu durum, yapılan bu tez çalışmasında, hümik madde içeren suların sadece UV ile dezenfekte edildiği deneylerde görölmüştür (Bölüm 4.1- Şekil 4.5.(a) ve 4.5.(b)).

Fakat; hem 0,125 mg/L H₂O₂ hem de 3,000 mg/L H₂O₂ eklenerek yapılan UV prosesinin ardından gerçekleştirilen 24 saatlik karanlık inkübasyon sonucunda numunelerde, toplam koliform bakterilerine rastlanmamıştır. Bu da; suda hümik madde bulunmasına rağmen, hidrojen peroksit ilave edilerek yapılacak UV dezenfeksiyonunun ardından suda bakteriyel bir çoğalmanın olmayacağını göstermektedir. Bunun ise suda kalan hidrojen peroksit kalıntısından ve radikallerden kaynaklandığı sanılmaktadır. Fakat burada mikroorganizmaların ölümünden sorumlu olan radikal türünün, dezenfeksiyonu gerçekleştiren hidroksil radikalleri olmadığı düşünölmektedir. Çünkü hidroksil radikalleri oldukça kısa (10⁻⁹ sn) yarılanma sürelerine sahip olduklarından, inkübasyon süresinde suda bulunamazlar(Lund ve Hongve 1994, Drogui ve ark. 2001). Kısaca; UV ve 0,125 mg/L ve 3,000 mg/L hidrojen peroksit ilave edilerek yapılan

dezenfeksiyon proseslerinden elde edilen sonuçlar; hidrojen peroksitin düşük konsantrasyonlarda olsa bile, hümik karakterdeki suların UV ile dezenfeksiyonun ardından, dağıtım şebekesinde yaşanacak bakteriyel büyümeyi engelleyebildiğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR

1. Yapılan bu çalışma ile hümik maddelerin UV ve UV/H₂O₂ dezenfeksiyonundaki önemi ortaya konmuştur.
2. UV dezenfeksiyonu uygulanan çalışmada, hümik maddelerin suya ilave edilmesi ile birlikte, UV ışını hümik maddelerce absorbe edilerek UV radyasyonunun bakteriler üzerindeki öldürücü etkisi azalmaya başlamıştır. Bu çalışmadaki sonuçlar; bakteri inaktivasyonunun, UV dozundan olduğu kadar hümik madde konsantrasyonundan da etkilendiğini göstermiştir. Hümik madde konsantrasyonundaki artış, UV radyasyonunun bakterileri inaktive etmedeki gücünü önemli miktarlarda azaltmaktadır.
3. UV dozunun ve hümik madde konsantrasyonunun artması, hümik maddelerin UV dezenfeksiyondaki etkisini daha fazla açığa çıkartmıştır. UV dozunun 68 mWs/cm²'den 681 mWs/cm²'ye çıkartılması ile birlikte, UV dezenfeksiyonun verimliliği de hümik madde içermeyen suda 5 log artarken, içerisinde yüksek konsantrasyonlarda hümik madde içeren sularda ise sadece 2 log artmıştır. Hümik madde içermeyen su numunesinde belirlenen inaktivasyon katsayısı da, 10 mg ÇOK/L konsantrasyonunda hümik madde içeren numunede elde edilen inaktivasyon katsayısının yaklaşık 2 katı kadardır.
4. UV dezenfeksiyonu uygulaması sonrasında; hümik madde içermeyen su numunesinde, karanlık inkübasyon sonucu bakterilerde azalma meydana gelirken, hümik madde içeren sularda yüksek miktarlarda sonradan çoğalmanın meydana gelmesi, hümik maddelerin sularda nütrient etkisi yarattığını göstermektedir.
5. Hümik asitlere göre daha düşük moleküler ağırlığa sahip olması nedeniyle bakterilerce daha kolay kullanılabilen fülvik asitlerin bulunduğu numunelerde, karanlık inkübasyon sonucu hümik asitlere nazaran daha fazla sonradan çoğalma meydana gelmiştir.
6. Bu durumda, içme suyu amaçlı kullanılacak suların UV ile dezenfeksiyonunda, eğer suda hümik madde bulunuyorsa dağıtım şebekesinde sonradan çoğalma problemi yaşanması muhtemeldir.
7. Hümik madde içeren içme suların, UV ile dezenfeksiyonu sırasında dezenfeksiyon verimliliğindeki düşüş, prosesin kullanımını güçleştirmektedir.

Bu problemin ortadan kaldırılması için UV lambasının gücü arttırılabilmektedir. Fakat bu durum prosesin maliyetini yükseltebilmektedir. Bu yüzden; UV dezenfeksiyonu sırasında ikinci bir kimyasalın kullanılması, verimliliği arttırırken, maliyeti de azaltabilmektedir.

8. Hem UV dezenfeksiyonunda, hem de 0,125 mg/L hidrojen peroksit ilave edilerek yapılan UV dezenfeksiyonunda elde edilen sonuçlar, hümik maddelerin iki ana fraksiyonu olan hümik ve fülvik asitlerin, dezenfeksiyona yaptıkları etkilerin aynı olduğunu ortaya koymaktadır.
9. Çalışmada elde edilen sonuçlar, UV/H₂O₂ dezenfeksiyonuna; hidrojen peroksitin olumlu, hümik maddelerin ise olumsuz etkiler yaptığını göstermektedir.
10. UV dezenfeksiyonu çalışmasında elde edilen sonuçlarla benzer şekilde; UV/H₂O₂ prosesinde de hümik madde konsantrasyonunun artışıyla birlikte bakteri inaktivasyonu da azalmaktadır. Fakat; belirli konsantrasyonlarda hidrojen peroksitin suya ilave edilmesi ile birlikte; hümik maddelerin UV dezenfeksiyonunda neden oldukları etkiler azalmaya başlamıştır.
11. İçme suyu uygulamalarında en çok karşılaşılan hümik madde konsantrasyonlarının (0,4-2,0 mg ÇOK/L gibi), 3,000 mg/L hidrojen peroksit ilave edilerek gerçekleştirilen UV dezenfeksiyonu prosesi üzerinde, fazla etkili olmadıkları bulunmuştur.
12. Tek başına verimli bir dezenfeksiyon sağlayabilmesi için yüksek konsantrasyonlar ve uzun temas süreleri gerektiren hidrojen peroksitin, hümik madde içeren suların, UV ışını ile dezenfeksiyonu sırasında suya ilave edilmesi, hem dezenfeksiyon verimliliğini arttırmakta hem de UV dezenfeksiyonundan sonra suda yeniden çoğalmayı önleyen kalıcılık etkisi yaratmaktadır.
13. UV/H₂O₂ uygulamasının, gerek etkin bakteri giderimi sağlaması gerekse kısa temas sürelerinde bile hidroksil radikalleri yardımıyla hümik asitleri okside etmesi bu prosesin ön dezenfeksiyonda kullanımını cazip hale getirmektedir. Böylelikle klorlama sonrasında meydana gelebilecek kanserojenik dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu kontrol altına alınabilecektir.
14. UV/H₂O₂'nin ideal bir dezenfeksiyon yöntemi olmasına karşın bu çalışma süresince yapılan literatür araştırmalarında, bu dezenfeksiyon prosesi ile çok

fazla kaynak tespit edilememiştir. Ancak bu proses daha fazla araştırılması gereken bir dezenfeksiyon yöntemidir.

15. UV dezenfeksiyonuna hidrojen peroksit gibi birçok kimyasal ilave edilerek de (PAA gibi) dezenfeksiyon verimine birlikte yaptıkları olumlu etkiler incelenebilir.

- Bu yüksek lisans tez çalışmasından elde edilen veriler ile üç adet bilimsel makale yayımlanmıştır(Alkan ve ark. 2006, Alkan ve ark. 2007a, Alkan ve ark. 2007b).

KAYNAKLAR

ADEDAPO, R., Y. 2005. Disinfection By-Product Formation in Drinking Water Treated with Chlorine Following UV Photolysis & UV/H₂O₂. Master Thesis, Waterloo, Ontario, Canada, 235 p.

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/H₂O₂ System for Wastewater Reclamation and Reuse. *Wat. Sci. and Tech.* 5, 1, 51-57.

ALAM MZB., OTAKI, M., FURUMAI, H., OHGAKI, S. 2000. Direct and Indirect Inactivation of *Microcystis aeruginosa* by UV-Radiation. *Wat. Res.* 35, 4, 1008-1014.

ALKAN, U., TEKSOY, A., ATEŞLİ, A., BAŞKAYA, H. S. 2006. Influence of Humic Substances on the Disinfection of Surface Waters. *Water and Environmental Journal*, Baskıda.

ALKAN, U., TEKSOY, A., ATEŞLİ, A., BAŞKAYA, H. S. 2007a. Efficiency of the UV/H₂O₂ Process for the Disinfection of Humic Surface Waters. *J. Environmental Science and Health. Part A.* Baskıda, Vol, A 42.

ALKAN, U., TEKSOY, A., ATEŞLİ, A. 2007b. Hümik Madde İçeren Yüzeysel Suların UV/H₂O₂ ile Dezenfeksiyonu. *Ekoloji.* Baskıda.

ANONİM 2000. Properties of Humic Substances.

<http://www.ar.wroc.pl/~weber/kwasy2.htm>

ANONİM 2001b. Hydrogen Peroxide Human Health Effects. Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) Report. Brussels.

ANONİM 2003. Ultraviolet Disinfection. Edstrom Industries. Waterford, Wisconsin.

ANONİM, 1998. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition, American Public Health Association, (APHA) Washington D.C.

ANONİM. 2001a. Use of Ultraviolet Light for Disinfection of Drinking Water. Demonstration Project Summary. Small Systems Technical Assistance Center of Montana University. Montana, USA.

ANONİM. 2002. www.arbiol.org/ultraviyole.php.

ANONİM. 2004. Evaluation of ultraviolet (UV) radiation disinfection technologies for wastewater treatment plant effluent. Report 04-07, URS Corporation, Buffalo NY, USA.

ANONİM. 2005. <http://www.lenntech.com/water-disinfection/disinfectants-hydrogen-peroxide.htm>

BACKLUND, P. 1992. Degradation of Aquatic Humic Material by Ultraviolet Light. Chemosphere 25, 12, 1869-1878.

BAŞKAYA, H.S. 1975. Untersuchungen Über die Organischen Stoffe in Türkischen Teeböden sowie Deutschen Basalt- und Lockerbraunerden. Göttinger Bodenkundliche Berichte 37, 1-182.

BAYLISS, C.,E., WAITES, W.M. 1979. The Combined Effect of Hidrogen Peroxide and Ultraviolet Irradiation on Bacterial Spores. J.Appl.Bacteriol, 47, 263-269.

BAYLISS, C.,E., WAITES, W.M. 1980. The Effect of Hidrogen Peroxide and Ultraviolet Irradiation on Nonsporing Bacteria. J.Appl.Bacteriol, 48, 417-422.

BLATCHEY, E., R., DUMOUTIER, N., HALABY, T., N., LEVI, Y., LAINE, J., M. 2001. Bacterial responses to ultraviolet irradiation. Water Science and Technology, 43(10), 179-186.

BOLTO, B., DIXON, D., ELDRIDGE, R. 2004. Ion exchange for the removal of natural organic matter. *Reactive and Functional Polymers*, 60, 171-182.

CAIRNS, W.L. 1993. Comparing Disinfection by Ultraviolet Light and Chlorination-The Implications of Mechanism for Practice. Proceeding of The WEF Specialty Conference on Planning, Design and Operations of Effluent Disinfection Systems, Water Environment Federation, Alexandria, Virginia, 555-566 p.

CAIRNS, W.L. 1994. Ultraviolet technology for water supply treatment. 20th Annual Convention and Exhibition, Water Quality Association, Phoenix, Arizona, USA.

CAMPBELL, A.,T. 1995. Inactivation of Oocysts of *Cryptosporidium parvum* by Ultraviolet Radiation. *Water Res.*, 29(11), 2583.

CAMPER, A.,K. 2003. Involvement of humic substances in Regrowth. *Int. J. Food Microbiology*, 92(3), 355-364.

CARETTI, C., LUPELLO, C. 2003. Wastewater Disinfection with PAA and UV Combined Treatment: a Pilot Plant Study. *Water Research*, 37, 2365-2371.

CHANG, J.,C.,H., OSSOFF, S.,F., LOBE, D.,C., DORFMAN,H.,M., DUMAIS, C.,M., QUALLS, R.,G., JOHNSON, J.,D. 1985. UV Inactivation of Pathogenic and Indicator Microorganisms. *App. and Env. Microbiology*, 49(6), 1361-1369.

CORIN, N., BACKLUND, P., KULOVAARA, M. 1996. Degradation Products Formed During UV-Irradiation of Humic Waters. *Chemosphere* 33, 2, 245-255.

CORIN, N., BACKLUND, P., WIKLUND, T. 1998. Bacterial growth in humic waters exposed to UV-radiation and simulated sunlight. *Chemosphere*, 36(9), 1947-1958.

CRAIK, S., A., FINCH, G., R., BOLTON, J., R., BELOSEVIC, M. 2000, *Water Res.*, 34, 4325.

CSUROS M., CSUROS C.,1999. Microbiological Examination of Water and Wastewater.Lewis Publishers, Florida, USA.

DEMERS, L.D., RENNER, R.C. 1992. Alternative Disinfection Technologies for Small Systems. AWWARF.

DROGUI, P., ELMALEH, S., RUMEL, M., BERNARD, C., RAMBAUD, A. 2001. Oxidising and Disinfecting by Hydrogen Peroxide Produced in a Two-Electrod Cell. Wat. Res., 35,13, 3235-3241.

ERENLER, H. 1996. UV Işınlarının Koliform Bakteri Üzerindeki İnaktivasyon ve Fotoreaktivasyon Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, s. 1-72.

EROĞLU, V. 1995. Su Tasfiyesi, İTÜ, İstanbul, s. 7-10-245-258,

FANTEL, A.G. 1996.Reactive oxygen species in developmental toxicity: Review and hypothesis. Teratology, 53 (3), 196-217.

FUJIKOWA, H., KAI, A., MOROZUMI, S. 2004. A New Logistic Model for *Escherichia coli* Growth at Constant and Dynamic Temperatures. Food Microbiology 21, 501-509.

GUNTEN,U.V., DRIEDGER,A., GALLARD,H., SALHI,E. 2000. By-Products Formation During Drinking Water Disinfection: A Tool To Assess Disinfection Efficiency, EAWAG, Swiss Federal Istitue for Enviromental Science and Tecnology, CH-8600 Dübendorf, Switzerland.

HAND, D., W., PERRAM, D., L., CRITTENDEN, J., C. 1995. Destruction of DBP Precursors with Catalytic-Oxidation. J. Am. Water Work Assn. 87 (6): 84-96.

HASSEN, A., MAHROUK, M., OUZARI, H., CHERIF, M., BOUDABOUS, A., DAMELINCOURT, 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.

KARANIS, P. 1992. UV Sensitivity of Protozoan Parasites. *J. Water Supply Res. Technol. Aqua.* 41(2), 95.

KESTİOĞLU K. 2001. Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri, Uludağ Üniversitesi, ISBN 975-564-114-9, Bursa, sf 261-266.

KHAN S.U., SCNITZER M., 1978. *Soil Organic Matter*, Elsevier Science Publications, Amsterdam, 368-372 p.

KOIVUNEN, J., TANSKI, H-T. 2005. Inactivation of Enteric Microorganisms with Chemical Disinfectants, UV Irradiation and Combined Chemical/UV Treatments, *Wat. Res.* 39, 1519-1526.

KRUIHOF, J., C., KAMP, P., C., BELOSEVIC, M. 2002. UV/H₂O₂ Treatment : The Ultimate Solution for Pesticide Control and Disinfection. *Water Supply* 2, 1, 113-122.

LAZARAVA, V., SAVOYE, P., JANEX, M.L., BLATCHLEY III, E.R. 1999. Examination and Characterization of Distribution System Biofilms. *Appl. Environ. Microbiology*, 53 (12), 2714-2724.

LEHTOLA, M.J, MIETTİEN, I.T., VARTIAINEN P.,R., HIRNOVEN, A., MARTIKAINEN, P.J. 2003. Impact of Disinfection on Microbially Available Phosphorus, Organic Carbon and Microbial Growth in Drinking Water. *Wat. Res.* 37, 1064-1070.

LIAO, C., H., LU, M., C., SU, S., H., 2001. Role of cupric ions in the H₂O₂/UV oxidation of humic acids. *Chemosphere*, 44 (5) 913-919.

LINDENAUER, K.,G., DARBY, J., L. 1994. Ultraviolet disinfection of wastewater: Effect of dose on subsequent reactivation. *Water Research*, 28, 805-817.

LUND, E. 1963. Significance of Oxidation in Chemical Inactivation of Poliovirus, *Arch. Gesamite Virusforsch*, 12, 648.

LUND,V., HONGVE, D. 1994. Ultraviolet Irradiated Water Containing Humic Substances Inhibits Bacterial Metabolism. *Wat. Res.* 28, 5, 1111-1116.

LUPELLO, C., CARETTI, C., GORI, R. 2002. Comparison Between PAA/UV and H₂O₂/UV Disinfection for Wastewater Reuse. *Water Science and Techonology: Water Supply*, 2, 1, 205-212.

MENG, Q.,S., GERBA, C., P. 1996. Comparative Inactivation of Enteric Adenoviruses, Poliovirus and Coliphages by Ultraviolet Irradiation .*Water Res.*, 30, 2665-2668.

MENTEL, R., SCHMIDT, J. 1973. Investigations of Rhinoviruse Inactivation by Hidrogen Peroxide, *Acta Virol*, 17, 351.

MERİÇ, S., TOPACIK, D., 1996. Arıtma Tesisi Çıkış Sularının UV ile Dezenfeksiyonu, I.Uludağ Üniversitesi Sempozyumu, s.153-154, Bursa.

METCALF & EDDY, 1991. *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse*, p. 324-352

MOLT, E.,L., 1978. İçme Suyu Arıtılmasında Birim İşlemler, Çeviren: Vahap BALMAN, Ankara , s 50-67

NIEUWSTAD, T., J., HAVALAAR, A., H. 1994. *J. Environ. Sci. Health*, 29, 1993-2007.

PURER Y., EYLAN,E., 1968. Disinfection of Water by Hydroxen Peroxide, Health Lab. Sci.,5.

RAUPRICH, P., WALTER, G., JARSTRAND, C., ROBERTSON B., HERTING, E., 2004. Influence of Modified Natural and Synthetic Surfactant Preparations on Bacterial Killing by Polymorphonuclear Leucocytes, Immunobiology 209, 609-617.

RINCON, A., G., PULGARIN, C., ADLER, N., PERINGER, P. 2001. Interaction Between *E. coli* Inactivation and DPB - Precursors- Dihydroxybenzene Isomers- in the Photocatalytic Process of Drinking-Water Disinfection with TiO₂. J. Photochemistry and Photobiology, A: Chemistry 139, 233-241.

SHAW, J.,P., MALLEY, P.,M., Jr, WILLOUGHBY,S.,A., 2000.Effects of UV Irradiation on Organic Matter. Journal of AWWA 92, 4, 157-167.

SINGER, P.C. 1999. Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water. AWWA, ISBN 0-89867-998-2, USA, p. 66-67.

SLADE, J.N., HARRIS, N.R., CHISHOLM, R.,G. 1986. Disinfection of Resistant Enteroviruses in Ground Water by Ultraviolet Radiation. Water Sci.Techology, 189(10), 115-123.

SNICER, G., A., MALLEY, J., P., MORGOLIN, A., B., HOGAN, S., P., 1998. UV Inactivation of Viruses in Natural Waters; AWWA Research Foundation & AWWA: Denver, CO.

SNIDER, K.E., DARBY, J.L, TCHOBANOGLOUS G., 1991. Evaluation of Ultraviole Disinfection For Wastewater Reuse Applications in California. Department of Civil Enginnering, University of California, Davis.

SYMONS, J., M., WORLEY, K., L. 1995. An Advanced Oxidation Process for DBP Control. J. Am. Water Work Assn. 87 (11): 66-75.

TRANVIK, L., J., BERTILSSON, S. 2001. Contrasting Effects of Solar UV Radiation on Dissolved Organic Sources for Bacterial Growth. *Ecology Letters*, 4, 458-463.

TÜNAY,O., 1996. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, p 53-79.

USEPA 1999. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, Office of Water, 815-R-99-014.

USEPA 2001. Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Drinking Water. Office of Research and Development, Washington DC 20460

WAGENET, L. 1993. Ultraviolet Radiation for Disinfecting Household Drinking Water. Water Treatment Notes, Fact Sheet, www.counties.cce.cornell.edu/onondaga/document/pdf/envi/UV%20Treatment

WANG, G., S. ,HSIEH, S., T., HONG, C., S. 2000. Destruction of Humic Acid in Water by UV Light-Catalyzed Oxidation with Hydrogen Peroxide. *Wat. Res.* 34, 15, 3882-3887.

WANG, G., S., CHEN, H., W, KANG, S., F. 2001. Catalyzed UV Oxidation of Organic Pollutants in Biologically Treated Wastewater Effluents. *The Science of the Total Environment* 277, 87-94.

WILSON, B.R., ROESSLER, P.F., VON DELLEN, E., ABBASZADEGAN, M., GERBA, C.P. 1992. Proceedings AWWA, Water Quality Technology Conference, Toronto, Canada, Kasım 15-19, 219-235.

EKLER

EK 1 : UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları

EK 2 : UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları

HAM SU								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I.Deneme	II.Deneme			I.Deneme	II.Deneme		
0	3,4x10 ⁶	7,8x10 ⁶	0,003	5,77(20,9°C)	1,4x10 ⁶	4,4x10 ⁶	0,012	6,06(25,2°C)
30	3,5x10 ⁵	6,4x10 ⁵	0,003	5,61(22,2°C)	6x10 ⁴	2,9x10 ⁵	0,009	6,12(25,5°C)
60	3,1x10 ⁴	1x10 ⁵	0,002	5,65(22,1°C)	1x10 ⁴	4,5x10 ⁴	0,008	6,12(25,3°C)
90	2,8x10 ⁴	7,6x10 ⁴	0,000	5,65(22,1°C)	1,3x10 ⁴	5,8x10 ⁴	0,009	6,10(25,0°C)
120	7,4x10 ³	5,8x10 ⁴	-	5,65(21,9°C)	2x10 ³	1,27x10 ⁴	0,009	6,07(25,3°C)
150	1,6x10 ²	5,7x10 ³	-	5,65(21,7°C)	1,1x10 ¹	4,3x10 ²	0,010	6,08(25,0°C)
180	2,2x10 ¹	2,6x10 ²	-	5,69(21,6°C)	2	1,4x10 ¹	0,010	6,14(24,9°C)
240	7	7,8x10 ¹	-	5,70(21,6°C)	0	6	0,010	6,20(25,1°C)
300	1	6,4x10 ¹	-	5,70(21,5°C)	0	5	0,009	6,19(24,7°C)

- : UV absorbanansı çok düşük olduğundan belirlenememiştir.

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

0,4 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I.Deneme	II.Deneme			I.Deneme	II.Deneme		
0	1,9x10 ⁷	8x10 ⁶	0,008	5,67(21,6°C)	2x10 ⁷	9,3x10 ⁶	0,006	5,94(25,7°C)
30	8,3x10 ⁵	4,7x10 ⁵	0,006	5,68(23,6°C)	9,3x10 ⁶	2,1x10 ⁶	0,004	5,88(25,3°C)
60	3,75x10 ⁵	7,3x10 ⁵	0,004	5,61(23,3°C)	1,46x10 ⁶	3,9x10 ⁶	0,004	5,85(25,5°C)
90	9,2x10 ⁴	8,45x10 ⁴	0,003	5,60(23,1°C)	4,4x10 ⁵	3,7x10 ⁵	0,004	5,89(25,5°C)
120	5,4x10 ⁴	1,3x10 ⁴	0,003	5,57(23,2°C)	6,85x10 ⁴	2,3x10 ⁴	0,004	5,84(25,6°C)
150	1,4x10 ⁴	3,3x10 ³	0,002	5,44(22,8°C)	3,5x10 ⁴	4,1x10 ³	0,004	5,82(25,4°C)
180	5,4x10 ³	6,65x10 ³	0,002	5,50(22,6°C)	1,17x10 ⁴	1,1x10 ⁴	0,004	5,82(25,4°C)
240	3,2x10 ²	2x10 ¹	0,001	5,61(22,1°C)	4x10 ²	3x10 ¹	0,002	5,90(25,1°C)
300	4,6x10 ¹	2	0,001	5,65(22,2°C)	5,1x10 ¹	0	0,002	6,00(24,8°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

1,1 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	1,4x10 ⁷	1,6x10 ⁶	0,009	5,73(23,9°C)	1,8x10 ⁷	1,7x10 ⁶	0,012	5,49(27,2°C)
30	6x10 ⁵	8,4x10 ⁵	0,009	5,45(24,9°C)	1,1x10 ⁷	9,98x10 ⁵	0,013	5,42(27,2°C)
60	3,5x10 ⁵	3,8x10 ⁴	0,009	5,32(24,8°C)	6x10 ⁶	5,1x10 ⁵	0,009	5,41(27,1°C)
90	9,5x10 ⁴	2,5x10 ⁴	0,009	5,27(25,0°C)	1,3x10 ⁶	3,3x10 ⁵	0,009	5,42(27,1°C)
120	5x10 ⁴	9,1x10 ³	0,009	5,24(24,9°C)	2x10 ⁵	2,07x10 ⁴	0,009	5,42(26,9°C)
150	8,2x10 ³	1,02x10 ⁴	0,008	5,44(24,1°C)	2,4x10 ⁴	3,6x10 ⁴	0,008	5,31(27,9°C)
180	4,5x10 ³	1,32x10 ²	0,007	5,47(24,0°C)	2x10 ⁴	5x10 ²	0,007	5,12(27,7°C)
240	7x10 ²	4,1x10 ²	0,007	5,49(23,8°C)	1,76x10 ³	0	0,007	5,40(27,4°C)
300	6x10 ¹	2,2x10 ¹	0,007	5,52(23,7°C)	9,5x10 ¹	0	0,007	5,40(27,1°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

2,09 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II.Deneme			I. Deneme	II.Deneme		
0	5,8x10 ⁶	1,28x10 ⁶	0,025	5,22(28,1°C)	7,22x10 ⁶	1,52x10 ⁶	0,023	6,33(28,5°C)
30	6,4x10 ⁶	1,9x10 ⁵	0,025	6,00(28,7°C)	2,02x10 ⁸	9,12x10 ⁶	0,022	6,41(28,2°C)
60	4,8x10 ⁵	2,8x10 ⁴	0,025	6,12(28,5°C)	3,58x10 ⁷	8,42x10 ⁶	0,021	6,28(28,2°C)
90	3,5x10 ⁵	1,05x10 ⁴	0,025	6,18(28,3°C)	3,6x10 ⁷	3,13x10 ⁶	0,020	6,11(28,2°C)
120	4,8x10 ⁴	7,35x10 ³	0,025	6,30(28,4°C)	9,6x10 ⁶	1,19x10 ⁵	0,019	6,13(28,4°C)
150	6,2x10 ⁴	3,25x10 ³	0,024	6,33(28,1°C)	4,9x10 ⁶	4,85x10 ⁵	0,021	6,15(28,5°C)
180	2,1x10 ⁴	9,85x10 ²	0,023	6,37(27,3°C)	1,05x10 ⁶	4,45x10 ⁴	0,022	6,26(28,4°C)
240	5,3x10 ³	3,59x10 ²	0,023	6,40(27,1°C)	1,33x10 ⁵	1,224x10 ⁴	0,021	6,20(28,7°C)
300	2,4x10 ²	1,4x10 ²	0,018	6,42(26,5°C)	2,139x10 ³	7x10 ²	0,021	6,32(28,6°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

5,0 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I.Deneme	II.Deneme			I.Deneme	II.Deneme		
0	2,2x10 ⁵	6,5x10 ⁶	0,115	6,73(28,2°C)	3,255x10 ⁶	3,2x10 ⁷	0,111	6,70(28,6°C)
30	1,4x10 ⁴	2,88x10 ⁶	0,116	6,81(28,5°C)	6,38x10 ⁶	4,34x10 ⁶	0,111	6,38(28,2°C)
60	9x10 ³	4,6x10 ⁵	0,115	6,75(28,7°C)	1,244x10 ⁷	5,68x10 ⁷	0,106	6,30(28,2°C)
90	4x10 ³	2,28x10 ⁵	0,114	6,72(26,3°C)	2,456x10 ⁷	8,74x10 ⁷	0,105	6,29(28,1°C)
120	2,5x10 ³	6,4x10 ⁴	0,110	6,60(28,3°C)	5,08x10 ⁶	6,11x10 ⁷	0,106	6,29(28,3°C)
150	1,5x10 ³	5,44x10 ⁴	0,109	6,54(28,1°C)	3,144x10 ⁷	4,9x10 ⁶	0,104	6,30(28,1°C)
180	7,66x10 ²	1,23x10 ⁴	0,109	6,55(27,6°C)	1,44x10 ⁷	2,21x10 ⁶	0,103	6,35(28,1°C)
240	2,85x10 ²	4,24x10 ³	0,110	6,55(28,2°C)	7,67x10 ⁶	1,51x10 ⁶	0,102	6,37(28,1°C)
300	3,7x10 ¹	3,15x10 ³	0,110	6,56(27,2°C)	1,65x10 ⁵	9,2x10 ⁶	0,100	6,40(28,1°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deneş Sonuçları (Devam)

10,0 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I.Deneme	II.Deneme			I.Deneme	II.Deneme		
0	9,5x10 ⁵	7,9x10 ⁶	0,207	6,36(28,0°C)	1,88x10 ⁷	1,954x10 ⁸	0,215	6,54(29,3°C)
30	1,98x10 ⁵	5,7x10 ⁵	0,207	6,05(28,9°C)	1,148x10 ⁸	2,1x10 ⁸	0,204	6,50(29,2°C)
60	1,2x10 ⁵	3,44x10 ⁵	0,205	6,09(29,0°C)	1,96x10 ⁸	5,15x10 ⁷	0,203	6,40(29,1°C)
90	8,6x10 ⁴	2x10 ⁵	0,205	6,34(28,6°C)	1,184x10 ⁸	3,52x10 ⁷	0,199	6,40(29,3°C)
120	4,15x10 ⁴	7,36x10 ⁴	0,205	6,38(28,4°C)	3,088x10 ⁷	3,2x10 ⁷	0,191	6,40(29,3°C)
150	1,78x10 ⁴	6,84x10 ⁴	0,206	6,41(28,1°C)	3,488x10 ⁷	3,9x10 ⁷	0,192	6,35(29,3°C)
180	1,54x10 ⁴	2,72x10 ⁴	0,206	6,41(27,6°C)	2,712x10 ⁷	3,42x10 ⁷	0,186	6,36(29,3°C)
240	1,02x10 ⁴	5x10 ³	0,205	6,44(27,2°C)	2,68x10 ⁷	4,28x10 ⁶	0,187	6,35(29,3°C)
300	3,03x10 ³	4x10 ³	0,200	6,48(26,8°C)	3,864x10 ⁶	4,725x10 ⁶	0,187	6,35(29,4°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

0,4 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I.Deneme	II.Deneme			I.Deneme	II.Deneme		
0	1x10 ⁷	1,1x10 ⁷	0,011	6,68(21,4°C)	1,5x10 ⁷	1,6x10 ⁷	0,017	6,40(26,1°C)
30	7,6x10 ⁵	4,5x10 ⁵	0,011	6,21(23,6°C)	9,5x10 ⁶	2,7x10 ⁶	0,016	6,31(26,0°C)
60	1,2x10 ⁵	2,65x10 ⁵	0,012	6,30(23,3°C)	9,4x10 ⁶	1,55x10 ⁶	0,016	6,33(26,1°C)
90	5,2x10 ⁴	1,35x10 ⁵	0,012	6,43(23,5°C)	3,5x10 ⁶	9,6x10 ⁵	0,019	6,84(24,9°C)
120	1,2x10 ⁴	3,04x10 ⁴	0,012	6,47(23,4°C)	3,1x10 ⁵	8,8x10 ⁵	0,019	6,91(24,6°C)
150	7,2x10 ³	6x10 ³	0,013	6,51(23,1°C)	7,5x10 ⁴	8,1x10 ⁴	0,018	6,90(24,6°C)
180	6,4x10 ²	9,3x10 ³	0,013	6,55(22,7°C)	1,4x10 ⁴	8,5x10 ⁴	0,018	6,83(24,7°C)
240	5,7x10 ²	2,7x10 ¹	0,013	6,55(23,0°C)	1,2x10 ⁴	6,5x10 ²	0,018	6,87(24,6°C)
300	0	5	0,013	6,53(22,8°C)	0	1,26x10 ²	0,018	6,87(24,4°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

1,1 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform		UV abs	pH (Sıcaklık)	Toplam Koliform		UV abs	pH (Sıcaklık)
(sn)	CFU/100ml				CFU/100ml			
0	1,8x10 ⁷	3,5x10 ⁶	0,028	6,32(21,6°C)	4x10 ⁷	2,1x10 ⁷	0,024	6,14(23,2°C)
30	9,6x10 ⁵	1,1x10 ⁵	0,029	5,34(21,6°C)	3,5x10 ⁶	8,5x10 ⁵	0,029	5,02(24,6°C)
60	5,3x10 ⁵	4,65x10 ⁴	0,028	5,79(21,6°C)	2,2x10 ⁵	2,15x10 ⁵	0,030	5,76(24,0°C)
90	3x10 ⁵	3,1x10 ⁴	0,028	5,91(21,6°C)	3,5x10 ⁵	5,6x10 ⁵	0,030	5,83(24,4°C)
120	6x10 ⁴	4,6x10 ³	0,028	5,95(21,6°C)	1,2x10 ⁵	1,05x10 ⁵	0,029	5,98(23,8°C)
150	5,6x10 ³	3,75x10 ³	0,028	6,02(21,6°C)	5,73x10 ⁴	3,08x10 ⁴	0,030	5,98(24,1°C)
180	9x10 ²	3,65x10 ²	0,028	6,04(21,7°C)	3,93x10 ³	7x10 ³	0,030	5,99(24,4°C)
240	6,9x10 ²	3,2x10 ²	0,029	6,06(21,7°C)	9,4x10 ²	1,3x10 ⁴	0,035	6,03(24,2°C)
300	7,6x10 ¹	3,2x10 ¹	0,030	6,14(21,7°C)	8x10 ¹	4x10 ²	0,035	6,06(24,3°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

1,8 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	1,3x10 ⁶	1,8x10 ⁷	0,056	6,66(22,0°C)	2,7x10 ⁷	6x10 ⁷	0,062	6,59(26,3°C)
30	8,3x10 ⁴	9,4x10 ⁶	0,058	6,42(24,1°C)	3,2x10 ⁷	2,54x10 ⁷	0,056	6,71(25,8°C)
60	6x10 ⁴	7,7x10 ⁵	0,057	6,48(23,6°C)	2x10 ⁷	9,20x10 ⁶	0,053	6,53(25,7°C)
90	3,5x10 ⁴	1,084x10 ⁵	0,057	6,51(23,8°C)	2,4x10 ⁶	7,3x10 ⁶	0,053	6,49(25,7°C)
120	3x10 ⁴	5,65x10 ⁴	0,056	6,50(23,5°C)	1,5x10 ⁶	3,7x10 ⁶	0,052	6,67(25,5°C)
150	1,5x10 ⁴	3,52x10 ⁴	0,056	6,60(23,3°C)	1,5x10 ⁶	3,1x10 ⁶	0,052	6,82(26,0°C)
180	1,3x10 ³	1,4x10 ⁴	0,056	6,61(23,0°C)	2,5x10 ⁴	5,8x10 ⁵	0,053	6,81(25,8°C)
240	3x10 ³	1x10 ⁴	0,055	6,61(22,8°C)	0	9,3x10 ⁴	0,051	6,79(25,8°C)
300	2x10 ²	1,06x10 ³	0,055	6,61(22,4°C)	0	1,3x10 ⁴	0,047	6,98(23,8°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deneş Sonuçları (Devam)

5,0 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I.Deneme	II.Deneme			I.Deneme	II.Deneme		
0	7,7x10 ⁶	5,7x10 ⁵	0,266	6,63(25,0°C)	1,87x10 ⁷	9,95x10 ⁵	0,246	6,21(26,6°C)
30	8,8x10 ⁵	1,49x10 ⁵	0,261	6,78(26,3°C)	1,575x10 ⁷	6,6x10 ⁵	0,252	5,72(26,3°C)
60	5,8x10 ⁵	1,7x10 ⁴	0,261	6,71(26,2°C)	3,975x10 ⁷	1,13x10 ⁶	0,266	5,87(26,4°C)
90	3,12x10 ⁵	2x10 ⁴	0,258	6,68(26,2°C)	1,595x10 ⁷	2,375x10 ⁶	0,258	6,01(26,6°C)
120	8,55x10 ⁴	6x10 ³	0,258	6,62(26,1°C)	6,98x10 ⁶	3,98x10 ⁶	0,252	6,03(26,5°C)
150	8x10 ⁴	2,4x10 ³	0,255	6,62(25,6°C)	7,2x10 ⁵	2,01x10 ⁶	0,248	6,04(26,4°C)
180	3,4x10 ⁴	4,2x10 ²	0,254	6,62(25,1°C)	4,616x10 ⁶	1x10 ⁶	0,263	6,06(26,5°C)
240	3,4x10 ³	5,43x10 ²	0,254	6,57(24,8°C)	4,8x10 ⁵	1,76x10 ⁶	0,250	6,06(26,5°C)
300	1,8x10 ³	3,15x10 ²	0,253	6,58(24,7°C)	2,656x10 ⁵	1,932x10 ⁶	0,245	6,07(26,4°C)

EK 1. UV Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

10,0 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I.Deneme	II.Deneme			I.Deneme	II.Deneme		
0	9,15x10 ⁶	2,92x10 ⁷	0,562	7,15(23,9°C)	3,94x10 ⁷	4,85x10 ⁷	0,555	6,71(26,6°C)
30	1,94x10 ⁶	3,162x10 ⁶	0,562	6,25(27,0°C)	6,3x10 ⁷	3,5x10 ⁷	0,553	7,20(27,3°C)
60	5,72x10 ⁵	2,54x10 ⁶	0,562	6,44(27,0°C)	3,94x10 ⁷	3,345x10 ⁷	0,550	7,05(27,2°C)
90	2,54x10 ⁵	1,35x10 ⁶	0,561	6,54(26,5°C)	3,58x10 ⁷	4,96x10 ⁷	0,545	7,04(27,3°C)
120	1,136x10 ⁵	6,53x10 ⁵	0,561	6,81(26,5°C)	1,407x10 ⁷	8,6x10 ⁷	0,540	7,02(27,2°C)
150	9,8x10 ⁴	2,66x10 ⁵	0,560	6,81(26,5°C)	1,856x10 ⁷	2,48x10 ⁷	0,535	6,86(27,3°C)
180	3,9x10 ⁴	1,88x10 ⁵	0,559	6,90(25,3°C)	3,356x10 ⁶	1,67x10 ⁷	0,534	6,69(27,3°C)
240	1,37x10 ⁴	5,59x10 ⁴	0,558	6,89(25,3°C)	2,17x10 ⁶	4,01x10 ⁷	0,532	6,67(27,4°C)
300	5,96x10 ³	4,55x10 ⁴	0,554	6,88(24,3°C)	6,736x10 ⁵	2.1x10 ⁷	0,529	6,70(27,3°C)

EK 2. UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları

HAM SU + 0,125 mg/L H₂O₂								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	4,42x10 ⁷	2,52x10 ⁷						
H ₂ O ₂	6,18x10 ⁶	2,26x10 ⁷	0,080	7,44(21,5°C)	0	0	0,085	7,52(24,9°C)
30	3,64x10 ⁵	1,359x10 ⁶	0,073	7,77(22,2°C)	0	0	0,064	7,38(25,2°C)
60	7,1x10 ⁴	4,8x10 ⁵	0,068	7,75(22,5°C)	0	0	0,063	7,40(25,6°C)
90	3,7x10 ⁴	3,12x10 ⁵	0,060	7,65(22,5°C)	0	0	0,061	7,47(25,6°C)
120	1,55x10 ⁴	4,96x10 ⁴	0,058	7,60(22,2°C)	0	0	0,057	7,38(25,9°C)
150	8,7x10 ³	4,36x10 ⁴	0,056	7,46(22,1°C)	0	0	0,053	7,44(26,1°C)
180	2,18x10 ³	1,36x10 ⁴	0,052	7,45(22,1°C)	0	0	0,053	7,42(26,2°C)
240	1,22x10 ²	2,55x10 ³	0,047	7,44(22,1°C)	0	0	0,053	7,42(26,4°C)
300	1	5	0,042	7,44(21,9°C)	0	0	0,044	7,42(27,2°C)

EK 2. UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deneş Sonuçları (Devam)

1 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT + 0,125 mg/L H ₂ O ₂								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	3,25x10 ⁶	2x10 ⁷						
H ₂ O ₂	2,5x10 ⁶	1,7x10 ⁷	0,082	7,08(21,2°C)	0	0	0,080	6,77(24,9°C)
30	5,12x10 ⁵	9,957x10 ⁵	0,071	6,99(21,7°C)	0	0	0,070	6,79(25,9°C)
60	1,9x10 ⁵	4,84x10 ⁵	0,063	6,99(21,4°C)	0	0	0,064	6,72(25,7°C)
90	3,68x10 ⁴	2,36x10 ⁵	0,057	6,99(21,2°C)	0	0	0,055	6,77(25,5°C)
120	1,8x10 ⁴	7,697x10 ⁴	0,052	6,96(21,5°C)	0	0	0,052	6,80(25,4°C)
150	4,5x10 ³	3,564x10 ⁴	0,050	6,95(21,5°C)	0	0	0,051	6,88(24,9°C)
180	1,7x10 ³	2,96x10 ⁴	0,048	6,94(21,7°C)	0	0	0,049	6,73(25,1°C)
240	6,72x10 ²	4,76x10 ³	0,046	6,91(21,6°C)	0	0	0,043	6,89(24,9°C)
300	6x10 ²	1,2x10 ³	0,038	6,84(22,9°C)	0	0	0,037	6,83(24,0°C)

EK 2. UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deneş Sonuçları (Devam)

5 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT + 0,125 mg/L H₂O₂								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	1,5x10 ⁶	2,58x10 ⁷						
H ₂ O ₂	1,24x10 ⁶	2,24x10 ⁷	0,143	6,73(21,4°C)	0	0	0,135	6,94(24,4°C)
30	2,66x10 ⁵	2,12x10 ⁶	0,132	6,69(20,4°C)	0	0	0,121	6,67(25,8°C)
60	8x10 ⁴	7,05x10 ⁵	0,119	6,69(20,6°C)	0	0	0,100	6,60(26,4°C)
90	2,59x10 ⁴	3,36x10 ⁵	0,098	6,67(20,7°C)	0	0	0,087	6,56(26,1°C)
120	1x10 ⁴	1,43x10 ⁵	0,087	6,68(20,8°C)	0	0	0,075	6,56(26,8°C)
150	4,59x10 ³	1,344x10 ⁵	0,084	6,68(20,6°C)	0	0	0,073	6,49(26,0°C)
180	7,6x10 ²	4,24x10 ⁴	0,074	6,62(20,8°C)	0	0	0,066	6,48(25,2°C)
240	4,5x10 ²	1,344x10 ⁴	0,067	6,64(21,2°C)	0	0	0,059	6,39(25,0°C)
300	3,24x10 ²	4,28x10 ³	0,055	6,59(21,5°C)	0	0	0,055	6,35(24,8°C)

EK 2. UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

10 mg ÇOK/L FÜLVİK ASİT + 0,125 mg/L H ₂ O ₂								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	3,66x10 ⁶	2,8x10 ⁷						
H ₂ O ₂	3,06x10 ⁶	2,4x10 ⁷	0,257	6,78(21,7°C)	0	0	0,237	7,21(24,2°C)
30	3,84x10 ⁵	3,20x10 ⁶	0,202	6,44(21,5°C)	0	0	0,181	6,92(25,7°C)
60	2,76x10 ⁵	1,7x10 ⁶	0,178	6,36(22,2°C)	0	0	0,144	6,79(25,8°C)
90	3,36x10 ⁴	5,33x10 ⁵	0,153	6,21(22,0°C)	0	0	0,128	6,77(25,8°C)
120	1,23x10 ⁴	2,3x10 ⁵	0,150	6,16(22,0°C)	0	0	0,117	6,64(25,6°C)
150	1,07x10 ⁴	7,37x10 ⁴	0,128	6,09(22,0°C)	0	0	0,112	6,49(25,7°C)
180	6,33x10 ³	3,24x10 ⁴	0,124	6,06(21,8°C)	0	0	0,098	6,43(25,7°C)
240	1,31x10 ³	2,2x10 ⁴	0,097	6,06(22,3°C)	0	0	0,078	6,32(25,6°C)
300	6,4x10 ²	7,5x10 ³	0,080	6,09(22,4°C)	0	0	0,069	6,35(25,5°C)

EK 2. UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

1 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT + 0,125 mg/L H ₂ O ₂								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	3,1x10 ⁶	3,08x10 ⁷						
H ₂ O ₂	2,1x10 ⁶	2,58x10 ⁷	0,113	7,85(20,5°C)	0	0	0,112	6,85(24,0°C)
30	1,48x10 ⁵	3,55x10 ⁶	0,104	7,53(20,0°C)	0	0	0,094	6,89(26,4°C)
60	1,2x10 ⁵	3,44x10 ⁵	0,091	7,35(21,1°C)	0	0	0,083	6,84(26,4°C)
90	4,8x10 ⁴	2,95x10 ⁵	0,081	7,04(20,8°C)	0	0	0,077	6,78(26,3°C)
120	4x10 ³	1,632x10 ⁵	0,076	7,05(20,7°C)	0	0	0,070	6,79(26,0°C)
150	6,68x10 ³	6,844x10 ⁴	0,069	7,03(20,6°C)	0	0	0,062	6,76(25,8°C)
180	3,6x10 ³	2,92x10 ⁴	0,066	7,06(20,8°C)	0	0	0,058	6,71(25,6°C)
240	8,43x10 ²	1,376x10 ⁴	0,059	7,07(21,0°C)	0	0	0,050	6,67(25,2°C)
300	1,57x10 ²	1,47x10 ³	0,057	6,96(20,3°C)	0	0	0,046	6,58(24,7°C)

EK 2. UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

5 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT + 0,125 mg/L H ₂ O ₂								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	5,1x10 ⁶	3x10 ⁷						
H ₂ O ₂	3,75x10 ⁶	2,44x10 ⁷	0,291	7,04(20,2°C)	0	0	0,277	7,20(23,0°C)
30	3,532x10 ⁵	1,888x10 ⁶	0,272	7,12(19,9°C)	0	0	0,238	7,14(26,4°C)
60	8,4x10 ⁴	7,80x10 ⁵	0,251	6,95(20,8°C)	0	0	0,211	7,07(26,1°C)
90	5,44x10 ⁴	5,12x10 ⁵	0,224	6,89(20,5°C)	0	0	0,180	7,00(25,8°C)
120	2,6x10 ⁴	3,91x10 ⁵	0,186	6,87(20,6°C)	0	0	0,151	6,73(25,7°C)
150	2,88x10 ⁴	1,152x10 ⁵	0,179	6,84(20,5°C)	0	0	0,140	6,72(25,5°C)
180	1,32x10 ⁴	7,48x10 ⁴	0,164	6,73(20,5°C)	0	0	0,121	6,69(25,3°C)
240	2,48x10 ³	1,58x10 ⁴	0,143	6,74(20,4°C)	0	0	0,119	6,52(25,0°C)
300	2,68x10 ²	2,91x10 ³	0,115	6,52(20,8°C)	0	0	0,090	6,39(24,8°C)

EK 2. UV/0,125 H₂O₂ Dezenfeksiyonu ile Elde Edilen Deney Sonuçları (Devam)

10 mg ÇOK/L HÜMİK ASİT + 0,125 mg/L H ₂ O ₂								
Temas	İNKÜBASYON ÖNCESİ				İNKÜBASYON SONRASI(25-27°C 23-25 sa)			
Süresi	Toplam Koliform				Toplam Koliform			
(sn)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)	CFU/100ml		UV abs	pH (Sıcaklık)
	I. Deneme	II. Deneme			I. Deneme	II. Deneme		
0	1,5x10 ⁶	3,39x10 ⁷						
H ₂ O ₂	6,5x10 ⁵	2,38x10 ⁷	0,583	6,99(20,1°C)	0	0	0,523	7,10(23,6°C)
30	1,65x10 ⁵	2,65x10 ⁶	0,508	6,52(20,8°C)	0	0	0,468	6,80(25,2°C)
60	7,69x10 ⁴	6,80x10 ⁵	0,449	6,39(21,3°C)	0	0	0,414	6,58(25,3°C)
90	3,4x10 ⁴	5,9x10 ⁵	0,421	6,35(20,8°C)	0	0	0,368	6,21(25,1°C)
120	2,72x10 ⁴	4,37x10 ⁵	0,394	6,23(21,2°C)	0	0	0,342	6,22(24,6°C)
150	5,9x10 ³	2,42x10 ⁵	0,354	6,17(20,9°C)	0	0	0,298	6,00(24,8°C)
180	5,8x10 ³	1,040x10 ⁵	0,329	6,13(20,8°C)	0	0	0,288	6,07(24,8°C)
240	1,84x10 ³	3,30x10 ⁴	0,288	5,94(21,2°C)	0	0	0,250	5,99(24,8°C)
300	6,53x10 ²	5,7x10 ³	0,225	5,94(21,0°C)	0	0	0,170	5,71(24,5°C)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve bu tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, her koşulda desteğini gördüğüm tez danışmanım ve hocam, U.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Ufuk ALKAN'a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca, çalışmam sırasında bilgilerinden faydalandığım U.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Hüseyin Savaş BAŞKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bilgi ve emeğini esirgemeyen U.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Sayın Dr. Arzu TEKSOY'a,

Laboratuar çalışmalarımda bana yardımcı olan yakın arkadaşlarım Çevre Mühendisi Güliz ALDATMAZ ve Sudan KURTOĞLU'na,

Tez Projemi destekleyerek bana maddi olanak sağlayan Uludağ Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na,

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

Ahu Ateşli, 30.10.1981 tarihinde Bursa'da doğmuştur. İlk ve orta eğitimi tamamladıktan sonra, 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne girmiş ve 2003 yılında aynı bölümden mezun olmuştur. Aynı yılda, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği AnaBilim Dalında yüksek lisans çalışmasına başlamıştır.